



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA**

ANA LAURA ARAUJO GRATÃO

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO FOSFATO DISSOLVIDO NO SISTEMA
ESTUARINO DO RIO PACIÊNCIA, MUNICÍPIO DE RAPOSA-MARANHÃO**

**SÃO LUÍS/MA
2023**

ANA LAURA ARAUJO GRATÃO

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO FOSFATO DISSOLVIDO NO SISTEMA
ESTUARINO DO RIO PACIÊNCIA, MUNICÍPIO DE RAPOSA-MARANHÃO**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Oceanografia da Universidade Federal do Maranhão, como requisito para obtenção do Grau de Bacharel em Oceanografia.

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

Coorientadora: MSc. Potira Manuara Souza Melo

**SÃO LUÍS/MA
2023**

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

Araujo Gratão, Ana Laura.

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO FOSFATO DISSOLVIDO NO SISTEMA
ESTUARINO DO RIO PACIÊNCIA, MUNICÍPIO DE RAPOSA-MARANHÃO /
Ana Laura Araujo Gratão. - 2023.

64 p.

Coorientador(a): Potira Manauara Souza Melo.

Orientador(a): Samara Aranha Eschrique.

Curso de Oceanografia, Universidade Federal do
Maranhão, São Luís, 2023.

1. Ciclos Biogeoquímicos. 2. Estuários. 3. Fósforo.
4. Nutrientes. I. Aranha Eschrique, Samara. II. Souza
Melo, Potira Manauara. III. Título.

ANA LAURA ARAUJO GRATÃO

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO FOSFATO DISSOLVIDO NO SISTEMA
ESTUARINO DO RIO PACIÊNCIA, MUNICÍPIO DE RAPOSA-MARANHÃO**

Monografia apresentada ao curso de graduação em Oceanografia da Universidade Federal do Maranhão, como requisito para obtenção do Grau de Bacharel em Oceanografia.

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

Coorientadora: MSc. Potira
Manauara Souza Melo

Aprovada em: _____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA:

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

Dra. Suzyeth Monteiro Melo
Departamento de Oceanografia e Limnologia (Membro Interno)

Profa. Dra. Elisabete de Santis Braga da Graça Saraiva
Instituto Oceanográfico de São Paulo (Membro Externo)

*Com muita gratidão no coração,
dedico este trabalho a Deus, que
é o maior orientador da minha
vida. Ele está sempre comigo!*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pois sem Ele nada seria possível. Sua presença e orientação ao longo dessa jornada acadêmica foram fundamentais para o meu crescimento e sucesso. Ele é a causa principal de tudo e todas as coisas.

Gostaria de dedicar esta pesquisa ao meu pai, Wagner Luís Gratão. Ao longo da minha vida, ele tem sido meu guia e maior apoiador. Sua orientação, investimento, dedicação e amor incondicional foram a base sólida que me impulsionou até aqui. Esta monografia é uma prova tangível de que todo o meu esforço valeu a pena. Sou imensamente grato por tê-lo como meu pai e orientador.

À minha família, em especial aos meus amados avós, Augusto Gratão e Elvita Gonçalves, gostaria de expressar minha profunda gratidão. O carinho e amor que sempre me envolveram foram fontes de inspiração e força ao longo dessa jornada. Esta conquista também é de vocês.

À minha orientadora, Samara Aranha Eschrique, minha mãe científica, agradeço de coração. Seu tempo, esforço e paciência foram essenciais para a conclusão deste trabalho. Sua orientação, conselhos e amizade foram pilares que me sustentaram ao longo dessa jornada. Obrigado por acreditar em mim e por todo o apoio que você me ofereceu.

Não posso deixar de expressar minha gratidão ao Projeto de Cooperação Acadêmica FAPEMA-FAPESP, que me proporcionou a oportunidade de participar do Projeto de Pesquisa intitulado: “ESTUDO BIOGEOQUÍMICO E SOCIOAMBIENTAL DE ECOSISTEMAS COSTEIROS - Contribuição para avaliação de sustentabilidade e impacto ambiental - BIOGEOQUIS-ECOS (FAPESP n° 2020/16485-7; FAPEMA n° CADC 02949/20)”. A experiência e aprendizado adquiridos foram inestimáveis.

Quero agradecer a todos os professores do departamento de Oceanografia-UFMA, que compartilharam seu conhecimento e experiência, e aos colaboradores, pela parceria e contribuição neste trabalho. Cada ensinamento recebido foi valioso para o meu crescimento acadêmico.

Expresso minha gratidão a todos que, de forma direta ou indireta, fizeram parte da minha formação acadêmica. Agradeço por suas orações, palavras de incentivo e conversas inspiradoras. Sua influência positiva em minha vida foi fundamental.

Às minhas "primãs" Ana Luísa e Izabella, quero expressar minha profunda gratidão. O apoio incondicional e a amizade que compartilhamos desde a infância foram pilares de força em minha jornada. Mesmo vivendo em estados diferentes, nossa irmandade permaneceu forte. Vocês estarão sempre no meu coração.

Aos meus amigos e colegas de laboratório Julia, Kassia, Suzy e Potira, gostaria de agradecer pelo suporte e incentivo durante a pesquisa. Suas contribuições foram inestimáveis, e as risadas compartilhadas tornaram essa jornada ainda mais especial. Levarei cada um de vocês em meu coração.

Por fim, gostaria de agradecer ao meu namorado, Iago Moraes, por seu amor, paciência e apoio incansáveis. Mesmo à distância, você esteve presente em cada etapa dessa jornada. Sua compreensão e incentivo foram fundamentais para que eu alcançasse esse grande sonho.

Acredito que todos nós devemos perseverar em nossos sonhos, pois eles têm o poder de se tornarem realidade quando acreditamos. Que nossas conquistas possam inspirar outros a perseguirem seus objetivos com determinação e fé.

Que Deus continue nos abençoando e guiando em nossas jornadas.

RESUMO

Os estuários são ambientes suscetíveis a impactos tanto naturais como antrópicos, os elementos nutrientes como o fósforo estabelecem condições sobre a qualidade da água na região. Sabendo da relevância do Sistema Estuarino do Rio Paciência para a Zona Costeira Maranhense, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar a distribuição espacial da concentração de fosfato dissolvido nas águas estuarinas deste rio. A salinidade, condutividade, temperatura e o pH foram obtidos *in situ* com o auxílio de uma sonda multiparâmetro - Conductivity Temperature Depth (CTD), já a transparência da água foi calculada a partir da profundidade do desaparecimento do disco de Secchi, de acordo com Poole & Atkins (1888). Os Totais de Sólidos em Suspensão (TSS) e Matéria Orgânica em Suspensão (MOS) foram determinados pelo método gravimétrico como sugerido por APHA (2001), segundo Strickland & Parsons (1972). O Oxigênio Dissolvido (OD) foi obtido pelo método analítico de Winkler (1988), como descrito em Strickland e Parsons (1972). A clorofila a foi medida seguindo a metodologia de Jeffrey & Humphrey (1975). As concentrações do fosfato dissolvido na água foram determinadas pelo método colorimétrico de acordo com Grasshoff *et al.* (1999). Os parâmetros físicos e químicos da água refletiram a forte influência marinha no canal estuarino. O fosfato obteve maiores concentrações no período chuvoso com média de $2,37 \mu\text{mol L}^{-1}$, sendo relacionado ao aporte do nutriente pela lixiviação das margens. No período de estiagem as concentrações desse nutriente diminuíram obtendo média de $0,40 \mu\text{mol L}^{-1}$, que pode estar relacionado ao menor fluxo de água que fluiu do rio para o estuário, fazendo com que houvesse um equilíbrio entre as campanhas. As concentrações de clorofila-a foram ligeiramente maiores durante o período chuvoso ($9,95 \text{ mg m}^{-3}$) em comparação com o período de estiagem ($6,74 \text{ mg m}^{-3}$), indicando que neste período as condições físicas e químicas da água estavam mais favoráveis para a produção primária. No geral, as águas do estuário do Rio Paciência mantêm a condição de um ambiente natural, devido às constantes renovações de suas águas pelas contribuições de maré. O estudo ainda contribuiu com a ODS-14 da agenda 2030 da (ONU) que visa à sustentabilidade e a manutenção da vida na água.

Palavras-chave: Nutrientes, Ciclos Biogeoquímicos, Estuários, Fósforo.

ABSTRACT

Estuaries are environments susceptible to both natural and anthropogenic impacts, and nutrient elements such as phosphorus influence water quality in the region. Recognizing the relevance of the Paciência River Estuarine System to the Maranhão Coastal Zone, this study aimed to assess the spatial distribution of dissolved phosphate concentration in the estuarine waters of this river. Salinity, conductivity, temperature, and pH were measured in situ using a multiparameter probe - Conductivity Temperature Depth (CTD). Water transparency was calculated based on the depth at which the Secchi disk disappeared, following the method described by Poole & Atkins (1888). Total Suspended Solids (TSS) and Suspended Organic Matter (SOM) were determined by the gravimetric method suggested by APHA (2001), following Strickland & Parsons (1972). Dissolved Oxygen (DO) was obtained using the Winkler analytical method (1988) as described by Strickland and Parsons (1972). Chlorophyll-a concentration was measured following the methodology of Jeffrey & Humphrey (1975). The concentrations of dissolved phosphate in the water were determined using the colorimetric method according to Grasshoff et al. (1999). The physical and chemical parameters of the water reflected a strong marine influence in the estuarine channel. Phosphate showed higher concentrations during the rainy period with an average of 2.37 $\mu\text{mol L}^{-1}$, which was related to the nutrient input from leaching margins. During the dry season, phosphate concentrations decreased with an average of 0.40 $\mu\text{mol L}^{-1}$, possibly due to the reduced water flow from the river to the estuary, resulting in a balance between the periods. Chlorophyll-a concentrations were slightly higher during the rainy period (9.95 mg m^{-3}) compared to the dry period (6.74 mg m^{-3}), indicating more favorable physical and chemical conditions for primary production during the former. Overall, the waters of the Paciência River estuary maintain the characteristics of a natural environment due to constant water renewals from tidal contributions. This study also contributes to the UN's 2030 Agenda, particularly Goal 14, which aims at ensuring the sustainability and conservation of life in water bodies.

Palavras-Chave: Nutrients, Biogeochemical Cycles, Estuaries, Phosphorus.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GERAL	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3. MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1 ÁREA DE ESTUDO	20
3.1.1 MUNICÍPIOS RAPOSA-MA E PAÇO DO LUMIAR-MA	21
3.1.2 Hidrografia e Vegetação	22
3.1.3 Climatologia da Região	24
3.2 AMOSTRAGEM DA ÁGUA.....	25
3.3 VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS <i>IN SITU</i>.....	26
3.4 DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS DOS MÉTODOS	28
3.4.1 Oxigênio Dissolvido (OD)	28
3.4.2 Totais de Sólidos em Suspensão (TSS)	29
3.4.3 Matéria Orgânica em Suspensão (MOS)	30
3.4.4 Fosfato Inorgânico Dissolvido na água	30
3.5 PARÂMETROS HIDROLÓGICOS	32
3.5.1 Transparência da Água	32
3.5.2 Dados Pluviométricos e Maré.....	32
3.6 DADOS BIOLÓGICOS.....	32
3.6.1 Cl-a	32
3.7 ANÁLISE DE DADOS	33
3.7.1 Teste t	34
3.7.2 Análise de Componente Principal (ACP).....	34

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1 PARÂMETROS HIDROLÓGICOS E HIDRODINÂMICOS	34
4.1.1 Curva de Maré	37
4.2. PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS	39
4.2.1. Profundidade Local e Transparência da Água.....	41
4.2.2. Temperatura.....	43
4.2.3 Salinidade e Condutividade	44
4.2.4. Oxigênio Dissolvido (OD)	46
4.2.5. pH	47
4.2.6 TSS	49
4.2.7 MOS	50
4.2.8 Fosfato	52
4.2.9 Cl-a	53
4.3. ANÁLISE DE COMPONENTE PRINCIPAL (ACP)	55
5. CONCLUSÃO	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Atuação da ZCIT, ZCAS, VCAN, AB e as massas de ar (mEc), (mEa) e(mTa) sobre o Maranhão.....	25
Figura 2. Localização dos pontos de coleta no estuário do Rio Paciência-MA.	26
Figura 3. Equipamentos utilizados na coleta de água: (a) Embarcação; (b) Garrafa van Dorn; (c) Frascos de polietileno para realização das análises de TSS e nutrientes dissolvidos na água; (d) CTD YSI CastAway TM, para Prof do Local, Sal, Temp, Cond; (e) Disco de Secchi para a transparência; (f) Sonda Hanna HI – 8424 para pH.	27
Figura 4. Média histórica mensal da precipitação pluviométrica na região da ilha de São Luís, durante os anos de 1971-2022, as barras de erros estão representadas pelos desvios padrões.....	35
Figura 5. Distribuição de chuvas pelos fenômenos climáticos El Niño e La Ninã no Maranhão.	37
Figura 6 Curva de maré (a) Período chuvoso (maio); (b) Período de estiagem (setembro).....	37
Figura 7. Profundidade do local e Transparência da água dos pontos espaciais para os dois períodos Sazonais (a) Período chuvoso; (b) Período de estiagem do sistema estuarino do Rio Paciência- Maranhão.	41
Figura 8 Distribuição sazonal da temperatura (°C) no sistema estuarino do Rio Paciência-Maranhão.	43
Figura 9. Distribuição Sazonal da salinidade (g kg^{-1}) (a) e condutividade (mS cm^{-1}) (b) para os dois períodos chuva e estiagem.	45
Figura 10. Distribuição sazonal do Oxigênio Dissolvido (OD).	47
Figura 11. Distribuição sazonal do pH no sistema estuarino do Estuário do Rio Paciência-MA.	48
Figura 12. Distribuição sazonal do TSS no sistema estuarino do Rio Paciência-MA.	50
Figura 13. Distribuição sazonal do MOS no sistema estuarino do Estuário do Rio Paciência-MA.	51
Figura 14. Distribuição sazonal do fosfato no sistema estuarino do Estuário do Rio Paciência-MA ...	52
Figura 15. Distribuição sazonal da cl-a no sistema estuarino do Estuário do Rio Paciência-MA	54
Figura 16. Análise de Componente Principal (ACP).	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Lista de tensores antrópicos e as consequências geradas na Bacia do Rio Paciência-MA. -----	23
Tabela 2. Valores do estatístico (teste t).-----	39
Tabela 3. Resultados dos parâmetros físicos e químicos obtidos no estuário do Rio Paciência, MA.-----	37

LISTA DE ABREVIATURAS

OD- Oxigênio Dissolvido

TSS- Totais de Sólidos Suspensos

MOSP – Material Orgânico em Suspensão

PID- Fosforo orgânico dissolvido

Cl-a- Clorofila a

C°- Graus Celsius

CP- Concentração do Pigmento

CóC- Comprimento óptico da Cubeta

Test t Student- Teste Comparação de médias

ACP-. Análise de Componentes Principais

1. INTRODUÇÃO

A zona costeira brasileira abriga uma diversidade de ambientes que estão suscetíveis a processos de degradação. Essa região é caracterizada pelo aumento da ocupação humana em espaços naturais, como recifes de corais, praias, manguezais, marismas, campos de dunas, falésias, baías, estuários e planícies intermarés (SOUZA *et al.*, 2005). Conforme Ranieri e El-Robrini (2016), a zona costeira é um local de grande sensibilidade e encontra-se constantemente sob estresse devido às influências de agentes oceânicos, continentais, hidrológicos, atmosféricos e antrópicos.

Segundo Carvalho & Rizzo (1994), os ecossistemas costeiros desempenham um papel de extrema importância ecológica, proporcionando diversos benefícios e serviços para as sociedades. Entre esses benefícios estão à oferta de alimentos, moradia, recreação, oportunidades de trabalho e o desenvolvimento de atividades econômicas. Além disso, Miththapala (2013) destaca que esses ambientes desempenham funções como a reciclagem de nutrientes, a prevenção de inundações, a proteção contra erosão costeira, tempestades e intrusão salina.

No entanto, o rápido desenvolvimento e a crescente urbanização nas áreas costeiras têm levado à supressão e degradação desses ecossistemas. Esse processo de supressão resulta em distúrbios visíveis, incluindo destruição e degradação dos ambientes costeiros, como destacado por Parthasarathy e Natesan (2015).

Os estuários, de acordo com a definição de Potter *et al.* (2010), são ecossistemas costeiros semifechados que apresentam conexão direta com o mar aberto. Esses corpos de água podem ser permanentes ou periódicos e englobam salinidades inferiores às encontradas na água marinha. Em áreas onde a taxa de evaporação é alta em comparação com a entrada de água doce e maré, os estuários podem se tornar hipersalinos.

Segundo MMA (2010), esses ambientes são influenciados pela ação das marés e do fluxo dos rios, são reconhecidos como ambientes de alta produtividade. Essa produtividade é resultado do aporte significativo de nutrientes orgânicos e inorgânicos pelos estuários para a zona costeira.

