

Impacto da Sazonalidade e do Turismo sobre as Variáveis Físico-Químicas em um Sistema Costeiro Urbanizado na Costa Amazônica: Implicações para o Monitoramento Ambiental

Flavia T. Ramos Freitas ¹, Welison A. de Jesus Cruz ², Larissa Bernal Braga ³,
Pedro Paulo de Freitas ⁴, Edinelson Saldanha Corrêa ⁵, Denise Freitas de Souza Corrêa ⁶,
Vando José Costa Gomes ^{6*}

¹Mestre em Biologia Ambiental, Universidade Federal do Pará, Brasil.

²Graduando em Engenharia de Exploração e Produção de Petróleo, Universidade Federal do Para, Brasil.

³Graduanda em Engenharia Costeira e Oceânica, Universidade Federal do Pará, Brasil.

⁴Doutor em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Paraná, Brasil.

⁵Doutor em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará, Brasil.

⁶Doutor em Biologia Ambiental, Universidade Federal do Pará, Brasil (*Autor correspondente: vandogomes@ufpa.br).

Histórico do Artigo: Submetido em: 14/03/2025 – Revisado em: 19/05/2025 – Aceito em: 18/07/2025

RESUMO

As zonas costeiras, caracterizadas por alta densidade populacional, tornaram-se destinos turísticos estratégicos, exercendo forte influência sobre a gestão urbana. No entanto, a ocupação desordenada dessas áreas levou à expansão de redes de esgoto e ao lançamento significativo de material orgânico nos corpos d'água, resultando na degradação progressiva da qualidade ambiental. Este estudo avalia as condições físico-químicas das águas superficiais no sistema costeiro próximo ao município de Salinópolis, especificamente entre os canais de maré do Destacado e Marumipí, que interagem diretamente com áreas urbanizadas da cidade. O objetivo é quantificar o impacto do turismo na qualidade da água e analisar como as variações sazonais de precipitação afetam o sistema, considerando as diretrizes ambientais vigentes. A metodologia incluiu medições *in situ* realizadas quinzenalmente com um multi-analisador de água HANNA - modelo HI98194, permitindo a determinação de variáveis físico-químicas como, temperatura, sólidos dissolvidos totais (TDS), salinidade, pH e oxigênio dissolvido (OD). Os resultados evidenciaram uma forte influência da precipitação sobre essas variáveis, particularmente nos níveis de temperatura, salinidade e TDS. O pH permaneceu em faixa alcalina, enquanto os valores de OD apresentaram reduções preocupantes, sugerindo um consumo excessivo de oxigênio associado à presença de matéria orgânica proveniente do esgoto doméstico. Além disso, a influência da urbanização foi mais pronunciada nos períodos de maior fluxo turístico, reforçando a necessidade de estratégias eficazes de gestão ambiental. O monitoramento contínuo dos sistemas costeiros é essencial para embasar políticas de conservação, sendo imprescindível a realização de estudos de médio e longo prazo para uma avaliação mais precisa da qualidade ambiental dessas áreas.

Palavras-Chaves: Sazonalidade, Zona Costeira Amazônica, Variáveis Hidrológicas, Impactos Ambientais.

Impact of Seasonality and Tourism on the Physicochemical Variables in an Urbanized Coastal System along the Amazon Coast: Implications for Environmental Monitoring

ABSTRACT

Coastal zones, characterized by high population density, have become strategic tourist destinations, exerting a strong influence on urban management. However, the disordered occupation of these areas has led to the expansion of sewage networks and significant discharge of organic material into water bodies, resulting in progressive environmental degradation. This study evaluates the physicochemical conditions of surface waters in the coastal system near the municipality of Salinópolis, specifically between the tide channels of Destacado and Marumipí, which directly interact with the urbanized areas of the city. The objective is to quantify the impact of tourism on water quality and to analyze how seasonal variations in precipitation affect the system, considering current environmental guidelines. The methodology involved *in situ* measurements conducted biweekly using a HANNA water multi-analyzer-model HI98194- allowing for the determination of physicochemical variables such as temperature, total dissolved solids (TDS), Freitas, F.T.R., Cruz, A.J., Braga, L.B., de Freitas, P.P., Corrêa, E.S., Gomes, V.J.C (2025). Impacto da Sazonalidade e do Turismo sobre as Variáveis Físico-Químicas em um Sistema Costeiro Urbanizado na Costa Amazônica: Implicações para o Monitoramento Ambiental. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.13, n.2, p.60-76.



salinity, pH, and dissolved oxygen (DO). The results showed a strong influence of precipitation on these variables, particularly in temperature, salinity, and TDS levels. The pH remained within an alkaline range, while DO values exhibited concerning reductions, suggesting excessive oxygen consumption associated with the presence of organic matter from domestic sewage. Furthermore, the influence of urbanization was more pronounced during periods of high tourist flow, reinforcing the need for effective environmental management strategies. Continuous monitoring of coastal systems is essential to support conservation policies, and medium- and long-term studies are crucial for a more accurate assessment of the environmental quality of these areas.

Keywords: Seasonality, Amazonian Coastal Zone, Hydrological Variables, Environmental Impacts.

Impacto de la Estacionalidad y el Turismo en las Variables Fisicoquímicas de un Sistema Costero Urbanizado en la Costa Amazónica: Implicaciones para el Monitoreo Ambiental

RESUMEN

Las zonas costeras, caracterizadas por una alta densidad poblacional, se han convertido en destinos turísticos estratégicos, ejerciendo una fuerte influencia en la gestión urbana. Sin embargo, la ocupación desordenada de estas áreas ha llevado a la expansión de redes de alcantarillado y a la descarga significativa de material orgánico en los cuerpos de agua, lo que ha resultado en una degradación ambiental progresiva. Este estudio evalúa las condiciones fisicoquímicas de las aguas superficiales en el sistema costero cercano al municipio de Salinópolis, específicamente entre los canales de marea Destacado y Marumipi, que interactúan directamente con las áreas urbanizadas de la ciudad. El objetivo es cuantificar el impacto del turismo en la calidad del agua y analizar cómo las variaciones estacionales en la precipitación afectan el sistema, considerando las normativas ambientales vigentes. La metodología incluyó mediciones *in situ* realizadas quincenalmente con un multi-analizador de agua HANNA—modelo HI98194—permitiendo la determinación de variables fisicoquímicas como temperatura, sólidos disueltos totales (TDS), salinidad, pH y oxígeno disuelto (OD). Los resultados mostraron una fuerte influencia de la precipitación en estas variables, particularmente en los niveles de temperatura, salinidad y TDS. El pH se mantuvo dentro de un rango alcalino, mientras que los valores de OD mostraron reducciones preocupantes, lo que sugiere un consumo excesivo de oxígeno asociado a la presencia de materia orgánica proveniente de aguas residuales domésticas. Además, la influencia de la urbanización fue más pronunciada durante los períodos de mayor afluencia turística, lo que refuerza la necesidad de estrategias efectivas de gestión ambiental. El monitoreo continuo de los sistemas costeros es esencial para respaldar las políticas de conservación, y los estudios a mediano y largo plazo son fundamentales para una evaluación más precisa de la calidad ambiental de estas áreas.

Palabras clave: Estacionalidad, Zona Costera Amazónica, Variables Hidrológicas, Impactos Ambientales.

