



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO - UFMA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE - CCBS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA - DEOLI
GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

Gabriel Estevão Nunes Pereira

**ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA NO PARQUE
ESTADUAL MARINHO DO PARCEL DE MANUEL LUÍS (MA): INDICADORES DA
QUALIDADE AMBIENTAL EM RECIFES DE CORAIS**

SÃO LUÍS - MA

2026

GABRIEL ESTEVÃO NUNES PEREIRA

**ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA NO PARQUE
ESTADUAL MARINHO DO PARCEL DE MANUEL LUÍS (MA): INDICADORES DA
QUALIDADE AMBIENTAL EM RECIFES DE CORAIS**

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

Orientador(a): Prof. Dr. Antonio Carlos Leal de Castro.

SÃO LUÍS - MA

2026

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

Nunes Pereira, Gabriel Estevão.

ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA NO
PARQUE ESTADUAL MARINHO DO PARCEL DE MANUEL LUÍS MA :
INDICADORES DA QUALIDADE AMBIENTAL EM RECIFES DE CORAIS /
Gabriel Estevão Nunes Pereira. - 2026.

54 p.

Orientador(a): Antonio Carlos Leal de Castro.
Monografia (Graduação) - Curso de Oceanografia,
Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2026.

1. Ambientes Recifais. 2. Variáveis Físico-químicas.
3. Monitoramento Ambiental. I. Leal de Castro, Antonio
Carlos. II. Título.

**ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA NO PARQUE
ESTADUAL MARINHO DO PARCEL DE MANUEL LUÍS (MA): INDICADORES DA
QUALIDADE AMBIENTAL EM RECIFES DE CORAIS**

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

Aprovado em: 20/01/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antonio Carlos Leal de Castro (Orientador)
Universidade Federal do Maranhão – UFMA

Prof. Dr. James Werllen de Jesus Azevedo
Universidade Federal do Maranhão – UFMA

Profa. Dra. Samara Aranha Eschrique.
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

AGRADECIMENTOS

Encerra-se, com a conclusão deste trabalho, mais um ciclo de minha trajetória acadêmica, marcado por conquistas, desafios, oportunidades, construção de vínculos, momentos de frustração e, sobretudo, significativos aprendizados, os quais contribuíram de forma essencial para minha formação pessoal e profissional.

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, **Antonio George** e **Luciane**, pelo apoio incondicional ao longo de toda essa jornada, pelo investimento não apenas financeiro, mas também pelo cuidado, atenção e constante incentivo, acreditando em meu potencial mesmo nos momentos em que eu próprio hesitei. A eles dedico todas as conquistas alcançadas.

Expresso minha gratidão ao meu orientador, **Prof. Antonio Carlos**, pela orientação criteriosa, dedicação, compartilhamento de conhecimento e pelas oportunidades concedidas durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço também aos meus avós, **Torquato**, **Arezia** e **Harildo**, pelo carinho ao longo de minha formação, com especial reconhecimento à minha avó **Joelma**, pelo incentivo constante e confiança depositada em mim.

Aos meus irmãos, **Athila**, **Andreyna**, **Antonio George**, **Mirla** e **Ana Gabriele**, agradeço pelo apoio permanente, pelo afeto e pela presença em todos os momentos, tanto nos desafios quanto nas conquistas.

Agradeço à banca examinadora, **Prof. James** e **Profª. Samara**, pelas valiosas contribuições e sugestões que enriqueceram este estudo.

Aos amigos de graduação, **Graziela**, **Glover**, **Jamile** e **Pamela**, agradeço pela cumplicidade ao longo de todos esses anos de formação acadêmica. Sem dúvidas, a companhia dessas pessoas, que se tornaram tão especiais para mim, foi fundamental durante toda a trajetória. Desde os primeiros momentos em que nos conhecemos, estabelecemos uma conexão genuína, e, sem dúvida, foram peças essenciais para tornar essa jornada mais leve, acolhedora e significativa.

Por fim, expresso minha gratidão aos meus amigos, colaboradores, técnicos e professores do laboratório de Ictiologia e Recursos Pesqueiros (LabirPesq) pelo compartilhamento de conhecimento durante todos esses anos de colaboração, pelo apoio em pesquisas. Em especial a **Alef** e **Filipe** pela obtenção dos dados contidos nesse trabalho.

“Compreender as coisas que nos rodeiam é a melhor forma para compreender o que está mais além”.

Hipátia de Alexandria (c. 355–415)

RESUMO

Os ambientes recifais são ecossistemas altamente produtivos e biodiversos, porém sensíveis a alterações ambientais, sendo as variáveis físico-químicas importantes indicadores da qualidade ambiental e da saúde dos recifes. O Parque Estadual Marinho do Parcel Manuel Luís (PEM-PML), localizado no litoral do Maranhão, abriga uma das maiores formações recifais do Atlântico Sul e constitui uma área de grande relevância ecológica. Este estudo teve como objetivo caracterizar os parâmetros físico-químicos da água no PEM-PML, a partir de dados coletados *in situ* em uma campanha realizada nos dias 17 e 18/06/2025, em oito pontos amostrais distribuídos ao longo da unidade de conservação. Foram avaliadas variáveis como profundidade, temperatura, salinidade, Eh (mV ORP), pH, oxigênio dissolvido e sua saturação, condutividade, condutividade absoluta, totais de sólidos dissolvidos, densidade da água (σ_t) e pressão. Os resultados indicaram condições predominantemente marinhas e relativa estabilidade da coluna d'água quanto à salinidade, condutividade, TSD, densidade e pressão, com valores homogêneos entre superfície e fundo, sugerindo boa mistura vertical e baixa influência continental. Observou-se relação direta entre profundidade e transparência, variação térmica associada ao horário de coleta e à radiação solar, pH majoritariamente básico dentro dos limites da Resolução CONAMA nº 357/2005, e baixos valores de oxigênio dissolvido e saturação, associados à variabilidade do Eh, indicando condições de hipóxia e heterogeneidade redox pontual. Esses resultados reforçam a importância do monitoramento contínuo das variáveis físico-químicas, bem como da fiscalização e gestão integrada do PEM-PML como área prioritária para a conservação e o desenvolvimento sustentável de sistemas recifais.

PALAVRAS CHAVE: ambientes recifais; variáveis físico-químicas; monitoramento ambiental.

ABSTRACT

Reef environments are among the most productive and biodiverse ecosystems on the planet, but they are highly sensitive to environmental changes. Physicochemical variables are important indicators of environmental quality and reef health. The Marine State Park of Parcel Manuel Luís (PEM-PML), located on the coast of Maranhão, is one of the most important marine ecosystems in Brazil, hosting one of the largest reef formations in the South Atlantic. This study aimed to characterize the physicochemical parameters of the water in the PEM-PML region based on in situ data collected during a sampling campaign conducted on June 17 and 18, 2025, at eight sampling points distributed throughout the conservation unit. The analyzed variables included depth, water temperature, salinity, redox potential (Eh, mV ORP), pH, dissolved oxygen and oxygen saturation, conductivity, absolute conductivity, total dissolved solids, water density (σ_t), and water pressure. The results indicated predominantly marine conditions and relative stability of the water column with respect to salinity, conductivity, total dissolved solids, density, and pressure, with homogeneous values between surface and bottom, suggesting good vertical mixing and low continental influence during the sampling period. Depth and water transparency showed a directly proportional relationship, consistent with shallow reef environments and clear waters, while temperature variability was mainly associated with the time of sampling and solar radiation incidence. pH values were predominantly alkaline and within the limits established by CONAMA Resolution No. 357/2005, with a punctual exception in bottom waters. In contrast, low dissolved oxygen concentrations and oxygen saturation, together with the wide variability in redox potential (Eh), indicated hypoxic conditions and redox heterogeneity, suggesting localized environmental stress possibly related to hydrodynamic dynamics and biological oxygen consumption. These findings highlight the importance of continuous monitoring of physicochemical variables for assessing water quality and the health of reef ecosystems, as well as the need for ongoing surveillance and integrated management of the PEM-PML as a priority conservation area.

Keywords: Reef environments; Physicochemical variables; Environmental monitoring

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa da área do Parque Estadual Marinho do Parcel de Manuel Luís.....	22
Figura 2 - Sistema Rosette equipado com CTD e 12 garrafas de coleta Niskin de 5L.....	23
Figura 3 Variação da profundidade de coleta e Transparência da água.	26
Figura 4 - Variação espacial da Temperatura da água (°C).	28
Figura 5 - Variação da Salinidade (g kg ⁻¹).	29
Figura 6 - Variação espacial do pH.	36
Figura 7 - Variação espacial do Eh (mV ORP).	35
Figura 8 - Variação espacial do Oxigênio Dissolvido (mg L ⁻¹).	32
Figura 9 - Variação espacial da Saturação de Oxigênio Dissolvido (%).	33
Figura 10 - Variação espacial da Condutividade (mS/cm ⁻¹).	38
Figura 11 - Variação espacial da Condutividade Absoluta (mS cm ⁻¹).	39
Figura 12 - Variação espacial dos Totais de Sólidos Dissolvidos (mg L ⁻¹).	41
Figura 13 - Variação espacial da Densidade da Água (σ_t).	43
Figura 14 - Variação espacial do Pressão da Água (mmHg).	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultado das da análise de amplitude, Média, Mediana, Desvio-padrão, Variância das variáveis físico-químicas da água superficial e de fundo coletadas no PEM-PML.	25
Tabela 2 - Resultado das variáveis físico-químicas da água superficial e de fundo coletadas no PEM-PML (17 e 18 de junho de 2025).	54

Sumário

INTRODUÇÃO	10
OBJETIVOS	11
Objetivo Geral.....	11
Objetivos Específicos	11
REVISÃO DA LITERATURA	13
IMPORTÂNCIA DO PEM-PML	13
QUÍMICA DA ÁGUA EM RECIFES DE CORAIS:.....	15
1. INTRODUÇÃO.....	19
2. METODOLOGIA.....	21
2.1. Área de estudo	21
2.2. Coleta/obtenção dos dados.....	22
2.3. Análise dos dados.....	24
3. RESULTADOS DISCUSSÃO	24
3.1. Profundidade da Coleta (m) e Transparência (m)	25
3.2. Temperatura da Água (°C)	26
3.3. Salinidade (g kg ⁻¹).....	28
3.4. pH.....	30
3.5. Eh (mV ORP).....	30
3.6. Oxigênio Dissolvido (mg L ⁻¹) e Saturação Oxigênio Dissolvido (%).....	30
3.7. Condutividade (mS cm ⁻¹) e Condutividade Absoluta (mS cm ⁻¹)	36
3.8. Totais de Sólidos Dissolvidos (g kg ⁻¹)	39
3.9. Densidade da Água (σ_t).....	41
3.10. Pressão da Água (mmHg).....	43
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
5. REFERÊNCIAS	46

INTRODUÇÃO

Os ambientes recifais tropicais estão entre os ecossistemas mais diversos do planeta. No Brasil os recifes de corais se distribuem por cerca de 3.000 km da costa nordeste, desde o sul da Bahia até o Maranhão, constituindo os únicos ecossistemas recifais do Atlântico Sul. As principais espécies de corais que formam esses recifes ocorrem somente em águas brasileiras, onde contribuem na formação de estruturas que não são encontradas em nenhuma outra parte do mundo (OLIVEIRA *et al.*, 1999).

Na região Norte do Brasil, os ambientes recifais ainda são pouco estudados, embora já se reconheça sua importância como recurso natural estratégico, fundamental para manutenção da biodiversidade aquática da região amazônica e do atlântico tropical. No litoral do Maranhão, o Parque Estadual Marinho do Parcel de Manuel Luís (PEM-PML) constitui o primeiro Parque Estadual Marinho do litoral brasileiro (ROCHA e ROSA, 2001; COURA, 2016).

A área protegida do PEM-PML se fortalece por uma expressiva biodiversidade, com espécies endêmicas em vários grupos taxonômicos, espécies ameaçadas de extinção e um dos maiores bancos de corais da América do Sul (AMARAL *et al.*, 2007). Entretanto, este ambiente se ressentir de informações de natureza oceanográficas para suportar ações de manejo e conservação e que ofereça a base científica necessária para compreender melhor os processos de formação e as dinâmicas dos processos físicos, químicos e biológicos que asseguram as interações entre os bancos e a zona costeira adjacente (MARRARA, 2008).

O status atual do PEM-PML revela um ambiente único, exuberante e de grande fragilidade, motivos que suscitam a necessidade de estudos de natureza integrada para ampliar o conhecimento da dinâmica oceanográfica da região. A associação de espécies de peixes, algas calcáreas, corais, esponjas e comunidades bêmicas, asseguram um ambiente único e de alta biodiversidade, além de características físicas distintas do ambiente que o circunda (ARAÚJO *et al.*, 2020).

O registro de organismos recifais do Caribe, não registrados na costa leste da América do Sul, fortalecem as evidências de que os recifes do PEM-PML podem ser um dos principais marcos referenciais de fauna entre o Caribe e a costa brasileira (CORDEIRO *et al.*, 2015).

A vulnerabilidade dos ambientes aquáticos a variações na química da água depende de diversos fatores. Devido à grande complexidade das interações entre os fatores físico-químicos e biológicos de cada ecossistema, à habilidade de adaptação e diferentes respostas do componente biótico e, à grande variedade de espécies presentes no meio, torna-se difícil prever a resposta do ambiente aquático quanto às mudanças drásticas nas variáveis ambientais. Por isso, estudos físico-químicos que caracterizam essas variáveis da água permitem analisar as respostas dos ambientes aquáticos quanto a essas mudanças, contribuindo para a gestão sustentável servindo como subsídio para a definição de estratégias de conservação e manejo de áreas marinhas protegidas em regiões tropicais (MMA, 2008; COURA, 2016).

Diante deste cenário, entende-se que amplos estudos de linha de base, ou seja, levantamentos oceanográficos que caracterizam as principais variáveis físico-químicas da água são urgentemente necessários para uma melhor compreensão e provimento de programas, projetos e ações de planejamento e gestão sustentável.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Analisar e caracterizar os parâmetros físico-químicos da coluna d'água no Parque Estadual Marinho do Parcel de Manuel Luís (MA).

Objetivos Específicos

- Descrever o status atual do Parque Estadual Marinho do Parcel de Manuel Luís (PEM-PML) para compreender a importância de ecossistema de recifes coralíneos mesofóticos;
- Comparar os dados obtidos nas diferentes profundidades, de modo a verificar a existência de gradientes verticais ou de estratificação físico-química.
- Avaliar a variação espacial da profundidade e da transparência da água, analisando sua relação com a incidência luminosa e a dinâmica do PEM-PML.
- Analisar o comportamento da temperatura da água superficial e de fundo em função do horário de coleta, da profundidade e da estrutura da coluna d'água.