Davis e Richard (1985) afirmam que os estuários desempenham um papel fundamental ao fornecer uma quantidade substancial desses nutrientes essenciais para o funcionamento dos ecossistemas costeiros.

De acordo com Miranda *et al.*, (2002), os estuários são influenciados tanto diretamente, por meio da alta taxa de atividade biológica, quanto indiretamente, por atividades urbanas, recreativas, portuárias, industriais, pesqueiras e desmatamentos. Essas atividades naturais e antrópicas podem provocar alterações nas propriedades do ambiente estuarino e na estrutura dos ciclos biogeoquímicos de substâncias, como os elementos nutrientes.

O ciclo do fósforo na água desempenha um papel fundamental na disponibilidade e regulação desse importante nutriente nos ecossistemas aquáticos. O fósforo é essencial para a vida, sendo componente essencial dos ácidos nucleicos, como o DNA, e dos fosfolipídios que compõem as membranas celulares (OLIVEIRA *et al.*, 2021). Ainda segundo esse autor o ciclo do fósforo pode ser dividido em duas fases principais:

- A fase sedimentar tem início com a erosão e intemperismo das rochas ricas em fósforo presentes na crosta terrestre, liberando o nutriente dos minerais para o solo. Esse fósforo liberado reage com íons presentes no solo, tornando-se solúvel em água, num processo chamado solubilização. Em seguida, ocorre o transporte para os corpos d'água, quando o fósforo absorvido pelas plantas é transferido para eles através da chuva e do escoamento superficial.
- A fase biológica começa com o processo da fotossíntese, onde no ambiente aquático, o fósforo dissolvido fica disponível para as algas e plantas aquáticas, que o utilizam durante a fotossíntese para produzir compostos orgânicos, incluindo carboidratos, proteínas e lipídios. Em seguida, ocorre o processo de cadeia alimentar, no qual o fósforo é transferido ao longo da cadeia alimentar à medida que os organismos se alimentam uns dos outros, com os predadores obtendo fósforo dos organismos que consomem. A excreção e decomposição acontecem quando os organismos morrem ou excretam, liberando o fósforo de volta na água. A decomposição da matéria orgânica também libera fósforo de volta ao ambiente. O último processo é o de sedimentação, que ocorre ao longo do tempo, onde parte do fósforo na água é incorporada em partículas suspensas que se depositam no fundo dos corpos d'água. Por fim, ocorre a formação de sedimentos, onde o fósforo acumulado no sedimento pode ser enterrado e se transformar em rocha sedimentar, encerrando a fase sedimentar do ciclo do fósforo.

Além disso, o fosfato inorgânico dissolvido (PID) é a forma predominante e estável do fósforo na água e é prontamente assimilado pelos organismos fotossintetizantes (CHESTER e RILEY, 1989).

Embora o P seja abundante na crosta terrestre, em condições naturais, nos ambientes aquáticos, o PID é quantitativamente insignificante, quando comparado com as demais frações de P na água, pois grande parte do fosfato que chega aos ecossistemas aquáticos continentais pode ser precipitada no sedimento, sendo que em muitos casos este fosfato pode não mais retomar a coluna d'água. Isto acontece pela forte afinidade de PID pelos materiais suspensos na água, favorecendo o processo de adsorção de superfície, ficando uma molécula mais densa e mudando a sua forma dissolvida para a particulada (ESTEVES, 2011).

Eschrique *et al.*, (2011), descreve que na forma orgânica, tanto dissolvida quanto particulada, o fósforo pode ser prontamente decomposto e remineralizado pela comunidade fitoplanctônica, sem necessidade de atingir os sedimentos. No entanto, devido às atividades humanas em constante aumento, o fósforo tornou-se um dos principais contribuintes para a eutrofização costeira, levando à degradação da qualidade da água e do ambiente (PCA, 2007).

Conforme apontado por Childers *et al.*, (2011), as principais fontes de fósforo para os ecossistemas aquáticos podem ser de origem natural, incluindo processos como intemperismo, lixiviação dos solos, águas dos rios, guano, manguezais e excrementos de animais, bem como de origem antropogênica, resultantes de atividades agrícolas, industriais, aquicultura, desmatamento, queimadas, dragagens, mineração, entre outras. Essas fontes podem aumentar as concentrações de fósforo nos estuários, desencadeando desequilíbrios significativos nos ecossistemas aquáticos e terrestres (FENNEL e LAURENT, 2018; GREENWOOD *et al.*, 2019).

As atividades humanas têm exercido um impacto significativo nos ciclos biogeoquímicos, incluindo o ciclo do fósforo. Essas alterações podem ter consequências diretas na qualidade ambiental, afetando a produtividade dos ecossistemas, a biodiversidade e a sustentabilidade das atividades humanas. Além disso, as mudanças nos ciclos biogeoquímicos podem ter efeitos no clima global, contribuindo para os desafios relacionados às mudanças climáticas (IPCC, 2007).

Em áreas urbanas o uso do solo e da água é imprescindível para disponibilização de áreas que serão utilizadas para o desenvolvimento de atividades humanas e que geralmente ocorrem ao longo das bacias de drenagem dos corpos hídricos, aumentando ainda mais a

degradação do ambiente, já que ocasiona mais despejos de efluentes domésticos e industriais, além de outros materiais, como: metais, agrotóxicos e poluentes carregados para o interior de rios e estuários, que em altas concentrações podem comprometer a qualidade da água e gerar impactos nocivos à biota aquática e à qualidade de vida do ser humano (MIRANDA *et al.*, 2017; GILBERT *et al.*, 2010).

Nesse contexto, a zona estuarina do Rio Paciência, que está localizada entre os municípios de Raposa e Paço do Lumiar, compondo a grande região metropolitana da capital São Luís-MA, e possui importância ambiental, social e econômica, mas está sujeita a diversos tensores antrópicos, tais como urbanização desordenada, cultivos de ostras e outros mariscos *in natura*, tráfico de embarcações de pequeno porte, instalações de portos locais, atividades de pesca e ecoturismo, mercado pesqueiro, entre outros. Assim, é necessário analisar e quantificar as concentrações de fósforo no ambiente, já que está em estado de degradação principalmente pelo lançamento de efluentes domésticos e industriais *in natura*. Ter o controle do aumento das concentrações desse nutriente é importante para avaliar a biota aquática, bem como, a qualidade de vida dos residentes desta região.

Dessa forma, o presente trabalho possui o objetivo de avaliar a distribuição da concentração de fosfato inorgânico dissolvido para verificar se ocorrem contribuições significativas deste elemento nutriente para o meio estuarino durante as duas estações de sazonalidade climatológicas marcantes (chuva-estiagem), e em paralelo contribuir com a preservação deste ambiente e de seus recursos, visando à sustentabilidade e a manutenção da vida na água, que estão interligados nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS-14: “Conservação e uso de forma sustentável os oceanos, mares e recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável”) da Agenda 2030 da Organização Mundial das Nações Unidas (ONU).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O estudo teve o intuito de avaliar a distribuição da concentração de fosfato nas águas estuarinas do Rio Paciência, divisor dos municípios de Raposa e Paço do Lumiar-MA, a fim

de identificar potencial de eutrofização do ambiente, considerando as variações sazonais deste parâmetro.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar as variáveis abióticas nas águas superficiais estuarinas do Rio Paciência, tais como: transparência, temperatura, salinidade, profundidade, condutividade, pH, OD (Oxigênio Dissolvido) e TSS (Sólidos Totais em Suspensão) e MOS (Matéria Orgânica em Suspensão) para conhecer a condição ambiental do setor estudado.
- Determinar a variável biótica de clorofila-a a fim de verificar o parâmetro está sendo desempenhado de forma regular pelos organismos fotossintetizantes.
- Quantificar as concentrações do fosfato inorgânico dissolvido para conhecer a faixa de variação deste nutriente no sistema.
- Identificar as contribuições antrópicas e naturais de fosfato na região, verificando as possíveis associações entre a presença dos núcleos urbanos e a variação do fosfato inorgânico dissolvido.
- Correlacionar as variáveis hidroquímicas (maré e pluviosidade), para verificar a interferência desses fatores na dinâmica e distribuição do fosfato no estuário.
- Avaliar o estado trófico do estuário do Rio Paciência, identificando os locais de possível potencial eutrofização.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Rio Paciência se situa na chapada do Tirirical e, atravessa os quatro municípios da ilha: São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa. Possui 27,3 km de extensão e uma área de 143,7 km², sendo que sua nascente se localiza entre os bairros de São Cristóvão e Santa Bárbara, no município de São Luís e desemboca na Baía de São José, próximo à Ilha de Curupu (IMESC, ARAUJO *et al.*; 2009).

O estuário do Rio Paciência está inserido na zona equatorial tropical úmida, sendo considerado bastante complexo com uma hidrodinâmica que controla o sistema de marés, das quais são semidiurnas, ou seja, duas preamares e duas baixa-mares por dia lunar, com

intervalos de 6 horas. Nessa região, a amplitude média é de 4,6m, mas, pode atingir 7,2m em maré de sizígia de sob o efeito Superlua, que acontece pela proximidade da Lua com a Terra, causando assim uma maior amplitude, e quanto maior a interação maior será o movimento da maré, podendo assim gerar grandes inundações na região (SOARES *et al.*, 2014., FERREIRA, 1989, PORTOBRAS, 1988).

3.1.1 Municípios Raposa-MA e Paço do Lumiar-MA

A origem de formação do Município de Raposa se deu na década de 1950, quando um grupo de pescadores cearenses (pioneiros), viajavam em busca de uma região que os proporcionaria maiores recursos, para assim tentar fugir das secas do Ceará, e encontraram na região de Raposa, antes chamada de “Vila de Pescadores” uma localização privilegiada e grande oferta de opção de frutos do mar, iniciando assim a sua colonização (IMESC, 2021).

Entretanto foi em 1994 que se foi obtido seu desmembramento político, atualmente a área territorial estimada da Raposa-MA é de 79,213 km², o município engloba uma população de 31.586 pessoas e detém uma densidade demográfica de 397,21 hab/km², enquanto ao produto interno bruto per capita (PIB) da região é de R\$8.147,46. (IBGE, 2021). A região da Raposa faz parte da Região Metropolitana de São Luís, insere-se no Golfão Maranhense. Limita-se ao Norte e ao Leste com o Oceano Atlântico e ao Oeste e Sul com o município Paço do Lumiar (IMESC, 2021).

O município Paço do Lumiar se origina no século XVII, quando a Coroa Portuguesa fez uma “parceria” com Igreja Católica, antes, as terras eram ocupadas por nativos da região. A cidade recebe esse nome, pois foi dado pelo governador da Província do Maranhão, por se assemelhar a Portugal, como também por ser um local bonito, tranquilo e agradável, dando a impressão de ser um sítio (IMESC, 2021). A região está situada na região costeira do estado do Maranhão ao Norte, limita-se com o Oceano Atlântico; ao Sul (baía de São José) a Leste (baía de São José) e a Oeste (baía de São Marcos). Com isso, essa região possui área territorial de 127,193 km². A população estimada é de aproximadamente 125.265 pessoas, com uma densidade demográfica de 855,84hab/km² e o PIB per capita é em torno de R\$8.120,75. (IMESC, 2021; IBGE, 2021).

3.1.2 Hidrografia e Vegetação

A região possui clima tropical chuvoso, sendo que período chuvoso vai de janeiro a junho, com média pluviométrica de 300 mm e o período de estiagem é julho a dezembro, com média pluviométrica de 30 mm (FIALHO, 2002), A umidade relativa do ar anual é superior a 82%. Com relação à temperatura média do ar detém-se em torno de 28 °C, os totais pluviométricos anuais são entre 1.600 e 2.000mm (ANA, 2009).

O regime do Rio Paciência é perene, mas, durante o período de estiagem a vazão depende das contribuições de esgotos sanitários e de pequenas nascentes, entretanto esse fluxo é quase que insignificante, por outro lado, no período de chuvas se tem um aumento significativo nas vazões, e conseqüentemente um aumento nos níveis dos canais (RANGEL *et al.*, 2013).

A vegetação é considerada de pequeno e médio porte, com presença de aproximadamente 10 km² manguezais (Maranhão, 1998), sendo as principais espécies: *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa* (Santos, 2001), relativamente preservados por toda a bacia (Mochel, 2002).

A declividade e a altitude na bacia hidrográfica do Rio Paciência regem a velocidade do escoamento superficial e influencia diretamente no tempo de concentração da água na superfície do terreno e, conseqüentemente, na infiltração, dos processos erosivos de encosta e na ocorrência de enchentes de acordo com Castro e Pereira (2016). A superfície do terreno compreende uma área de 9,3 km, é composta por: areia fina e recente silte/argila, rica em matéria orgânica (EMBRAPA, 2006).

O estuário está situado em uma região que sustenta diversas atividades socioeconômicas em suas margens, como o turismo e a pesca, que é a principal atividade econômica da área e de acordo com Melo (2017), a região da Raposa contam também com a produção de artesanatos como a renda de bilro, produzida pelas mulheres e filhas dos pescadores, enquanto o município de Paço do Lumiar possui como fonte de renda, também, a extração vegetal, além da agricultura de subsistência, e a catação de mariscos (IMESC, 2021).

O turismo foi acrescentado pelas belezas naturais que o ambiente apresenta, sendo assim fundamental para o desenvolvimento de atividades ecoturísticas, como passeios de barco que acabam por atrair turistas como também pela culinária local servida em restaurantes

ou até mesmo nos barcos de passeio, como exemplo: peixes, ostras, camarão e outros mariscos (PIORSKI *et al.*, 2009).

Embora os dois municípios (Paço do Lumiar e Raposa) apresentem elevada importância socioambiental e um alto potencial econômico, existem fatores que ainda necessitam ser melhorados, como por exemplo: um plano de gerenciamento absoluto que considere e atenda toda a esfera socioambiental. A alta taxa de urbanização no local faz com que se tenham diversas degradações ambientais Tabela1 que, em sua maioria, estão relacionadas ao despejo de resíduos sólidos em áreas inapropriadas, ao lançamento de efluentes domésticos e industriais que são lançados sem tratamento no ambiente aquático, ao extrativismo de áreas de manguezais, para a construção civil aumentando o desmatamento, além de atividades portuárias próximas e o despejo de efluentes agrícolas advindos da aquicultura local (SILVA, 2008).

Tabela 1.Lista de tensores antrópicos e as consequências geradas na Bacia do Rio Paciência-MA.

Tensores	Consequências
Queimada / Desmatamento	O assoreamento das margens por atividades antropogênicas pode causar inundações e consequentemente o estreitamento da bacia, principalmente nas cheias (CASTRO & PEREIRA, 2016).
Esgoto doméstico	Contaminação e eutrofização do corpo hídrico, perda da biodiversidade, risco público de saúde e degradação da paisagem (CASTRO & PEREIRA, 2016).
Aquicultura	Obstrução dos fluxos de água, aumentando as taxas de hipernutrição bem como a eutrofização, a descarga dos efluentes de viveiros e a poluição por resíduos químicos durante as diferentes fases do cultivo e ainda o desmatamento das áreas de manguezais (RIBEIRO <i>et al.</i> , 2014.; FRANCO <i>et al.</i> ,2018).
Atividades Portuárias (Dragagem)	Atividades socioeconômicas introduzem contaminantes aos estuários como a erosão e assoreamento podem gerar substâncias químicas nocivas e perigosas; podem causar distúrbio (RMS, 2012) ecológico com derramamento de óleo, além das emissões de gases e ainda poeira e material particulado etc.
Lixão e Cemitérios	Risco de contaminação da água subterrânea que afeta diretamente a população residente na Bacia do Rio Paciência (CASTRO & PEREIRA, 2016).

3.1.3 Climatologia da Região

A região Nordeste do Brasil apresenta um regime de chuvas no qual é influenciado por sistemas meteorológicos, bem como, por fenômenos globais que possuem influência sobre as características das águas estuarinas, sendo consideravelmente importante o conhecimento de sua atuação (IMESC, 2021).

Tendo em vista os sistemas meteorológicos, o estado do Maranhão se localiza em uma região altamente sensível aos efeitos dos ENOS (El Niño e La Niña) além de outras condições climáticas tais como: ZCIT e ZCAS, Linhas de Instabilidades, Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) e Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) (NASCIMENTO; ARAUJO e; BRAGA *et al.*, 2017), sendo necessário o estudo do efeito desses fenômenos no clima maranhense.