1. Introdução

O Brasil é internacionalmente reconhecido por abrigar uma das maiores reservas hidrológicas do planeta. Esse recurso é fundamental para a manutenção da vida terrestre e desempenha um papel crítico na composição e preservação da biosfera. No entanto, apesar dessa abundância sugerir segurança hídrica, é essencial reconhecer que os recursos hídricos apresentam distribuição desigual ao longo do território brasileiro, tanto espacial quanto sazonalmente. Além disso, a água exerce um papel significativo na atração turística, especialmente em destinos costeiros e em áreas de grande beleza natural, conferindo-lhes um atrativo singular (ANA, 2018; Folgado-Fernández et al. 2019).

A gestão das zonas costeiras tem ganhado destaque global devido à necessidade urgente de monitoramento e proteção desses ambientes. No Brasil, a integridade ecológica da costa enfrenta crescente pressão devido à rápida urbanização, à especulação imobiliária desordenada, à poluição e ao intenso fluxo turístico. No estado do Pará, em particular, as cidades litorâneas vêm passando por um acelerado processo de urbanização, impulsionado pelo turismo e pela construção de uma imagem atrativa desses locais (Carvalho et al. 2010).

Nesse contexto de desenvolvimento urbano e turístico, o município de Salinópolis, localizado no setor leste do sistema costeiro amazônico, destaca-se como um dos principais destinos turísticos do estado e um dos mais relevantes da Amazônia (MTUR, 2018). Entretanto, a rápida expansão urbana tem resultado na implantação de uma extensa rede de esgoto, acarretando a descarga significativa de matéria orgânica e

potenciais impactos ambientais (Soares, 2012). Assim, o monitoramento espaço-sazonal dos parâmetros físico-químicos da água torna-se uma estratégia essencial para a conservação e gestão desses ecossistemas.

Segundo Silva e Koenig (1993), os sistemas costeiros possuem características ambientais únicas, fundamentais para o ciclo de vida de diversas espécies, tornando-se áreas preferenciais para a formação de núcleos urbanos devido à facilidade de exploração de seus diversos recursos. Nesse sentido, o monitoramento hidrológico desempenha um papel crucial na obtenção contínua de informações sobre a quantidade e qualidade dos recursos hídricos (ANA, 2021). Esse processo não apenas permite a identificação de características específicas dos processos dinâmicos naturais e ecológicos, mas também possibilita a avaliação dos impactos negativos resultantes da intervenção humana (Santos, 2012).

Além disso, o monitoramento hidrológico é uma ferramenta essencial para a gestão e implementação de políticas públicas voltadas para os recursos hídricos, fornecendo dados fundamentais para modelos de qualidade da água e subsidiando a tomada de decisões na administração pública (Pereira, Barbiero & Quevedo, 2020). O monitoramento contínuo é indispensável para a formulação de políticas públicas eficazes voltadas à gestão ambiental das áreas costeiras. Esse tema tem sido cada vez mais debatido e implementado, com a adoção de diversas tecnologias e metodologias, que variam desde abordagens simples até sistemas mais complexos, ambas com resultados positivos. No estudo de Pitombeira e Romcy (2023), por exemplo, a metodologia CoastSnap foi aplicada, utilizando a participação da comunidade local na captura de imagens da costa por meio de dispositivos móveis. Após análise, esses dados serviram como base científica para a implementação de medidas de conservação e uso sustentável dos recursos costeiros.

Abordagens mais avançadas também têm sido utilizadas em programas de monitoramento contínuo. A Rede de Monitoramento da Qualidade das Águas Costeiras da CETESB, por exemplo, realiza campanhas anuais em 20 áreas ao longo do litoral de São Paulo, medindo parâmetros como a concentração de clorofila-a e composição fitoplancônica (Cruz & Mota, 2020). Outro exemplo é o estudo dos fluxos subterrâneos para a Lagoa Mangueira, no qual foram empregadas técnicas de sensoriamento remoto e ferramentas interdisciplinares para análise integrada (Silva & Pereira, 2019). Além disso, o Programa de Monitoramento da Qualidade das Águas Salinas e Salobras da CETESB estabelece pontos estratégicos de monitoramento com base em atividades potencialmente poluidoras, conduzindo campanhas bianuais (Oliveira & Santos, 2021). Esses programas fornecem dados essenciais para avaliar os impactos das atividades humanas, a eficácia das medidas de controle da poluição e para apoiar a gestão sustentável e a preservação das águas costeiras.

Diante desse cenário, este estudo busca avaliar as características físico-químicas das águas superficiais dos canais de maré do Destacado e do Marumipí, localizados no município de Salinópolis. Esses canais estão diretamente conectados às áreas urbanizadas da cidade e atuam como vias de escoamento para contaminantes descartados nas praias circundantes, como Atalaia, Corvina e Maçarico. O objetivo principal é investigar a possível influência do turismo na qualidade da água, bem como analisar as variações resultantes dos diferentes regimes pluviométricos ao longo do canal. Para isso, a pesquisa se baseia na legislação ambiental vigente, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.