- Caracterizar os padrões espaciais da salinidade, condutividade elétrica, condutividade absoluta e dos Totais de Sólidos Dissolvidos, verificando a estabilidade iônica e a influência de massas d'água oceânicas.
- Determinar a distribuição do pH e do potencial redox (Eh) na superfície e no fundo, identificando possíveis episódios de acidificação local e condições redox redutoras no ambiente recifal.
- Avaliar as concentrações de oxigênio dissolvido e a saturação de oxigênio, verificando a ocorrência de hipóxia e seu potencial impacto sobre a biota recifal.
- Analisar o comportamento da Densidade da água e da pressão da água, correlacionando esses parâmetros com salinidade, temperatura e profundidade.
- Identificar possíveis indícios de estresse ambiental no PEM-PML, a partir da integração dos parâmetros físico-químicos analisados, contribuindo para o monitoramento ambiental e para a gestão desta unidade de conservação.
- Interpretar a influência dos parâmetros analisados na manutenção da qualidade ambiental e na saúde dos recifes de corais do PEM-PML.

REVISÃO DA LITERATURA

IMPORTÂNCIA DO PEM-PML

Os recifes de corais são ecossistemas subaquáticos formados principalmente por colônias de pequenos cnidários chamados pólipos de corais. Esses organismos constroem esqueletos de carbonato de cálcio, que com o tempo formam as grandes estruturas conhecidas como recifes. Corais duros, como os do gênero *Acropora* e *Montipora*, são os principais responsáveis pela formação dessas estruturas. Além disso, os recifes abrigam uma complexa e diversificada comunidade de organismos marinhos, incluindo peixes, moluscos, crustáceos, esponjas e algas calcárias, tornando-os um dos ecossistemas mais diversos do planeta (ADEY, 2000).

A importância dos recifes de corais vai além da beleza visual que eles proporcionam, visto que, ecologicamente, desempenham um papel crucial na manutenção da biodiversidade dos oceanos, abrigando aproximadamente 25% de todas as espécies marinhas conhecidas, embora cubram apenas uma pequena fração do fundo oceânico, menos de 0,25%. Por isso, esses ecossistemas são comparados frequentemente às florestas tropicais em termos de biodiversidade (ADEY, 2000; BRYANT *et al.*, 1998; OLIVEIRA *et al.*, 1999; ARAÚJO *et al.*, 2020).

Os recifes de coral são encontrados em mais de 100 países e territórios através dos trópicos (ADEY, 2000). No Brasil os recifes de corais se distribuem por cerca de 3.000 km da costa nordeste, desde o sul da Bahia até o Maranhão, constituindo os únicos ecossistemas recifais do Atlântico Sul. As principais espécies de corais que formam estes recifes ocorrem somente em águas brasileiras, onde contribuem na formação de estruturas que não são encontradas em nenhuma outra parte do mundo, tendo sua importância sido reconhecida internacionalmente na 4ª Conferência das Partes da Convenção sobre Biodiversidade Biológica, Bratislava (OLIVEIRA *et al.*, 1999).

Um exemplo desses ecossistemas que se destacam é o Parque Estadual Marinho do Parcel de Manuel Luís (PEM-PML), localizado no litoral ocidental do Maranhão, criado em junho de 1991 e sendo o primeiro Parque Estadual Marinho brasileiro, instituído com o objetivo de preservar um dos maiores bancos de corais da América do Sul (COURA, 1994).

Segundo Coura (2016), o termo Parcel é a denominação dada ao que no passado se referia aos recifes afastados da costa. Já a definição de “recifes” segundo Collette e Ruetzler (1977), são fundos duros e complexos criados por organismos vivos.

O PEM-PML protege uma área coralina de significativa importância, visto que os bancos inseridos na área são os únicos da costa Norte do país e o extremo da distribuição desse ecossistema no Atlântico Sul. No Parcel se desenvolvem diversas espécies de peixes de interesse comercial, que encontram na área um importante sítio de alimentação. O Parque tem, assim, um papel de repositório de indivíduos para as áreas vizinhas (MMA, 2008).

A estrutura geológica do PEM-PML é composta por formações rochosas e biogênicas submersas, que tem como base um afloramento de diabásio resultante de uma falha estrutural da plataforma, cuja formação rochosa tem servido de substrato para o crescimento e colonização por vários seres marinhos, onde se destacam corais e hidrocorais resultando em um banco recifal de forma irregular. Situa-se na plataforma continental à frente do litoral ocidental, geologicamente, encontra-se localizado na Bacia do Pará-Maranhão. Esta é uma bacia exclusivamente marítima, situando-se na margem equatorial brasileira. Limitando-se a sudeste, com a Bacia de Barreirinhas e noroeste, com a bacia da Foz do Amazonas (COURA, 2016; MMA, 2008).

A configuração espacial do parcel apresenta um eixo principal com 3 milhas náuticas de extensão e vários “cabeços” que sobem verticalmente de um fundo de 30 metros, até a superfície do mar, cujas pontas são visíveis durante o período de baixamar. Na formação central, encontram-se alguns naufrágios e sítios arqueológicos como o Salinas (1904), West Point (1946), Altamar (1960), Ilha Grande (1962) e o Ana Cristina (1984) que servem de abrigo a peixes (MMA, 2008; COURA, 2016).

Os cabeços dão lugar a uma massa ondulada e contínua de corais fossilizados, entremeados de “praias” de areia calcária, uma área rasa de 8 a 12 m de profundidade, com extensão estimada de 20 ha, formadas por depósitos de restos fossilizados dos corais e algas calcárias, principais componentes da biomassa local. No entorno do Parcel o fundo do mar apresenta distribuição de novas colônias de

corais e algas calcárias, formando pequenos cabeços, que aos poucos estão ampliando a formação principal (COURA, 2016).

Amaral *et al.* (2007) afirmam que a diversidade do PEM-PML supera a de outras duas áreas recifais brasileiras importantes, mas geograficamente distintas. Asseguram que a diversidade do PEM-PML no Brasil, só é comparável à das Ilhas Abrolhos (Estado da Bahia), que é um arquipélago vulcânico. Além disso, no PEM-PML há uma grande proporção de peixes recifais ameaçados que também utilizam o oceano aberto (BENDER; VILA-NOVA; FLOETER, 2009).

Coura (2016) destaca que o Governo do Maranhão encaminhou a Ficha Informativa das Áreas Úmidas Ramsar preenchida com base nos resultados alcançados nas pesquisas realizadas pela Sema/MA com apoio das universidades UFPB, UFRPE, UFMA, MNRJ/UFRJ, para pleitear a indicação do PEM-PML como Área Úmida de Importância Internacional nos moldes da Convenção Ramsar.

Dentre os benefícios já alcançados por este reconhecimento está a realização do Planejamento para o Sucesso da Conservação (MMA, 2008; COURA, 2016) e o Plano de Manejo do PEM-PML (MARANHÃO, 2022), que identificaram alvos de conservação (recifes de coral, peixes e lagostas, patrimônio arqueológicos subaquáticos, principais ameaças e propôs ações prioritárias.

Recentemente, algumas espécies de corais construtores que ocorrem no PEM-PML, tiveram seu limite norte ampliado em aproximadamente 550 km (CORDEIRO *et al.*, 2015). No entanto, alguns registros científicos consideram que esse sistema recifal é ainda maior do que se pensava, podendo cobrir uma área de aproximadamente 56.000 km², com a presença de recifes tipicamente mesofóticos (70 a 220m de profundidade), formados por fundos rígidos complexos, criados por organismos vivos, em forma de plataforma e paredes recifais, bancos de rodolitos e fundos com esponjas (FRANCINI-FILHO *et al.*, 2018).

QUÍMICA DA ÁGUA EM RECIFES DE CORAIS:

A água é um recurso não renovável essencial ao funcionamento da vida. Sua distribuição pelo planeta Terra passa por todas as esferas em concentrações distintas, com aproximadamente 97% dela como água salgada e 3% na forma de água doce,

sendo que 2,4% se encontram em geleiras e locais de difícil acesso e 0,5% nos rios, lagos e atmosfera (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2022).

Alterações na qualidade da água podem ser identificadas e monitoradas de forma direta através da análise de parâmetros abióticos. Nesse caso, parâmetros abióticos são medidas ou características relacionadas às propriedades físico-químicas da água, como temperatura, pH, salinidade e concentração de nutrientes inorgânicos. Cada ambiente ou local em particular possui um nível de qualidade da água necessário para a manutenção de suas funções ecológicas, o que implica em características abióticas específicas (ZILBERBERG *et al.*, 2016).

A legislação brasileira prevê os valores e limites máximos de concentrações para muitas variáveis físico-químicas e contaminantes na água e sedimento marinho, por meio das Resoluções CONAMA 357, de 2005, e CONAMA 344, de 2004, respectivamente. Os valores estabelecidos nessa legislação representam os limites para a “manutenção da qualidade ambiental necessária para sustentação do ecossistema” e são extremamente importantes para orientar as políticas ambientais (ZILBERBERG *et al.*, 2016).

Os recifes de coral são ecossistemas altamente vulneráveis a alterações na química da água do mar, incluindo aquelas relacionadas à acidificação dos oceanos e ao aquecimento global, sendo considerados ecossistemas por natureza propensos aos efeitos da hidrodinâmica das correntes marinhas e variáveis meteorológicas em diferentes escalas temporais e espaciais, essa influência antrópica pode causar efeitos drásticos a sua dinâmica e funções ecológicas. Esses fatores de estresse incluem a degradação da qualidade da água e escoamento superficial (BUDDEMEIER *et al.*, 2008).

Mesmo os recifes de coral brasileiros sendo considerados a maior área de cobertura recifal no Atlântico Sul, estudos que visam investigar os fatores que controlam a química da água do mar em recifes de coral ainda são escassos no Brasil. Apesar da extrema vulnerabilidade dos ecossistemas de recifes de coral em função das mudanças globais na química do carbonato da água do mar, essa temática é negligenciada no Oceano Atlântico Sul (COTOVICZ *et al.*, 2020). Segundo Cotovicz *et al.* (2020), ainda não existem estudos que investiguem os fluxos de CO₂ entre o ar

e o mar e as principais propriedades físico-químicas em águas dominadas por recifes de coral no Oceano Atlântico Sul.

Takeshita *et al.* (2018), informam que os recifes de coral modificam a química da coluna d'água sobrejacente por meio de processos biogeoquímicos, como a produção líquida de carbono orgânico.

Quando combinadas com alta luminosidade e condições de água calma, as altas temperaturas estão associadas a um risco aumentado de branqueamento de corais, no qual a relação simbiótica vital se rompe. Embora os corais possam se recuperar de episódios de branqueamento leves ou moderados, o branqueamento prolongado, intenso ou repetido provavelmente será fatal para o coral hospedeiro (BUDDEMEIER *et al.*, 2008).

Diante do arcabouço teórico apresentado, evidencia-se que os recifes de corais constituem ecossistemas de elevada complexidade ecológica e extrema relevância ambiental, especialmente no contexto do Atlântico Sul, onde os sistemas recifais brasileiros apresentam características únicas e alto grau de endemismo. A literatura também demonstra que a integridade desses ecossistemas está intrinsecamente condicionada à qualidade físico-química da água do mar, sendo os recifes particularmente sensíveis a variações de temperatura, salinidade, nutrientes e processos biogeoquímicos associados ao carbono.

Por outro lado, a escassez de estudos voltados à química da água em recifes do Atlântico Sul reforça a necessidade de investigações sistemáticas que considerem tanto os fatores naturais quanto as pressões antrópicas e climáticas. Assim, a compreensão integrada entre a importância ecológica dos recifes, sua singularidade geológica e biológica e os processos que regulam a qualidade da água constitui a base conceitual indispensável para subsidiar ações de conservação, gestão ambiental e monitoramento efetivo de áreas marinhas protegidas como o PEM-PML.



ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA NO PARQUE ESTADUAL MARINHO DO PARCEL DE MANUEL LUÍS (MA)

Gabriel Estevão Nunes Pereira¹, Antonio Carlos Leal de Castro², James Werllen de Jesus Azevedo³, Samara Aranha Eschrique⁴

Autor
correspondente:
email:
gabriel.esteva@dis
cente.ufma.br

¹Laboratório de Ictiologia e recursos pesqueiros LabirPesq/ UFMA, São Luís, Ma Brasil.

² Centro de Ciências Biológicas e da Saúde / UFMA, São Luís, Ma Brasil.

³ Curso de Oceanografia e Limnologia/ UFMA, São Luís, Ma Brasil.

ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA NO PARQUE ESTADUAL MARINHO DO PARCEL DE MANUEL LUÍS (MA): INDICADORES DA QUALIDADE AMBIENTAL EM RECIFES DE CORAIS

Ambientes recifais são altamente sensíveis a alterações ambientais, sendo as variáveis físico-químicas importantes indicadoras da qualidade da água. Neste estudo, foram analisados e caracterizados parâmetros físico-químicos da água no Parque Estadual Marinho do Parcel Manuel Luís (PEM-PML), a partir de medições *in situ* realizadas em oito pontos amostrais nos dias 17 e 18 de junho de 2025. Os resultados indicaram condições predominantemente marinhas e relativa estabilidade da coluna d'água, com valores homogêneos entre superfície e fundo para salinidade, condutividade, totais de sólidos dissolvidos, densidade e pressão, sugerindo boa mistura vertical e baixa influência continental. A temperatura variou principalmente em função do horário de coleta, o pH manteve-se majoritariamente básico e dentro dos limites legais, enquanto os baixos valores de oxigênio dissolvido e sua saturação, associados à variabilidade do potencial redox, indicaram condições pontuais de hipóxia e heterogeneidade redox. Esses resultados evidenciam a importância do monitoramento contínuo das variáveis físico-químicas para a conservação do ecossistema recifal do PEM-PML.

PALAVRAS CHAVE: Ambientes recifais; Variáveis físico-químicas; Monitoramento ambiental.

Analysis of Physicochemical Water Parameters in the Manuel Luís Reef Marine State Park (Maranhão, Brazil): Indicators of Environmental Quality in Coral Reefs

Reef environments are highly sensitive to environmental changes, and physicochemical variables are important indicators of water quality. In this study, physicochemical parameters of the water were characterized in the Marine State Park of Parcel Manuel Luís (PEM-PML) based on in situ measurements carried out at eight sampling points on June 17 and 18, 2025. The results indicated predominantly marine conditions and relative stability of the water column, with homogeneous values between surface and bottom for salinity, conductivity, total dissolved solids, density, and pressure, suggesting good vertical mixing and low continental influence. Water temperature varied mainly according to sampling time, pH remained predominantly basic and within legal limits, and low dissolved oxygen and oxygen saturation values, associated with redox potential variability, indicated localized hypoxic conditions and redox heterogeneity. These results highlight the importance of continuous monitoring of physicochemical variables for the conservation of the PEM-PML reef ecosystem.

