



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

MARIA TAYANE MARTINS MOTA

**VARIAÇÃO ESPACIAL E SAZONAL DE NITROGÊNIO EM UM ESTUÁRIO DE
BAIXO INFLUXO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

FORTALEZA-CE

2025

MARIA TAYANE MARTINS MOTA

VARIAÇÃO ESPACIAL E SAZONAL DE NITROGÊNIO EM UM ESTUÁRIO DE
BAIXO INFLUXO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Ciências
Ambientais do Instituto de Ciências do Mar
da Universidade Federal do Ceará, como
requisito parcial para a obtenção do título
de Bacharela em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Michael Barbosa
Viana
Coorientador: Prof. Me. João Paulo Leite
Félix

FORTALEZA-CE

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Mota, Maria Tayane Martins.

Variação espacial e sazonal de nitrogênio em um estuário de baixo influxo do semiárido brasileiro / Maria Tayane Martins Mota. – 2025.

38 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Curso de Ciências Ambientais, Fortaleza, 2025.

Orientação: Prof. Dr. Michael Barbosa Viana.

Coorientação: Prof. Me. João Paulo Leite Félix .

1. Qualidade da Água. 2. Nutrientes. 3. Impactos Ambientais. 4. Rio Pacoti. I. Título.

CDD 333.7

MARIA TAYANE MARTINS MOTA

VARIAÇÃO ESPACIAL E SAZONAL DE NITROGÊNIO EM UM ESTUÁRIO DE
BAIXO INFLUXO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Ciências
Ambientais do Instituto de Ciências do Mar
da Universidade Federal do Ceará, como
requisito parcial para a obtenção do título
de Bacharela em Ciências Ambientais.

Aprovada em 17/03/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Michael Barbosa Viana (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Me. João Paulo Leite Félix (Coorientador)
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

Prof. Dr. Tristan Charles Clitandre Rousseau
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Hortência de Sousa Barroso
Escola Estadual de Educação Profissional Presidente Roosevelt

A Deus.

Aos meus pais, Antonio e Maria.

Aos meus irmãos, Kauan, Guilherme e
Ticiane.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por trazer paz a minha alma quando necessito e por ser minha fortaleza em todos os momentos.

Aos meus pais, Antonio Mota Braga de Vasconcelos e Maria Martins Pinto, que são os meus maiores incentivadores. Obrigada por todo o amor, carinho, confiança e dedicação, desde sempre. Em especial ao meu pai, por sempre acreditar em mim, incentivar, ajudar e me dar forças para continuar. Minha graduação é um sonho compartilhado com vocês. Tudo que sou devo a eles, e todo o meu esforço é para um dia recompensar tudo que já fizeram por mim.

Aos meus irmãos, Kauan, Guilherme, Tici e Thayná, que sempre me deram apoio e conforto quando eu precisava. Obrigada por cada incentivo e momentos compartilhados.

A toda minha família, em especial minha tia Lucia e meus sobrinhos Livia e Daniel, por me darem tanto amor. Sei que minha felicidade é a deles também. Amo-os muito! À minha amiga, Vitória Soares Cidrão, por me apoiar e vibrar pelas minhas conquistas. Obrigada por ser a melhor amiga-irmã que eu poderia ter.

Às minhas amigas, Cristina Nascimento, Sara Raiane, Beatriz Araujo e Andressia Regia, por terem sido as melhores companheiras acadêmicas que alguém poderia ter. Amo nossa amizade e a parceria que construímos ao longo desses anos. Sou grata por fazerem desses anos mais leves. Quero vocês para sempre em minha vida!

Ao meu orientador, Michael Barbosa Viana, por todo o carinho, atenção, paciência, confiança e pelos ensinamentos de uma vida inteira. Obrigada por ter me acolhido tão bem no laboratório, vibrar comigo a cada conquista e me colocar para cima quando as coisas apertaram.