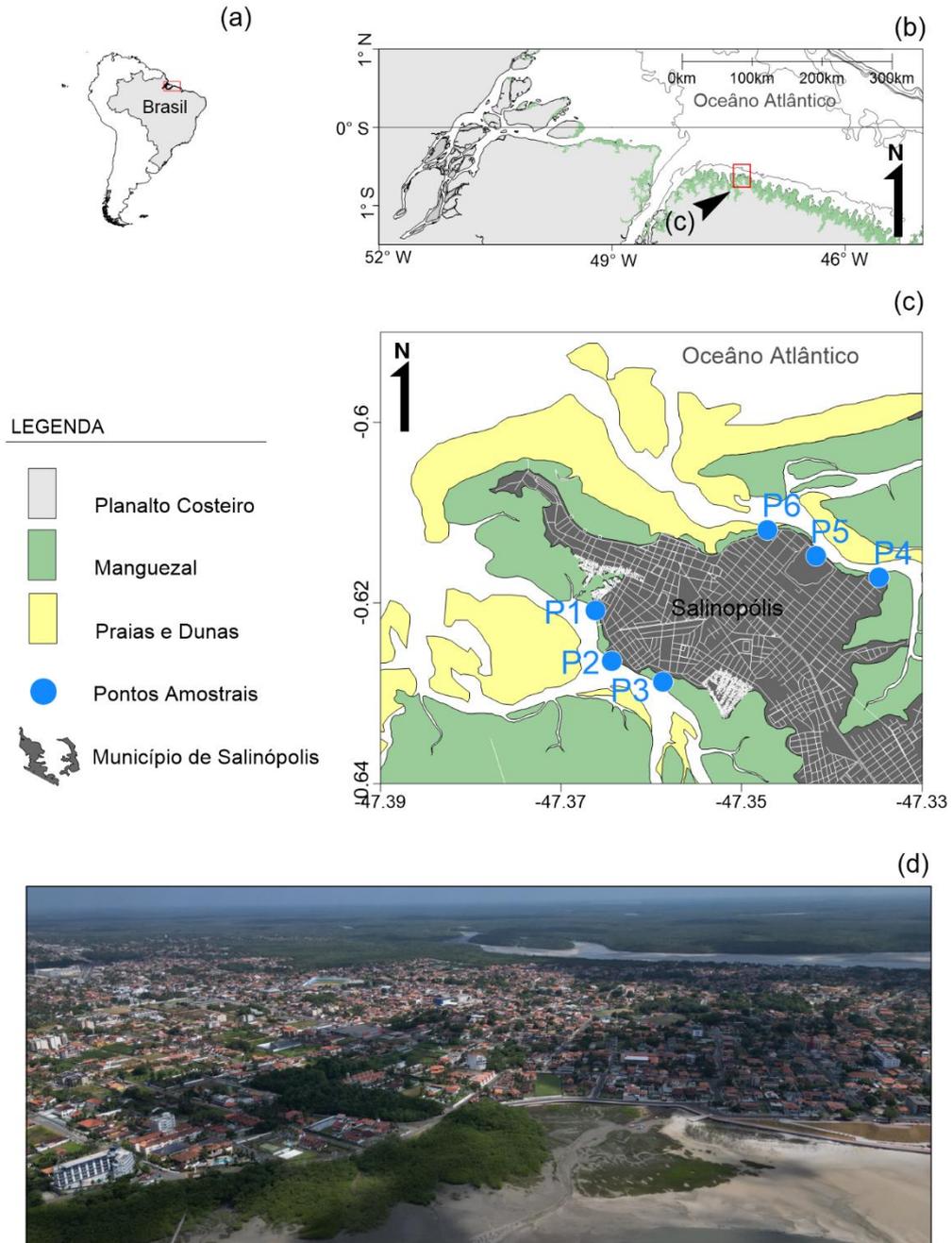
2. Material e Métodos

2.1. Área de estudo

Localizado na mesorregião Nordeste Paraense e na microrregião do Salgado, o município de Salinópolis está situado nas coordenadas geográficas 0°63'13.4" S e 47°34'61.3" W, aproximadamente 220 km a nordeste de Belém, com uma altitude de 19 metros acima do nível do mar (Figura 1). Segundo dados do IBGE (2021), sua população estimada é de 41.164 habitantes, distribuídos em uma área territorial de 226,12 km², resultando em uma densidade demográfica de 157,40 hab/km².

Figura 1- (a) América do Sul; (b) Zona costeira amazônica, com destaque para o setor leste da costa amazônica; (c) Município de Salinópolis, indicando os seis pontos de amostragem: P1, P2 e P3 no canal de maré do Marumipi e P4, P5 e P6 no canal de maré do Destacado; (d) Imagem aérea do município de Salinópolis.

Figura 1- (a) South America; (b) Amazon coastal zone, highlighting the eastern sector of the Amazon coast; (c) Municipality of Salinópolis, showing the six sampling points: P1, P2, and P3 in the Marumipi tidal channel, and P4, P5, and P6 in the Destacado tidal channel; (d) Aerial image of the municipality of Salinópolis.



Salinópolis apresenta um clima Tropical Chuvoso, com temperaturas médias mensais sempre superiores a 18°C. O município registra uma precipitação anual que varia entre 1.800 e 2.300 mm, com cerca de 90% desse total, ocorrendo nos primeiros seis meses do ano. As variações térmicas na região oscilam entre 25°C e 31°C, caracterizando duas estações distintas: uma mais chuvosa, de dezembro a maio, e outra mais seca, de junho a dezembro (Martorano et al. 1993; Rodrigues et al. 2013).

Salinópolis se destaca como um dos principais destinos turísticos do estado do Pará, em razão de seus atributos naturais, como belas praias — Maçarico, Corvina, Atalaia e Farol Velho — vastas dunas e uma significativa área de manguezais que se estende por boa parte da zona urbana. Esses elementos naturais têm atraído um número crescente de visitantes, muitos dos quais adquiriram residências secundárias na região, além de turistas provenientes de outras partes do Brasil (Marinho, 2009; Carvalho et al. 2010; Silva, 2014). A cidade também experimenta picos turísticos, especialmente durante os meses de férias de verão (janeiro, julho e dezembro) e feriados prolongados (Brito, 2005).

No aspecto econômico, Brito (2004) destaca as principais atividades da região: pesca, comércio e turismo. A pesca, embora seja a atividade mais antiga, continua sendo de grande importância para a economia local, com o excedente da pesca de subsistência sendo comercializado tanto no município quanto nas áreas vizinhas. Entretanto, o turismo tem se tornado cada vez mais relevante, impulsionado pela valorização do litoral e pelas políticas públicas de incentivo ao setor. Esse crescimento do turismo também beneficia o comércio local, que desempenha um papel importante na economia, especialmente durante a alta temporada.

2.1 Coleta de dados

Os dados sobre precipitação e crescimento populacional foram obtidos de instituições públicas, enquanto dados hidrológicos foram coletados durante o trabalho de campo. Ao total, foram selecionados seis pontos amostrais, nos quais as amostras foram coletadas durante a estação chuvosa e seca, entre os anos de 2022 e 2023.

A determinação das variáveis físicas e químicas foi realizada ao longo de um ano (novembro de 2022 a novembro de 2023) em dois ambientes costeiros adjacentes ao município de Salinópolis: os canais de maré Destacado e Marumipí (Figura 1). Foram mensuradas *in situ* as variáveis temperatura, sólidos totais dissolvidos (TDS), salinidade, potencial hidrogeniônico (pH) e oxigênio dissolvido (OD) com o auxílio de um multi-analisador de água HANNA, modelo HI98194, duas vezes por mês, durante o período de um ano, sempre em condições de maré de sizígia. Os seis pontos amostrais, sendo P1, P2 e P3 localizados no canal de maré Marumipí, e P4, P5 e P6 no canal de maré Destacado, estão situados nas áreas mais urbanizadas do município (Figura 1).

Os dados de precipitação foram obtidos no INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, por meio da estação meteorológica de Salinópolis, para o período de estudo e para o intervalo de 1986 a 2023 (médias históricas). O monitoramento dos padrões climáticos é essencial para a compreensão das oscilações hidrológicas e sua influência na qualidade da água.

2.2 Análises estatísticas

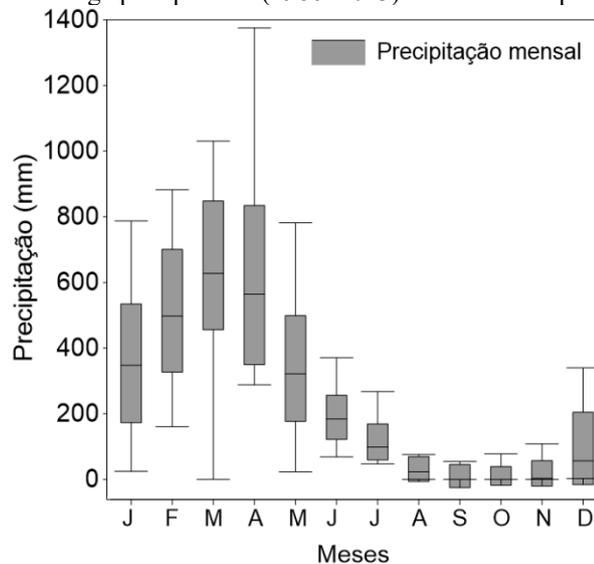
Para as análises estatísticas foi utilizado o software PRIMER 6.0. Com o motivo de comparar entre as variáveis analisadas, foi aplicada a análise estatística PCA (através da média dos grupos). Os dados brutos foram transformados individualmente, obtendo apenas números positivos (esta transformação se fez necessária, pois o programa aceita apenas números positivos em seu grid). Em seguida foram transformados por $\log(x+1)$ e normalizados, para se reduzir a discrepância entre os valores das amostras. Sendo a matriz de similaridade calculada pela distância euclidiana entre as amostras, permitindo a realização de análises de Cluster ou de agrupamento de dados, para identificar possível similaridades ou distinções nos dados ambientais analisados.