Keywords: Reef environments; Physicochemical variables; Environmental monitoring

1. INTRODUÇÃO

O status atual do PEM-PML revela um ambiente único, exuberante e de grande fragilidade. A associação de espécies de peixes, algas calcárias, corais, esponjas e comunidades bênticas, asseguram um ambiente único e de alta biodiversidade, além de características físicas distintas do ambiente que o circunda (ARAÚJO *et al.*, 2020).

Coura (2016) destaca que, com o avanço do conhecimento científico da região do PEM-PML nos últimos anos, a região obteve reconhecimento internacional em duas convenções, como Sítio Ramsar (Área úmida de Importância Internacional) e área ecológica e biologicamente sensível EBSA pela Convenção de Diversidade Biológica. No entanto, as atividades que exercem pressões e representam possíveis ameaças ou conflitos para o PEM-PML cresceram de forma mais intensa e variada, reforçando a necessidade de promover a gestão integrada com os diferentes segmentos envolvidos associando a Gestão de Unidades de Conservação com o Gerenciamento Costeiro.

Contudo, assim como outros ambientes semelhantes, os recifes de coral do PEM-PML estão suscetíveis a alterações climática e por serem altamente sensíveis a alterações físico-químicas na coluna d'água, esses recifes constituem excelentes

“sentinelas” das mudanças ambientais que provocam o aquecimento global, acidificação da massa d’água e consequente branqueamento de suas estruturas. Quase todos os recifes foram aquecidos acima de seu limite de temperatura máxima e muitos já perderam uma parcela significativa de seus corais (DONNER *et al.*, 2005; (CORDEIRO *et al.*, 2021).

No Brasil, apesar dessas indicações de degradação, não se tem uma visão geral do estado da saúde da maioria dos recifes, nem uma avaliação das principais causas antrópicas ou mesmo naturais que estão gerando a degradação em diferentes áreas recifais. Além disso, há grandes lacunas de conhecimento, principalmente em termos de mapeamentos de recifes submersos e secundariamente emergentes, mapeamentos de comunidades biológicas, dados sobre parâmetros oceanográficos, como variáveis físico-químicas, fluxo de energia e interações biológicas (OLIVEIRA *et al.*, 1999).

Este quadro de ameaças emergentes torna o PEM-PML uma área de interesse crítico de conservação para sistemas de recifes, enfatizando a necessidade de fiscalização contínua e caracterização e análise destas variáveis nesta área marinha protegida (AMP), visto que, a saúde dos recifes está diretamente relacionada à estabilidade dos parâmetros como temperatura, salinidade, pH, turbidez, nutrientes e oxigênio dissolvido (CORDEIRO *et al.*, 2021).

Assim, torna-se imperativo a realização de estudos para compreender melhor os processos de formação e as dinâmicas dos processos físico-químicos e biológicos que assegurem as interações entre os bancos de corais e a zona costeira adjacente, sendo uma abordagem essencial para detectar distúrbios ambientais, avaliar impactos antrópicos e subsidiar ações de conservação. Os ambientes recifais na região Norte do Brasil, ainda são pouco estudados, embora já se reconheça sua importância como recurso natural estratégico e fundamental para a manutenção da biodiversidade aquática da região amazônica e do atlântico tropical.

Neste quadro, o presente estudo teve como objetivo analisar e caracterizar a variação hidrológica dos parâmetros: Profundidade, Temperatura, Salinidade, Eh (mV ORP), pH, saturação de Oxigênio Dissolvido (%), Oxigênio Dissolvido, Condutividade, Condutividade Absoluta, Totais de Sólidos Dissolvidos, Sigma da Água e Pressão da Água coletados *in situ* em 8 pontos amostrais, distribuídos ao longo da área de estudo.

Esta abordagem sistemática possibilitou uma compreensão abrangente das condições oceanográficas na área de estudo, essencial para avaliar os processos ecológicos no ecossistema recifal do PEM-PML.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

O PEM-PML localiza-se no litoral ocidental do Estado do Maranhão, limite norte da Região Nordeste do Brasil, onde se encontram outras formações recifais que constituem áreas marinhas protegidas ($00^{\circ} 46' S$ e $44^{\circ} 15' W$), (Figura 1) distando 179 km do extremo norte da Ilha de São Luís (sendo o local mais próximo à Ilha de Maíau). Apresenta uma superfície de aproximadamente 45.000 hectares, protegendo uma vasta diversidade de espécies e funcionando como um berçário natural para vários táxons marinhos (Coura 1994; AMARAL *et al.*, 2007; MMA, 2008).

Geologicamente, encontra-se localizado na Bacia do Pará-Maranhão. Esta é uma bacia exclusivamente marítima, situando-se na margem equatorial brasileira. Limita-se a sudeste, com a bacia de Barreirinhas e noroeste, com a bacia da Foz do Amazonas. A região é influenciada pela Corrente Sul Equatorial (CSE), Corrente Norte do Brasil (CNB) e Subcorrente Equatorial (SE) (MMA, 2008; AMARAL *et al.*, 2007).

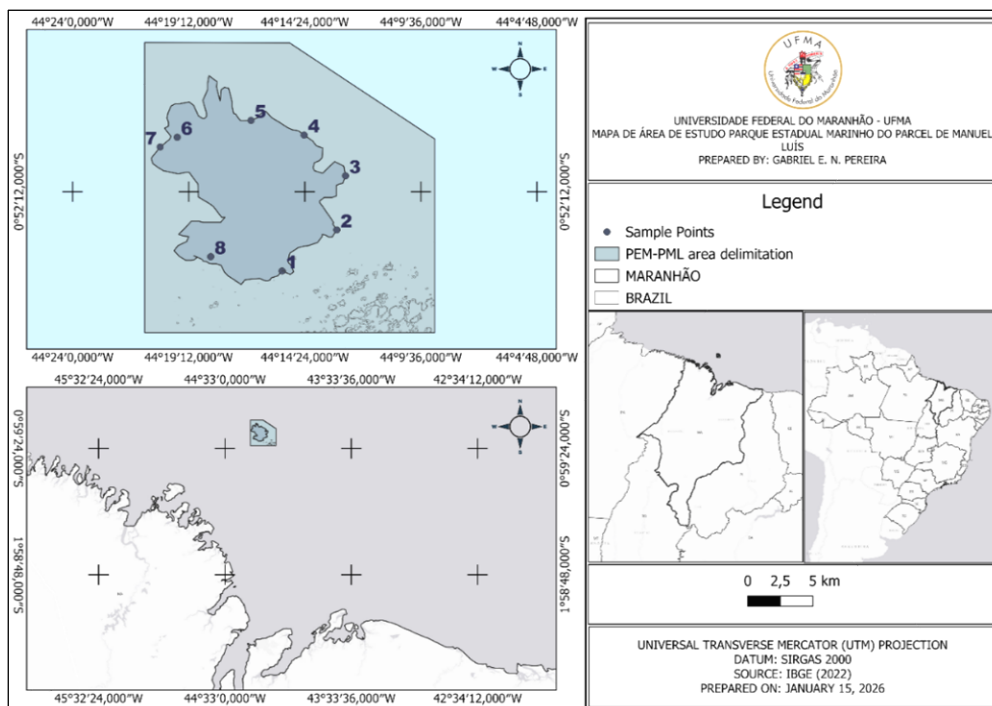


Figura 1 - Mapa da área do Parque Estadual Marinho do Parcel de Manuel Luís.

2.2. Coleta/obtenção dos dados

As coletas foram realizadas no período sazonal de transição, fim do período chuvoso e início da estiagem, nos dias 17 e 18 de Junho de 2025, realizadas em 8 pontos amostrais estratégicos ao longo das delimitações do PEM-PML, considerando diferentes profundidades, com o propósito de identificar indicadores da qualidade ambiental e avaliar possíveis implicações para a conservação dos recifes de corais da região, situados sob as seguintes coordenadas geográficas: **P1** - Lat. 0°55'28.34"S Long. 44°15'20.17"W; **P2** - Lat. 0°53'46.57"S Long. 44°13'4.42"W; **P3** - Lat. 0°51'32.54"S Long. 44°12'42.69"W; **P4** - Lat. 0°49'51.46"S Long. 44°14'25.41"W; **P5** - Lat. 0°49'15.21"S Long. 44°16'37.24"W; **P6** - Lat. 0°49'57.02"S Long. 44°19'40.33"W; **P7** - Lat. 0°52'24.77"S Long. 44°19'57.38"W; e **P8** - Lat. 0°54'53.01"S Long. 44°18'17.27"W (Figura 1).

Para isso, foram utilizados dois tipos de CTD (Conductivity, Temperature, Depth): um sistema Rosette acoplado a um perfilador, que permitiu a coleta de água em diferentes profundidades, e um CTD portátil para medições pontuais. O sistema Rosette foi equipado com garrafas de coleta Niskin de 5L, acionadas em profundidades pré-determinadas com base no perfil obtido em tempo real.



Figura 2 – Navio Oceanográfico Ciências do Mar II (a); Sistema Rosette equipado com CTD e 12 garrafas de coleta Niskin de 5L(b); Aferição dos parâmetros físico-químico (c) utilizando as multiparâmetros da marca HANNA, modelos HI 98494 (d) e HI 9828 (e).

Os parâmetros físico-químicos foram medidos *in situ* e analisados a bordo do navio oceanográfico ciências do mar II (Figura 2a,c), onde foram coletados dados de: salinidade e temperatura registrados por um CTD ligado à unidade de bordo; pH medido utilizando as multiparâmetros da marca HANNA, modelos HI 98494 e HI 9828 (Figura 2d,e), este último especificamente calibrado para medições precisas de oxigênio dissolvido. Antes de cada campanha, todos os equipamentos passaram por calibração seguindo os protocolos dos fabricantes. O CTD Rosette (Figura 2b) realizou perfis contínuos de condutividade, temperatura e profundidade, enquanto as garrafas Niskin foram acionadas em pontos estratégicos para coleta de água destinada a análises complementares em laboratório.

Para garantir a qualidade dos dados, foram adotados procedimentos rigorosos de controle. Cada ponto de coleta foi georreferenciado com GPS de alta precisão, e as medições foram realizadas em triplicata. As amostras de água para análise de parâmetros como pH e Eh foram processadas imediatamente após a coleta para evitar alterações nas propriedades químicas. Os dados de oxigênio dissolvido e saturação foram corrigidos em função da salinidade e pressão atmosférica local.

A coleta em diferentes profundidades permitiu caracterizar a estratificação da coluna d'água e apresentando gradientes verticais nos parâmetros medidos. As garrafas Niskin foram acionadas em duas profundidades por ponto: próximo à superfície e próximo ao fundo.

A profundidade da coluna d'água foi registrada em dois níveis: superfície e fundo, a primeira obtida por meio do lançamento de uma garrafa hidrográfica tipo van Dorn, utilizada para a coleta das amostras em águas superficiais, e a segunda por meio do

disco de Secchi na determinação do seu desaparecimento na coluna d'água, indicando a profundidade da camada fótica local.

2.3. Análise dos dados

Todos os dados coletados nos 8 pontos amostrais foram analisados para obtenção das médias, mediana, valores máximo e mínimo, a fim de descrever a variação total e a tendência de todas as variáveis.

Os dados obtidos foram digitalizados em planilhas do programa Excel, de modo que pudessem ser tabelados e convertidos em gráficos permitindo a observação da distribuição espacial dos parâmetros físico-químicos obtidos na água superficial e de fundo no PEM-PML.

3. RESULTADOS DISCUSSÃO

As características do ambiente foram examinadas por meio da observação. A coloração da água manteve-se predominantemente em tom de azul oceânico, com aspecto claro e presença de espuma. As condições do mar variaram em “agitado com vento” e “calmo com ventos leves”, a situação do tempo também variou em, sol entre nuvens e céu aberto.

Parâmetros	Mínimo		Máximo		Média		Mediana		Desvio-padrão		Variância	
	Superfície	Fundo	Superfície	Fundo	Superfície	Fundo	Superfície	Fundo	Superfície	Fundo	Superfície	Fundo
Profundidade (m)	3,00	14,00	3,00	46,00	3,00	23,94	3,00	21,55	0,00	9,78	18,25	95,69
Transparência da água (m)	12,08		23,72		16,14		15,50		3,73		13,89	
Temperatura da Água (°C)	27,83	27,68	28,61	28,34	28,09625	27,9475	28,61	27,68	0,2865528	0,2144595	0,082112	0,045993
Salinidade (g kg ⁻¹)	33,35	33,38	36,2	35,95	34,86	34,6975	36,2	33,38	1,3402025	1,1994374	1,796143	1,43865
Condutividade (mS cm ⁻¹)	50,85	50,92	61,97	54,4	54,29375	52,7425	61,97	50,92	3,5504645	1,6084487	12,6058	2,587107
Condutividade Absoluta (mS cm ⁻¹)	54,3	53,55	57,88	57,49	56,10125	55,5675	57,88	53,55	1,7560462	1,6039215	3,083698	2,572564
Totais de Sólidos Dissolvidos (mg L ⁻¹)	25,47	25,49	27,4	27,28	26,49875	26,3875	27,4	25,49	0,9065072	5,8386588	0,821755	24,19152
Eh (mV ORP)	-63,4	-8	36,8	39,7	-4,25	9,8875	36,8	-8	30,826936	18,209059	950,3	331,5698
pH	7,94	6,13	8,18	8,17	8,07375	7,8775	8,18	6,13	0,0850105	0,7066369	0,007227	0,499336
Saturação de Oxigênio Dissolvido (%)	50,4	46,6	63,9	61,9	55,95	36,2630952	63,9	46,6	4,2918527	11,226546	18,42	126,0353
Oxigênio Dissolvido (mg L ⁻¹)	3,17	3,13	4,24	3,89	3,53875	3,46375	4,24	3,13	0,3559469	0,2486499	0,126698	0,061827
Densidade da Água (σ _t)	20,9	21,2	23,3	23,2	22,2625	22,2	23,3	21,2	1,070297	0,9196273	1,145536	0,845714
Pressão da Água (mmHg)	763,4	763,4	765,3	765,5	764,275	764,2625	765,3	763,4	0,618177	0,6802048	0,382143	0,462679

Tabela 1 - Resultado das da análise de amplitude, Média, Mediana, Desvio-padrão, Variância das variáveis físico-químicas da água superficial e de fundo coletadas no PEM-PML.