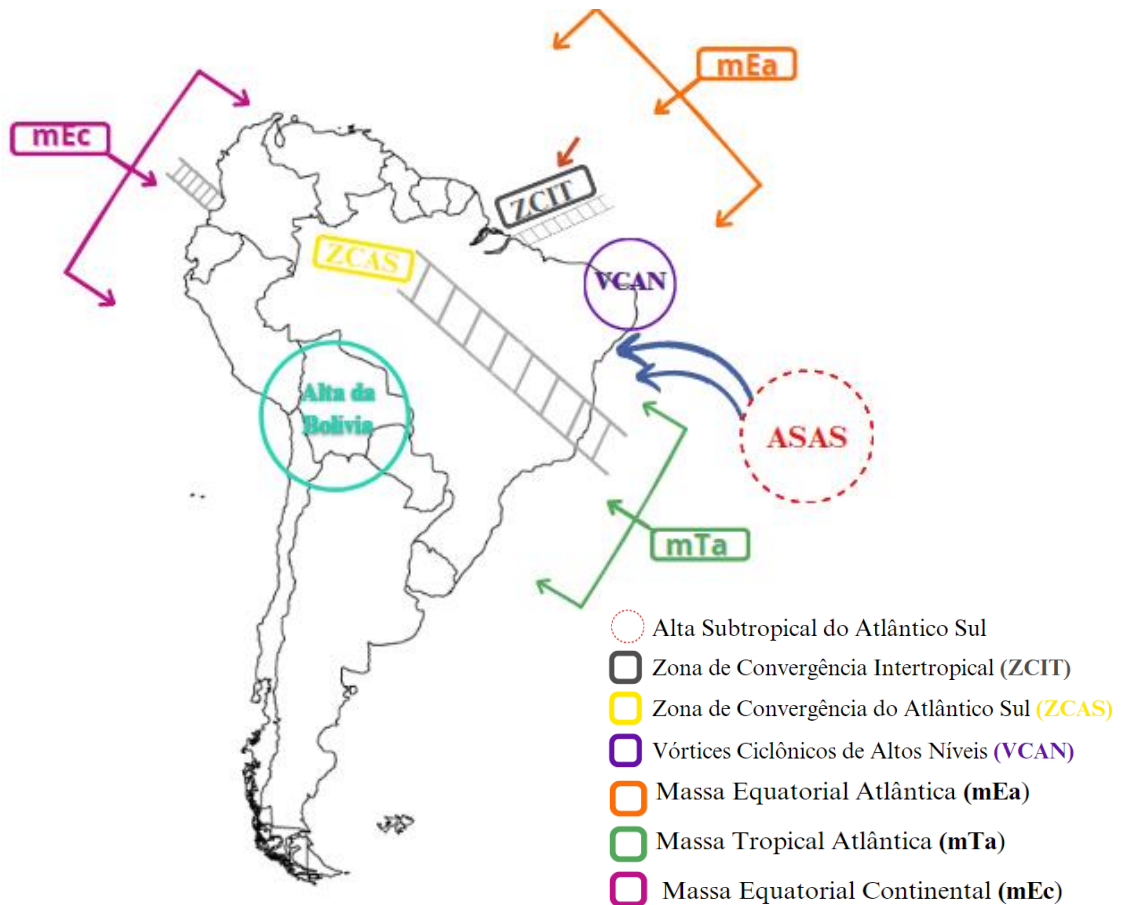
Além disso, segundo o Nugeo (2016) (Núcleo de Geoprocessamento) outros importantes sistemas que atuam sobre a precipitação na região são: a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN). (Figura 2 e 3), a seguir.

- Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) → responsável pela umidade de baixa à moderada que ocorre na faixa de orientação noroeste a sudeste do Brasil, dura pelo menos três dias e está associada à nebulosidade e precipitação abundante que ocorre nos meses de outubro a abril.
- Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) → é um cinturão de nuvens que se forma quando os ventos alísios se encontram nas regiões equatoriais do mundo e provocam chuvas na região onde atuam os ventos alísios. Segundo Pinheiro (2017) a ZCIT é o principal mecanismo atuante na formação da precipitação na Ilha do Maranhão e também é responsável pela existência de apenas dois períodos sazonais.
- Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) → é um sistema de baixa pressão em escala sinótica que se forma na alta e média troposfera para prevenir e induzir chuvas. Assim, nota-se ainda a atuação de linhas de instabilidade e perturbação das ondas provenientes de leste.

Além disso, outro fator importante na formação do tempo e clima maranhense é a massa de ar equatorial continental (mEc) e a massa de ar equatorial atlântica (mEa), tanto massas de ar quentes quanto úmidas que contribuem para a formação de nuvens e aumento da precipitação. (Figura 4). As concentrações de chuvas são maiores de janeiro a abril, quando

mEc se desloca para o norte do país, enfraquecendo o desempenho do MEC no estado (Lima e Dias, 2015).

Figura 1. Atuação da ZCIT, ZCAS, VCAN, AB e as massas de ar (mEc), (mEa) e(mTa) sobre o Maranhão



Fonte: Adaptado, (Geografia Opinativa, 2016 & Mancini, (2020).

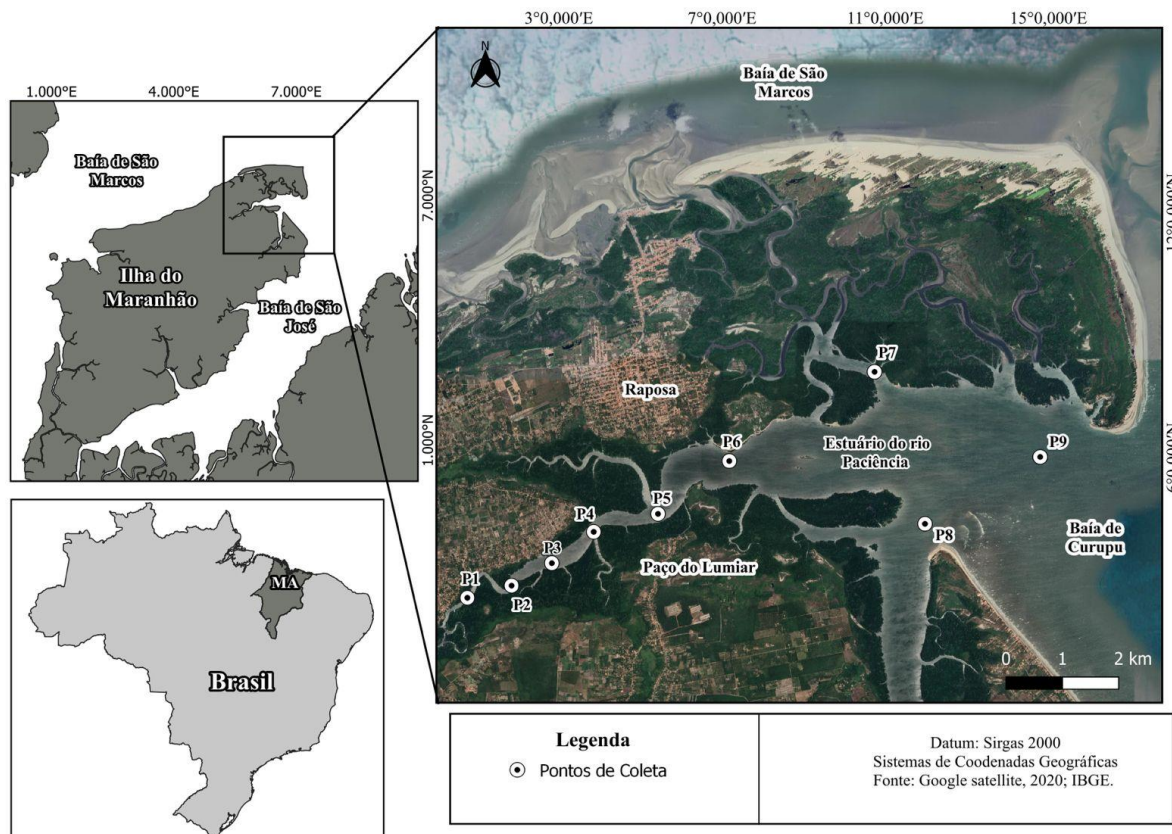
3.2 AMOSTRAGEM DA ÁGUA

O estudo foi realizado em nove pontos de coleta (Figura 2) no ambiente estuarino do Rio Paciência-MA, entre as coordenadas 2°28'41.05"S e 44° 7'49.13"W a 2°27'20.09"S e 44° 2'19.92''W, (Figura 2) no qual o ponto 1 estava localizado mais a montante do rio, enquanto o ponto 9 foi coletado próximo a foz, com maior contribuição da Baía do Curupu.

As coletas de água, sazonal e espacial deste estudo foram realizadas ao longo de um ano, totalizando duas campanhas amostrais, a primeira no mês de maio/2022(chuvas) e a

segunda em setembro/2022 (estiagem), com as duas campanhas realizadas sob a influência da maré de sizígia.

Figura 2. Localização dos pontos de coleta no estuário do Rio Paciência-MA.



Fonte: Gratão (2022).

3.3 VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS *IN SITU*

A bordo de uma pequena embarcação que tinha nome de “Vamos com Deus” (Figura 3a) ocorreu a coleta das amostras de água das quais foram obtidas com o auxílio de uma garrafa *van Dorn* de (5 L) (Figura 3b) na camada de superfície (0-0,5m). No momento inicial se retirou as alíquotas para as análises de oxigênio dissolvido (OD), em frascos âmbar, previamente calibrados, sendo fixadas com reagentes descritos a seguir. Depois da fixação, os frascos foram contidos sob a proteção da luz até análise em laboratório.

A medição *in situ* (Figura 3c) das variáveis, ocorreu através da sonda multiparâmetro CTD YSI (Conductivity, Temperature and Depht), (Figura 3d) utilizada para medir os

parâmetros: a profundidade de coleta (m), a temperatura ($^{\circ}\text{C}$), a salinidade (g kg^{-1}) e condutividade (mS cm^{-1}).

A profundidade do desaparecimento do disco de Secchi (Figura 3e) foi alcançada por meio do lançamento do disco de Secchi e depois se aferiu a profundidade com o auxílio de uma fita métrica. Por fim, os valores foram anotados para o cálculo de transparência da água.

O pH da água foi expresso com o auxílio de uma sonda multiparâmetro (Hanna HI – 8424), (Figura 3f) na qual era previamente calibrada com as soluções tamponantes antes da medida.

Figura 3. Equipamentos utilizados na coleta de água: (a) Embarcação; (b) Garrafa van Dorn; (c) Frascos de polietileno para realização das análises de TSS e nutrientes dissolvidos na água; (d) CTD YSI CastAway TM, para Prof do Local, Sal, Temp, Cond; (e) Disco de Secchi para a transparência; (f) Sonda Hanna HI – 8424 para pH.



(a)



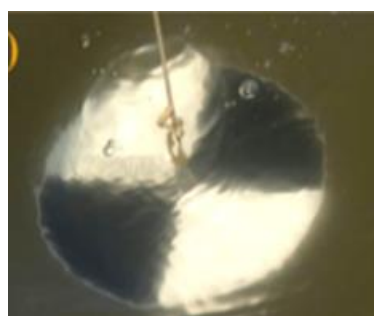
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Para determinar as concentrações de Totais de Sólidos em Suspensão (TSS) e nutrientes dissolvidos foram coletadas amostras de água em frascos de polietileno de 500 mL, previamente ambientados, sendo que as amostras posteriormente foram armazenadas em caixas de isopor com gelo, para depois serem transportadas ao Laboratório de Biogeociclos dos Constituintes Químicos da Água - LABCICLOS, na Universidade Federal do Maranhão (UFMA), onde foram realizadas as análises para Total de Sólidos Suspensos (TSS), Matéria

Orgânica em Suspensão (MOS), Oxigênio Dissolvido (OD) e fosfato, conforme descrito a seguir.

3.4 DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS DOS MÉTODOS

3.4.1 Oxigênio Dissolvido (OD)

Para a determinação do oxigênio dissolvido (OD), após a coleta das amostras com os frascos de DBO cheios de amostra e ainda sem tampá-los, foi observado se não houve a formação de bolhas. Assim seguiu-se para o próximo passo que foi adicionar 1 ml de reagente R1 (Sulfato de Manganês) e 1 ml de reagente R2 (Iodeto Alcalino de Potássio), em seguida misturado o conteúdo dos frascos até observar um precipitado marrom. Os frascos com as amostras fixadas foram estocados no escuro por no mínimo meia hora. O oxigênio dissolvido está baseado no método iodométrico de Winkler (1888), como descrito em Strickland e Parsons (1972).

Para o procedimento analítico, os frascos com as amostras fixadas foram retirados do escuro e assim adicionados 1 ml de ácido sulfúrico concentrado. A homogeneização do conteúdo precisou ser realizada nos frascos até o iodo fosse liberado. Após o procedimento três alíquotas de 50 ml, foram separadas em frascos de titulação, sendo uma para o teste em branco. As outras duas alíquotas tituladas com tiosulfato de sódio até que as soluções apresentassem uma coloração amarelo claro. Então, foram adicionados 1 ml de indicador de amido e assim continuou com a titulação até que o conteúdo nos frascos de titulação se tornasse transparente. Finalmente os valores do volume de tiosulfato gastos na titulação de cada amostra foram anotados

Para a padronização, se utilizou água destilada e dois reagentes (R1 e R2) os ácidos foram adicionados nos frascos na ordem inversa ao procedimento de análise, e com isso, os frascos foram estocados no escuro durante 5 minutos. Ao final, foi iniciado o processo de titulação com tiosulfato de sódio de maneira semelhante ao da análise das amostras. Segundo a equação 1 a seguir:

$$O_2 = \frac{M (V - b) \cdot 1000}{\text{vol. do Frasco de DBO calibrado}} \cdot 22,4 \cdot \frac{T}{273} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

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

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

M= C₁= concentração exata em mol L⁻¹ da solução de tiosulfato.

T= Temperatura absoluta (K) da amostra *in situ* (1°C=273 K).

3.4.2 Totais de Sólidos em Suspensão (TSS)

Na determinação do TSS, os filtros utilizados na preparação foram os de fibra de vidro Merck Millipore® com 47 mm de diâmetro. Primeiro foram passados pelo filtro 3 vezes o volume de 20 ml de água destilada para a lavagem dos mesmos. Após esse procedimento, os filtros foram secos na estufa a 100°C e assim transferidos ao dessecador até atingirem a temperatura ambiente. Os mesmos foram pesados em uma balança analítica, o procedimento de secagem e pesagem foi repetido o até que os pesos estivessem constantes. O total de sólidos em suspensão foi determinado pela técnica gravimétrica descrita em APHA (2001).

Para a quantificação do TSS, cada amostra de água coletada foi previamente homogeneizada e transferida para uma proveta de vidro de 50 ml, o volume no qual foi passado pelo filtro até que toda a amostra tivesse sido filtrada ou até que o filtro fosse obstruído (danificado). Após o término da filtragem, foi anotado o volume final filtrado da amostra. Todos os filtros precisaram ser secos em estufa a 100°C e transferidos ao dessecador até atingissem a temperatura ambiente, e após esfriarem todos os filtros pesados assim como seus respectivos pesos foram anotados.

A diferença entre o peso final e o inicial forneceu o peso do sólido total em suspensão para um exato volume filtrado, com resultados em (mg L⁻¹), conforme a equação 2 a seguir:

$$TSS = \frac{(B - A) \times 1000}{Vol. da Amostra (mL)} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

A = Peso do filtro pré-pesado;

B = Peso do filtro seco após a filtragem da amostra

3.4.3 Matéria Orgânica em Suspensão (MOS)

Para determinação de MOS, os filtros utilizados na determinação do TSS foram levados em forno mufla a uma temperatura de 550°C por um período de 4 horas em temperatura constante, juntamente com um filtro de fibra de vidro limpo (branco), mas que passou por todo o processo de preparação de filtros. Depois, de desligada a mufla, foi necessário esperar o resfriamento parcial das amostras ainda na mufla, para então retirar os filtros, que foram resfriados em um dessecador até atingirem temperatura ambiente. Após o seu resfriamento, os filtros foram pesados em uma balança analítica, com precisão de $\pm 0,0001\text{g}$. O ciclo de ignição em mufla foi repetido por 30 minutos, resfriamento em dessecador e pesagem até peso constante. A diferença entre o peso do filtro antes da ignição (B) e o resíduo da combustão (C) representou a perda de matéria orgânica volatilizada conforme a (equação 3), sendo que a partir deste dado, será obtido o percentual de matéria orgânica em suspensão. A perda de peso do branco se obteve uma indicação de inadequação de uma marca ou tipo de filtro específico para esta análise, como controle de qualidade. A matéria orgânica em suspensão foi determinada técnica gravimétrica descrita em APHA (2001).

$$MOS \text{ (mg L}^{-1}\text{)} = \frac{(B - C) \times 1000}{Vol. da Amostra \text{ (mL)}} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

A = Peso do filtro + resíduo seco antes da ignição (mg).

B = Peso do filtro seco + resíduo seco depois da ignição (mg).

3.4.4 Fosfato Inorgânico Dissolvido na água

Para determinar a concentração de fosfato dissolvido se utilizou a metodologia descrita por Grasshoff *et al.*, (1999), no qual a concentração do fósforo orgânico dissolvido é estimada por meio das análises feitas com as amostras filtradas. Onde o íon ortofosfato reage em meio ácido com o molibdato de amônio, formando o complexo fosfomolibdato. Este complexo é então reduzido pelo ácido ascórbico, numa reação catalisada pelo antimônio tartarato de potássio, formando um complexo de coloração azul que tem absorção máxima em 880 nm. A intensidade da cor azul varia de acordo com a concentração de fosfato. O método

possui uma precisão para o fosfato de $\pm 15\%$ em baixas concentrações ($0,2 \mu\text{mol L}^{-1}$), $\pm 5\%$ em médias concentrações ($0,9 \mu\text{mol L}^{-1}$) e de $\pm 2\%$ em altas concentrações ($2,8 \mu\text{mol L}^{-1}$). As absorvâncias foram lidas entre 10-30 min. Os cálculos para a padronização das amostras foram realizadas de acordo com a equação 4 a seguir.