3. Resultados e Discussão

3.1 Variáveis hidrológicas

A precipitação pluviométrica em Salinópolis apresenta duas estações bem definidas: uma bastante chuvosa (janeiro a junho), correspondendo a mais de 90% da precipitação total anual, e outra menos chuvosa (julho a dezembro). A precipitação média anual histórica (1986–2023) foi de 2.809,54 mm (Figura 2). Entre janeiro e dezembro de 2023 a precipitação pluviométrica foi de 900,37 mm/ano (Figura 1- e).

Figura 2: Precipitação média anual histórica (1986–2023) para o município de Salinópolis.
 Figura 2: Historical annual average precipitation (1986–2023) for the municipality of Salinópolis.



Ao analisar mais detalhadamente os dados de 1986 a 2023 referente à precipitação no município de Salinópolis, constatamos que a média de precipitação durante o período chuvoso (dezembro a junho) equivale a 2.568 mm (90,3 %), enquanto no período seco (julho a novembro) é de 274 mm (9,6 %). Esses valores evidenciam uma disparidade significativa no volume de precipitação entre os dois períodos, enfatizando suas distintas características sazonais (Figura 2).

3.2 Variáveis Físico-químicas

Os resultados indicaram diferenças significativas nas características da água entre os períodos chuvoso e seco e entre os dois canais (Tabela 1). No canal do estuário do Marumipí, durante o período chuvoso, observou-se uma temperatura média de cerca de 28,20°C, com pH médio em torno de 7,69 a 7,71. Os valores médios de TDS variaram de 8,77 a 10,54 ppt, resultando em uma salinidade média de 10,39 a 12,65. O D.O médio foi de aproximadamente 0,83 a 0,97 mg/L. No período seco, a temperatura média aumentou ligeiramente para cerca de 28,85°C, com pH médio variando de 7,46 a 8,05. Os valores médios de TDS foram mais elevados, variando de 19,69 a 19,79 ppt, resultando em uma salinidade média de 25,00 a 25,15. O D.O médio diminuiu para cerca de 0,59 a 0,62 mg/L (Tabela 1).

Tabela 1: Valores médios das variáveis abióticas do Estuário do Marumipí (P1, P2 e P3) e Canal de maré furo do Destacado (P4, P5 e P6) ao longo de um ano
Table 1: Average values of abiotic variables of the Marumipí Estuary (P1, P2 and P3) and the Destacado tidal channel (P4, P5 and P6) over the course of a year

Estação	Pontos Amostrais	Temp. (°C)	pH	TDS (ppt)	Salinity	D.O (mg/L)
Período chuvoso	P1	28,22	7,70	10,54	12,65	0,93
	P2	28,17	7,69	8,77	10,39	0,83
	P3	28,20	7,71	10,35	12,43	0,97
	P4	28,20	7,89	11,32	13,71	0,95
	P5	28,28	7,97	11,21	13,58	0,98
	P6	27,92	7,92	11,40	13,83	0,97
Período Seco	P1	28,88	7,46	19,69	25,00	0,61
	P2	28,84	7,94	19,68	24,99	0,59
	P3	28,82	8,05	19,79	25,15	0,62
	P4	28,85	8,01	19,96	25,39	0,67
	P5	28,89	8,26	19,96	25,39	0,77
	P6	28,46	8,23	19,99	25,44	0,72

No canal de maré furo do Destacado, durante o período chuvoso, a temperatura média foi de cerca de 28,13°C, com pH médio variando de 7,89 a 7,97. Os valores médios de TDS foram de 11,21 a 11,40 ppt, resultando em uma salinidade média de 13,58 a 13,83. O D.O médio foi de aproximadamente 0,95 a 0,98 mg/L. No período seco, a temperatura média aumentou ligeiramente para cerca de 28,73°C, com pH médio variando de 8,01 a 8,26. Os valores médios de TDS foram mais elevados, variando de 19,96 a 19,99 ppt, resultando em uma salinidade média de 25,39 a 25,44. O D.O médio diminuiu para cerca de 0,67 a 0,77 mg/L (Tabela 1).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) desempenha um papel crucial na definição dos padrões de qualidade da água, estabelecendo os parâmetros para sua adequada classificação. Com base nos valores dos parâmetros físico-químicos registrados nos canais do Marumipí e Destacado, essas águas se enquadram como representativas de um perfil de água salobra classe 1 (CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005).

No Canal do estuário do Marumipí (Figura 4), os valores de pH estão dentro dos limites estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) para águas salobras (6,5 a 8,5), tanto no período seco quanto no chuvoso. De maneira similar, no Canal do Destacado (Figura 5), todos os valores de pH estão em conformidade com os padrões estabelecidos, exibindo uma variação consistente entre os pontos de amostragem.

Figura 4: Variação das variáveis físico e químicas ao longo do ano de 2023 no Canal do Marumipí, nos pontos P1, P2 e P3 (a)- pH, (b)- Temperatura, (c)- Salinidade e (d) Oxigênio Dissolvido
Figure 4: Variation of physical and chemical variables throughout the year of 2023 in the Marumipí Channel, at points P1, P2, and P3 (a) - pH, (b) - Temperature, (c) - Salinity, and (d) Dissolved Oxygen.