3.1. Profundidade da Coleta (m) e Transparência (m)

A transparência foi calculada à medida que o disco de Secchi foi desaparecendo. A transparência da água foi determinada a partir do coeficiente de extinção da luz apresentado por Poole e Atkins (1929), segundo as equações a seguir:

$$K (m) = \frac{1,7}{D}$$

Transparência m= Zeu =4,6K

Sendo:

K = o coeficiente de extinção da luz;

D = a profundidade de desaparecimento do disco de Secchi (m);

Zeu = a profundidade da camada de até 1% da luz incidente, que corresponde ao valor da transparência da água (m).

A profundidade média das coletas foi de 3 m na superfície, sem variações entre os pontos amostrados, e de 23,94 m no fundo (variando de 46 a 14 m) durante o período de coleta (Figura 2). A transparência da água, que comumente apresenta valores proporcionais à profundidade do local de coleta, apresentou valor médio de 16,14 m, com amplitude variando de 12,08 a 23,72 m (Figura 3).

Os resultados mostraram um padrão de semelhança entre os valores de profundidade e transparência, sendo estes diretamente proporcionais. Esse padrão está relacionado ao fato de que, em áreas mais rasas, há maior quantidade de material particulado em suspensão na água, devido à ressuspensão de partículas do fundo, além da presença de plâncton (zooplâncton e fitoplâncton), que geralmente se concentra na coluna d'água em regiões menos profundas, dificultando a visualização do disco de Secchi. Cabe ressaltar que a luminosidade é um dos principais fatores que influenciam a transparência da água, uma vez que está diretamente relacionada à incidência solar.

Os valores de profundidade apresentaram uma redução acentuada, variando de 46 m no ponto 1 para 17 m no ponto 2. Associada a essa diminuição da profundidade, observou-se também a redução da transparência, que variou de 23,72 m no ponto 1 para 15 m no ponto 2. Do ponto 3 ao ponto 4, a profundidade apresentou uma leve

diminuição; entretanto, a transparência apresentou uma variação mais expressiva, reduzindo de 19 m no ponto 3 para 12,08 m no ponto 4, principalmente em função da diminuição da incidência luminosa ao longo do horário de coleta.

Nos pontos 5, 6, 7 e 8, observou-se um gradiente crescente tanto da profundidade quanto da transparência, sendo esta influenciada diretamente pela profundidade, que apresentou comportamento crescente, e pela incidência luminosa, uma vez que a coleta nesses pontos ocorreu entre 07:31 e 17:20 do dia 18/06/2025.

De modo geral, pode-se concluir que se trata de um ambiente recifal estável e relativamente raso. A transparência da água nesses ambientes, que em sua maioria apresentam águas claras, mostra-se mais influenciada pela profundidade do que pela incidência luminosa.

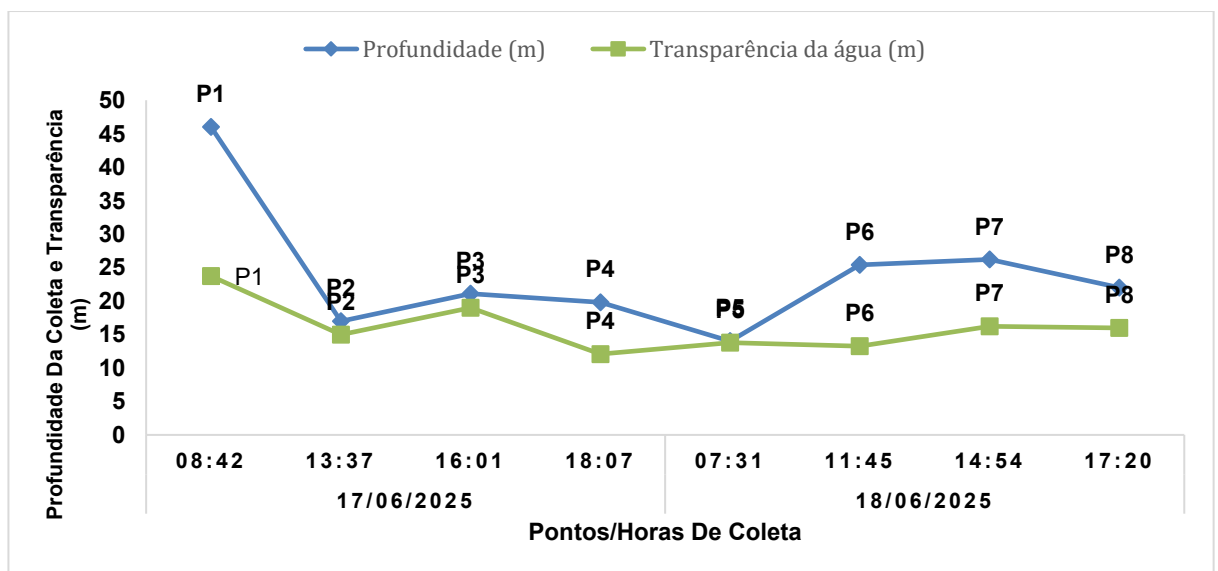


Figura 3 Variação da profundidade de coleta e Transparência da água.

3.2. Temperatura da Água (°C)

A temperatura é um dos fatores mais críticos para recifes, pois os corais tropicais vivem próximos ao seu limite térmico superior. Pequenos aumentos podem levar ao estresse e ao branqueamento, enquanto quedas abruptas podem afetar processos metabólicos. Monitoramentos de longo prazo permitem identificar anomalias térmicas, ondas de calor e eventos relacionados ao El Niño.

As águas superficiais são quentes em quase toda a costa brasileira, sendo as águas costeiras do sul aquecidas por aportes oriundos do Norte. Da Guiana a 20° de latitude Sul, temperaturas superficiais maiores ou iguais a 25 °C são encontradas com baixa variação anual, da ordem de 2 a 6 °C. A diminuição da temperatura em função da profundidade (nas primeiras centenas de metros) é lenta e constante no Norte e Nordeste, rápida e abrupta no Sul (Laborel-Deguen *et al.*, 2019).

Este parâmetro se caracteriza-se por ser de extrema importância para o meio, pois influencia diretamente processos biológicos, como a taxa de desenvolvimento dos organismos. Além de manter relação com outras propriedades físicas e químicas da água. Tal parâmetro influencia diretamente processos fisiológicos dos organismos que habitam as massas de água (LABOHIDRO, 1983).

Os valores da temperatura da água superficial apresentaram um gradiente crescente, variando de 27,83 °C no ponto 1 para 28,61 °C no ponto 4. Esse aumento ocorreu devido à incidência da radiação solar em função do horário, uma vez que as coletas foram realizadas entre 08:42 e 18:07. Os valores da temperatura da água de fundo também apresentaram um gradiente crescente, variando de 27,68 °C no ponto 1 para 28,34 °C no ponto 3, igualmente em função da incidência de radiação solar ao longo do dia. No entanto, observou-se uma queda para 24,14 °C no ponto 4, diminuição que se justifica pelo fato de esse ponto ter sido coletado às 18:07, horário de baixa incidência de radiação solar, além de que águas mais frias são mais densas e tendem a permanecer no fundo (Figura 4).

Os valores da temperatura da água superficial nos pontos 5, 6, 7 e 8 apresentaram uma variação atípica, com aumento de 27,92 °C no ponto 5 para 28,06 °C no ponto 6, seguido de diminuição para 27,95 °C no ponto 7 e leve redução para 27,93 °C no ponto 8. Já os valores da temperatura da água de fundo apresentaram uma variação mais gradual nos mesmos pontos, com aumento de 27,75 °C no ponto 5 para 27,98 °C no ponto 6, seguido de leve diminuição para 27,84 °C no ponto 7 e 27,81 °C no ponto 8.

Nota-se que a temperatura desse ambiente recifal está diretamente relacionada ao horário de coleta, em função da incidência de radiação solar, característica comum em ambientes relativamente rasos. Além disso, a transparência da água nesses ambientes, que em sua maioria apresentam águas claras, é mais influenciada pela

profundidade do que pela incidência direta da radiação solar, que aquece inicialmente a camada superficial e transfere calor para as camadas inferiores. A água de fundo mostra-se mais fria em relação à água superficial, uma vez que, além da radiação solar aquecer predominantemente as camadas superiores, águas mais frias são mais densas e tendem a permanecer no fundo.

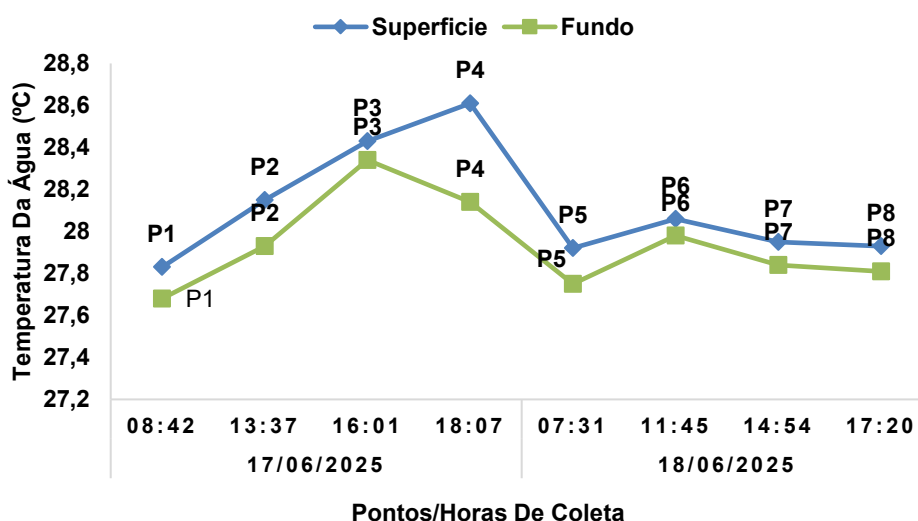


Figura 4 - Variação espacial da Temperatura da água (°C).

3.3. Salinidade (g kg⁻¹)

A salinidade influencia a osmorregulação dos organismos recifais. Corais prosperam em valores relativamente estáveis de (33–36 g kg⁻¹). A região da bacia Para Maranhão situa-se próximo uma zona de dessalinização litorânea, correspondentes às influências do Amazonas (LABOREL-DEGUEN *et al.*, 2019), contudo devido a sua distância, a salinidade na região do PEM-PML não foi diretamente afetada por esse aporte.

A salinidade média foi de 34,86 g kg⁻¹ na superfície (variando de 36,20 a 33,35 g kg⁻¹) e de 34,70 g kg⁻¹ no fundo (variando de 35,95 a 33,83 g kg⁻¹) durante o período de coleta (Figura 5).

Os valores da salinidade da água superficial apresentaram um leve aumento de 33,87 g kg⁻¹ no ponto 1 para 33,90 g kg⁻¹ no ponto 2, seguido de diminuição para 33,84 g kg⁻¹ no ponto 3 e 33,52 g kg⁻¹ no ponto 4. Já a salinidade da água de fundo apresentou um gradiente crescente, variando de 33,55 g kg⁻¹ no ponto 1 para 33,76

g kg⁻¹ nos pontos 2 e 3, e um aumento para 33,97 g kg⁻¹ no ponto 4, tornando-se mais salina do que a água superficial nesse mesmo ponto.

A salinidade da água superficial e de fundo nos pontos 5, 6, 7 e 8 apresentou valores mais elevados em comparação aos pontos coletados no dia anterior. Observou-se uma diminuição da salinidade da água superficial de 36,37 g kg⁻¹ no ponto 5 para 36,28 g kg⁻¹ no ponto 6, seguida de um leve aumento para 36,32 g kg⁻¹ no ponto 7 e nova diminuição para 36,14 g kg⁻¹ no ponto 8. A salinidade da água de fundo apresentou comportamento semelhante ao da superfície, com aumento de 36,10 g kg⁻¹ no ponto 5 para 36,12 g kg⁻¹ no ponto 6, seguido de 36,06 g kg⁻¹ no ponto 7 e diminuição para 35,62 g kg⁻¹ no ponto 8.

Essas variações observadas encontram-se dentro do esperado para ambientes recifais, ocorrendo principalmente em função do tempo e indicando possível influência de escoamento superficial, associado sobretudo à dinâmica das marés e a mudanças sazonais de transição. Observou-se um gradiente crescente de salinidade entre os pontos 1 e 4 no dia 17/06/2025 e entre os pontos 5 e 8 no dia 18/06/2025, evidenciando que o horário de coleta não está diretamente relacionado à salinidade em ambientes recifais mais afastados da costa.

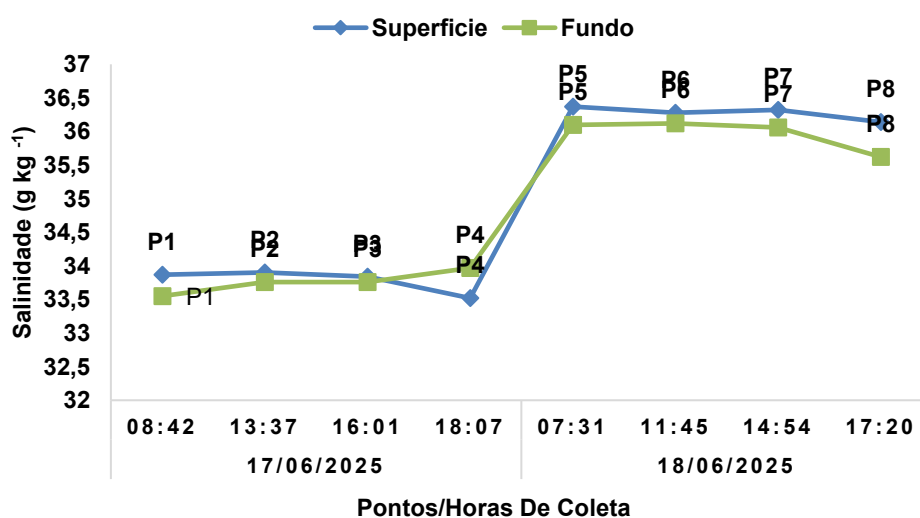


Figura 5 - Variação da Salinidade (g kg⁻¹).

3.4. Oxigênio Dissolvido (mg L⁻¹) e Saturação Oxigênio Dissolvido (%)

A metodologia usada para determinação de oxigênio dissolvido foi realizada baseando-se no método Iodométrico de Winkler (1888), com o uso da água das garrafas de Niskin acopladas na Rosette para obtenção de dados de superfície e fundo.

A saturação de oxigênio calculada a partir do OD e das condições físico-químicas da água de acordo com a tabela de Aminot e Chaussepied (1983) por meio da equação:

$$\text{Saturação (\%)} = \left(\frac{OD_{medido}}{OD_{satura\ c\ a\ o}} \right) \times 100$$

Onde:

OD_{medido} = oxigênio dissolvido medido (mg L⁻¹)

$OD_{satura\ c\ a\ o}$ = oxigênio máximo que a água pode dissolver nas condições de:

Temperatura e Salinidade.