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2 \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

C_1 = concentração inicial da solução

V_1 = volume inicial da solução

C_2 = concentração final da solução

V_2 = volume final da solução

Cuidados com as vidrarias

→ A limpeza do destilador foi necessária antes de se analisar a concentração de fosfato para evitar contaminações cruzadas e resultados imprecisos na análise. O destilador é um equipamento utilizado para purificar água ou outros líquidos, removendo impurezas e substâncias indesejadas, como sais minerais e compostos orgânicos.

→ Se o destilador não estiver limpo adequadamente, pode haver resíduos de contaminantes presentes no equipamento, que podem interferir nos resultados da análise de fosfato.

→ Todo o material foi previamente separado, lavado e reservado para que não houvesse risco de contaminação.

→ Não foi utilizado detergente **EXTRAN** MA02 neutro MERCK (uso profissional), pois contém fosfato, que pode ter causado contaminação das paredes do vidro.

→ Para a realização da lavagem ácida (ácido clorídrico diluído) na vidraria utilizadas tais como:

- Becker Vidro: 50 ml e 100 ml
- Pipetas volumétricas: {0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 10.0}
- Pipetas Graduadas: {0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 10.0}
- Balões volumétricos: 6 de 100 ml

Portanto, é extremamente importante ter o cuidado na determinação da concentração de fosfato ter o cuidado com as vidrarias já que pela presença de substâncias tanto no detergente e no destilador podem levar a leituras falsas elevadas ou diminuídas da concentração de fosfato, prejudicando a interpretação dos dados e a precisão das conclusões.

3.5 PARÂMETROS HIDROLÓGICOS

3.5.1 Transparência da Água

Para a transparência da água, o cálculo foi realizado a partir da profundidade do desaparecimento do disco de Secchi, de acordo com método do coeficiente de extinção da luz, como é descrito por Poole & Atkins (1929). Os cálculos foram realizados de acordo com as equações 5 e 6:

$$Ze_u = 4,6 \times K^{-1} \quad \text{Equação 5}$$

$$K = 1,7 \times D^{-1} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

K= é o coeficiente de extinção da luz

D= é o coeficiente de extinção da luz

Ze_u = é a profundidade da camada de até 1% da luz incidente, que corresponde ao valor da transparência da água.

3.5.2 Dados Pluviométricos e Maré

Os dados de pluviosidade foram obtidos através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), da estação meteorológica convencional São Luís – 82280. Os dados de maré foram fornecidos pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Essas fontes de dados, tanto de pluviosidade quanto de maré, são valiosas para entender e estudar as condições climáticas e hidrológicas da Região de São Luís.

3.6 DADOS BIOLÓGICOS

3.6.1 Cl-a

A (cl-a) foi estimada pelo método de espectrofotometria na faixa de luz visível, seguindo a metodologia sugerida por Jeffrey & Humphrey (1975) para fitoplâncton misto.

Primeiramente, amostras de água foram filtradas em filtros de acetato de celulose com 45 mm de diâmetro, sendo o volume filtrado anotado para cálculos posteriores.

Na extração da clorofila a foram adicionados 10 ml de solução de acetona 90% em tubos de 50 ml que já continham os filtros, os quais foram macerados e colocados sob refrigeração com um tempo de (24 horas) após serem extraídos. No dia seguinte as amostras foram centrifugadas a 3400 rpm por cerca 10 minutos. E assim eram retiradas com uma Pipeta de Pasteur (3 ml), com cuidado para que sobrenadantes não viesse junto a amostra, este foi colocado em cubetas de 1 cm de percurso óptico, fazendo assim a leitura de cada amostra nos seguintes comprimentos de onda: 480, 530, 630, 645, 647, 663, 664, 665 e 750 nm, consecutivamente. O branco das cubetas também foi lido em todos os comprimentos ópticos mencionados acima.

As leituras de absorbâncias nos diversos comprimentos de onda foram corrigidas pela subtração do branco das cubetas (de acordo com a cubeta utilizada) e da turbidez (absorbância medida em 750 nm). A estimativa das concentrações de cl-a, estão dispostas na Equação 7 a seguir.

$$CP \text{ Cl-a} = 11,85 \times Abs_{664} - 1,54 \times Abs_{647} - 0,08 \times Abs_{630} \quad \text{Equação 7}$$

$$Cl-a \text{ (mg.m}^3 = \mu\text{g.L}^{-1}) = \frac{CP}{C \times C} \times \frac{v \text{ (mL)}}{V \text{ (L)}}$$

Onde:

CP= Concentração do Pigmento

CóC= Comprimento óptico da Cubeta

v= Volume da acetona utilizado na extração (ml)

V= Volume Filtrado (L)

3.7 Análise de Dados

Os dados obtidos foram organizados em planilhas do programa Excel® 2016, que permitiu a confecção dos gráficos para análise de distribuição sazonal e espacial dos parâmetros abióticos e bióticos medidos na Bacia Estuarina do Rio Paciência-Maranhão.

3.7.1 Teste t

Segundo Leonel (2000) o teste t é um teste de hipótese no qual se aceita (H_0), quando $p > 0,05$ ou rejeita (H_0), quando $p < 0,05$ sendo utilizado para fazer a comparação de duas médias sejam elas para amostras pareadas (analisa um mesmo conjunto de dados) ou amostras independentes (compara médias entre dois grupos diferentes). Neste estudo o teste t foi utilizado para verificar se houve diferença significativa nos parâmetros físicos e químicos entre os períodos sazonais de chuva e estiagem.

O primeiro passo foi verificar a homogeneidade das variâncias das amostras. Então, foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov, assim, se aplicou o teste t para os parâmetros que apresentaram distribuições homogêneas ($p > 0,05$). No caso de distribuição não normal ($p < 0,05$), foi aplicado o teste não paramétrico de Wilcoxon.

Para os testes estatísticos se utilizou um software livre de aquisição Past® versão 4.08

3.7.2 Análise de Componente Principal (ACP)

A Análise de Componentes Principais (PCA) é uma técnica estatística multivariada na qual transforma um conjunto inicial de variáveis em um conjunto de outras variáveis da mesma dimensão, nas quais são chamadas de componentes principais, e possui o intuito de perda mínima das informações (VARELLA, 2008).

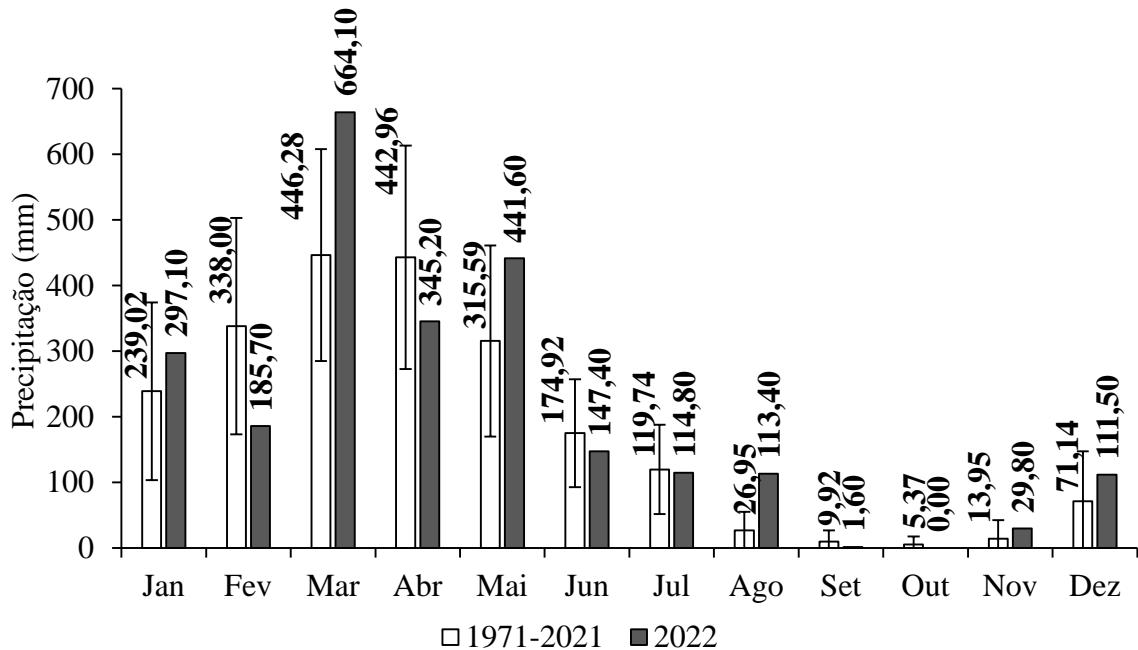
A técnica estatística, (ACP) foi utilizada para relacionar os fluxos de nutrientes com os parâmetros físicos - químicos da água durante os períodos sazonais (chuva- estiagem), assim, os parâmetros analisados no teste foram: a temperatura, salinidade, condutividade, pH, TSS, MOS, OD, fósforo e $Cl-\alpha$. O teste foi aplicado no software Past 4.08 utilizando as médias padronizadas dos dados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PARÂMETROS HIDROLÓGICOS E HIDRODINÂMICOS

Os registros médios históricos mensais (1971-2021) do índice pluviométrico medido pelas estações convencionais do INMET e a média mensal pluviométrica em 2022 estão mostrados na (Figura 4) a seguir.

Figura 4. Média histórica mensal da precipitação pluviométrica na região da ilha de São Luís, durante os anos de 1971-2022, as barras de erros estão representadas pelos desvios padrões.



No período chuvoso (maio) a precipitação para o ano de 2022 foi 39,92% superior à média histórica mensal, enquanto o período de estiagem (setembro) apresentou uma redução de 83,87% na precipitação, quando comparado com a média histórica do mês de setembro.

O ano de 2022, particularmente estava sob influência do evento climático La Niña, o que acarretou inundações na região, portanto explica a alta taxa pluviométrica para o mês de maio (chuvas).

Ainda de acordo com o INMET (2022), o fenômeno La Niña teve início em 2020, com a ocorrência de temperaturas mais baixas que o normal no oceano Pacífico tropical. Posteriormente, no início de fevereiro deste ano, os valores de anomalia registraram em torno de $-0,5^{\circ}\text{C}$, indicando um enfraquecimento progressivo do evento.

Segundo Santos e Molion (2014), grande parte da variabilidade interanual do clima brasileiro, principalmente na precipitação, se associa a oscilações decadal dos Oceanos Atlântico e Pacífico onde são geradas bandas de nuvens responsáveis pela distribuição das chuvas no Maranhão.

Devido a sua posição geográfica, o Maranhão está localizado em uma zona de semiárido e transição climática. Assim, existe uma forte sazonalidade climática na distribuição da precipitação marinha na região, devido ao clima equatorial com baixa

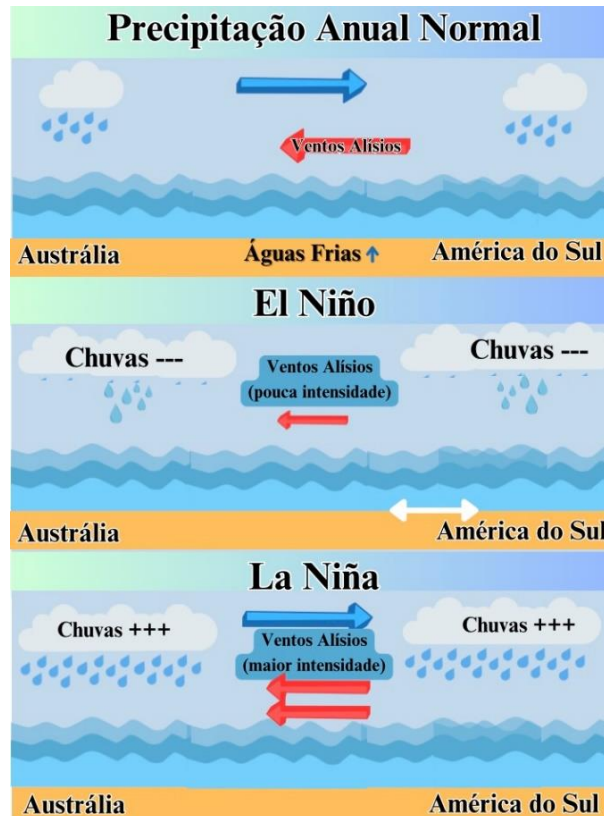
precipitação e alta temperatura e ao clima equatorial com alta umidade e alto índice de precipitação (BRAGA *et al.*, 2017).

Molion (2017) descreve que os ENOS são um fenômeno oceânico-atmosférico que ocorre no Oceano Pacífico equatorial, causado por flutuações na temperatura da superfície de suas águas. Isso, por sua vez, se divide em duas fases, uma fase quente chamada El Niño e uma fase fria chamada La Niña.

Existem duas hipóteses sobre a origem do ENOS: a primeira é que ele está relacionado ao efeito do vento e da diferença de pressão do nível do mar (PNM) entre a Austrália e a Indonésia, duas regiões do Oceano Pacífico. A segunda hipótese diz respeito ao ciclo nodal lunar, que determina a inclinação do plano orbital da lua em relação à superfície da terra, ou seja, a lua orbita um hemisfério a cada 28 dias. Existem mudanças na inclinação da órbita da Terra e na força e ação dos ventos alísios gravitacionais, que mudam a posição da lua em graus e latitudes, causando um aquecimento incomum das águas superficiais do Oceano Pacífico (Molion, 2017).

Essas oscilações causam mudanças no sistema de precipitação sul-americano, particularmente no sistema de circulação de Walker no Oceano Pacífico e quando ocorre o aquecimento dessa água os ventos alísios enfraquecem (durante o El Niño), essas células se deslocam e se dividem em duas partes, afetando negativamente a precipitação. Quando o vento está forte e a água fria (fase La Niña), e essas células também mudam e aumentam a precipitação.

Figura 5. Distribuição de chuvas pelos fenômenos climáticos El Niño e La Niña no Maranhão.

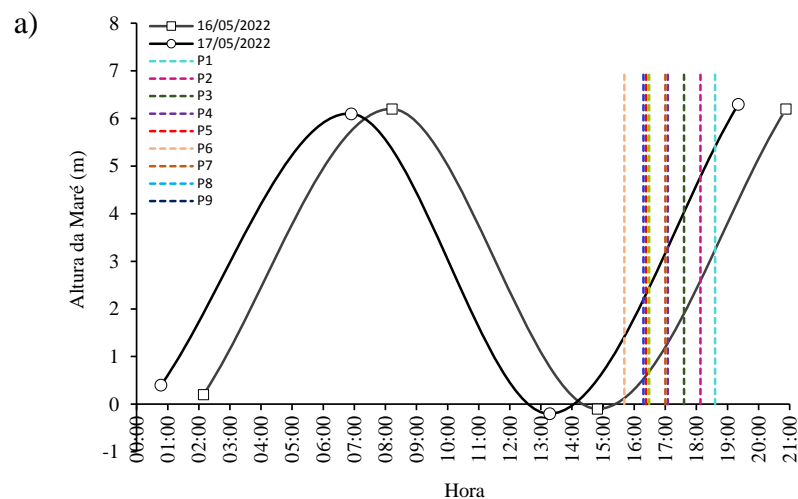


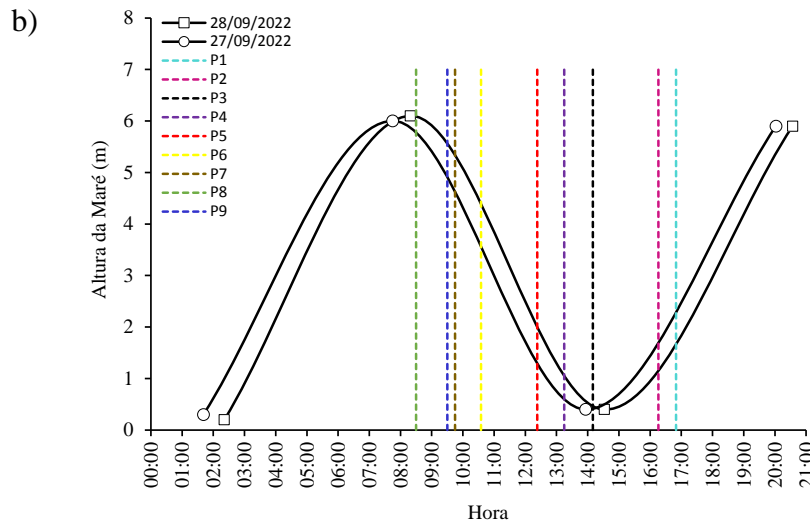
Fonte: Adaptado de Geografia Opinativa (2013).