Ao João Paulo pelas excelentes orientações, pela confiança e paciência, por ter me ajudado com as pequenas dúvidas, a como melhorar minha escrita e a interpretar os dados.

Aos membros da banca examinadora Prof. Dra. Hortência de Sousa Barroso e Prof. Dr. Tristan Charles Clitandre Rousseau pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos integrantes do Laboratório de Efluentes e Qualidade de Água (EQUAL), por terem me recebido de braços abertos, pela amizade, risadas, desesperos e apoio. Vocês são como uma família para mim e o EQUAL se tornou minha segunda casa. A Ravena,

Chrystian, Matheus, Francisco, Lara e Izabella, muito obrigada pelas nossas conversas, momentos de descontração e trocas de ideias. Vocês foram essenciais para me ensinar tudo que sei sobre análises físico-químicas e por deixar esses anos mais leves!

Ao Instituto de Ciências do Mar por ser minha segunda casa e pelos amigos e amigas que me deu.

Ao Programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração da Costa Semiárida (PELD CSB CNPq - N° 442337/2020-5).

À todos que direta e indiretamente acreditaram no meu sonho e contribuíram para que ele fosse real e me ajudaram a estar aqui.

“A ciência é muito mais do que um corpo de conhecimento. É uma maneira de pensar.” (Carl Sagan)

RESUMO

O nitrogênio é um elemento indispensável para a manutenção dos processos vitais do meio biótico, sendo um dos principais limitantes da produtividade primária. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar as variações espacial e sazonal de nitrogênio no estuário do rio Pacoti, um estuário de baixo influxo da costa semiárida brasileira. Para isso, foram coletadas amostras em seis estações ao longo do estuário, nos períodos chuvoso, transição e seco no ano de 2022. Os resultados indicaram variações sazonais e espaciais com diferenças na precipitação que resultaram em variações nos gradientes de salinidade, concentrações de oxigênio dissolvido e das formas de nitrogênio. Os valores médios de salinidade aumentaram do período chuvoso (14,77) para o seco (28,30), indicando maior influência da intrusão salina com a diminuição do fluxo fluvial. Durante o período de transição ocorreu supersaturação de oxigênio nas estações inferiores e anóxia nas superiores. As maiores concentrações das formas de nitrogênio foram observadas nas estações superiores e no período seco, com médias de 25,67 μM de N-amoniaco, 2,12 μM de nitrito, 4,15 μM de nitrato e 74,61 μM de nitrogênio total. O N-amoniaco foi a fração dominante do nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) representando, em média, 68,48% do NID, sendo mais elevada no período seco, com uma média de 89,98%, sugerindo influência antropogênicas, como lançamento de efluentes domésticos.

Palavras-chaves: qualidade da água; nutrientes; impactos ambientais; rio Pacoti.

ABSTRACT

Nitrogen is an essential element for maintaining vital processes in the biotic environment and is one of the main limiting factors of primary productivity. Thus, the objective of this study was to evaluate the spatial and seasonal variations of nitrogen in the Pacoti River estuary, a low-inflow estuary on the semi-arid coast of Brazil. Samples were collected at six stations along the estuary during the rainy, transition, and dry periods in 2022. The results indicated seasonal and spatial variations with differences in rainfall that resulted in variations in salinity gradients, dissolved oxygen concentrations and nitrogen forms. Salinity increased from the rainy (14.77) to the dry period (28.30), indicating enhanced saline intrusion due to reduced freshwater input. During the transition period, oxygen supersaturation occurred at the lower stations and anoxia at the upper stations. The highest concentrations of nitrogen forms were observed in the upper stations and in the dry period, with averages of 25.67 μM of ammoniacal N, 2.12 μM of nitrite, 4.15 μM of nitrate and 74.61 μM of total nitrogen. Ammoniacal-N was the dominant fraction of dissolved inorganic nitrogen (DIN), representing an average of 68.48% of DIN, being higher in the dry period, with an average of 89.98%, suggesting anthropogenic influence, such as the discharge of domestic effluents.