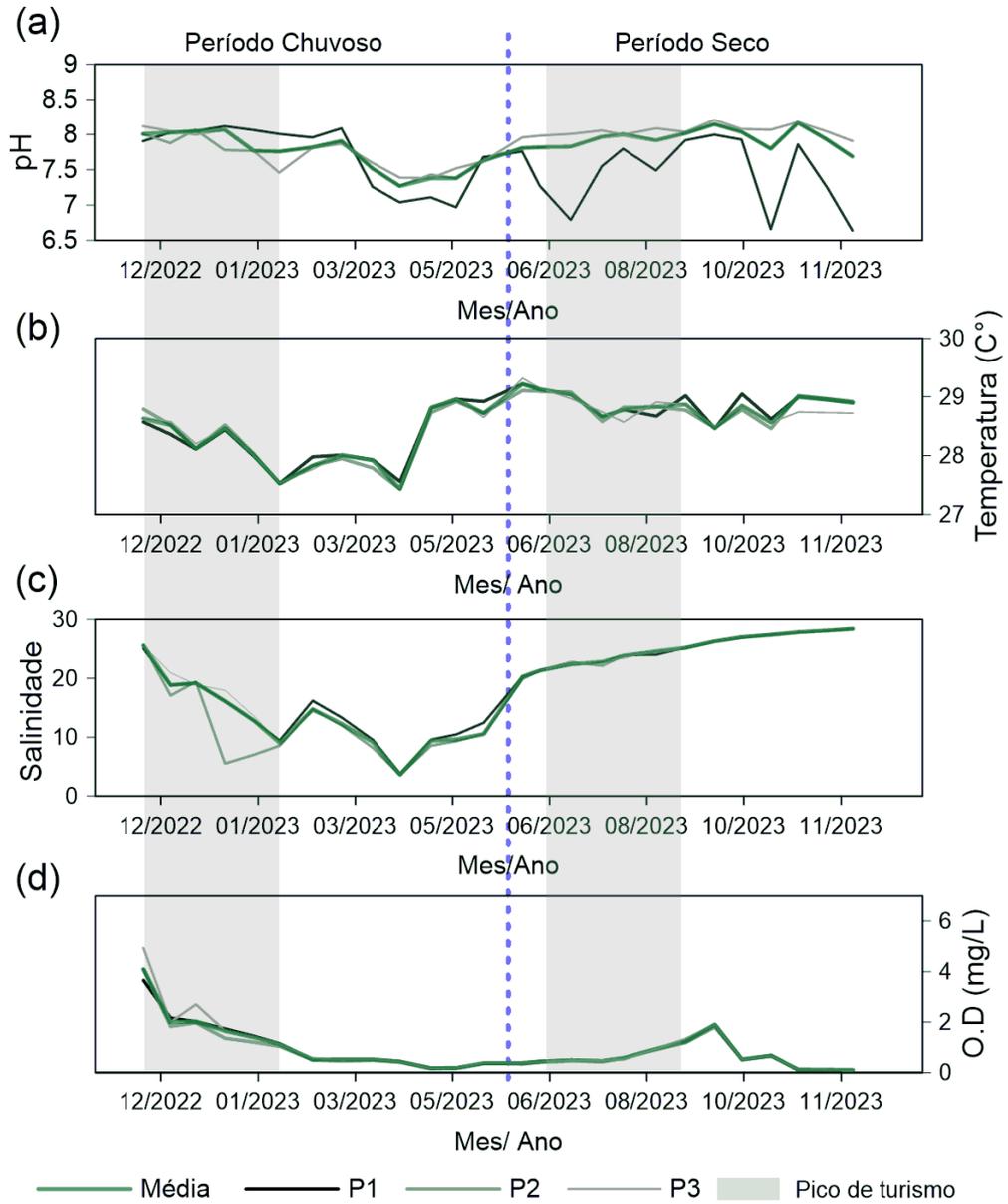
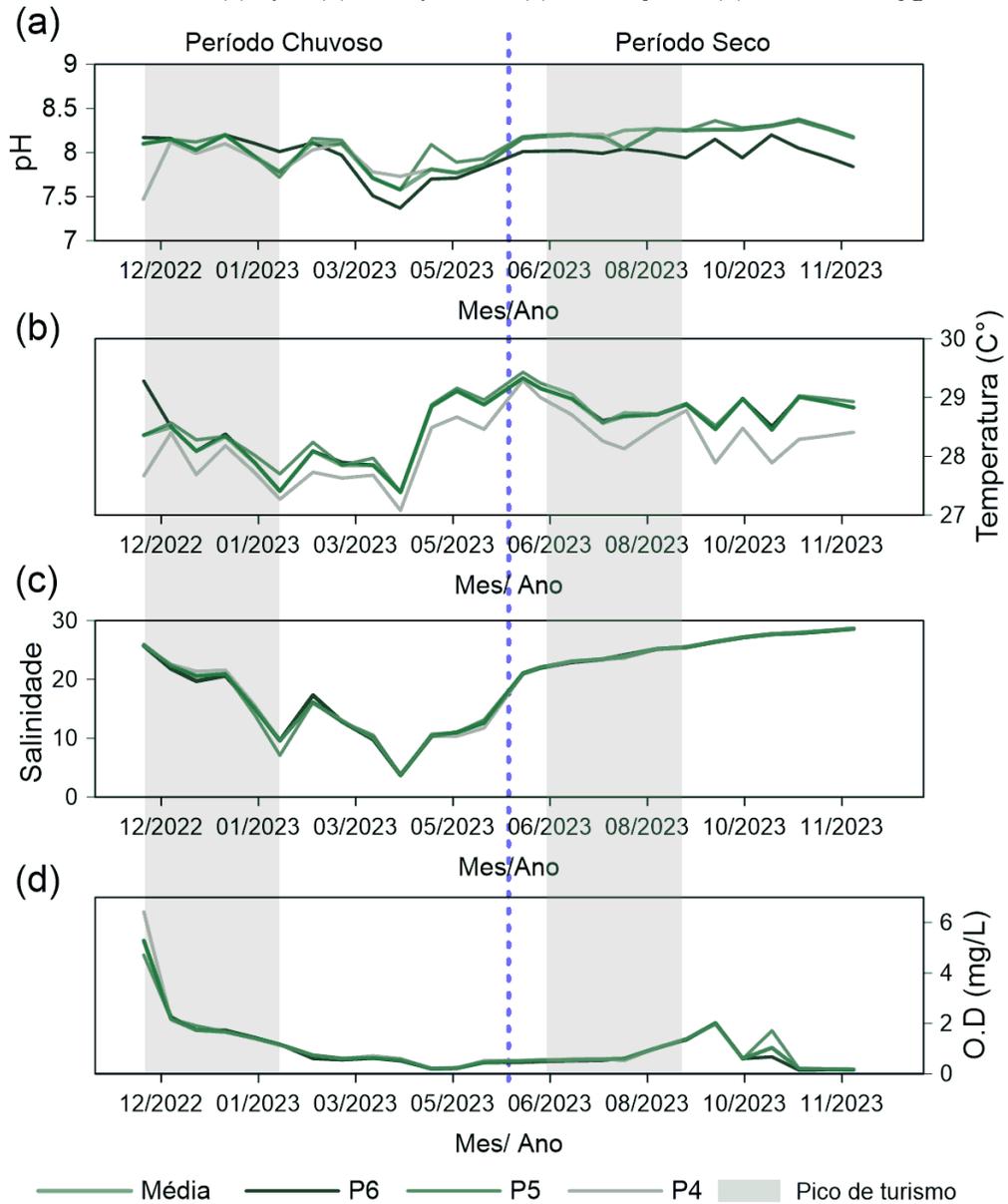


Figura 5: Variação das variáveis físico e químicas ao longo do ano de 2023 no Canal do Destacado, nos pontos P3, P4 e P5 (a)- pH, (b)- Temperatura, (c)- Salinidade e (d) Oxigênio Dissolvido
Figure 5: Variation of physical and chemical variables throughout the year of 2023 in the Destacado Channel, at points P3, P4, and P5 (a) - pH, (b) - Temperature, (c) - Salinity, and (d) Dissolved Oxygen.



No estuário do Marumipí (Figura 4) e canal de maré do Destacado (Figura 5), as temperaturas atingiram os picos mais elevados durante o período seco, especialmente em junho de 2023. Uma tendência semelhante foi observada nos níveis de salinidade em ambos os canais. Durante o período chuvoso, os valores de salinidade apresentaram-se mais baixos e com maior variabilidade, enquanto no período seco, os valores foram mais elevados e com uma tendência crescente constante. Essa variação nos níveis de salinidade é recorrente e se mantém dentro dos limites estabelecidos pelo Conama. A consistência da alteração nos níveis de salinidade ao

longo do tempo ajuda a caracterizar esses ambientes como águas salobras, conforme as diretrizes do Conama 357:2005.

No entanto, todos os dados de Oxigênio Dissolvido (OD) tanto no Canal do Marumipí (Figura 4) quanto no Canal do Destacado (Figura 5) estão abaixo do limite mínimo estipulado pelo Conama (não inferior a 5 mg/L). Essa condição pode ser atribuída à redução da aeração e ao aumento da atividade biológica na região. Na análise de agrupamento (Figura 6-a), as amostras foram agrupadas com base nas semelhanças das variáveis físico-químicas. As amostras do estuário Marumipí (em vermelho) e do Canal do Destacado (em azul) mostram uma tendência mais forte de agrupamento pela localização do que pela sazonalidade. No entanto, amostras da estação seca e da estação chuvosa formam grupos distintos, indicando que a sazonalidade também exerce influência nas características físico-químicas.

Na análise de componentes principais (PCA, Figura 6-b), os dois primeiros componentes explicam juntos 86,8% da variação total dos dados (64,2 % pelo PC1 e 22,7 % pelo PC2) (Tabela 2). As variáveis salinidade e TDS apresentam os maiores pesos negativos no PC1 (-0,503), indicando sua forte influência. O pH tem o maior peso negativo no PC2 (-0,927), destacando sua predominância nesse componente. A temperatura e o oxigênio dissolvido também contribuem significativamente para o PC3. A separação dos pontos de amostragem entre os períodos seco e chuvoso é bem definida, com os pontos do período seco sendo mais influenciados pela temperatura, salinidade e TDS, enquanto os pontos do período chuvoso são mais influenciados pelo oxigênio dissolvido e pH.