4.1.1 Curva de Maré

As duas campanhas de coletas realizadas espacialmente ocorreram sobre as condições de maré de sizígia, sendo que as curvas de maré fornecidas pelo DHN (2022) estão dispostas na (Figura 6), a seguir.

Figura 6 Curva de maré (a) Período chuvoso (maio); (b) Período de estiagem (setembro).





Os valores médios de maré foram de (-0,2 - 6,3m) para o período chuvoso e (0,2 - 6,1 m) no período de estiagem. Destacando ainda que a região maranhense possui um regime de macromaré semidiurnas que podem alcançar alturas superiores a 7,0 m em maré Sizígia.

Com as marés extremamente altas e baixas, há uma forte influência da água do mar que entra no estuário e da água do rio que flui para o oceano. Essa interação entre águas salgadas e águas doces cria um ambiente rico em nutrientes e matéria orgânica, tornando os estuários do Maranhão ecossistemas de grande importância para a vida marinha e para as comunidades que dependem dessas áreas para subsistência e atividades econômicas, como a pesca (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

Na primeira campanha, a coleta foi realizada em intervalos de tempo mais curtos, começando às 15h30min e terminando às 20h30min, durante uma maré de enchente. Apenas os pontos 8 e 9 foram coletados durante a maré vazante. Na segunda campanha, as coletas foram realizadas em intervalos de tempo mais espaçados, iniciando às 08h00min e encerrando às 17h00min, durante uma maré vazante na maioria dos pontos, exceto nos pontos 1 e 2. Demonstrando a dinâmica do ambiente estuarino.

No período chuvoso se tem aumento no fluxo dos rios em direção ao mar enquanto que na estiagem ocorre o oposto, ou seja, existe uma diminuição desse fluxo. Foi notado que nesse estudo nas duas campanhas os maiores valores ocorreram na maré enchentes e menores na maré vazante.

As correntes de maré exercem um impacto significativo na costa devido às variações diurnas e semidiurnas no volume de água, mistura vertical, homogeneização e transferência de calor. E são influenciadas principalmente pela posição da Lua e do Sol

podendo ser mais suscetíveis a mudanças climáticas, como a elevação do nível do mar (MASSELINK 2023).

4.2. PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS

A distribuição dos parâmetros físicos e químicos está disposta em valores mínimos, máximos, médias e desvios padrão, bem como o teste estatístico t como mostra a (Tabelas 2 e 3) a seguir.

Tabela 2. Valores do estatístico (teste t).

Parâmetros	Teste t	Valor de p
Profundidade	--	--
Transparência	3,4953	0,002993
Temperatura	6,229	1,21E-05
Salinidade	3,8906	0,0012991
Condutividade	4,8781	0,00016747
OD	3,7667	0,0016873
pH	0,17971	0,85964
TSS	0,71075	0,48747
MOS	0,85711	0,40404
Fosfato	3,3522	0,0040485
Cl-a	1,473	1,473

A tabela 2 mostra os valores que apresentaram distribuição normal, ($p > 0,05$) de acordo com o teste t de (Student) foram: transparência, temperatura, salinidade, condutividade, oxigênio dissolvido e o fosfato. Os demais parâmetros apresentaram distribuição não normal para os dados.

Tabela 3. Resultados dos parâmetros físicos e químicos obtidos no estuário do Rio Paciência, MA.

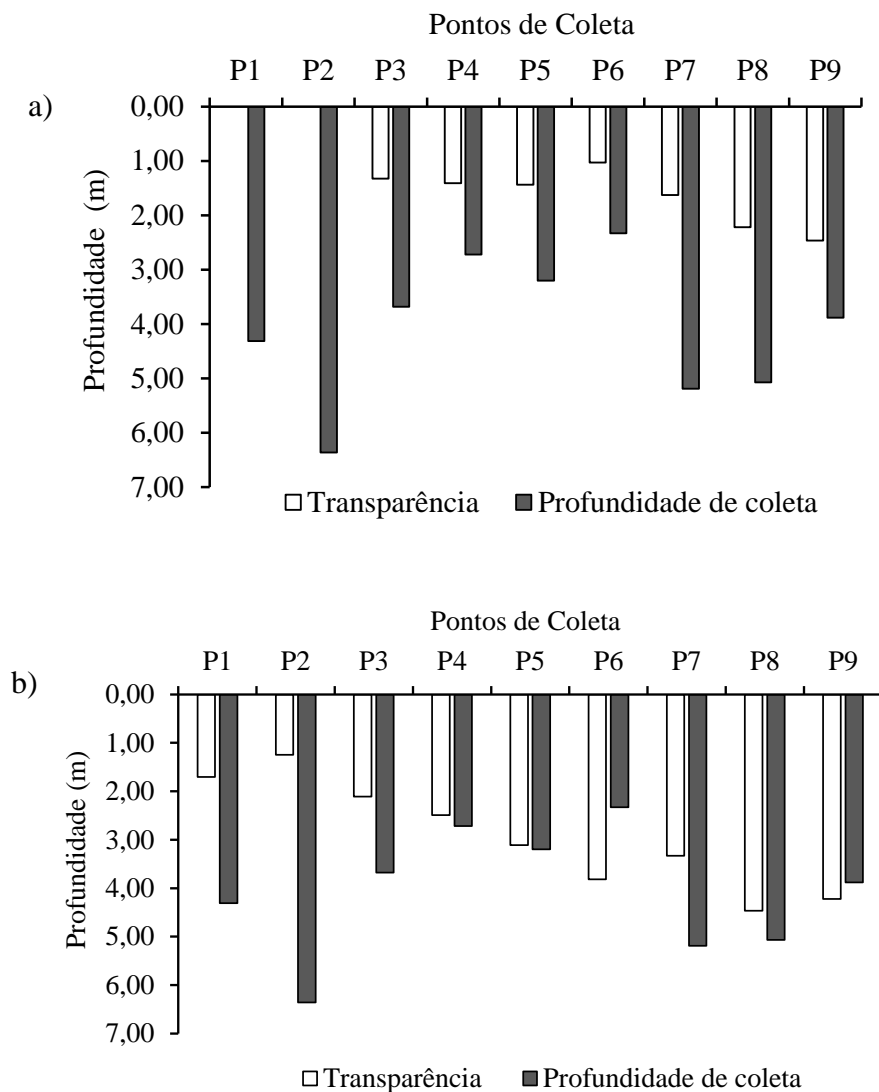
Campanhas de Coleta	Data da Coleta	Valores	Prof. Local (m)	Transp. (m)	T (°C)	Sal (g kg ⁻¹)	Cond. (mS cm ⁻¹)	OD (mg L ⁻¹)	pH	TSS (mg L ⁻¹)	MOS (mg L ⁻¹)	Fosfato (µmol L ⁻¹)	Clorofila-a (mg m ⁻³)
1ª Campanha (Chuvoso)	16-17/05/2022	Mínimo	2,33	1,03	29,81	12,65	22,60	3,61	7,40	35,38	5,90	0,68	4,26
		Máximo	6,36	2,46	30,73	22,23	36,06	7,03	8,19	84,63	14,13	5,46	21,46
		Média	4,08	1,64	30,37	16,56	28,20	5,01	7,69	53,55	10,77	2,37	9,95
		Desvio Padrão	1,29	0,51	0,37	3,98	5,58	1,04	0,28	16,09	2,76	1,64	5,74
2ª Campanha (Estiagem)	27-28/09/2022	Mínimo	2,33	1,24	26,60	16,00	26,00	2,15	7,12	27,00	6,27	0,10	3,31
		Máximo	6,36	4,46	29,40	33,70	90,92	4,26	8,17	103,60	25,60	0,70	10,62
		Média	4,08	2,94	28,06	27,02	64,34	3,30	7,65	60,30	12,57	0,40	6,74
		Desvio Padrão	1,29	1,13	1,05	7,00	21,51	0,75	0,63	21,51	5,27	0,22	3,14

Na tabela 3 acima estão representados os valores médios, mínimos, máximos e o desvio padrão para os 11 parâmetros estudados no Estuário do Rio Paciência, Maranhão sendo considerados os dois períodos sazonais de chuva e estiagem. No geral os valores encontrados estão dentro do esperado para regiões próximas ao Equador.

4.2.1. Profundidade Local e Transparência da Água

A profundidade de coleta local e a transparência da água (Figura 7a) período chuvoso e (Figura 7b) período de estiagem variaram entre as campanhas, bem como entre os pontos de coleta de acordo com o teste t, com nível de significância de $p > (0,05)$.

Figura 7. Profundidade do local e Transparência da água dos pontos espaciais para os dois períodos Sazonais (a) Período chuvoso; (b) Período de estiagem do sistema estuarino do Rio Paciência-Maranhão.



A coluna de água estudada foi pouco profunda, com profundidade máxima de 6,36 m, para ambos os períodos sazonais estudados. As profundidades médias obtidas para o

período sazonal e de estiagem foram características de ambientes rasos, tendo uma média de 4,08 m.

Espacialmente, a maior profundidade ocorreu no ponto 2 (6,36 m) e a menor foi no ponto 6 (2,33), sendo essa variação espacial principalmente atribuída ao aumento e diminuição da coluna d' água, acarretada pela altura da maré no momento da coleta.

A transparência da água foi maior no durante o período de estiagem, no qual apresentou média de 2,94 m, enquanto o período chuvoso obteve uma média de 1,64 m. A maior transparência obtida no período de estiagem se deve, principalmente, pela menor incidência de chuvas e conseqüentemente menor quantidade de material orgânico e inorgânico em suspensão na coluna d' água, o que permitiu uma maior penetração da luz solar na água, pois segundo Esteves (2011), a transparência da água medida com o disco de Secchi é inversamente proporcional à concentração de sedimentos orgânicos e inorgânicos na água, ou seja, quanto maior a quantidade de sedimentos em suspensão além de pigmentos fotossintéticos, água se torna menos transparente.

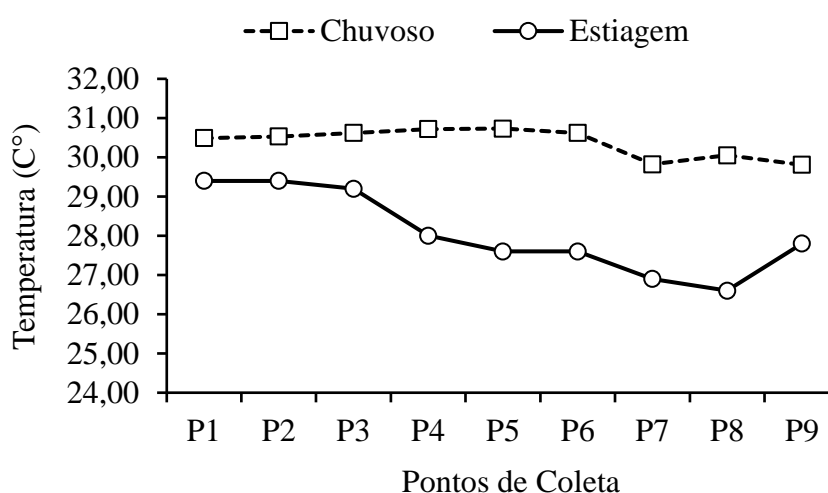
Entre os pontos, a transparência da água foi maior no ponto 8 (4,5 m), durante o período de estiagem, enquanto as menores transparências ocorreram no ponto 1 e 2. A maior transparência no ponto 8 ocorreu provavelmente em função de sua localização ser mais próxima da região marinha do ambiente estuarino, onde possui menor influência do rio paciência, que por sua vez, este tende a apresentar uma maior quantidade de material particulado, matéria orgânica e outras substâncias que tendem a diminuir a transparência da água. Por outro lado, nos pontos 1 e 2 as menores transparências ocorreram em decorrência das coletas serem realizadas no período noturno, o que impossibilitou a aquisição dos dados por meio do desaparecimento do disco de Secchi.

Durante a noite, a iluminação natural é insuficiente ou inexistente, dificultando a visualização e medição precisa da transparência da água no. Além disso, durante a noite, outros fatores podem influenciar a transparência da água, como a presença de organismos bioluminescentes ou a sedimentação de partículas suspensas. Esses fatores podem afetar a leitura do disco de Secchi e comprometer a precisão da medição (WETZEL e LIKENS, 2000).

4.2.2. Temperatura

Os valores de temperatura apresentaram média de 30,37 °C e 27,02 °C, no período chuvoso e estiagem respectivamente, com amplitude de 3,35°C (Figura 8) mostrando uma pequena variação entre ambas as campanhas. Como confirma o teste t, que mostrou que houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os períodos sazonais. Os valores da temperatura estiveram dentro dos padrões esperados para regiões equatoriais, onde se tem maior acúmulo de calor por unidade na água durante o dia, tornando a incidência solar estável.

Figura 8 Distribuição sazonal da temperatura (°C) no sistema estuarino do Rio Paciência-Maranhão.



No período de estiagem os valores diminuíram ligeiramente, com valor máximo de 29,40 C° e mínimo de 26,60 C°, mostrando que o parâmetro foi influenciado pelos horários de coleta, valores estes que estão relacionados à maior e menor incidência da radiação solar além da elevação e redução da lâmina da água, ocasionadas pelas variações da maré.

Especialmente, a temperatura não apresentou grandes variações no período chuvoso, no entanto foi notado que durante o período de estiagem houve um gradiente decrescente entre os pontos, que pode estar relacionado à localização dos mesmos, sendo que a temperatura foi menor nos pontos mais próximos da jusante, esse comportamento pode estar associado a maré vazante no momento da coleta onde a água mais quente do estuário pode ter sido transportada para o mar, resultando em temperaturas mais baixas e, ao processo de resfriamento no qual ocorre a transpiração e a evaporação das plantas podendo causar a redução de temperatura no ambiente.

No período chuvoso, o menor valor encontrado foi no ponto 9 (29,81) onde a maré estava vazante e o maior valor encontrado foi no ponto 5 (30,73) quando a maré em questão era enchente, podendo estar associados ao maior volume de água no estuário, devido à precipitação. O aumento do volume pode levar a uma circulação mais lenta da água, permitindo que a superfície absorva mais calor e, assim, eleve a temperatura.

No estudo de Monteiro et al. (2015) foram encontradas temperaturas variando entre 28,52 e 29,35°C dos períodos chuva e seca respectivamente na região maranhense confirmando os resultados encontrados neste trabalho.

4.2.3 Salinidade e Condutividade

A salinidade foi reformulada e definida segundo os pesquisadores Knudsen, Sorensen e Forch, (1902) como a massa total expressa em gramas, de todas as substâncias dissolvidas em 1 kg de água do mar, assumindo que todos os carbonatos tenham sido convertidos em óxidos, brometos e iodetos foram substituídos por cloretos além de todos os compostos orgânicos oxidados a uma temperatura de 480°C para manter o peso constante. (BRAGA 2002)

A condutividade é a capacidade de a água conduzir corrente elétrica sendo influenciada pela presença de íons na coluna d'água, ou seja, pode haver variações de acordo com a concentração de sais dissolvidos em uma solução (ESCHRIQUE, 2011).

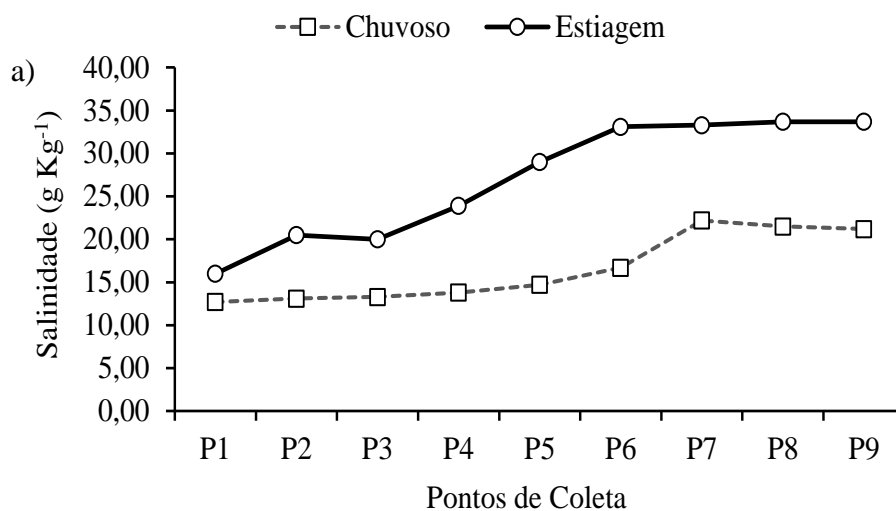
A salinidade e a condutividade possuíram valores mais elevados no período de estiagem (Sal. 27,02 e Cond. 64,34) e valores mais baixos no período chuvoso (Sal. 16,56 - Cond. 28,20). Ambientes estuarinos mais salinos no período de estiagem estão relacionados com o baixo índice pluviométrico no período da coleta e com a alta taxa de evapotranspiração, que ocasiona a redução da coluna d'água e acúmulo dos sais dissolvidos na água, elevando a salinidade e a condutividade na água. No período chuvoso, por sua vez, a elevada precipitação pluviométrica e grande aporte fluvial acarretam a diluição dos sais na água, diminuindo a salinidade e a condutividade da água. Além disso, o aumento da vazão no canal do rio e as enchentes recorrentes na região do Rio Paciência, na primeira campanha (chuvas), as águas marinhas provenientes das baías adjacentes. Esses valores estão diretamente relacionados à maré nos horários de coleta, por serem bastante influenciados pela alta dinâmica.