Keywords: water quality; nutrients; environmental impacts; Pacoti River.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 MATERIAL E MÉTODOS	14
2.1 Área de estudo	14
2.2 Método de amostragem e análises laboratoriais	16
2.3 Análise estatística	17
4 RESULTADOS	18
4.1 Características ambientais	18
4.2 Frações de NID e NT	20
5 DISCUSSÃO	24
6 CONCLUSÕES	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1 INTRODUÇÃO

Os estuários são ambientes de transição entre o continente e o oceano, assim sofrem influência da descarga fluvial e da maré. Essas forças, juntamente com a geomorfologia estuarina, formam ambientes com diferentes gradientes físico-químicos, como o gradiente de salinidade, gerado pela mistura dinâmica entre a água doce dos rios e a água salgada do oceano (Telesh; Khlebovich, 2010). Essas condições ambientais geralmente contribuem para que os estuários apresentem uma rica biodiversidade sustentada por sua elevada produtividade biológica (Cloern; Foster; Kleckner, 2014). Além da sua importância ecológica, os estuários estão localizados em regiões costeiras onde se concentra grande parte da população global (Biguino *et al.*, 2023). Essas regiões são frequentemente caracterizadas por intensa ocupação humana e possuem atividades econômicas bem desenvolvidas (Rodrigues *et al.*, 2020), o que resulta em alto aporte de nutrientes para os estuários, entre eles o nitrogênio (N) (Santos *et al.*, 2018; Brandini *et al.*, 2016; Noriega; Araujo, 2011).

Os aportes de águas fluviais são considerados as principais vias de N para os estuários (Statham, 2012). Através dos rios, o N alcança os estuários nas formas inorgânica e orgânica, podendo estar dissolvido ou na forma particulada (Fang; Chen, 2021; McGuirk Flynn, 2008; Brandini *et al.*, 2016). O nitrogênio inorgânico dissolvido (NID), composto pelo nitrato (NO_3^-), N-Amóniacal ($\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$) e nitrito (NO_2^-), é considerado o componente mais ativo no ciclo do N devido à sua alta biodisponibilidade e elevada solubilidade, sendo facilmente assimilável por plantas, algas e bactérias e transportado ao longo de ecossistemas (Jani; Toor, 2018; Wiegner *et al.*, 2006; Seitzinger; Sanders; Styles, 2002). O ciclo biogeoquímico do N no meio aquático está entre os mais importantes e complexos ciclos globais e compreende fundamentalmente os processos de fixação do N_2 , mineralização (amonificação), nitrificação, desnitrificação, oxidação anaeróbica de amônio (anammox) e redução dissimilatória de nitrato para amônia (RDNA) (Fowler *et al.*, 2013; Galloway *et al.*, 2004; Giblin, 2013). Através desses processos, o N pode ser adicionado, removido ou transformado ao longo dos estuários (Voss *et al.*, 2013; Fowler *et al.*, 2013).

O aumento excessivo de N, na presença do fósforo (P), pode desencadear ou acelerar a eutrofização do ambiente, resultando na redução das concentrações de oxigênio dissolvido, aumento da proliferação de algas nocivas e diminuição da diversidade de peixes (Malone; Newton, 2020; Glibert *et al.*, 2018; Howarth, 2011).

Esse cenário é intensificado quando há deficiência de saneamento básico (Brandini *et al.*, 2016; Silva; Souza; Abreu 2015; Saeck *et al.*, 2013) e presença de atividades agrícolas intensivas, incluindo a carcinicultura (Lacerda *et al.*, 2021; Howarth, 2008; Tanaka; Minggat; Roseli, 2021). Portanto, os estuários estão frequentemente sob pressões demográficas, econômicas e ecológicas (Freeman *et al.*, 2019; Tanaka; Minggat; Roseli, 2021).