As concentrações médias de oxigênio dissolvido (OD) observadas durante o período de coleta foram baixas tanto na água superficial (3,40 mg L⁻¹) quanto na água de fundo (3,46 mg L⁻¹), com variações relativamente estreitas entre os pontos amostrais. Esses valores indicam condições de hipóxia ambiental, especialmente quando comparados aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, que define concentração mínima de 5 mg L⁻¹ para a preservação da vida aquática. A ocorrência generalizada de valores inferiores a esse limite evidencia um cenário crítico para organismos aquáticos.

A baixa variabilidade espacial do OD na água superficial ($S^2 = 0,13$) e no fundo ($S^2 = 0,06$) sugere que as condições hipóxicas observadas não são pontuais, mas sim generalizadas em toda a área estudada, afetando de forma relativamente homogênea os diferentes pontos amostrais. Mesmo com a coleta realizada em dias distintos entre os grupos de pontos, os valores de OD mantiveram-se semelhantes, indicando estabilidade temporal das condições de baixa oxigenação durante o período amostral.

O padrão espacial do OD na superfície evidencia oscilações discretas entre os pontos, com redução inicial entre os pontos 1 e 3, seguida por um aumento no ponto 4 e novas reduções nos pontos 5 e 6, culminando em elevações nos pontos 7 e 8 (Figura 6). Esse comportamento sugere a influência de processos locais, como variações na circulação da água, atividade fotossintética pontual ou diferenças na carga de matéria orgânica, embora sem alterações suficientemente intensas para modificar o estado geral de hipóxia do sistema.

Na água de fundo, os valores de OD apresentaram comportamento semelhante ao da superfície, com leve gradiente crescente ao longo dos horários de coleta, reforçando a hipótese de mistura da coluna d'água e ausência de estratificação vertical acentuada. No entanto, a manutenção de valores baixos também no fundo indica que o consumo de oxigênio está ocorrendo em toda a coluna d'água, possivelmente associado à respiração bentônica, decomposição de matéria orgânica e limitada renovação da massa d'água.

A análise da saturação de oxigênio dissolvido (OD %) corroborou os padrões observados para as concentrações em mg L^{-1} , apresentando médias igualmente baixas, especialmente na água de fundo (36,26 %) (Figura 7). Esses valores refletem um desequilíbrio entre produção e consumo de oxigênio, onde a demanda biológica e química supera a capacidade de reposição do sistema. A maior variabilidade observada nos valores de OD % em relação ao OD (mg L^{-1}) indica maior sensibilidade da saturação às variações de temperatura, salinidade e pressão, comuns em ambientes marinhos rasos.

O gradiente crescente do OD e da saturação de oxigênio em função dos horários de coleta sugere influência da fotossíntese diurna, com aumento da produção de oxigênio ao longo do dia. Entretanto, a persistência de valores baixos, mesmo nos períodos de maior produção fotossintética, reforça o caráter crônico da limitação de oxigênio no ambiente estudado. A exceção observada no ponto 8 pode estar relacionada a fatores locais, como maior profundidade, menor incidência luminosa ou características hidrodinâmicas específicas.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, concentrações de OD inferiores a 4 mg L^{-1} são indicativas de estresse fisiológico para os organismos aquáticos, enquanto valores inferiores a 2 mg L^{-1} representam condições

potencialmente letais. Embora os valores observados não tenham atingido níveis críticos de mortalidade iminente, eles se encontram consistentemente dentro da faixa de estresse, evidenciando um quadro ambiental preocupante para a região recifal do Parcel de Manuel Luís.

De forma geral, os resultados indicam que o PEM-PML apresenta condições persistentes de baixa oxigenação, incompatíveis com recifes coralíneos bem preservados. Esse cenário pode estar associado à combinação de baixa hidrodinâmica local, aporte de matéria orgânica, elevada respiração biológica e possível influência continental.

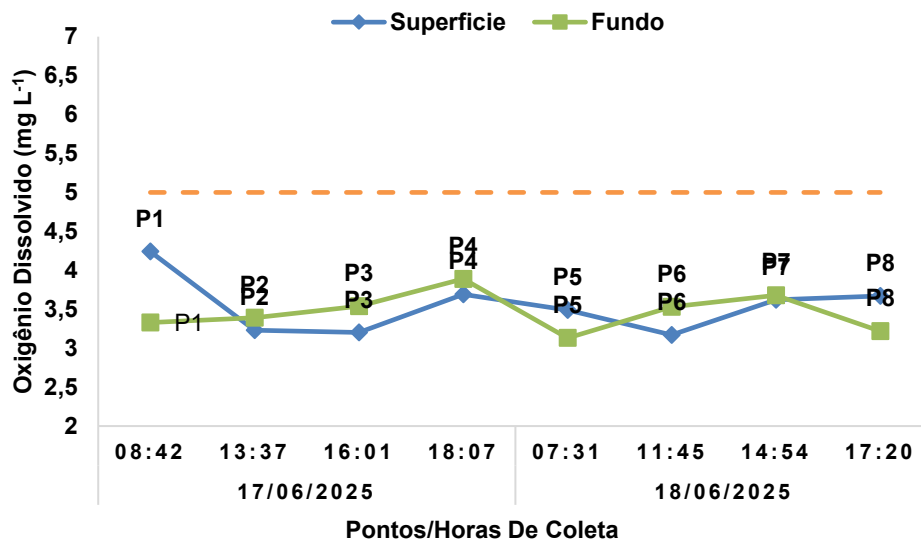


Figura 6 - Variação espacial do Oxigênio Dissolvido (mg L⁻¹).

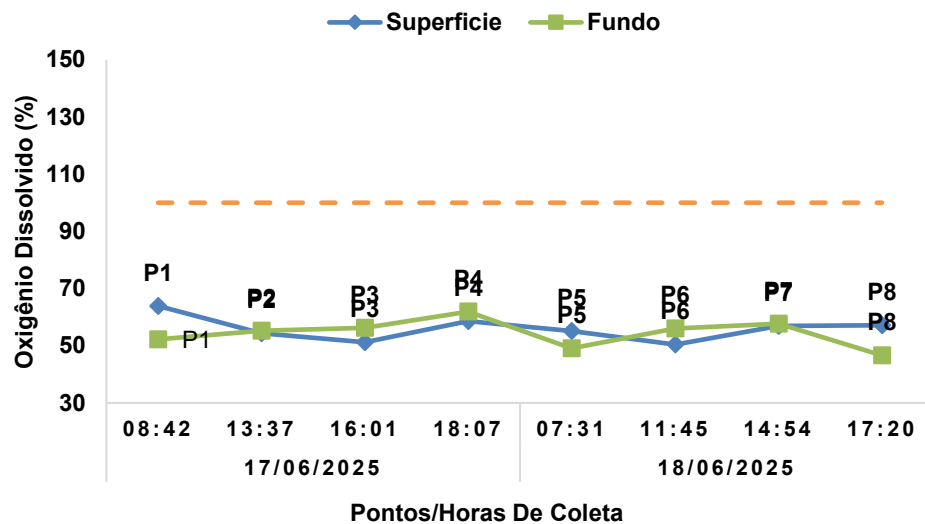


Figura 7 - Variação espacial da Saturação de Oxigênio Dissolvido (%).

3.5. Eh (mV ORP)

O potencial de oxirredução (Eh) é um parâmetro físico-químico que indica a capacidade de um ambiente aquático em promover reações de oxidação ou redução, refletindo diretamente as condições químicas e biogeoquímicas da água.

Expresso em milivolts (mV), o Eh fornece informações sobre a disponibilidade de elétrons no meio e, conseqüentemente, sobre o estado redox do sistema, sendo influenciado por fatores como concentração de oxigênio dissolvido, atividade microbiana, matéria orgânica, pH e dinâmica hidrodinâmica.

Os valores médios de EH (mV ORP) observados durante o período de coleta indicam condições redox pouco oxidantes, com média de $-4,25$ mV ORP na água superficial e $9,89$ mV ORP na água de fundo. Esses valores são significativamente inferiores aos normalmente esperados para ambientes recifais bem conservados, os quais tendem a apresentar potenciais redox positivos e elevados, associados à elevada oxigenação e intensa hidrodinâmica. A ampla variação dos valores, especialmente na camada superficial ($36,80$ a $-63,40$ mV ORP), evidencia elevada heterogeneidade espacial nas condições ambientais da área estudada (Figura 8).

A elevada variância observada na água superficial ($S^2 = 950,30$) reforça a presença de fortes gradientes redox entre os pontos amostrais, sugerindo influência de fatores locais que afetam diretamente a disponibilidade de oxigênio e a dinâmica

biogeoquímica da água. A queda acentuada do Eh entre os pontos 1 e 2, passando de 10,90 mV ORP para -63,40 mV ORP, caracteriza uma mudança abrupta das condições redox, indicando a transição de um meio próximo ao equilíbrio oxidante para um ambiente claramente redutor. Tal comportamento é ambientalmente relevante e pode estar associado ao aumento local de matéria orgânica, maior atividade respiratória microbiana ou menor renovação da massa d'água, resultando em maior consumo de oxigênio dissolvido.

Após esse ponto, o gradiente crescente observado entre os pontos 3 e 5, com valores variando de -32,50 a 4,60 mV ORP, sugere uma recuperação parcial das condições oxidantes, possivelmente relacionada a maior circulação hidrodinâmica ou menor influência de fontes redutoras. A nova diminuição registrada no ponto 6 (-6,10 mV ORP), seguida de aumentos expressivos nos pontos 7 (13,60 mV ORP) e 8 (36,80 mV ORP), indica novamente a presença de processos locais modulando o estado redox, reforçando a natureza dinâmica e espacialmente variável do sistema.

Na água de fundo, os valores de Eh também apresentaram variação considerável entre os pontos, porém com menor amplitude ($S^2 = 331,57$) quando comparados à superfície, indicando maior estabilidade redox no fundo. As oscilações observadas, com valores próximos de zero e levemente positivos ou negativos, sugerem condições próximas ao equilíbrio redox, sem evidências de anoxia severa. O gradiente crescente observado nas amostras coletadas no dia seguinte, especialmente entre os pontos 5 e 8 (-5,50 a 39,70 mV ORP), pode refletir alterações temporais na hidrodinâmica, mistura da coluna d'água ou mudanças nas condições ambientais entre os dias de coleta.

A relação observada entre valores reduzidos de Eh e baixos teores de oxigênio dissolvido sugere que o oxigênio disponível na coluna d'água está sendo rapidamente consumido por processos metabólicos e biogeoquímicos, como a respiração, oxidação da matéria orgânica e morte das microalgas nos horários de alta incidência solar. Esse consumo contínuo impede a elevação do potencial redox, mantendo o sistema em um equilíbrio próximo a condições redutoras, especialmente em microambientes associados ao substrato recifal.

De forma geral, os resultados indicam que a área estudada apresenta condições redox heterogêneas, com episódios localizados de ambiente redutor, sobretudo na

camada superficial, o que não é típico de recifes oceânicos bem preservados. Contudo, a ausência de valores fortemente negativos e a manutenção de Eh próximo a zero ou levemente positivo no fundo indicam que o sistema não se encontra em estado de degradação redox severa, mas sim sob condições ambientais intermediárias, que merecem atenção e monitoramento contínuo.

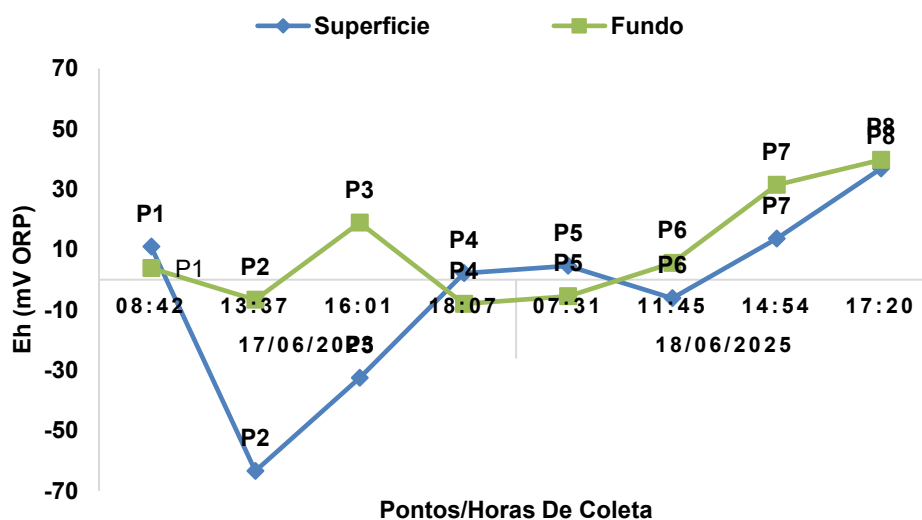


Figura 8 - Variação espacial do Eh (mV ORP).

3.6. pH

O potencial hidrogeniônico (pH) indica a quantidade de íons de hidrogênio livres na água, o qual é um indicador de acidez ou basicidade, apresenta uma escala que varia de 0 a 14, sendo abaixo de 7 ácido, igual a 7 neutro e acima de 7 básico. Valores de pH são influenciados pela taxa de fotossíntese e pelos ciclos de maré.

O valor médio do pH foi de 8,07 na superfície (variando de 8,18 a 7,94) e de 7,88 no fundo (variando de 8,17 a 6,13) durante o período de coleta (Figura 9).

Os valores de pH da água superficial apresentaram-se estáveis em todos os pontos e horários nos dois dias de coleta, com apenas leves variações. A variância dos valores de pH na superfície, considerando os pontos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8, foi de 0,01 (S^2).

Já o pH da água de fundo apresentou uma diminuição acentuada, variando de 8,17 no ponto 1 para 6,13 no ponto 2. Concentrações abaixo de 7 são consideradas ácidas e estão fora do intervalo permitido pela Resolução CONAMA nº 357/2005, que

estabelece valores entre 6,5 e 8,0 para águas salinas. Esse valor reduzido de pH é prejudicial aos recifes de corais, uma vez que esses organismos são vulneráveis à acidificação dos oceanos, especialmente por apresentarem estruturas calcárias formadas predominantemente por carbonato de cálcio (COTOVICZ *et al.*, 2020).

Nos pontos 3, 4, 5, 6, 7 e 8, os valores de pH da água de fundo apresentaram variações leves, mantendo-se semelhantes aos valores observados na água superficial.