Tabela 2: Os diferentes componentes definidos e suas principais características. Valores em negrito representam componentes estatisticamente significativos para o PCA

Table 2: The different defined components and their main characteristics. Bold values represent statistically significant components for the PCA

PC	Eigenvalues	Variation %	Cumulative variance %
1	3,21	64,2	64,2
2	1,13	22,7	84,8

Tabela 2: Peso de cada variável para os três componentes principais

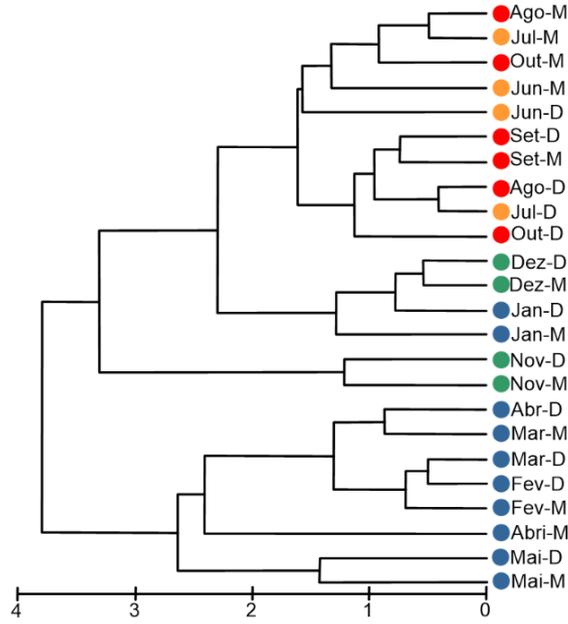
Table 2: Weight of each variable for the three principal components

Variável	PC1	PC2
Temp.[°C]	0,318	-0,667
pH	0,481	0,129
TDS [ppt]	0,549	-0,033
Sal.[psu]	0,549	-0,033
D.O.[mg/L]	0,255	0,732

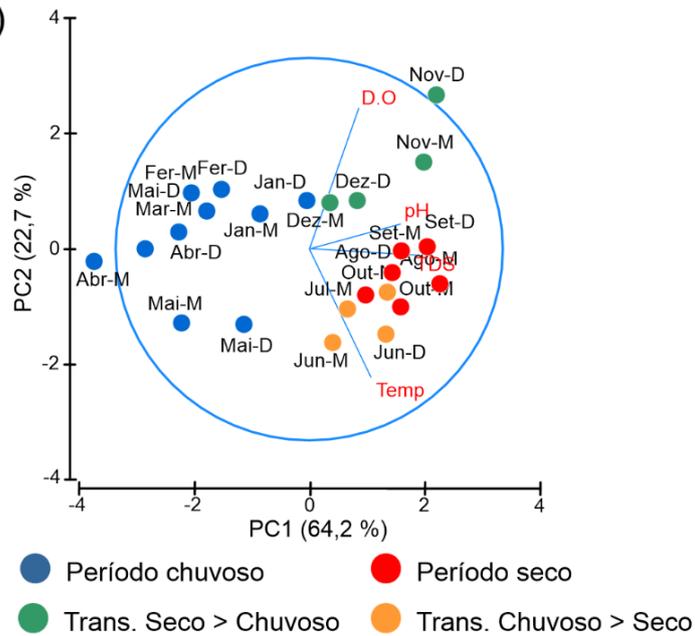
Figura 6: (a) Análise de cluster e (b) Análise de PCA das variáveis físico-químicas nas duas áreas de estudo: o estuário do Marumipí e o canal de maré do Destacado.

Figure 6: (a) Cluster analysis and (b) PCA analysis of physicochemical variables in the two study areas: the Marumipí estuary and the Destacado tidal channel.

(a)



(b)



4. Discussão

4.1 Efeitos das atividades antropogênicas e a falta de gestão costeira

As diferenças observadas nas características físico-químicas da água entre os períodos chuvoso e seco, bem como entre os canais Marumipí e Destacado, podem ser atribuídas a uma série de fatores, incluindo variações na precipitação, influências das atividades humanas e características geomorfológicas e oceanográficas desses canais. Nesse contexto, é fundamental considerar o impacto do turismo e da urbanização.

Os valores de temperatura indicam que as águas do estuário do Marumipí e canal de maré do Destacado, são ligeiramente aquecidas, o que é uma característica recorrente na região (Soares, 2023; Pereira, 2021). A variação sazonal é evidente, com temperaturas mais altas durante o período seco (Figuras 4 e 5). Por outro lado, os valores de pH não apresentam uma variação sazonal significativa, embora pequenas flutuações sejam observadas, especialmente no ponto P1 (Figura 4). O pH se mantém predominantemente alcalino em todos os pontos e períodos sazonais (Figuras 4 e 5).

Essa estabilidade pode ser explicada pela influência de processos biológicos, como a nitrificação, um processo realizado por certas bactérias que convertem amônia em nitrato, liberando íons hidroxila (OH⁻) e aumentando o pH da água (Zoppas et al. 2016). A decomposição de materiais orgânicos na água também pode contribuir para o aumento do pH, pois libera compostos alcalinos. Portanto, a combinação da atividade biológica e da presença de materiais orgânicos pode resultar em um pH alcalino nas águas, fator esse influenciado pela falta de uma estrutura de eficiente de saneamento.

Observou-se uma tendência consistente nos dados de sólidos dissolvidos totais e salinidade no estuário do Marumipí (Figura 4) e canal de maré do Destacado (Figura 5), com variações sazonais claramente influenciadas pela precipitação. Durante o período chuvoso, os valores registrados foram mais baixos, enquanto, no período seco os valores foram mais elevados. Essa tendência sugere uma forte influência dos períodos sazonais sobre esses parâmetros ao longo do ciclo hidrológico.

O Oxigênio Dissolvido (OD) foi a única variável que não apresentou variação sazonal, sendo mais afetada por influências antropogênicas. A redução nos níveis de oxigênio dissolvido (Figuras 4 e 5) ocorre durante os picos de atividade turística, quando há maior fluxo de efluentes nos corpos hídricos adjacentes ao município de Salinópolis. Por outro lado, durante os períodos de temperatura mais alta e sem influência do turismo, os níveis de OD aumentam ligeiramente, embora ainda não atinjam os valores ideais. Essa elevação sugere que os despejos de esgoto são os principais responsáveis pelos baixos níveis de OD nas águas, evidenciando assim a ineficiência do sistema de saneamento da cidade.

Conforme Cunha & Ferreira (2006), baixos níveis de OD indicam um possível consumo excessivo de oxigênio dissolvido na área, causado pela presença de matéria orgânica proveniente de esgotos, o que favorece a proliferação de microrganismos. Os despejos de efluentes causam degradação, o que, dependendo da gravidade do fenômeno, pode resultar na morte de peixes e mariscos, na diminuição da capacidade biológica do ecossistema e na deterioração das áreas turísticas (Von Sperling, 1996; ANA, 2018; M. Pásková et al. 2023).