As regiões costeiras e estuarinas, especialmente aquelas próximas a centros urbanos, estão entre as áreas mais vulneráveis às modificações ambientais causadas pelas atividades humanas e mudanças climáticas (Biguino *et al.*, 2023). O adensamento populacional e o crescimento da industrialização intensificam o uso de água doce dos rios, modificando a sua disponibilidade e qualidade (Freeman *et al.*, 2019). As mudanças climáticas desempenham um papel importante nesse cenário, devido à redução da precipitação anual, reduções nas entradas de água subterrânea e eventos extremos de seca (Soares *et al.*, 2021). Essas alterações combinadas interferem no aporte de água doce, afetando principalmente estuários em regiões áridas e semiáridas (Largier, 2023).

As regiões semiáridas podem ser mais sensíveis à impactos antropogênicos, por conta de suas condições extremas, como regimes de alta temperatura, baixa precipitação e altas taxas de radiação solar e evaporação (Soares *et al.*, 2021; Schettini; Valle-Levinson; Truccolo, 2017). A construção de barragens nessas regiões para reservar água no período seco e suprir a demanda de água potável para abastecimento humano e atividades agrícolas reduz ainda mais o fluxo de água doce em direção aos estuários (Largier, 2023; Zhang *et al.*, 2022; Moraes; Pinheiro, 2011; Lacerda; Menezes; Molisani, 2007). Esses fatores combinados podem ampliar a intrusão salina e diminuir o fluxo de nutrientes, resultando em desequilíbrios ambientais no ecossistema estuarino (Zhang *et al.*, 2022; Schettini; Valle-Levinson; Truccolo, 2017)

Os estuários de baixo influxo são comuns em regiões áridas e semiáridas, ou durante o período seco em climas mediterrâneos, e são caracterizados por fluxos mínimos de água doce e dominados por processos marinhos (Largier, 2023). Em estuários de baixo influxo, as perdas por evaporação podem superar a entrada de água doce, resultando na formação de ambientes hipersalinos e no aumento do tempo de residência da água (Taherkhani *et al.*, 2023). Devido a redução do influxo de água doce, a circulação é reduzida, tornando esses ambientes mais vulneráveis ao

aumento da carga de nutrientes e, assim, à eutrofização (Cira; Palmer; Wetz, 2021; Lønborg *et al.*, 2021). Apesar de sua distribuição mundial, os estuários de baixo influxo não são estudados como os “clássicos” ou dominados por rio (Largier, 2023; Cira; Palmer; Wetz, 2021).

No estado do Ceará, localizado na região Nordeste do Brasil, os estuários estão inseridos dentro da Costa Semiárida do Brasil (CSB), pois sofrem influência do clima semiárido predominante na região (Soares *et al.*, 2021; Godoy, Meireles e Lacerda, 2018). Embora os estuários de baixo influxo sejam comuns em regiões semiáridas, ainda são pouco descritos na literatura (Soares *et al.*, 2021). No Ceará, estudos sobre esses sistemas estuarinos ainda são escassos, mas alguns trabalhos destacam as características relevantes desses ecossistemas, como a influência da descarga fluvial na concentração de nutrientes (Barroso; Becker; Melo, 2016), adaptação das espécies locais às condições de hipersalinidade (Barroso *et al.*, 2018), processos hidrodinâmicos (Schettini; Valle-Levinson; Truccolo, 2017), diminuição do fluxo (Frota; Paiva; Schettini, 2013; Moraes; Pinheiro, 2011) e mudanças nos padrões de circulação (Valentim; Menezes; Texeira, 2018). No entanto, a dinâmica estuarina é complexa e os fatores que influenciam os nutrientes e sua resposta a pressões ambientais e climáticas ainda não são totalmente compreendidas.

Dessa forma, este estudo teve como objetivo compreender a dinâmica espacial e sazonal do nitrogênio no estuário do rio Pacoti, considerado de baixo influxo, identificando os principais fatores ambientais que influenciam no seu comportamento.