A distribuição do pH ao longo dos pontos amostrais demonstrou valores predominantemente básicos, com apenas um ponto (P2) fora do limite aceitável. Esse valor reduzido de pH na água de fundo pode estar relacionado as condições redutoras e baixos valores de oxigênio dissolvido presentes na região estudada, que influenciam na redução do pH. De modo geral, os demais pontos apresentaram valores estáveis entre as profundidades, estando dentro dos padrões estabelecidos para águas salinas pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

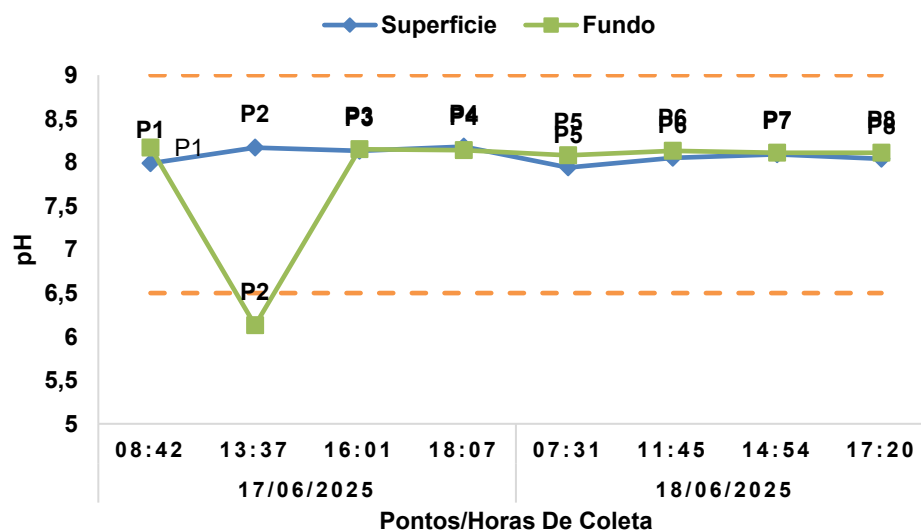


Figura 9 - Variação espacial do pH.

3.7. Condutividade (mS cm^{-1}) e Condutividade Absoluta (mS cm^{-1})

A condutividade é um parâmetro físico usado para a determinação da presença de íons nas águas, refletindo na capacidade de uma substância aquosa de conduzir corrente elétrica na presença de íons, estando relacionada proporcionalmente a

quantidade de substâncias ionizadas dissolvidas e a temperatura do meio (NOGUEIRA; COSTA; PEREIRA, 2015).

Os valores médios de condutividade elétrica observados durante o período de coleta indicam características típicas de ambiente marinho, com médias elevadas tanto na água superficial ($54,29 \text{ mS cm}^{-1}$) quanto na água de fundo ($52,74 \text{ mS cm}^{-1}$). As variações relativamente estreitas entre os pontos amostrais e entre as camadas da coluna d'água evidenciam homogeneidade iônica do sistema.

A condutividade elétrica (mS cm^{-1}) representa a capacidade da água de conduzir corrente elétrica, a qual depende diretamente da concentração de íons dissolvidos, como cloretos, sulfatos, sódio, magnésio e cálcio. Dessa forma, a condutividade funciona como um indicador indireto da salinidade e da composição iônica da água do mar. A pequena variação observada na água superficial, mesmo com coletas realizadas em dias distintos, indica que o sistema apresentou estabilidade temporal, reforçando a dominância de massas d'água oceânicas bem misturadas.

O aumento pontual da condutividade no ponto 2 ($61,97 \text{ mS cm}^{-1}$) seguido por redução no ponto 3 pode estar associado a variações hidrodinâmicas locais, como maior evaporação, circulação diferenciada ou influência de correntes marinhas, sem caracterizar alterações estruturais na qualidade da água. A estabilidade observada entre os pontos 4 e 8 reforça a uniformidade espacial do campo iônico, comum em ambientes recifais com boa conectividade oceânica (Figura 10).

Na água de fundo, os valores de condutividade apresentaram comportamento semelhante ao da superfície, porém com menor variabilidade ($S^2 = 2,59$), indicando maior estabilidade química nessa camada. Esse padrão sugere ausência de estratificação salina significativa e reforça a hipótese de mistura eficiente da coluna d'água, mesmo em ambiente recifal.

A condutividade absoluta (mS cm^{-1}), por sua vez, representa a condutividade corrigida ou padronizada, geralmente relacionada às condições reais da água, sem interferência direta das variações instantâneas de temperatura durante a medição. Por esse motivo, seus valores são ligeiramente superiores aos da condutividade elétrica convencional e apresentam menor sensibilidade a oscilações momentâneas, permitindo comparações mais precisas entre pontos e períodos distintos.

Os valores médios de condutividade absoluta foram elevados e homogêneos, com $56,10 \text{ mS cm}^{-1}$ na superfície e $55,57 \text{ mS cm}^{-1}$ no fundo, confirmando a dominância marinha do sistema e a elevada concentração de sais dissolvidos. As pequenas oscilações observadas entre os pontos refletem variações naturais do ambiente, relacionadas principalmente à salinidade e à temperatura, sem indicar perturbações antrópicas diretas (Figura 11).

Assim como observado para a salinidade, tanto a condutividade quanto a condutividade absoluta apresentaram gradiente crescente em função do horário de coleta, o que pode ser explicado pela elevação da temperatura da água ao longo do dia, intensificação da evaporação e conseqüente aumento da concentração de sais dissolvidos. Esse comportamento reforça a relação direta entre esses parâmetros físico-químicos e evidencia a coerência interna dos dados obtidos.

De forma geral, os resultados indicam que a área recifal do PEM-PML apresenta condições iônicas estáveis e tipicamente marinhas, sem sinais de diluição por água doce ou alterações significativas na composição salina durante o período de coleta. A homogeneidade entre superfície e fundo sugere boa circulação e mistura vertical da água. Assim, diferentemente dos parâmetros de oxigênio dissolvido e potencial redox, a condutividade não indica estresse ambiental direto, funcionando como um parâmetro de suporte, essencial para a interpretação integrada da dinâmica físico-química do ambiente recifal PEM-PML.

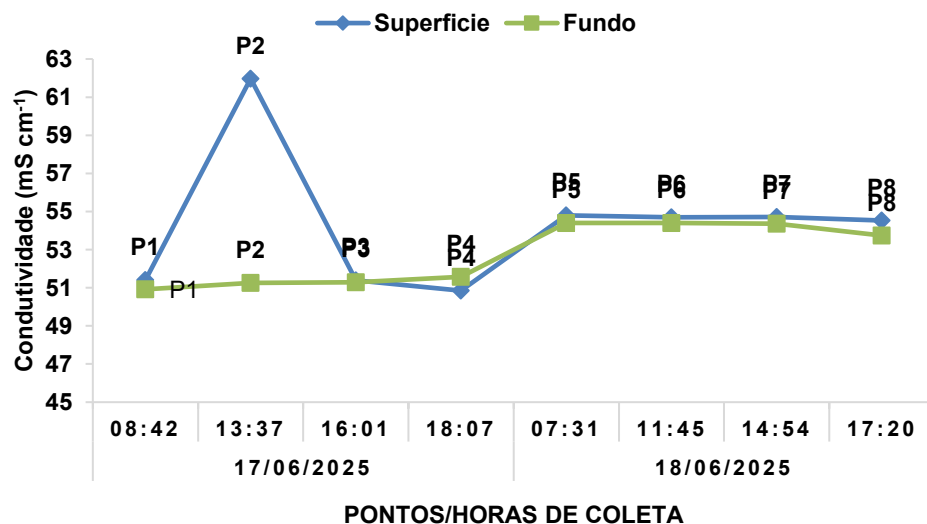


Figura 10 - Variação espacial da Condutividade (mS cm^{-1}).

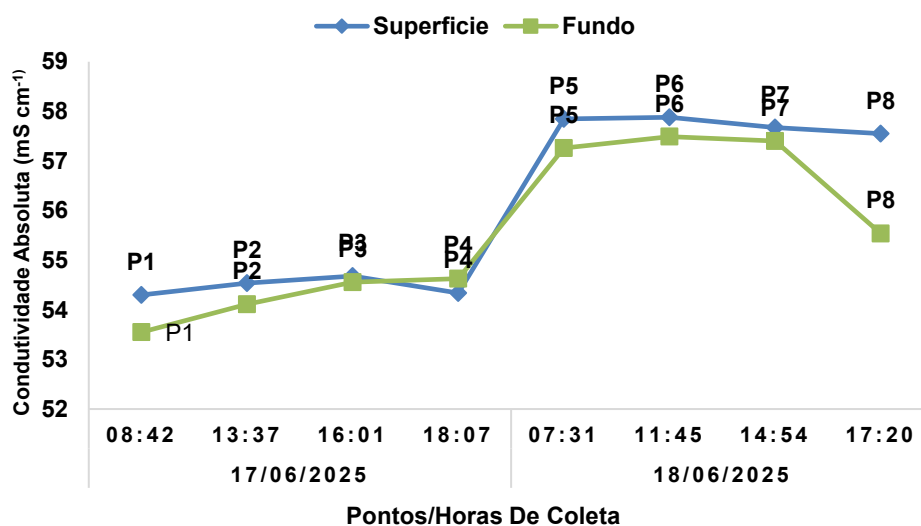


Figura 11 - Variação espacial da Condutividade Absoluta (mS cm⁻¹).

3.8. Totais de Sólidos Dissolvidos (g kg⁻¹)

Segundo Nogueira, Costa e Pereira (2015), os sólidos presentes nas águas são todas as matérias que permanecem como resíduos mesmo após a ação de processos como a evaporação, filtração e secagem da amostra. No caso dos sólidos dissolvidos, sua constituição em diâmetro é inferior a 10⁻³. TDS contempla um conjunto de todas as substâncias orgânicas e inorgânicas sob a forma molecular e ionizada presente num corpo líquido.

É um parâmetro de fundamental importância para atestar a qualidade da água, altas concentrações de TDS alteram o cheiro, cor e sabor da água. Esse parâmetro é importante, pois influencia na salinidade e condutividade da água.

Para a determinação de sólidos totais dissolvidos *in situ* da água foram utilizados multiparâmetros da marca HANNA, modelos HI 98494 e HI 9828 com o uso das garrafas de Niskin acopladas na Rosette para obtenção de dados de superfície e fundo.

A média dos Totais de Sólidos Dissolvidos (TSD) na água durante o período de coleta foi de 26,50 g kg⁻¹ na superfície (variando de 27,40 a 25,47 g kg⁻¹) e de 26,39 g kg⁻¹ no fundo (variando de 27,28 a 25,49 g kg⁻¹) (Figura 12). Esses valores indicam características típicas de ambiente marinho, refletindo a elevada concentração de sais dissolvidos na água do mar, principalmente íons como cloretos, sódio, magnésio, cálcio e sulfatos.

Os valores de TSD na água superficial apresentaram baixa variabilidade espacial, com leves oscilações entre os pontos amostrais. No primeiro dia de coleta, observou-se um pequeno aumento entre os pontos 1 e 2, seguido de reduções progressivas até o ponto 4. No segundo dia, os valores iniciais foram mais elevados, com diminuição gradual do ponto 5 ao ponto 6, leve aumento no ponto 7 e nova redução no ponto 8. Esse comportamento indica que, apesar das variações entre os dias de coleta, o sistema manteve estabilidade quanto à concentração de TSD, sem alterações abruptas (Figura 12).

Na água de fundo, os TSD apresentaram padrão semelhante ao observado na superfície, com variações discretas e valores próximos entre os pontos, reforçando a homogeneidade da coluna d'água. A semelhança entre os valores de superfície e fundo sugere ausência de estratificação significativa quanto à concentração de sólidos dissolvidos, indicando boa mistura vertical e domínio de massas d'água marinhas.

Assim como observado para a salinidade, a condutividade absoluta, densidade da água e os TSD apresentaram padrões espaciais e temporais semelhantes, com gradiente crescente associado aos horários de coleta. Esse comportamento ocorre porque os TSD representam diretamente a quantidade total de sais dissolvidos na água, sendo, portanto, um parâmetro intimamente relacionado à salinidade e à capacidade da água de conduzir corrente elétrica. À medida que a concentração de sais aumenta, elevam-se simultaneamente a salinidade, a condutividade e os valores de TSD.

Os valores dos TSD constituem um parâmetro de grande importância ambiental, pois refletem as condições físico-químicas que regulam a ambientação da água marinha, influenciando diretamente propriedades como densidade (σ_t), salinidade e condutividade. Em ambientes recifais, valores estáveis de TSD indicam condições iônicas equilibradas, essenciais para a manutenção dos processos biogeoquímicos e para a sobrevivência de organismos marinhos sensíveis às variações na concentração de sais dissolvidos.

De forma geral, os resultados indicam que os valores de TSD no Parcel de Manuel Luís apresentaram comportamento coerente com os demais parâmetros físico-químicos, reforçando a caracterização da área como um ambiente marinho

estável do ponto de vista iônico, sem evidências de diluição por água doce ou alterações significativas na composição salina durante o período amostral.

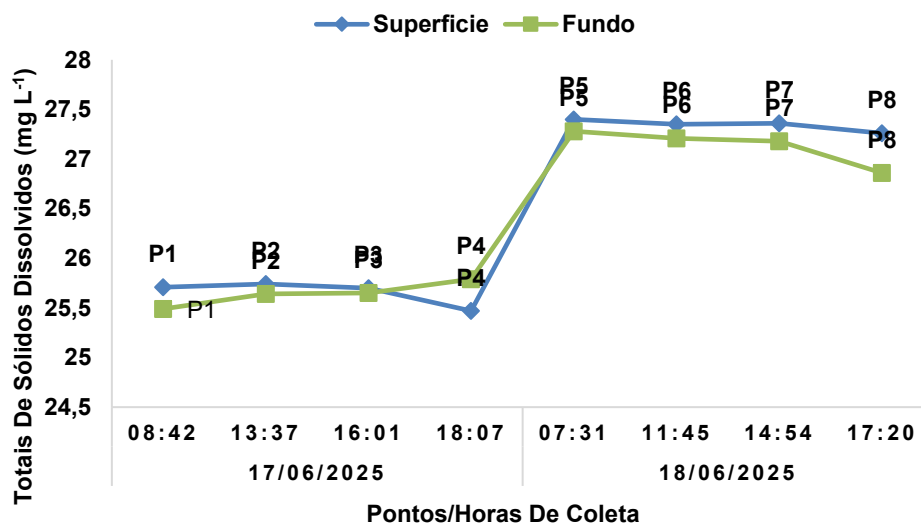


Figura 12 - Variação espacial dos Totais de Sólidos Dissolvidos (mg L⁻¹).