De acordo com a ANA (2018), as concentrações de oxigênio dissolvido são cruciais para a preservação da vida aquática, sendo essenciais para manter processos fundamentais nos corpos hídricos, como a autodepuração. Os baixos níveis de OD são geralmente encontrados em regiões metropolitanas ou em áreas próximas a centros urbanos. Estudos sobre a presença de coliformes, como os de Pereira et al. (2012), Pinto et al. (2011) e Soares (2023), destacam a contaminação bacteriana das águas da praia do Atalaia, uma área muito utilizada para atividades recreativas. A contaminação por coliformes termotolerantes reflete as pressões antropogênicas na região. Além disso, Pereira (2021) destaca que a maioria dos efluentes lançados na região litorânea de Salinópolis provém de esgoto doméstico.

A análise de cluster e as análises de PCA (Figura 6) mostram que as características ambientais dos pontos de amostragem são influenciadas tanto pela localização geográfica quanto pela sazonalidade. A análise de cluster (Figura 6-a) revela agrupamentos claros relacionados aos períodos chuvosos e secos e suas transições, indicando que a condição climática induz, características físico-químicas distintas. Nos meses correspondentes à estação turística na região. Dezembro, janeiro e fevereiro (primeira estação) e julho, junho e agosto (segunda estação), é possível observar um agrupamento específico, esses grupos representam a influência da atividade turística nos parâmetros físicos e químicos.

Na PCA (Figura 6-b) complementa essa observação, mostrando que as amostras de Marumipí e Destacado estiveram bem separadas ao longo do PC1, isso indica que a principal diferença entre os estuários está relacionada à variação de salinidade, pH e TDS, onde as variáveis com maior peso são TDS (0,549) e Salinidade (0,549) e seguidas pelo pH (0,481), a sazonalidade modifica consideravelmente essas variáveis, refletindo nas diferenças observadas entre as estações.

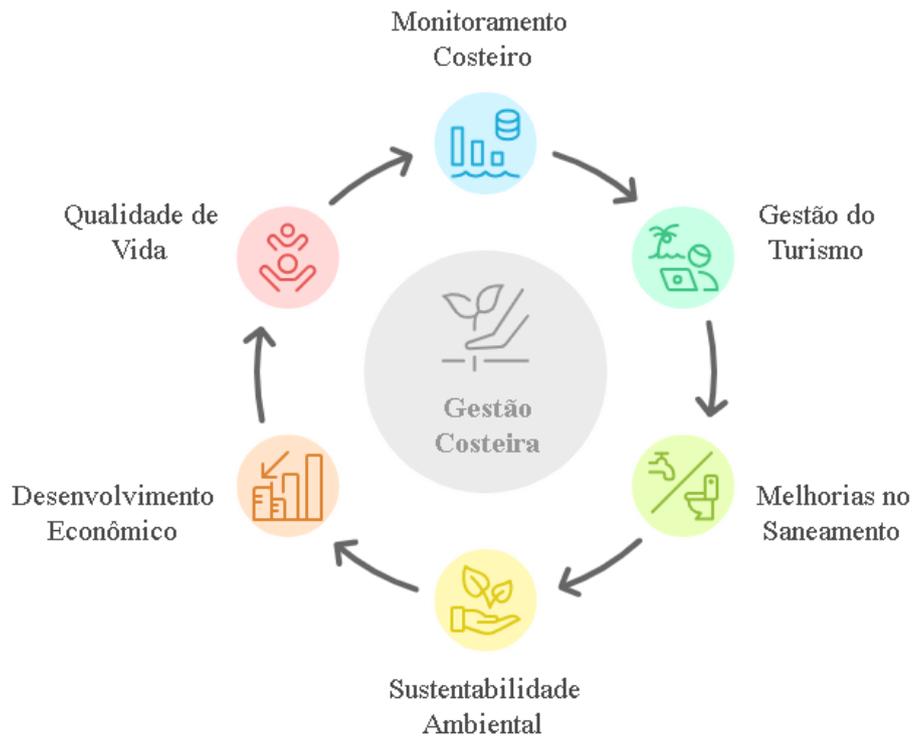
No PC 2 (Figura 6-b), A variável mais influente é D.O. (oxigênio dissolvido) com 0,732, seguida de Temperatura (-0,667), como os sinais são opostos, isso indica uma relação inversa entre temperatura e oxigênio dissolvido, o que faz sentido, pois águas mais quentes tendem a conter menos oxigênio dissolvido.

Além das influências naturais, os resultados dessas análises sugerem que a poluição local também desempenha um papel importante na variação das características físico-químicas. A presença de poluentes pode alterar os níveis de pH, aumentar a carga de sólidos dissolvidos (TDS) e afetar o oxigênio dissolvido (OD). Por exemplo, efluentes industriais ou esgoto doméstico podem aumentar a concentração de TDS e alterar a salinidade, enquanto a introdução de matéria orgânica pode consumir oxigênio, diminuindo os níveis de OD e tornando o pH mais alcalino.

A urbanização, frequentemente associada às atividades turísticas, que envolvem desde o aumento do transporte até a expansão das instalações de hospedagem e geração de resíduos, tem um papel importante na poluição das águas. Isso ocorre devido ao aumento do descarte de águas residuais industriais e domésticas, além da liberação de resíduos nas áreas urbanas (Sánchez-Quiles & Tovar-Sánchez, 2015; Stern et al., 2020). Esse cenário agrava os desafios relacionados à poluição da água, exigindo ações urgentes e políticas eficazes para mitigar seus impactos (Ouyang et al., 2006).

O sistema costeiro é um ambiente onde a competição e o conflito entre os usuários de recursos são intensos, o que faz com que o governo muitas vezes, hesite em adotar medidas. No entanto, a sustentabilidade no turismo só será alcançada com políticas coerentes por parte das entidades governamentais. A OMT (2003) argumenta que o turismo, sob a ótica da “sustentabilidade”, tem um grande potencial para maximizar os benefícios econômicos, sociais e ambientais. Promovendo assim a qualidade de vida das populações locais, melhorando a experiência turística para os visitantes e contribuir para a proteção do ambiente, garantindo a preservação do patrimônio ambiental para as comunidades locais e visitantes que dele dependem. Com base nos resultados, é possível elaborar um fluxograma (Figura 7) que indica as ações a serem seguidas para uma gestão mais eficiente e sustentável. Vale destacar que o turismo em ascensão não é o único, tampouco o principal problema enfrentado. A falta de saneamento básico e de políticas públicas eficazes para a gestão de resíduos também contribui significativamente para a degradação ambiental, tornando a qualidade dos sistemas naturais adjacentes ao município uma preocupação crescente.

Figura 7: Ciclo das ações para promover gestão costeira no município de Salinópolis.
Figure 7: Cycle of actions to promote coastal management in the municipality of Salinópolis.



Made with Napkin

A sustentabilidade no turismo é um processo contínuo que exige a previsão de tendências e o monitoramento dos impactos para a implementação de medidas preventivas ou corretivas quando necessário. Nesse contexto, o monitoramento contínuo e sazonal dos parâmetros físico-químicos da água surge como uma ferramenta essencial para a conservação e gestão desses ecossistemas. Esse monitoramento não apenas identifica características relacionadas aos processos naturais e ecológicos, mas também permite detectar potenciais impactos negativos das atividades humanas na bacia hidrográfica.

5. Conclusão

A qualidade da água é influenciada por uma interação complexa de variáveis naturais, como o regime de chuvas, o escoamento superficial, a geologia e a cobertura vegetal, além de impactos antrópicos, como o lançamento de efluentes de fontes pontuais e difusas e o manejo inadequado dos solos (ANA, 2018). Embora a análise dos parâmetros, conforme a Resolução CONAMA 357:2005, geralmente indique uma situação satisfatória, é importante destacar a preocupação com os níveis de Oxigênio Dissolvido (OD), um indicador essencial para a vida aquática e um marcador sensível de contaminação por esgotos.