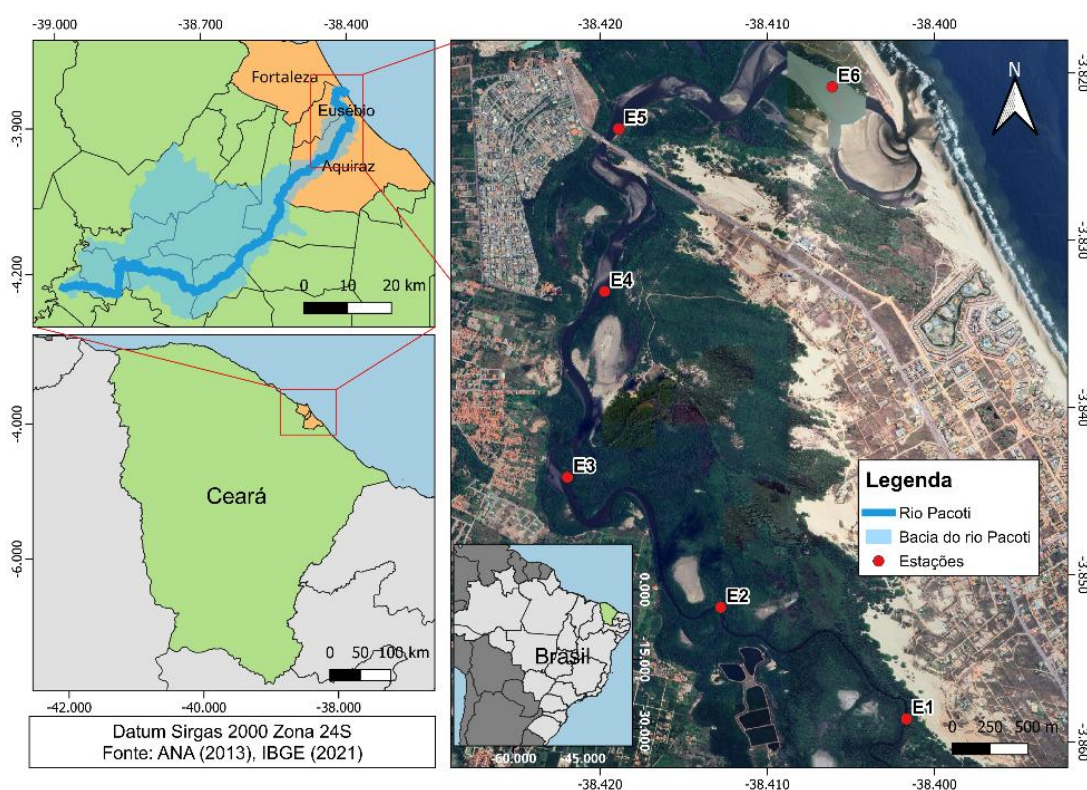
2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O estuário do rio Pacoti está localizado na Região Metropolitana de Fortaleza, capital do Estado do Ceará, no nordeste do Brasil (Figura 1). A maior parte do estuário está localizada em uma Área de Proteção Ambiental (APA), que abrange os municípios cearenses de Eusébio, Aquiraz e Fortaleza (Ceará, 2000). Esta unidade de conservação abrange uma área de 2.914,13 hectares e foi estabelecida pelo Decreto nº 25.778, de 15 de fevereiro de 2000, e fica a 30 km do centro da capital do estado (Ceará, 2000). O rio Pacoti nasce na Serra de Baturité e percorre cerca de 130 km até desaguar no Oceano Atlântico (Morgado *et al.*, 2021; Schettini; Valle-Levinson; Truccolo, 2017). A sua bacia de drenagem possui desenvolvimento urbano moderado (Lacerda *et al.*, 2008), contendo fazendas de camarão pequenas (Marins *et al.*, 2020). No entanto, o rio Pacoti margeia as cidades de Fortaleza e Aquiraz, de onde recebe aporte de efluentes domésticos e industriais (Lacerda; Menezes; Molisani, 2007). Atividades de extração de sal foram limitadas e abandonadas, o que favoreceu o crescimento de florestas de mangues na área do estuário (Lima *et al.*, 2017; Lacerda; Menezes; Molisani, 2007).