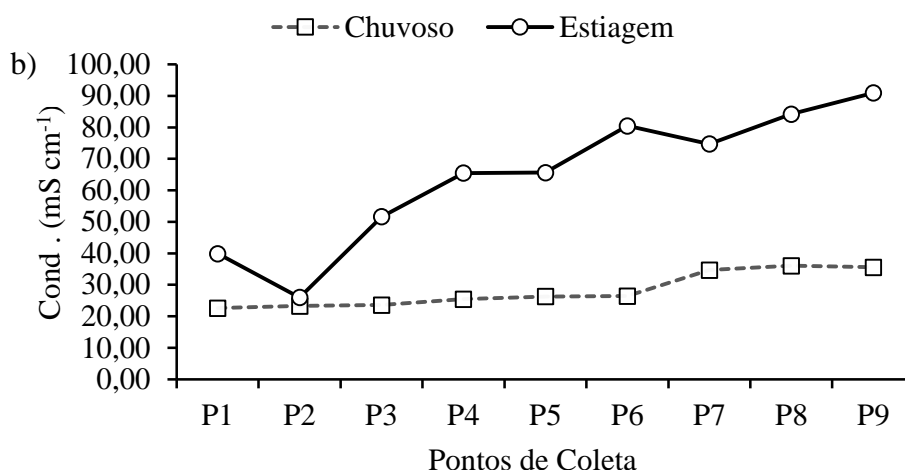
Espacialmente, o maior valor encontrado no período chuvoso foi no ponto 7 (22,20), (Figura 9a) indicando que nesse ponto houve um pico que pode estar relacionada a atividade fotossintética dos organismos, enquanto que o menor valor encontrado foi no ponto 1 (12,70) (Figura 9b). Na estiagem o menor valor encontrado foi no ponto 1 (16,00) e o maior valor ocorreu no ponto 8 e 9 (mesmo valor), se nota, um forte controle climático na região, onde nas duas campanhas os valores estiveram relacionados com a sua posição, ou seja, quanto mais a montante do estuário ponto de 1 a 6 maior a contribuição de rios e quanto mais próximo a desembocadura maior contribuição das Baías Adjacentes e conseqüentemente maior salinidade.

Entretanto, foi observado que entre os períodos sazonais, na estiagem os valores estiveram maiores do que no período chuvoso, mostrando um gradiente decrescente entre as campanhas já que para a região é esperado que maiores valores fossem no período de estiagem.

No estudo de Gomes (2017) realizado no complexo estuarino do Arraial-MA, foram encontrados valores de salinidade variando entre 11,01 g Kg⁻¹ (chuvoso) e 33,70 g Kg⁻¹ (estiagem), corroborando com os valores desse trabalho.

Figura 9. Distribuição Sazonal da salinidade (g kg⁻¹) (a) e condutividade (mS cm⁻¹) (b) para os dois períodos chuva e estiagem.



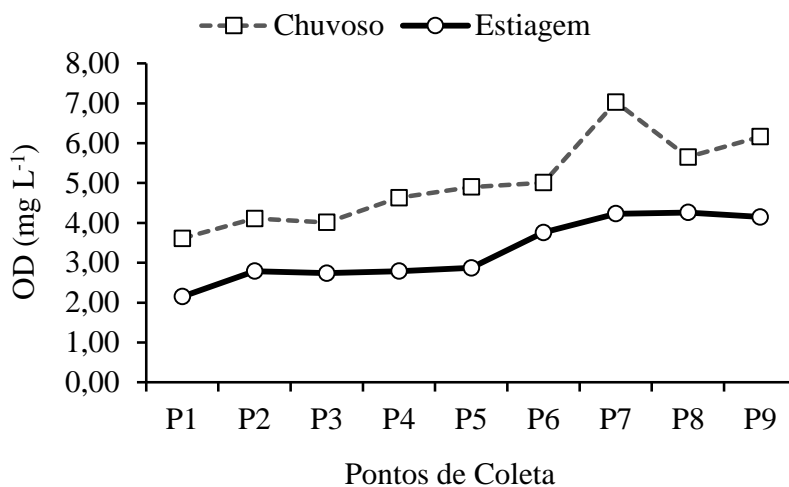


4.2.4. Oxigênio Dissolvido (OD)

O teor de oxigênio dissolvido classifica o ambiente quanto a sua qualidade e depende dos parâmetros de temperatura e salinidade já que essas afetam as concentrações de oxigênio de forma direta e indireta, pelo do controle da solubilidade como também pelas taxas dos processos de demanda e produção de oxigênio (DITTMAR, et al., 2001, ESCRHIQUE, 2011).

No período chuvoso a concentração média de OD foi de 5,01 mg L⁻¹, enquanto no período de estiagem foi 3,30 mg L⁻¹. Menores concentrações de OD no período de estiagem podem estar relacionadas à redução do volume de água doce que flui para o estuário. Isso resulta em uma redução na entrada de nutrientes e matéria orgânica provenientes dos rios, que são fontes de alimento para o fitoplâncton e outros organismos produtores de oxigênio. Com menos matéria orgânica disponível para a produção de oxigênio por meio da fotossíntese, os níveis de oxigênio podem diminuir. No período chuvoso, por outro lado, os aumentos da descarga fluvial bem como um aumento de nutrientes podem aumentar a produção primária na região, ocasionando maiores concentrações de OD. Além disso, a oxigenação no estuário do Paciência é influenciada pelo ciclo de maré.

Em termos espaciais, no período chuvoso foram encontrados os maiores valores especificamente no ponto 7 foi observado um pico (7,0) com relação aos demais pontos, no horário de 13:30 onde se estava o pico da mínima (Figura 10) podendo estar relacionado com a atividade de fotossíntese dos organismos primários e em decorrência da luz solar, que permite a biossíntese autotrófica de energia (Melo,2019). Foi observado também maior valor de salinidade podendo estar relacionada à zona máxima de turbidez.

Figura 10. Distribuição sazonal do Oxigênio Dissolvido (OD).

Durante a estiagem, observou-se um aumento progressivo nos níveis de matéria orgânica e atividade biológica nos pontos a jusante do estuário (pontos 7, 8 e 9), em comparação ao ponto a montante (ponto 1). Essa tendência pode ser explicada pela ação das marés com menor valor de ($2,15 \text{ mg L}^{-1}$) no ponto e maior valor de ($4,26 \text{ mg L}^{-1}$) no ponto 8, Santos (2016) associou essa baixa concentração ao consumo de oxigênio pelo processo de decomposição da matéria orgânica oriunda de manguezais adjacentes.

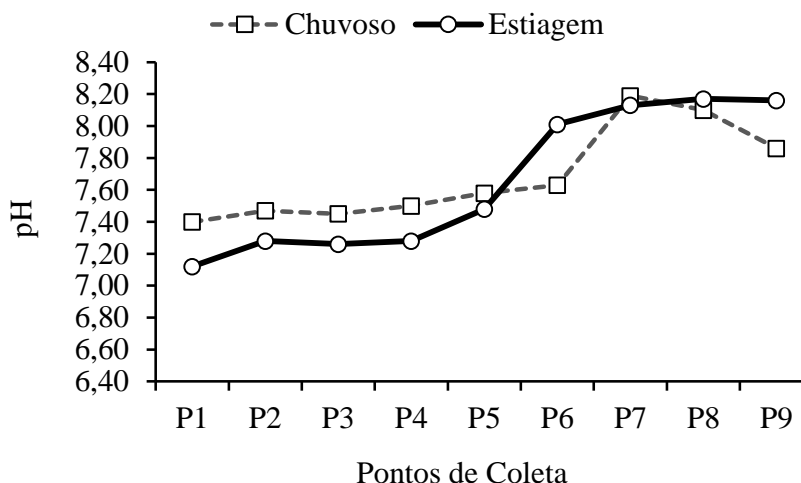
As variações de oxigênio dissolvido obtidas na baía são comuns aos sistemas marinhos da costa maranhense em condições naturais (Azevedo *et al.*, 2008; Rodrigues e Cutrim, 2010). Trabalhos realizados no Golfão maranhense, corroboram com esse estudo como o de Azevedo *et al.*, (2008) mostrando menores concentrações de OD no período de estiagem com valores correspondendo a ($2,1 \text{ ml L}^{-1}$) e maiores no período de chuvoso ($6,3 \text{ ml L}^{-1}$).

4.2.5. pH

Os valores do potencial hidrogeniônico (Figura 11) para os dois períodos foram alcalinos se mantendo próximo ao pH marinho, nos quais as médias foram de 7,65 (estiagem) e 7,69 (chuvoso), sendo considerados homogêneos entre os períodos sazonais e apresentando

um gradiente crescente entre os pontos de coleta no sentido do montante para a jusante do estuário.

Figura 11. Distribuição sazonal do pH no sistema estuarino do Estuário do Rio Paciência-MA.



No geral não houve variações significativas do pH para a região maranhense. Os pontos próximos à jusante do estuário do Paciência apresentaram maiores valores de pH em consequência da grande influência marinha nessa região. Geralmente o pH marinho é maior em decorrência do sistema de tamponamento que mantém o pH relativamente estável e dos íons básicos que podem elevar o pH. O maior valor de pH, no ponto 7, pode estar relacionado à liberação de oxigênio pela produção primária. Essa teoria pode ser sustentada pelos valores de oxigênio dissolvido que também foram maiores nesse ponto. Maiores concentrações de oxigênio aumentam a formação de hidroxilas na água, ocasionando o aumento do pH. Além disso, a produção de oxigênio por processos fotossintéticos está relacionada ao consumo de CO_2 da água e redução de ácido carbônico, o que ocasiona a elevação do pH.

Carvalho *et al.*,. (2016), em uma pesquisa realizada na baía de São Marcos, encontraram valores de pH semelhantes aos obtidos neste estudo, mostrando que o pH em regiões estuarinas é fortemente influenciado pelas contribuições da água do mar. Isso confirma os resultados deste trabalho. Outros estudos realizados em estuários também relataram valores de pH na água que são característicos de ambientes dominados por marés, como descrito por Correia (2016).

4.2.6 TSS

A diferença estatística ($p < 0,05$) observada no TSS (Sólidos Totais em Suspensão) entre os períodos sazonais indica que houve diferença nas concentrações de TSS entre a estiagem e o período chuvoso.

Sazonalmente, as maiores médias de TSS foram maiores no período de estiagem (60,30) quando comparada ao período chuvoso (53,55), uma das principais fontes de TSS durante a estiagem está relacionada a ressuspensão do sedimento depositado no fundo do estuário. Esse processo de ressuspensão é promovido pelas correntes de maré, que agitam o sedimento e o transportam para a coluna d'água. Além disso, durante a estiagem, as partículas em suspensão podem se sedimentar mais facilmente devido a menor turbulência e velocidade da corrente. Já no período chuvoso as menores concentrações podem estar associadas ao aumento do aporte de água doce no qual pode estimular a atividade biológica no estuário. Organismos filtradores, como moluscos e plâncton, podem se alimentar dos sólidos em suspensão, reduzindo suas concentrações na água, outro fator que contribui são as diluições resultantes da entrada de água da chuva das quais contribuem para a redução das concentrações desse parâmetro. (ÁVILA *et al.*, 2021, CEREJA *et al.*, 2022)

O TSS apresentou concentrações relativamente baixas durante o período chuvoso. O menor valor encontrado foi de (84,63) no ponto 6 (Figura 12) enquanto que o maior valor encontrado no período foi de (35,38) no ponto 2. Essas baixas concentrações podem estar relacionadas aos processos de sedimentação que ocorrem devido à mistura de água marinha com água doce, como o processo de floculação.

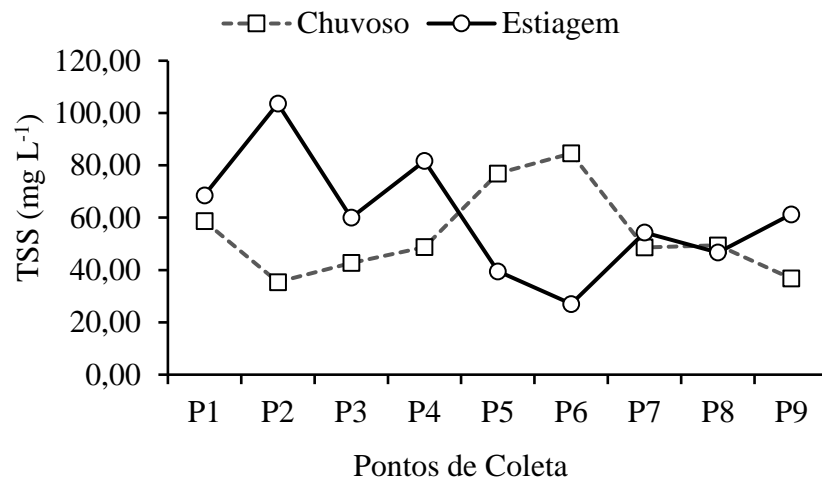
Além disso, a preservação da vegetação, principalmente manguezais nas margens dos canais do sistema estuarino do Rio Paciência pode ser um fator relevante que contribui para esses valores mais baixos. Essa vegetação atua na redução dos processos erosivos e no carreamento de materiais para dentro do estuário (MELO,2019).

Durante o período de estiagem, (Figura 12) foram observados valores de TSS (Sólidos Totais em Suspensão) variando de 27,00 no ponto 6 a 103,60 mg L⁻¹ no ponto 2 no qual foi coletado as 16:16 na maré enchente. Esses valores foram considerados elevados para o período em questão, indicando a presença significativa de materiais em suspensão na água. Esses materiais são principalmente provenientes de processos erosivos e intempéricos dos solos, os quais tendem a ser intensificados em épocas de elevada precipitação pluviométrica.

Em estudos sobre um estuário de macromaré no estado do Maranhão, Santos *et al.* (2020) relatam que a maré desempenha um papel importante na dinâmica dos sedimentos e

nas concentrações de TSS na superfície. Como os rios frequentemente carregam sedimentos em suspensão, normalmente águas costeiras são opacas; a deposição destes sedimentos diminui a profundidade.

Figura 12. Distribuição sazonal do TSS no sistema estuarino do Rio Paciência-MA.



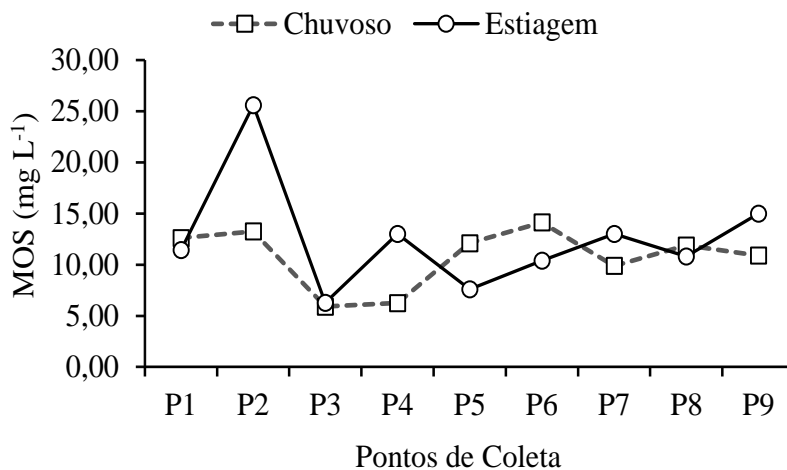
4.2.7 MOS

As concentrações de matéria orgânica em suspensão apresentaram média de 10,77 mg L⁻¹ no período chuvoso, enquanto que no período de estiagem a média foi pouco maior 12,57 mg L⁻¹. Durante a estiagem, se tem redução do fluxo de água nos rios e afluentes o que pode ter resultado na diminuição da diluição do MOS, aumentando a sua concentração. Outro fator é a decomposição mais lenta do material orgânico, fazendo com que se acumule maior de material orgânico em suspensão. No período chuvoso, as baixas concentrações podem ter sido influenciadas pelo aumento da quantidade de água provenientes dos rios devido a elevada precipitação pluviométrica, além disso, o maior fluxo dessa água pode ter transportado maiores quantidades de material orgânico em direção ao oceano, o que pode ter gerado maior turbidez afetando diretamente as atividades biológicas pela redução da disponibilidade de luz solar.

Em termos espaciais, os valores de MOS se mostraram baixos (Figura 13) em ambas as campanhas onde, no período chuvoso o maior 14,13 mg L⁻¹, no ponto 6 podendo ter sido ocasionado pelo maior carreamento pluvial para o canal estuarino, já o menor valor encontrado foi de 5,90 mg L⁻¹ no ponto 3, podendo estar relacionado ao menor transporte e

sedimentação da água o que pode ter afetado o fluxo no momento da coleta e da menor atividade biológica dos organismos.