Durante os períodos de pico do turismo, observa-se uma diminuição ainda mais acentuada nos níveis de OD nas águas, o que sugere uma intensificação dos impactos ambientais decorrentes do aumento das atividades humanas na região. Essa situação levanta questões cruciais sobre a gestão dos recursos hídricos e a necessidade urgente de medidas preventivas para proteger a qualidade da água, diante das crescentes pressões associadas

ao desenvolvimento urbano e ao turismo.

Este estudo ressalta a importância da monitorização contínua das características da água em diferentes ambientes e épocas do ano. As informações obtidas são essenciais para a gestão eficaz e a conservação dos recursos hídricos, além de contribuírem para uma melhor compreensão dos impactos das mudanças sazonais e ambientais na qualidade da água e nos ecossistemas aquáticos. Recomenda-se, assim, a realização de investigações futuras mais aprofundadas sobre as causas e efeitos das variações observadas, com o objetivo de implementar medidas de mitigação e adaptação que promovam a sustentabilidade dos sistemas aquáticos.

6. Agradecimentos

Gostaríamos de expressar nossa gratidão a toda a equipe do HidroLab - Laboratório de Hidráulica Ambiental por suas contribuições inestimáveis tanto no trabalho de campo quanto nas análises laboratoriais. Esta pesquisa foi viabilizada com o financiamento da Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA) e da Fundação de Amparo e Desenvolvimento da Pesquisa (FADESP), por meio das bolsas 015/2019 e 2019/307839. Agradecemos também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro por meio das bolsas 406506/2022-1 e 445367/2024-5.

7. Referências

ANA – Agência Nacional de Águas (2018). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: Informe anual**. Brasília.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2021). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília, DF. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br>. Acesso em: 23 ago. 2023.

Brito, F. M. O. (2004). **(Re) Organização Sócio-Espacial do Município de Salinópolis/PA**. Dissertação de mestrado em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 12-176.

Brito, F. M. O. (2005). Salinópolis-PA: (Re) Organização sócio-espacial de um lugar atlântico-Amazônico. **Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina**, São Paulo, Brasil.

Carvalho, J. P. V., Silva, J. P., & Marinho, M. (2010). Os efeitos da degradação dos recursos hídricos nos espaços urbanos de Vitória da Conquista – BA. **Enciclopédia Biosfera**, 6(10), 1-9.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2005). **Resolução nº. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 58-63.

Cunha, C. L. N., & Ferreira, A. P. (2006). Modelagem matemática para avaliação dos efeitos de despejos orgânicos nas condições sanitárias de águas ambientais. **Caderno de Saúde Pública do Rio de Janeiro**, 22(8), 1715-1725.

Cruz, A., & Mota, B. (2020). **Rede de monitoramento da qualidade das águas costeiras do estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB.

Sánchez-Quiles, D., & Tovar-Sánchez, A. (2015). Are sunscreens a new environmental risk associated with coastal tourism? **Environmental International**, 83, 158–170. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.06.007>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2023). **Cidades: Salinópolis-PA**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/salinopolis>. Acesso em: 17 jan. 2023.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. (1986–2019). **Estação meteorológica de Salinópolis: Médias históricas**.

Folgado-Fernández, J. A., Di-Clemente, E., Hernández-Mogollón, J. M., & Campón-Cerro, A. M. (2019). Water tourism: a new strategy for the sustainable management of water-based ecosystems and landscapes in Extremadura (Spain). **Land**, 8. <https://doi.org/10.3390/land8010002>.

Marinho, R.S. (2009). **Faces da expansão urbana em Salinópolis, zona costeira do Estado do Pará**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 136, Brasil.

Martorano, L.G., Pereira, L.C., Cezar, E. G. M., & Pereira, I. C. B. (1993). **Estudos climáticos do Estado do Pará, classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica**. Belém: SUDAM/EMBRAPA, SNLCS, p.53.

Ministério do Turismo. (2019). **Estratégias Territoriais para o Desenvolvimento Turístico: resultados. Programa de regionalização do turismo**. Disponível em: http://www.regionalizacao.turismo.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=89&Itemid=272. Acesso em: 23 ago. 2023.

Oliveira, G., & Santos, H. (2021). Programa de Monitoramento da Qualidade das Águas Salinas e Salobras: Rede Costeira da CETESB. **Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, 20(1), 67-80.

Organização Mundial de Turismo – OMT. (2003). **Guia de desenvolvimento do turismo sustentável**.

Pásková, M., et al. (2023) Water pollution generated by tourism: Review of system dynamics models. **Heliyon**. doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23824.

Pereira, M. A. F., Barbieiro, B. L., & Quevedo, D. M. (2020). Importância do monitoramento e disponibilização de dados hidrológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos. **Sociedade e Natureza**, 23(32), 308-320. doi.org/10.14393/SN-v32-2020-43458.

Pereira, M. F. B. C. (2021). **Estudo do ambiente litorâneo de Salinópolis, Pará: bioindicação por zooplâncton, percepção ambiental e mapeamento das saídas de efluentes in natura**. Dissertação de mestrado em Ciências Ambientais, Universidade do Estado do Pará, Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, Belém, Brasil.

Pitombeira, S. C., & Romcy, C. M. A. (2023). Ocupação do território em áreas costeiras: Proposta de gestão e ordenamento de zona costeira - uma oportunidade para o planejamento urbano. **Revista de Direito da Cidade**, 15(3), 1039-1069. Doi: 10.12957/rdc.2023.65109.

Rodrigues, J. C., Souza, P. J. O. P., & Lima, R.T. (2013). Estimativa de temperaturas basais e exigência térmica em mangueiras no nordeste do estado do Pará. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 35(1), 143-150.

Santos, E. S. (2012). **Modelagem Hidrodinâmica e Qualidade da Água em Região de Pororoca na Foz do Rio Araguari-AP**. Dissertação de mestrado em Biodiversidade Tropical, Universidade Federal do Amapá,

Amapá, Brasil.

Silva, C. G. A. (2014). Acondicionamento e coleta de resíduos sólidos: um estudo sob a perspectiva dos prestadores de serviços turísticos da Praia do Atalaia-PA. **Revista Turismo - Visão e Ação - Eletrônica**, 16(1), 144-166. <https://doi.org/10.14210/rtva.v16n1.p144-166>.

Silva, D., & Pereira, F. (2019). Monitoramento de fluxos subterrâneos para a Lagoa Mangueira. **Revista Brasileira de Geografia**, 55(2), 123-135.

Silva, I. G., & Köenig, M. L. (1993). Variação sazonal da densidade fitoplanctônica no estuário do rio Paripe, Itamaracá - Pernambuco, Brasil. **Arq. Biol. Tecnol.**, 36, 645-658.

Soares, J. L. F. (2023). **Avaliação da qualidade das águas nas praias no município de Salinópolis-PA**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Pesca, Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Belém, PA, Brasil.

T. Ouyang, Z. Zhu, & Y. Kuang. (2006). Assessing impact of urbanization on river water quality in the Pearl River Delta economic zone, China. **Environmental Monitoring and Assessment**, 120, 313–325. doi.org/10.1007/s10661-005-9064-x.

Von Sperling, M. (1996). **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais.

Zoppas, F. M., Bernardes, A. M., & Meneguzzi, A. (2016). Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 21(1), 29-42. [https://DOI: 10.1590/S1413-41520201600100134682](https://DOI:10.1590/S1413-41520201600100134682).