A área de estudo sofre influência do clima semiárido quente, com temperatura média anual variando entre 26 e 28 °C e precipitação média anual de 1.200 mm (Lacerda; Menezes; Molisani, 2007). As chuvas concentram-se entre janeiro e junho (>230 mm/mês), com pico em março-abril (>300 mm/mês), e o período seco dura de julho a dezembro, com precipitação muito baixa ou nenhuma no período de setembro a novembro (<27 mm/mês) (INMET, 2020). O regime de chuvas no Estado é afetado pela migração da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que é responsável pelo começo da estação chuvosa quando a ZCIT se desloca para o hemisfério sul (Gurgel-Lourenço *et al.*, 2023). Como o rio Pacoti está sob a influência de dois açudes (Pacoti e Gavião), cujas águas são utilizadas para o abastecimento humano, a contribuição de água através da bacia de drenagem é reduzida (Lacerda; Menezes; Molisani, 2007). Não existem dados de medição de vazão do rio Pacoti. Estimativa realizada por Molisani, Cruz e Maia (2006) indica que a vazão do rio Pacoti é de 19 m³/s durante a estação chuvosa e menor que 1 m³/s durante a estação seca.

Figura 1 – Mapa de localização das estações de amostragem (círculos em vermelho) ao longo do estuário do rio Pacoti.



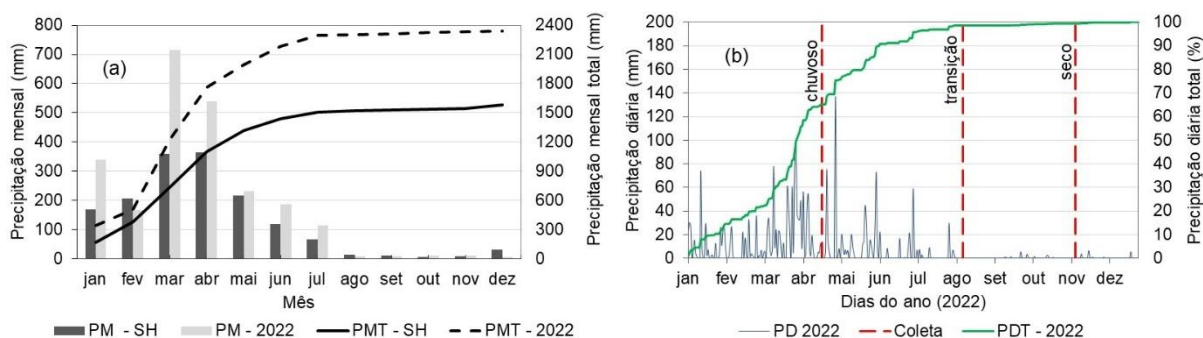
Fonte: elaborada pela autora.

O estuário do rio Pacoti se estende por aproximadamente 15 km a partir da foz e possui cerca de 430 hectares de vegetação de manguezal (Gorayeb; Silva; Meireles, 2005; Barbosa *et al.*, 2016). O estuário é raso, com profundidade média de 1,5 m (Gurgel-Lourenço *et al.*, 2023), curto e bem misturado, sem estratificação vertical de salinidade (Schettini; Valle-Levinson; Truccolo, 2017; Soares *et al.*, 2021). É influenciado por marés mesotidal e semidiurnas com amplitudes médias variando de 1,0 m durante as marés de quadratura a 2,5 m durante as marés de sizígias (Schettini; Valle-Levinson; Truccolo, 2017). Os estuários do litoral cearense são salinos ou hipersalinos durante a estação seca e podem ter transporte residual para a terra nesta época, já na estação chuvosa, esses estuários tendem a apresentar condições hiposalinas (Valentim; Menezes; Teixeira, 2018). Condições de hipersalinidade durante o período seco foram relatadas em estudo no estuário do rio Pacoti (Schettini; Valle-Levinson; Truccolo, 2017).