Figura 13. Distribuição sazonal do MOS no sistema estuarino do Estuário do Rio Paciência-MA.



Na estiagem o maior valor foi 25,60 mg L⁻¹ no ponto 2, estando relacionado ao horário de coleta de 18:08 e a localização do ponto a montante do estuário indicando uma forte contribuição advinda do transporte erosivos e intempéricos dos solos e da água, também da maré que pode ter contribuído para o aumento de matéria orgânica nesse ponto em específico. Por outro lado, no ponto 3 que foi coletado no horário de 17:35 foi encontrado o menor valor 6,27 mg L⁻¹, indicando que na hora da coleta houve uma diminuição desse transporte acarretando menor diluição pelo menor fluxo de água.

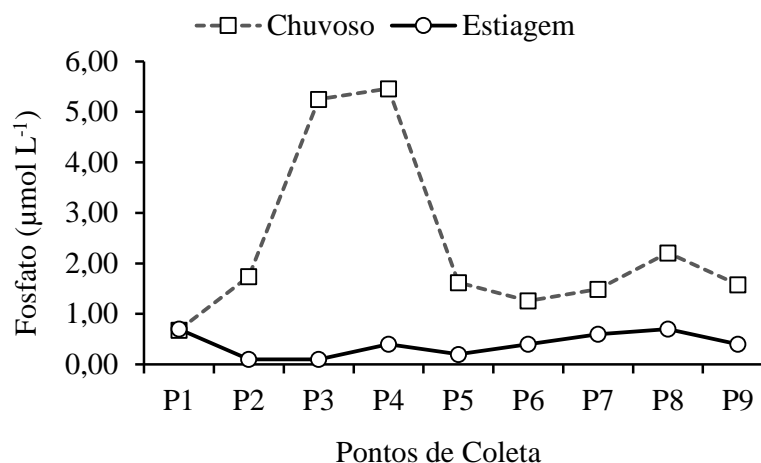
As concentrações baixas desse parâmetro podem estar relacionadas a menor escoamento superficial, já que a quantidade de MOS nos estuários é influenciada pela quantidade de material orgânico trazido pelos rios que deságuam no estuário.

Os estuários, em geral, desempenham um papel importante na produção, transformação e consumo de matéria orgânica, e sua dinâmica é em grande parte autossustentável, não dependendo significativamente de aportes externos. No entanto, em regiões naturalmente ricas em produtividade ou devido às atividades humanas, esse equilíbrio pode ser alterado, transformando o estuário em um ambiente heterotrófico, onde a matéria orgânica é predominantemente proveniente de fontes externas (MACEDO *et al.*, 2004).

4.2.8 Fosfato

A concentração de fosfato no Sistema Estuarino do Rio Paciência apresentou diferença significativa entre as campanhas com ($p > 0,05$), de acordo com teste t (Tabela 2). A maior média $2,37 \mu\text{mol L}^{-1}$ no período de chuvoso, enquanto que no período de estiagem a média foi de $0,40 \mu\text{mol L}^{-1}$, (Figura 14) esses valores no período de estiagem podem estar associados a passagem desse nutriente para a sua fração particulada. Além do mais, segundo Eschrique (2011) as menores concentrações desse nutriente na estiagem podem estar associadas a menor quantidade de matéria orgânica, e pela maior assimilação pelos organismos fitoplanctônicos ou ainda, pela adsorção ao material particulado, podendo ocorrer a deposição no fundo, e acontecendo assim a troca da fração dissolvida para a particulada, ficando indisponível para produção primária. No período chuvoso houve maior diluição da água pelo aporte fluvial que carrega material advindo do continente além do escoamento superficial que aumenta as concentrações de fosfato para o ambiente.

Figura 14. Distribuição sazonal do fosfato no sistema estuarino do Estuário do Rio Paciência-MA



Especialmente, no período chuvoso o valor mínimo foi de $0,68 \mu\text{mol L}^{-1}$ no ponto 1 podendo estar associado a diluição da água além do horário de coleta (noturno), onde pode ter aumentado o consumo desse nutriente pelo aumento da atividade biológica levando assim a diminuição desse elemento nutriente. O valor máximo foi de $5,46 \mu\text{mol L}^{-1}$ no ponto 4, estando associado a menor diluição proveniente de águas salinas e por fontes internas como a reciclagem da matéria orgânica no meio. Segundo Silva (2007), o fósforo inorgânico dissolvido possui característica de mudar de forma rapidamente no ambiente aquático,

podendo transitar da forma particulada para a forma dissolvida de maneira rápida, o que o torna disponível na coluna d'água.

A elevação nas concentrações de fosfato durante o período chuvoso sugere que há um aporte maior de nutrientes provenientes do ambiente terrestre para o ambiente estuarino. Isso pode estar relacionado à lavagem de solos agrícolas, escoamento de fertilizantes, descargas de efluentes industriais ou domésticos, entre outras fontes antropogênicas. Além disso, as características hidrológicas da região, como a drenagem das bacias adjacentes e a interação com os manguezais, também podem influenciar no transporte de nutrientes, incluindo o fosfato, para o estuário.

No período de estiagem, os pontos 1 e 8 apresentaram as maiores concentrações de fosfato espacialmente, registrando $0,70 \mu\text{mol L}^{-1}$ cada um. No geral, os valores de concentração de fosfato foram menores que $1 \mu\text{mol L}^{-1}$, indicando uma boa disponibilidade desse nutriente no Sistema Estuarino do Rio Paciência (Figura 14). Esses resultados podem ser atribuídos à ressuspensão do fosfato dos sedimentos para a coluna de água. Conforme mencionado por Melo (2019), o fósforo depositado nos sedimentos em sua forma particulada pode passar por processos de desorção causados pelas correntes de maré, retornando à forma dissolvida e, assim, aumentando as concentrações no ambiente estuarino.

No estudo de Melo (2019), no Sistema Estuarino da Raposa-MA, mostrou concentrações de fosforo maiores na primeira campanha (chuvoso) e menores na segunda campanha (estiagem), mostrando a veracidade dos dados desse trabalho.

No estudo realizado por Gomes (2017) no Complexo Estuarino do Arraial-MA, foram observados valores menores de fosfato durante o período chuvoso, com uma média de $0,60 \mu\text{mol L}^{-1}$. Por outro lado, no período de estiagem, foram encontrados valores maiores, com uma média de $6,04 \mu\text{mol L}^{-1}$. Essa variação pode ser atribuída ao menor aporte de nutrientes provenientes do continente durante a estação chuvosa, assim como à rápida adsorção do fosfato às partículas presentes na água.

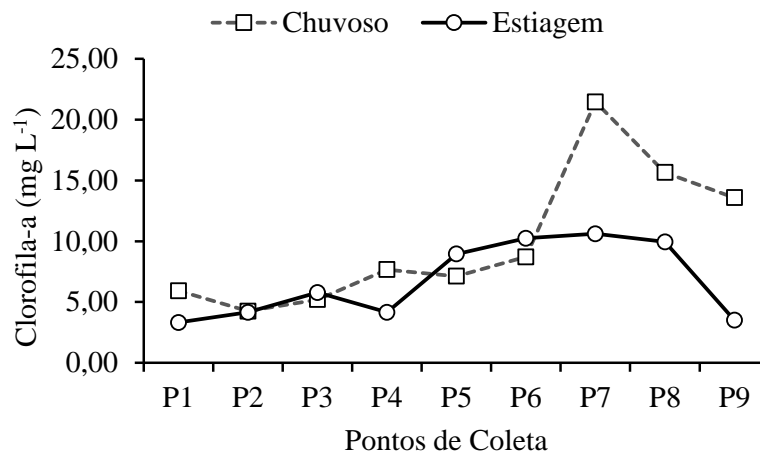
4.2.9 Clorofila-a

No estudo realizado, as concentrações de cl-a demonstraram que, durante o período chuvoso, foram ligeiramente maiores em comparação com o período de estiagem. Os resultados mostraram uma média de $9,95 \text{ mg m}^{-3}$ na primeira campanha, (Figura 15) enquanto na segunda campanha a média foi de $6,74 \text{ mg m}^{-3}$. Segundo Eschrique (2011), cl- a é um pigmento presente nas algas e plantas aquáticas que desempenha um papel fundamental na

fotossíntese. Os maiores valores no período chuvoso podem estar relacionados ao fato que uma maior quantidade de água doce flui para o estuário, carregando nutrientes (fosforo e nitrogênio) provenientes das bacias hidrográficas adjacentes, proporcionando condições favoráveis para o crescimento das algas. Na estiagem, os menores valores se deram em função da diminuição do fluxo de água doce podendo levar a uma maior salinidade na água. Além disso, a escassez de nutrientes e as condições ambientais menos favoráveis durante a estiagem tendem a levar a uma redução nas concentrações de cl-a, resultando assim em uma menor quantidade de biomassa de algas no estuário.

Foi observado que não houve diferenças significativas espacialmente nas duas campanhas em relação à cl-a. No entanto, no ponto 7 durante o período chuvoso, foi registrado um pico de $(21,46) \text{ mg m}^{-3}$, que estava relacionado ao pico de mínima observado às 13:30 nessa campanha. Além disso, outros parâmetros, como o pH e o oxigênio dissolvido (OD), apresentaram um comportamento semelhante. No caso da cl-a, esse aumento pode ser atribuído a uma maior atividade fotossintética pela maior ação dos raios solares nesse momento específico, o que resultou em uma elevação na concentração do parâmetro no ponto de coleta.

Figura 15. Distribuição sazonal da cl-a no sistema estuarino do Estuário do Rio Paciência-MA



Na estiagem, o menor valor de cl-a foi encontrado no ponto 1, com um valor de $3,31 \text{ mg m}^{-3}$. Isso indica um menor aporte de nutrientes das bacias hidrográficas adjacentes e um aumento na salinidade, o que pode ter impactado o crescimento das algas. Vale ressaltar que o ponto 1 está localizado a montante do rio, onde a influência da água doce é maior. Por outro lado, o ponto 7 apresentou um valor mais elevado, com $10,62 \text{ mg m}^{-3}$. Isso indica uma maior

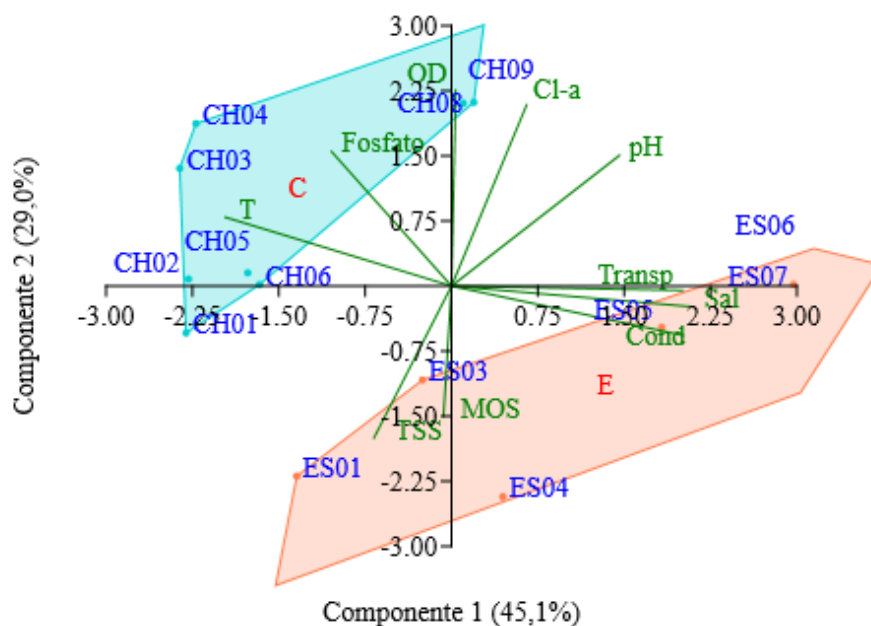
contribuição de água marinha nesse ponto, o que implica em condições mais favoráveis para o crescimento de algas adaptadas a maiores salinidades. Essas algas têm maior capacidade de se desenvolver e, conseqüentemente, fornecem uma maior disponibilidade de cl-a para os organismos fotossintetizantes.

Trabalhos como o de Grego *et al.*, (2004), no Estuário do Rio Cachoeira, Nordeste do Brasil, foram encontrados valores maiores do que nesse estudo, mas houveram dois picos onde a oscilação foi de 2,43mg. m⁻³, na estação 1, no mês de dezembro/02, a 160,49mg. m⁻³, na estação 3, no mês de novembro/02, sendo associado em razão dos nutrientes chegarem mais diluídos. Bastos *et al.*, (2005) descreveu em seu estudo no estuário do Rio Cachoeira que o ecossistema foi considerado pouco impactado no qual as concentrações de cl-a, características de ambiente eutróficos, foram mais elevadas no período de chuva.

4.3. ANÁLISE DE COMPONENTE PRINCIPAL (ACP)

O resultado da ACP está disposto na (Figura 16), a soma das componentes foi maior que 50%, para variâncias dos dados, onde a componente 1 apresentou valor de (45,1%) e a componente 2 o valor obtido foi de (29,0%), mostrando assim, representativa para os dados reais.

Figura 16. Análise de Componente Principal (ACP).



Para a componente 1, os parâmetros associados foram: Temperatura, salinidade, TSS, pH, transparência cl-a, fosfato, condutividade. e somente o oxigênio dissolvido e MOS estiveram relacionados a componente 2.

A transparência da água foi maior e mostrou relação direta entre os parâmetros e cl-a, pH, e OD dos quais também apresentaram maior correlação no período de estiagem. Entretanto, a salinidade e a condutividade foram inversamente proporcionais a esses parâmetros na segunda campanha. Isso indica que tanto a salinidade quanto a condutividade diminuíram quando os parâmetros associados ao período de estiagem aumentaram.

A temperatura e o fosfato foram maiores no período chuvoso, enquanto que o TSS e o MOS se mostraram inversamente proporcionais aos parâmetros nessa campanha. Mostrando que quando a temperatura e fosfato foram menores no período chuvoso o TSS e o MOS aumentaram.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos através da investigação dos parâmetros físicos e químicos revelaram que o estuário do Rio Paciência-MA é um ambiente de baixa profundidade, caracterizado por temperaturas elevadas típicas de regiões de baixa latitude. Além disso, esse estuário é altamente dinâmico, sofrendo influência significativa das oscilações das marés e apresentando variações na contribuição de água doce, tanto em momentos de elevação como de redução.

A salinidade e a condutividade foram controladas pelo clima, com valores de salinidade mais baixos durante o período de chuvas e valores mais elevados durante a estiagem, refletindo a influência das descargas fluviais e das contribuições marinhas.

Durante os dois períodos estudados, o pH da água se manteve em níveis básicos, próximos ao pH do ambiente marinho.

Os níveis de oxigênio dissolvido permaneceram adequados devido à renovação das águas pelas marés, com uma pequena diminuição durante a estiagem, porém sem afetar a oxigenação do ambiente, o que é benéfico para a biota aquática.

As concentrações de sólidos suspensos totais (TSS) e matéria orgânica suspensa (MOS) não demonstrou variação entre os pontos de amostragem, mas apresentaram variações sazonais. A principal influência sobre esses parâmetros foi à ação das marés, que promovem a ressuspensão de materiais na coluna d'água.

No que se refere ao fosfato, sua disponibilidade no ambiente esteve principalmente relacionada às contribuições de água doce e à transformação da forma particulada para a forma dissolvida. No entanto, foram observados valores elevados, chegando a 5,46, indicando que fatores antrópicos estão contribuindo para a eutrofização costeira e degradação da qualidade da água, afetando a biodiversidade e a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos e terrestres. Por fim, os estuários são ecossistemas de extrema importância para a zona costeira, porém estão suscetíveis a uma série de impactos, tanto naturais como antrópicos. A ocupação desordenada, urbanização e atividades humanas diversas têm causado degradação e alterações significativas nesses ecossistemas. Medidas como o controle do lançamento de efluentes domésticos e industriais, gestão adequada do uso do solo e da água, e conscientização sobre a importância dos estuários são fundamentais para garantir a preservação desses ecossistemas e o equilíbrio dos ciclos biogeoquímicos.

É fundamental promover a preservação dos estuários e seus recursos, garantindo a conservação e o uso sustentável dos oceanos, mares e recursos marinhos. A implementação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, em particular o ODS-14, é essencial para promover ações voltadas à proteção desses ambientes, à melhoria da qualidade de vida das comunidades costeiras e à sustentabilidade global.

Apesar da importância socioambiental e do alto potencial econômico dos municípios de Paço do Lumiar e Raposa, ainda há desafios a serem enfrentados. É necessário um plano de gerenciamento abrangente que considere todos os aspectos socioambientais. A alta taxa de urbanização na região tem levado a diversas degradações ambientais, como o descarte inadequado de resíduos sólidos, o lançamento de efluentes sem tratamento, o desmatamento de áreas de manguezais e atividades portuárias próximas. O despejo de efluentes agrícolas da aquicultura também é uma preocupação.