3.9. Densidade da Água (σ_t)

A densidade da água determina o grau mínimo de misturas em ambiente de diferentes águas. A densidade refere-se à atração de moléculas por outras moléculas do mesmo tipo e as moléculas de água possuem forças de coesão fortes graças a sua capacidade de formarem ligações de hidrogênio entre si. As forças coesivas são responsáveis pela tensão superficial, um fenômeno que resulta na tendência da superfície de um líquido de resistir à ruptura quando colocado sob tensão ou estresse.

A média da densidade da Água (σ_t) durante o período de coleta foi de 22,26 σ_t na água superficial, com variação entre 23,30 e 20,90 σ_t , e de 22,20 σ_t na água de fundo, variando de 23,20 a 21,20 σ_t (Figura 13). Esses valores indicam características típicas de águas marinhas, refletindo a influência conjunta da salinidade, temperatura e pressão sobre a densidade da coluna d'água.

Na água superficial, observou-se um comportamento de diminuição progressiva da densidade no primeiro dia de coleta, com valores decrescentes de 21,50 σ_t no ponto 1, para 21,40 σ_t no ponto 2, 21,30 σ_t no ponto 3, atingindo o menor valor no ponto 4 (20,90 σ_t). No segundo dia de coleta, os valores iniciais foram mais elevados, com 23,30 σ_t no ponto 5, diminuindo para 23,20 σ_t no ponto 6, apresentando novo

aumento para 23,30 σ_t no ponto 7, e reduzindo novamente para 23,20 σ_t no ponto 8. Esse padrão evidencia variações temporais associadas aos horários de coleta, mantendo, entretanto, um comportamento relativamente homogêneo ao longo dos pontos.

Na água de fundo, os valores da densidade apresentaram semelhança em relação aos valores superficiais, com pequenas variações espaciais. No primeiro dia, observou-se um aumento de 21,30 σ_t no ponto 1 para 21,40 σ_t no ponto 2, seguido de diminuição para 21,20 σ_t no ponto 3 e novo aumento para 21,50 σ_t no ponto 4. No segundo dia de coleta, os valores diminuíram de 23,20 σ_t no ponto 5 para 23,10 σ_t no ponto 6, mantiveram-se em 23,10 σ_t no ponto 7 e reduziram para 22,80 σ_t no ponto 8. Esses resultados indicam uma distribuição relativamente homogênea da densidade no fundo, sem evidências de estratificação marcante.

Assim como observado para a salinidade, a condutividade absoluta e os totais de sólidos dissolvidos, a densidade da água apresentou os mesmos padrões de distribuição espacial, com um gradiente crescente associado aos horários de coleta. Nota-se que a salinidade influenciou diretamente esse parâmetro, uma vez que os menores valores de sigma acompanharam a variação decrescente da salinidade. Além disso, a pressão e a hora da coleta também exerceram influência sobre a densidade da água, refletindo a dinâmica físico-química do ambiente marinho ao longo do período amostral.

De forma geral, os resultados indicam que o comportamento da densidade da água no ambiente estudado é coerente com os demais parâmetros físico-químicos analisados, reforçando a caracterização da área como um sistema marinho com boa estabilidade hidrodinâmica e iônica.

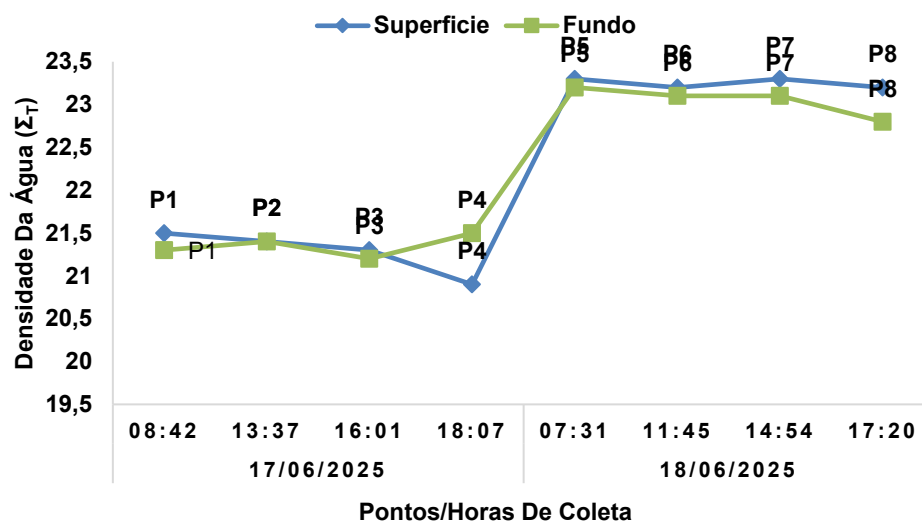


Figura 13 - Variação espacial da Densidade da Água (σ_t).

3.10. Pressão da Água (mmHg)

A pressão da água, expressa em milímetros de mercúrio (mmHg), é um parâmetro físico que representa a força exercida pela coluna d'água sobre um determinado ponto e está diretamente relacionada à profundidade, à densidade da água e às condições atmosféricas no momento da coleta. Em ambientes aquáticos, variações de pressão refletem principalmente mudanças verticais na coluna d'água, sendo um indicador indireto da estratificação ou da homogeneidade do sistema.

A média da Pressão da Água (mmHg) durante o período de coleta foi de 764,28 mmHg na água superficial e 764,26 mmHg na água de fundo (Figura 14). Os valores registrados apresentaram variações discretas entre os pontos e profundidades, indicando condições atmosféricas e hidrodinâmicas relativamente estáveis durante as campanhas amostrais.

Na água superficial, observou-se inicialmente uma diminuição da pressão do ponto 1, com 765,30 mmHg, para 764,40 mmHg no ponto 2, seguida de nova redução para 763,80 mmHg no ponto 3. No ponto 4, a pressão voltou a aumentar, atingindo 764,30 mmHg. No segundo dia de coleta, os valores mantiveram-se próximos, com 764,30 mmHg no ponto 5, aumento para 764,90 mmHg no ponto 6, diminuição para 763,40 mmHg no ponto 7 e novo aumento para 763,80 mmHg no ponto 8. Esse comportamento evidencia pequenas oscilações associadas ao horário de coleta e às condições atmosféricas locais.

A Pressão da Água no fundo apresentou comportamento semelhante ao observado na superfície, com variações de baixa amplitude ao longo dos pontos. No primeiro dia, os valores diminuíram de 765,50 mmHg no ponto 1 para 764,30 mmHg no ponto 2, mantendo-se em 763,80 mmHg no ponto 3, e aumentando para 764,30 mmHg no ponto 4. No segundo dia de coleta, a pressão apresentou 764,40 mmHg no ponto 5, aumentando para 764,80 mmHg no ponto 6, diminuindo para 763,40 mmHg no ponto 7 e aumentando novamente para 763,60 mmHg no ponto 8.

De modo geral, a pressão da água apresentou valores muito próximos entre superfície e fundo, sem diferenças expressivas entre os pontos amostrados. Essas pequenas variações são compatíveis com mudanças temporais associadas ao horário da coleta, às condições atmosféricas e à pressão hidrostática, não indicando a presença de gradientes significativos ao longo da coluna d'água. Esse padrão reforça a caracterização do ambiente como relativamente estável, condição comum em regiões recifais afastadas da influência direta de descargas continentais.

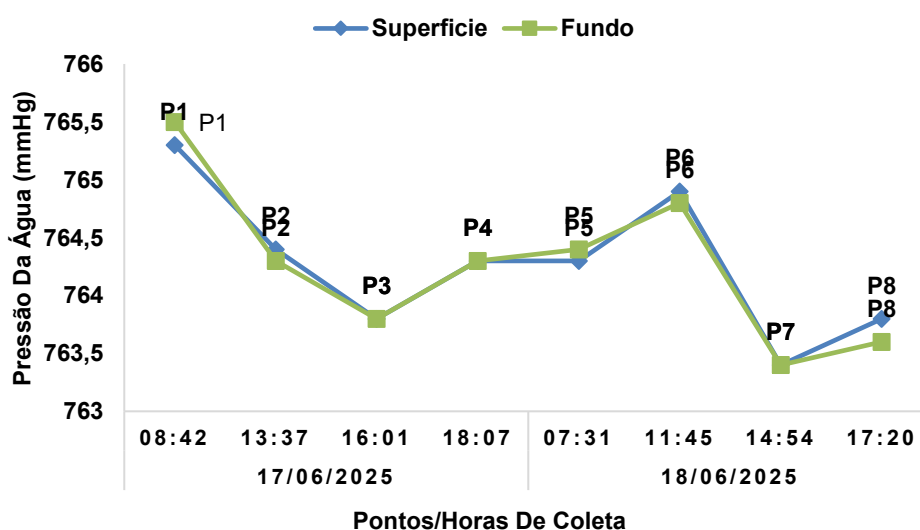


Figura 14 - Variação espacial do Pressão da Água (mmHg).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo permitiram uma caracterização integrada das condições físico-químicas da água no Parque Estadual Marinho do Parcel de Manuel Luís (PEM-PML), evidenciando a importância desses parâmetros para a compreensão da dinâmica ambiental e dos processos biogeoquímicos atuantes em ambientes recifais.

De modo geral, os parâmetros profundidade, transparência, temperatura, salinidade, condutividade, Totais de Sólidos Dissolvidos, sigma da água e pressão apresentaram comportamentos coerentes com um ambiente marinho recifal estável, com predomínio de massas d'água oceânicas bem misturadas, baixa estratificação vertical e pouca influência direta de aportes continentais durante o período amostral. A homogeneidade observada entre superfície e fundo para a maioria desses parâmetros reforça a boa conectividade hidrodinâmica e a estabilidade iônica do sistema.

Por outro lado, os parâmetros de potencial redox (Eh), pH e oxigênio dissolvido, juntamente com a saturação de oxigênio, indicaram condições ambientais menos favoráveis, com valores baixos de OD e episódios localizados de ambiente redutor, especialmente na camada superficial. Esses resultados não são típicos de recifes oceânicos bem preservados e sugerem a atuação de fatores como baixa renovação da massa d'água, consumo biológico de oxigênio e possível aporte de matéria orgânica, configurando um cenário que merece atenção do ponto de vista ambiental.

O comportamento do pH mostrou uma média de 8,07 na superfície e 7,88 no fundo, indicando que o ambiente está levemente básico em ambas profundidades e dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, com exceção pontual na água de fundo, reforça a necessidade de monitoramento contínuo, uma vez que variações locais podem representar riscos ao equilíbrio do ecossistema recifal, especialmente para organismos calcificadores sensíveis à acidificação, mostrando uma forte demanda química por oxigênio dissolvido na região.

Em síntese, este estudo evidencia que, embora o PEM-PML apresente características físico-químicas típicas de ambientes marinhos recifais, alguns indicadores apontam para condições de estresse ambiental, principalmente relacionadas à oxigenação e ao estado redox da água. Assim, os resultados reforçam a relevância do monitoramento sistemático desses parâmetros como ferramenta essencial para a gestão ambiental, conservação e acompanhamento da saúde do ecossistema recifal, servindo como subsídio para ações de preservação e estratégias de manejo eficazes para a unidade de conservação diante das crescentes pressões ambientais e climáticas.

5. REFERÊNCIAS

- ADEY, W. H. Coral reef Ecosystems and Human Health: Biodiversity Counts! **Ecosystem health**, v. 6, p. 227-236, 2000.
- Amaral, F. D.; Hudson, M. M.; Steiner, A. Q.; Ramos, C. A. C. Corals and calcified hydroids of the Manuel Luiz Marine State Park (State of Maranhão, Northeast Brazil). *Biota Neotropica*, v. 7, p. 73-81, 2007.
- ARAÚJO, M. E.; MATTOS, F. M. G.; MELO, F. P. L.; CHAVES, L. C. T.; FEITOSA, C. V.; LIPPI, D. L.; HACKRADT, F. C.; HACKRADT, C. W.; NUNES, J. L. S.; LEÃO, Z. M.; KIKUCHI, R. K. P.; FERREIRA-JUNIOR, A. V.; PEREIRA, P. H. C.; MACEDO, C. H. R.; SAMPAIO, C. L. S.; FEITOSA, J. L. L. Diversity patterns of reef fish along the Brazilian tropical coast. *Marine Environmental Research*. 2020.
- BAPTISTA, O.G.S.; NASCIMENTO, L.F.C. Água potável: escassez e gestão do consumo em condomínios residenciais metropolitanos. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 8384-8397, 2022.
- BENDER, M.; VILA-NOVA, D. A.; FLOETER, S. R. Uso de habitats das espécies de peixes recifais ameaçadas no Brasil: considerações para o design de áreas marinhas protegidas. In: **III Congresso Latino Americano de Ecologia**. p. 1-4. 2009.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005: dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF, 17 mar. 2005. Diário Oficial da União, n.º 053, de 18 mar. 2005, p. 58-63. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450. Acesso em: 14 jan. 2026.
- Bryant, D.; Burke, L.; McManus, J.; Spalding, M. 1998. **Reefs at risk: A map-based indicator of threats to the world's coral reefs**. World Resources Institute, Washington, USA, 60pp.
- BUDDEMEIER, Robert W. et al. A modeling tool to evaluate regional coral reef responses to changes in climate and ocean chemistry. **Limnology and Oceanography: Methods**, v. 6, n. 9, p. 395-411, 2008.
- COLLETTE, B. B.; RÜTZLER, K. Reef fishes over sponge bottoms off the mouth of the Amazon River. In: **Proceedings, Third International Coral Reef Symposium, Miami, Florida: University of Miami**. 1977.

CORDEIRO, C. A. M. M.; CARRARO, J. L.; HAJDU, Eduardo; et al. Conservation status of the southernmost reef of the Amazon Reef System: the Parcel de Manuel Luís. *Coral reefs*[S.l.], v. 40, p. 165–185, 2021.

CORDEIRO, R. T. S.; NEVES, B. M.; ROSA-FILHO, J. S.; PÉREZ, C. D. Mesophotic coral ecosystems occur offshore and north of the Amazon River. *Bulletin of Marine Science*, v. 91, n. 4, p. 491-510, 2015. COTOVICZ JR, Luiz C.; CHIELLE, Raisa; MARINS, Rozane Valente. Air-sea CO₂ flux in an equatorial continental shelf dominated by coral reefs (Southwestern Atlantic Ocean). *Continental Shelf Research*, v. 204, p. 104175, 2020.

COURA, M. F. Contribuição ao plano de manejo do Parque Estadual Marinho do Parcel de Manuel Luís/MA: atualização e avanços da unidade após 25 anos. Tese de Doutorado. Dissertation. Fundación Universitaria Iberoamericana, Brasília, Brazil. 73pp. 2016.

COURA, M. F. Contribuição do Plano de Manejo do Parque Estadual Marinho do Parcel de Manuel Luiz, Ma – Brasil. (Monografia Especialização em Geografia Aplicada ao Planejamento Ambiental) Universidade Federal do Maranhão – UFMA. São Luís, MA. 1994.