É fundamental buscar práticas sustentáveis e mitigar os impactos negativos das atividades humanas nos ciclos biogeoquímicos, visando a conservação e preservação dos ecossistemas e da saúde do planeta como um todo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, E. P.; TELES, M. G. L.; LAGO, W. J. S. **Delimitação das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão a partir de dados SRTM**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. Anais... Natal: INPE, 2009. p. 4631-4638.

ÁVILA, R. A.; OROZCO, P. M. S.; ANDRADE, M. M.; MÖLLER, O. O. Jr. **Variabilidade Temporal da Concentração de Sólidos Suspensos no Canal Estuarino da Lagoa dos Patos, Sul do Brasil**. *Água*, [S.l.], v. 13, n. 5, p. 646, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/w13050646>>. Acesso em: [12 de junho de 2023].

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

ANA: **Agência Nacional das Águas**. 2009. Disponível em: <http://www.ana.gov.br>. Acesso em 17.06.2022.

AZEVEDO, A.C.G, FEITOSA, FAN & KOENINIG, ML 2008. **Distribuição espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica e variáveis ambientais no Golfão Maranhense, Brasil**. *Acta Botânica Brasileira*, 22,870-877. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/SO102-3306200800300022>, <http://dx.doi.org/10.1590/S01102-33062008>

BASTOS, R. B.; FEITOSA, F. A. N.; MUNIZ, K. 2005. **Variabilidade espaço-temporal da biomassa fitoplanctônica e hidrologia no estuário do Rio Uma (Pernambuco – Brasil)**. *Tropical Oceanography, Recife* 33 (1): 1-18.

BRAGA, E. S., 2002. **Bioquímica Marinha e efeitos da poluição nos processos bioquímicos**. 2ª edição Fundespa, São Paulo, 108pp;

CARVALHO, F.; CABRAL, S.; BRITO, A. C. **Variabilidade Espacial de Parâmetros Físico-Químicos e Fitoplâncton no Estuário do Tejo (Portugal)**. *Sustentabilidade*, [S.l.], v. 14, n. 20, p. 13324, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su142013324>>. Acesso em: 12 de junho de 2023.

CARVALHO, R. C. Q. et al. **Microphytoplankton composition, chlorophyll a concentration and environmental variables of the Maranhao Continental Shelf, Northern Brazil**. *Latin American Journal of Aquatic Research*, v. 44, n. 2, p. 256–266, 2016.

CARVALHO, V.C. & RIZZO, H. **A zona costeira brasileira-subsídeos para avaliação ambiental, Brasília: Ministério do Meio Ambiente, dos recursos Hídricos e da Amazônia Legal-MMA, Secretaria de Coordenação de Assuntos do Meio Ambiente-SCA**, 211p. 1994.

CASTRO, R M.S.; PEREIRA, E.D. **Análise geoambiental da porção superior da Bacia do Rio Paciência: subsídio para o planejamento ambiental. São Luís-MA. XVIII Encontro Nacional de Geógrafos**. Departamento de Geociências/Universidade Federal do Maranhão p, 7-10, Disponível em:http://www.eng2016.agb.org.br/resources/anais/7/1468878227_ARQUIVO_TRABALHOENG_S_LZRENATAC.pdf. Acesso em 19 jun, 2022.

CEREJA, R.; CHAINHO, P.; BROTAS, V.; CRUZ, J. P. C.; SENT, G.; RODRIGUES, M.; **Variabilidade Espacial de Parâmetros Físico-Químicos e Fitoplâncton no Estuário do Tejo (Portugal)**. *Sustentabilidade* 2022, 14, 13324. <https://doi.org/10.3390/su142013324>

CHESTER. R & RILEY, J. P. 1989. **Chemical Oceanography**.V.9 e 10. Academic Press: New York.

CORREIA, C. F. R. **Variabilidade das características físicas e químicas da água ao longo do baixo estuário do rio Arade – efeito em diferentes escalas temporais** Introdução Métodos Resultados Preliminares Conclusão. [s.l.] Universidade do Algarve, 2016.

CHILDERS D L, CORMAN M J, EDWARDS J J, E, **Sustainability Challenges of Phosphorus and Food: Solutions from Closing the Human Phosphorus Cycle**, *BioScience*, Volume 61, Issue 2, February 2011, Pages 117–124, <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.2.6>

DAVIS, Jr.; RICHARD, A. 1985. “**Coastal Sedimentary Environment**”. 2n Edition. Springer-Verlag. 716 p.

DITTMAR, T.; LARA, R. J. **Driving Forces Behind Nutrient and Organic Matter Dynamics in a Mangrove Tidal Creek in North Brazil**. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 52, n. 2, p. 249–259, 2001.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO - DHN. Tábuas de Maré, São Luís - MA.2022. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/dhn/>. Acesso em 05 de junho de 2023

DONEY, S. C.; BUSCH, D. S.; COOLEY, S. R.; KROEKER, K. J. **Marine Ecosystems and Reliant Human Communities**. Revisão Anual de Meio Ambiente e Recursos, v. 45, n. 1, p. 83–112, 2020.

ESCHRIQUE, S.A.; COELHO; L.H.F.; OLIVEIRA; E.N. & BRAGA, E.S. **Qualidade da água como ferramenta na gestão ambiental de estuários- exemplo do litoral sul de São Paulo**. In: Anais do V Simpósio Brasileiro de Oceanografia, Santos- SP, 17- 24 de abril. 6 p. 2011a.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. 3ªEd, Rio de Janeiro: Interciencia, 2011.v.1, p.85-94.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). 2006. **Sistema Brasileiro de classificação de solos** 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI.

FERREIRA, H.O. 1989. **Contribuição ao estudo das correntes de maré dos estreitos de Coqueiros e Mosquitos**. São Luís: LABOHIDRO: 7 p.

FENNEL, K.; TESTA, J. M. **Biogeochemical Controles no Coastal Hypoxia**. *Annual Review of Marine Science*, v. 11, n. 1, p. 105–130, 2018.

FIALHO, L. C. V. 2002. **Diagnóstico da pesca na praia da Raposa**. São Luís. **Monografia do curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Maranhão**. 43p.

GILBERT, P.; SHARP, J. **Nutrients in Estuaries: The National Estuarine**. Experts Workgroup 2005-2007. **Environmental Protection Agency**, n. November, p. 1–183, 2010.

GOMES, A. K. S. **Estudo dos Nutrientes Dissolvidos no Complexo Estuarino do Arraial-Maranhão**.2017. Acesso: 12 de junho de 2023. Disponível em monografias.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/902/1/CarlaKarineSoaresGomes.pdf

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

GREENWOOD, N. et al. **Utilizing Eutrophication Assessment Directives from Transitional to Marine Systems in the Thames Estuary and Liverpool Bay, UK**. *Frontiers in Marine Science*, v. 6, n. April, 2019.

GREGO, C. K. S. **Distribuição espacial e sazonal da composição e biomassa fitoplanctônica correlacionadas com a hidrologia do estuário do rio Timbó** (Paulista, Pernambuco). Recife: 2004. 117f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia), Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, 2004

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e região geográfica intermediária; 2017. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo demográfico de 2021. Rio de Janeiro. IBGE 2021 Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/raposa/panorama>. Acesso em: 17/06/2021.

INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS-(IMESC). Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. Ilha do Maranhão, Enciclopédia dos Municípios v. 8, 2021. Disponível em: <http://imesc.ma.gov.br/src/upload/publicacoes/7495f8cc3d59fae644092041fc1989a9.pdf>. Acesso em: 19 jun 2022.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia** (INMET).2021. Rede de Estações e Previsão Climática. Disponível em: <www.inmet.gov.br>. Acesso em: 21 abril 2022.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). 2022. **Fenômeno La Niña chega ao fim após três anos de duração**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br>. Acesso em: [12 de junho de 2023].

Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). 2007. **Mudanças Climáticas 2007: Relatório de Síntese**. Contribuição dos Grupos de Trabalho I, II e III para o Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas [Equipe Principal de Redação, Pachauri, R.K e Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Genebra, Suíça, 104 pp.

JEFFREY, S.W. & HUMPHREY, G.F. **New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton**. *Biochem. Physiol. Pflanz.* N. 2, v. 167, p. 191-194. 1975.

LEONEL, A.C. **Combinação de probabilidade na comparação em análise conjunta de experimentos**. **Lavras: UFLA-DEX**,2000,81p. (Dissertação Mestrado em Estatística e Experimentação (Agropecuária).

LIMA, F B; DIAS, L J B. **Parâmetros meteorológico-climáticos da zona urbana de Imperatriz (MA) entre janeiro de 1961 e dezembro de 2013: subsídios estatísticos ao planejamento e ordenamento territorial**. Relatório final de iniciação científica. Imperatriz: UEMA/FAPEMA, 2015.

MACEDO, S. J., MUNIZ, K., FLORES MONTES, M. J. **Hidrologia da região costeira e plataforma continental do Estado de Pernambuco**. In: Oceanografia um cenário tropical. Recife. Org. Eskinazi-Leça, E., Neumann-Leitão, S., Costa, M. Ed. Bargaço, 761p. 2004

MASSELINK G. 2003. **Tidal and wave controls on beach morphodynamics**. In G. Masselink & M. Hughes (Eds.), *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology* (pp. 99-128). Routledge. Disponível em: <http://www.cambridge.org/9780521874458>. Acesso em [12 de junho de 2023].

MELO, E. R. **Processos hidrodinâmicos e implicações na carga de nutrientes no estuário do Rio São Francisco decorrente das reduções de vazões**. 2017a.

MELO, P. M. **Fluxo Nictemeral de Nutrientes para um Ponto Fixo no Sistema Estuarino do Município de Raposa, Maranhão**. 2019. Trabalho de Conclusão de curso. São Luís.

MIRANDA, L. B., CASTRO, B. M., KJERFVE, B. **Princípios de Oceanografia Física de Estuários**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo (Acadêmica; 42). 2002.

MIRANDA, L. B. et al. **Fundamentals of Estuarine Physical Oceanography**. *In: Ocean Engineering & Oceanography*. [s.l.: s.n.]. v. 8p. 73 –73, 2017.

MITHTHAPALA, SRIYANIE. **Lagoons and Estuaries**. *Coastal Ecosystems Series*. Vol.4, IUCN Sri Lanka Country Office, Colombo. 63 p. 2013.

MOCHEL, F. R., CORREIA, M. M. F., CUTRIM, M. V. J, IBANEZ, M. S. R. 2002. **Degradação dos manguezais da Ilha de São Luís (MA): processos naturais e antrópicos**. *In: Ecossistemas costeiros: impactos e gestão ambiental*. 1 ed. Belém: Editora do Museu Paraense Emílio Goeldi, v.1, p. 113-131

- MOLION, L.C.B. **A Gênese do El Niño**. *Revista Brasileira de Climatologia*. 2017. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/51873/33551>. Acesso em: 05 jun. 2023.
- MONTEIRO, S. M.; EL-ROBRINI, M.; ALVES, I. C. C. **Dinâmica sazonal de nutrientes em estuário amazônico**. *Mercator*, p. 151–162, 2015.
- NASCIMENTO, F C A, BRAGA, C C. **Análise Estatística dos Eventos Secos e Chuvosos de Precipitação do Estado do Maranhão**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v32n3/0102-7786-rbmet-32-03-0375.pdf>. Acesso em: 03 junho de 2023.
- NUGEO. 2016. **Relatório técnico: Estudo de impacto ambiental na área de mineração**. Núcleo de Geologia e Meio Ambiente, São Paulo, Brasil.
- MMA. **Panorama da Conservação dos Ecossistemas Costeiros e Marinhos no Brasil**. Brasília: [s.n.].2010.
- OLIVEIRA, T; RAMOS, I; NETO, D; NASCIMENTO, F; SANTOS, O; COHIM, E; LEÃO, A; LIMA, Y, O. **Prevenção e controle da poluição das águas por fósforo**. 2021.
- OLIVEIRA, D. R. O. **Evaluation of the microbiological contamination degree of the Paciência River Estuary, Maranhão State**. *Arq. Cien. Mar, Fortaleza*, v45, n.1,p 56-61,2012.
- PARTHASARATHY A & NATESAN U. 2015. **Coastal vulnerability assessment: a case study on erosion and coastal change along Tuticorin, gulf of Mannar**. *Nat Hazards*, 75: 1713- 1729.
- PCA. Phosphorus: **Sources, Forms, Impact on Water Quality: A General Overview**. *Minnesota*. 2007. Disponível em: <<https://www.pca.state.mn.us/sites/default/files/wq-iw3-12.pdf>>. Acesso em: 19 abril 2022.
- PINHEIRO, J. M. **Distribuição Espaço-Temporal da Pluviosidade na Ilha do Maranhão no ano de 2016**. *Inter Espaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, v. 3, n. 8, p. 126, 2017
- PORTOBRAS. 1988. **Manual de Operações Portuárias**. Porto Brasileiro S.A., São Paulo, Brasil.
- POTTER, I. C. et al. **The concept of an estuary: A definition that incorporates systems which can become closed to the ocean and hypersaline**. 2010.
- RANGEL, M. E. S.; PEREIRA, C. R. P.; SOUZA, U. D. V. **Dinâmica Socioambiental da área da bacia do Rio Paciência porção nordeste da ilha do Maranhão**. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais...foz do Iguaçu*: 2013.
- PIORSKI, G. M. R. et al. **Subsídios para o manejo da visitação na praia de Carimã, Raposa-MA. Caminhos de Geografia**. p. 212–226, 2009.
- POOLE, H.H. & ATKINS, W.R.G. **Photo-electric measurements of submarine illumination through-out the year**. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.*, v. 16, n. 1, p. 297-324. 1929.
- RANIERI L. A & EL-ROBRINI e M. 2016. **Condição oceanográfica, uso e ocupação da Costa de Salinópolis (Setor Corvina – Atalaia), Nordeste do Pará, Brasil**. *Journal of Integrated Coastal Zone Management/ Revista de Gestão Integrada*, 16 (2): p. 133-146.
- RODRIGUES, EI & CUTRIM, MVJ 2010. **Relações entre as variáveis físicas, químicas e fitoplanctônica de três áreas estuarinas da costa norte do Brasil- São José de Ribamar, Cedral e Cajapió, MA**. *Arquivos Ciências do Mar*, 43,45-54.
- SANTOS, A. G; MOLIN, L. B. **Variabilidade pluviométrica do brasil associada à oscilação da pressão em Tahiti**. *Revista de Geografia, UFPE*, 2014. p. 123-138.

SANTOS, L.C.A. 2001. **Estudo da Bacia do Rio Paciência-MA por meio da análise cartográfica**. 178 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Presidente Prudente.

SANTOS, T. T. L. **Fluxos de nutrientes dissolvidos para o complexo estuarino do rio Mearim, Maranhão** Universidade Federal do Maranhão. São Luís, p. 76. 2016.

SILVA, L. D. J. C. DA. **O Estado Ambiental como Indicador na Qualidade de Vida da População: uma análise da relação saúde e ambiente no centro urbano do município de Raposa, Maranhão, Brasil**. São Luís: Universidade Federal do Maranhão, 2008

SILVA, M. A. M. **Biogeoquímica dos nutrientes inorgânicos dissolvidos e biomassa fitoplanctônica no estuário do rio Cachoeira, Ilhéus-BA**. Universidade Estadual de Santa Cruz. Ilhéus, p. 123. 2007.

SOARES, L. S. SILVA JÚNIOR, M. G.; CASTRO, A. L. de; SAINT-PAUL, U. **Comunidade de peixes como indicador de qualidade ambiental de alguns canais de maré do estuário do Rio Paciência**. São Luís-MA. *Bol. Lab. Hidrobiol.* 2014. Disponível em: <http://periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/blabohidro/article/view/1858>. Acesso em: 19 jun. 2022.

SOUZA C.R.G., SOUZA Filho P.W.M., ESTEVES L.S., VITAL H., DILLENBURG S.R., PATCHINEELAM S.M., ADDAD J.E. 2005. **Praias arenosas e erosão costeira**. In: Souza C.R.G., Suguio K., Oliveira A.M. S., Oliveira P. E. (Eds.). *O Quaternário do Brasil*. Holos, Ribeirão Preto, p. 130-152.

STRICKLAND, J. D. H. & PARSONS, T. R.A. **Practical handbook of seawater análises**. Bull. Fish Res Board of Canada. 2 ed. Ottawa: Bulletin 167. 31 p. 1972.

VARELLA, C A A. 2008. **Análise de Componentes Principais**. Seropédica - RJ, Departamento de Engenharia. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/multivariada%20aplicada%20as%20ciencias%20agrarias/Aulas/analise%20de%20componentes%20principais.pdf>>. Acesso em: 8 de junho de 2023.

WETZEL, R. G.; LIKENS, G. E. **Análises Limnológicas**. Editora Rima, 2000.