Decreto nº 12.486/2025, que institui a Estratégia Nacional para a Conservação e o Uso Sustentável dos Recifes de Coral – ProCoral. Decretos também criaram importantes Áreas de Proteção Ambiental (APAs), como a da Costa dos Corais, para garantir a conservação desses habitats.

DONNER, S. D.; SKIRVING, W. J.; LITTLE, C. M.; OPPENHEIMER, M.; HOEGH-GULDBERG, O. Global assessment of coral bleaching and required rates of adaptation under climate change. *Global Change Biology*, v. 11, n. 12, p. 2251-2265, 2005.

FERREIRA, B.P., COSTA, M.B.S.F., COXEY, M.S., GASPAR, A.L.B., VELEDA, D., ARAUJO, M. The effects of sea surface temperature anomalies on oceanic coral reef systems in the southwestern tropical Atlantic. *Coral Reefs*, v. 32, p.441-454, 2013.

FRANCINI-FILHO, R. B.; ASP, N. E.; SIEGLE, E.; HOCÉVAR, J.; LOWYCK, K.; D'ÁVILA, N.; VASCONCELOS, A. A.; BAITELO, R.; REZENDE, C. E.; OMACHI, C. Y.; THOMPSON, C. C.; THOMPSON, F. L. Perspectives on the Great Amazon Reef: Extension, biodiversity, and threats. *Frontiers in Marine Science*, v. 5, p. 142, 2018.

GAPAR, Tainá L.; QUIMBAYO, Juan Pablo; OZEKOSKI, Renan; et al. Severe coral bleaching of *Siderastrea stellata* at the only atoll in the South Atlantic driven by sequential Marine Heatwaves. *Biota neotropica* (online. edição em inglês)[S.l.], v. 21, n. 2, 2021.

GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO. **Plano de Manejo do Parque Estadual Marinho do Parcel de Manuel Luís**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais.

2021. Disponível em: [https://www.sema.ma.gov.br/uploads/sema/docs/PM_PEMPML_\(VesInternet\).pdf](https://www.sema.ma.gov.br/uploads/sema/docs/PM_PEMPML_(VesInternet).pdf) (acesso out/2023).

INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. Estudo Ambiental sobre Licenciamento. Brasília, 2025. Disponível em: <https://ibamagovbr.sharepoint.com/sites/EstudosAmbientais/>. Acesso em: 15 jan. 2026.

LEÃO, Z.M.A.N.; KIKUCHI, R.K.P.; TESTA, V. Corals and Coral Reefs of Brazil. In: CORTES, E. (Ed.), Latin America Coral Reefs. Amsterdam: Elsevier Publisher, p.9-52, 2003.

MARRARA, A. C. T. Avaliação físico-química e ecotoxicológica do Ribeirão Tatu no município de Limeira–SP. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Tese de Doutorado, 2008.

Ministério do Meio Ambiente. Planejamento para o Sucesso da Conservação do Sítio Ramsar Parque Estadual Marinho do Parcel de Manoel Luís. Projeto de fortalecimento da capacidade institucional para consolidação dos Sítios Ramsar brasileiros – Planejamento para Conservação de Áreas. 2008.

MIRANDA, L. B., CASTRO, B. M., KJERFVE, B. Princípios de oceanografia física de Estuários. São Paulo: Edusp. (In Portuguese), 2002.

OLIVEIRA, E.; HORTA, P.; AMANCIO, C.; SANT’ANNA, C. L. Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade das zonas costeira e marinha. In: Base de Dados Tropical, disponível em: <<http://www.bdt.fat.org.br/workshop/costa/algas>>. 1999.

Recifes brasileiros: o legado de Laborel. Laborel-Deguen. et al. – Rio de Janeiro: Museu Nacional, 2019. 376 p. : il. color.; 26 cm. – (Série Livros; 64).

ROCHA, L. A.; ROSA, I. L. Baseline assessment of reef fish assemblages of Parcel Manuel Luiz Marine State Park, Maranhão, north-east Brazil. *Journal of Fish Biology*, v. 58, n. 4, p. 985-998, 2001.



ROCHA, L. A.; ROSA, I. L. Baseline assessment of reef fish assemblages of Parcel Manuel Luiz Marine State Park, Maranhão, north-east Brazil. **Journal of Fish Biology**, v. 58, n. 4, p. 985-998, 2001.

TAKESHITA, Yuichiro et al. Coral reef carbonate chemistry variability at different functional scales. **Frontiers in Marine Science**, v. 5, p. 175, 2018.

ZILBERBERG, Carla; ABRANTES, Douglas Pinto; MARQUES, Joseane Aparecida; MACHADO, Laís Feitosa; MARANGONI, Laura Fernandes de Barros (org.). ***Conhecendo os recifes brasileiros: rede de pesquisas Coral Vivo***. Rio de Janeiro: Museu Nacional; Universidade Federal do Rio de Janeiro. 360 p. (Série Livros; 58). ISBN 978-85-7427-057-9. 2016.

APÊNDICE/TERMO DE AUTORIZAÇÃO

GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO
SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS
SECRETARIA ADJUNTA DE RECURSOS AMBIENTAIS
SUPERINTENDÊNCIA DE BIODIVERSIDADE E ÁREAS PROTEGIDAS

	AUTORIZAÇÃO DE ÓRGÃO GESTOR DE UNIDADE DE CONSERVAÇÃO ESTADUAL	
Nº da Autorização	Nº do Processo (SIGEP)	Período de Validade
A53-2025	2506060027	12 meses
<input type="checkbox"/> Prosseguimento de Processo de Licenciamento Ambiental	<input checked="" type="checkbox"/> Pesquisa Científica	<input type="checkbox"/> Manejo da Natureza
<input type="checkbox"/> Atividades didáticas	<input type="checkbox"/> Atividades Socioculturais	<input type="checkbox"/> Visitação
Localização		
Parque Estadual Marinho de Manuel Luís.		
Descrição		
Caracterizar a dinâmica oceanográfica do Parque Estadual Marinho Parcel Manuel Luís.		
<i>Parecer Técnico Nº 259/2025 SEMA/SPR.BAP</i>		
Responsável (Professor/Coordenador)		
Nome: Antonio Carlos Leal Castro		
CPF: 064868003-72	Nº Identidade: 038339422009-6 SSP/MA	
Endereço: R 38, nº 15, Quadra 25, Vinhais, São Luís, Maranhão.		CEP: 65010-000
Telefone: (XX) XXXX-XXXXX	e-mail: alec@ufma.br	
Profissão: Engenheiro Agrônomo		
Instituição		
Nome: Universidade Federal do Maranhão		
CNPJ: 06.279.103/0001-19	Telefone: (XX) XXXX-XXXXX	
Endereço: Av. dos Portugueses, 1966. Campus do Bacanga - São Luís/MA		CEP: 65080-805
Haverá coleta de material biológico? <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO		
Espécie	Nome comum	Quantidade
Lutjanus analis	Pargo	10
Epinephelus morio	Garoupa	10
Caranx lugubris	Xaréu	10
Gymnothorax spp.	Moreia	10
Lutjanus synagris	Ariacó	10
Fitoplâncton		~2,4 x 10 ⁴ ind./m ³
Zooplâncton		~1.772 a 1.963 ind./m ³
Bentos		Diversidade elevada
Data e Local da Emissão	Ver data da última assinatura eletrônica	

*Autorização em conformidade com a Portaria SEMA nº 04 de 16 de janeiro de 2015.
Documento assinado eletronicamente, de acordo com a Portaria SEMA nº 194/2019.*


GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO
SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS
SECRETARIA ADJUNTA DE RECURSOS AMBIENTAIS
SUPERINTENDÊNCIA DE BIODIVERSIDADE E ÁREAS PROTEGIDAS

AUTORIZAÇÃO VÁLIDA SOMENTE COM ASSINATURA ELETRÔNICA

AS CONDICIONANTES DESTA AUTORIZAÇÃO ESTÃO LISTADAS NO VERSO

*Autorização em conformidade com a Portaria SEMA nº 04 de 16 de janeiro de 2015.
Documento assinado eletronicamente, de acordo com a Portaria SEMA nº 194/2019.*

GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO
SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS
SECRETARIA ADJUNTA DE RECURSOS AMBIENTAIS
SUPERINTENDÊNCIA DE BIODIVERSIDADE E ÁREAS PROTEGIDAS

	AUTORIZAÇÃO DE ÓRGÃO GESTOR DE UNIDADE DE CONSERVAÇÃO ESTADUAL	
Nº da Autorização	Nº do Processo (SIGEP)	Período de Validade
A53-2025	2506060027	12 meses
CONDICIONANTES		
<p>1- Devem ser enviados a esta Secretaria, para fins de controle interno e documentação, cópia dos relatórios da pesquisa com as imagens capturadas, bem como dos trabalhos científicos publicados (resumos técnicos, artigos, monografias, dissertações, teses), envolvendo temáticas associadas à Unidade de Conservação estudada;</p> <p>2- Esta autorização não permite o uso de fogo, supressão de vegetação e a coleta de qualquer material biológico, salvo os determinados nesta autorização;</p> <p>3- Essa autorização tem a validade de 1 (um) ano, prorrogação para igual período mediante ofício de solicitação e recebimento por parte desta SEMA dos resultados parciais da pesquisa em curso.</p> <p>Esta autorização atende aos preceitos contidos na Lei Federal n.º 9.985, de 18 de julho de 2000, Art. 4º, incisos I, III, X e XI, e na Lei Estadual n.º 9.413, de 13 de julho de 2011, Art. 4º, incisos I, III, X e XI, que dispõem sobre a pesquisa científica e contribuições para a preservação/conservação dos componentes bióticos das Unidades de Conservação.</p> <p>Em face da implementação do nosso banco de dados, os resultados alcançados, adicionalmente, deverão ser tabulados e apresentados em mídia digital, no formato de planilha eletrônica (.xls, .xlsx, ou .ods).</p>		
EQUIPE TÉCNICA		
Nome	Atuação	CPF
ANTONIO CARLOS LEAL DE CASTRO	Orientador	064868003-72
MARCELO HENRIQUE LOPES SILVA	Pesquisador	648.086.293-72
JAMES WERLLEN DE JESUS AZEVEDO	Pesquisador	010.974.953-70
LEONARDO SILVA SOARES	Pesquisador	008.810.413-35
ARKLEY MARQUES BANDEIRA	Pesquisador	811.189.453-87
Data e Local da Emissão	<i>Ver data da última assinatura eletrônica</i>	
AUTORIZAÇÃO VÁLIDA SOMENTE COM ASSINATURA ELETRÔNICA		

*Autorização em conformidade com a Portaria SEMA n.º 04 de 16 de janeiro de 2015.
Documento assinado eletronicamente, de acordo com a Portaria SEMA n.º 194/2019.*



Documento assinado eletronicamente em 30/06/2025, às 15:48.
Assinado por: OQUERLINA MARIA COSTA SILVA - Cargo: SECRETÁRIO(A) ADJUNTO(A) DE RECURSOS AMBIENTAIS
Código Verificador: 10110434, Código CRC: CK2HODCK
Para consultar autenticidade acesse: <http://assinador.sema.ma.gov.br/assinador/ff/consulta-doc.xhtml>.



Documento assinado eletronicamente em 01/07/2025, às 09:52.
Assinado por: PEDRO CARVALHO CHAGAS - Cargo: SECRETÁRIO DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS
Código Verificador: 10110434, Código CRC: CK2HODCK
Para consultar autenticidade acesse: <http://assinador.sema.ma.gov.br/assinador/ff/consulta-doc.xhtml>.

Tabela 2 - Resultado das variáveis físico-químicas da água superficial e de fundo coletadas no PEM-PML (17 e 18 de junho de 2025).

Dia da Coleta	Hora da Coleta	Ponto	Profundidade (m)		Transparência da água (m)	Eh (mV ORP)		pH		Saturação de Oxigênio Dissolvido (%)		Oxigênio Dissolvido (mg L ⁻¹)		Condutividade (mS/cm ⁻¹)		Condutividade Absoluta (mS/cm ⁻¹)		Totais de Sólidos Dissolvidos (g kg ⁻¹)		Salinidade (g kg ⁻¹)		Sigma da Água (Densidade - σ_t)		Temperatura da Água (°C)		Pressão da Água (mmHg)	
			Superfície	Fundo		Superfície	Fundo	Superfície	Fundo	Superfície	Fundo	Superfície	Fundo	Superfície	Fundo	Superfície	Fundo	Superfície	Fundo	Superfície	Fundo	Superfície	Fundo	Superfície	Fundo	Superfície	Fundo
17/06/2025	08:42	P1	3	46	23,72	10,9	3,8	7,99	8,17	63,9	52,2	4,24	3,33	51,4	50,92	54,3	53,55	25,71	25,49	33,7	33,38	21,5	21,3	27,83	27,68	765,3	765,5
	13:37	P2	3	17	15	-63,4	-6,7	8,17	6,13	54,4	55,2	3,23	3,39	61,97	51,26	54,54	54,11	25,74	25,64	33,73	33,59	21,4	21,4	28,15	27,93	764,4	764,3
	16:01	P3	3	21,1	19	-32,5	18,9	8,13	8,15	51,2	56,3	3,2	3,54	51,39	51,29	54,68	54,56	25,7	25,65	33,67	33,59	21,3	21,2	28,43	28,34	763,8	763,8
	18:07	P4	3	19,8	12,08	2,1	-8,0	8,18	8,14	58,6	61,9	3,69	3,89	50,85	51,57	54,34	54,63	25,47	25,79	33,35	33,8	20,9	21,5	28,61	28,14	764,3	764,3
18/06/2025	07:31	P5	3	14	13,78	4,6	-5,5	7,94	8,08	55,1	49,1	3,49	3,13	54,80	54,4	57,85	57,26	27,40	27,28	36,2	35,93	23,30	23,2	27,92	27,75	764,3	764,4
	11:45	P6	3	25,4	13,27	-6,10	5,50	8,05	8,13	50,4	56,0	3,17	3,53	54,69	54,40	57,88	57,49	27,35	27,21	36,11	35,95	23,2	23,1	28,06	27,98	764,9	764,8
	14:54	P7	3	26,2	16,24	13,6	31,4	8,09	8,11	56,9	57,7	3,62	3,68	54,72	54,36	57,67	57,4	27,36	27,18	36,15	35,89	23,3	23,1	27,84	27,95	763,4	763,4
	17:20	P8	3	22	16	36,8	39,7	8,04	8,11	57,1	46,6	3,67	3,22	54,53	53,74	57,55	55,54	27,26	26,86	35,97	35,45	23,2	22,8	27,93	27,81	763,8	763,6