2.2 Método de amostragem e análises laboratoriais

Amostras com réplica única de água foram coletadas em três períodos de 2022: chuvoso (19 de abril), transição (11 de agosto) e seco (10 de novembro). De acordo com dados dos últimos 30 anos da série histórica do posto pluviométrico #363, com denominação PICI (FUNCEME, 2025), a precipitação acumulada do ano de 2022 (2.339 mm) ficou 48% acima do valor da série histórica (1.578 mm) (Figura 2a). O período chuvoso foi o responsável por esse comportamento, com a precipitação mensal total no primeiro semestre ficando 52% acima da precipitação histórica para o período. A precipitação acumulada no segundo semestre, período seco, foi de 159 mm, ficando próximo ao valor da média acumulada histórica para o período (141 mm). A precipitação diária acumulada até a coleta do período chuvoso correspondeu a 65% da precipitação total do ano (Figura 2a). O valor acumulado entre as coletas dos períodos chuvoso e transição e transição e seco foi igual a 33% e 0,80%, respectivamente (Figura 2a). Esses dados reforçam o carácter sazonal do trabalho.

Figura 2 – Precipitação mensal (PM) e precipitação mensal total (PMT) da série histórica (SH) e do ano de 2022 (a) e precipitação diária (PD) e precipitação diária total (PDT) do ano de 2022 para a região de estudo (b).



Fonte: Adaptado de FUNCEME (2025).

As coletas ocorreram predominantemente na maré vazante de sizígia, em seis estações ao longo do estuário (Figura 1). Para a caracterização espacial, o estuário foi dividido em dois setores: o estuário superior (ES) representado pelas estações E1, E2 e E3 onde predomina a maior influência fluvial; e o estuário inferior (EI), composto pelas estações E4, E5 e E6, que sofrem maior influência da água do mar. As coletas de água foram realizadas com uma garrafa Van Dorn horizontal, com capacidade de 5 L, na região subsuperficial (~0,50 m de profundidade). As amostras

foram armazenadas em garrafas polietileno de 5 L, previamente descontaminadas com solução de ácido clorídrico 10%, e mantidas em caixa térmica à 4°C para serem transferidas ao laboratório de análises químicas. As variáveis salinidade, temperatura (T), saturação de oxigênio (% Sat. O₂) e oxigênio dissolvido (OD), para caracterização ambiental, foram medidas *in situ* com sonda multiparamétrica (Hanna HI 9828). A transparência da água foi medida com disco de Secchi.

As amostras para a determinação de nitrogênio inorgânico dissolvido (N-amoniacal, N-NO₂, N-NO₃⁻) foram filtradas com um tempo máximo de 6 horas após as coletas. Na filtração foram utilizados filtros de fibra de vidro GF-3, com 47 mm de diâmetro (Macherey-Nagel, Düren, Alemanha). As análises foram realizadas utilizando como referência os métodos colorimétricos descritos por Baumgarten, Rocha e Niencheski (1996) para águas marinhas e estuarinas. A determinação de nitrogênio total (NT) foi realizada utilizando volumes não filtrados das amostras e empregando o método de digestão com persulfato de potássio conforme metodologia de Valderrama (1981). Todos os parâmetros foram determinados em triplicata.

2.3 Análise estatística

Estatísticas descritivas (média $\pm$ desvio padrão) foram utilizadas para avaliar as tendências espaciais e comparar os dados entre os períodos. A Análise de Componentes Principais (PCA) foi empregada para verificar padrões de variação entre os períodos, associando as formas de nitrogênio e as variáveis de caracterização ambiental. O software RStudio (versão 2024.12.0) (RStudio Team, 2024), com o pacote *vegan* (Borcard *et al.*, 2011; Oksanen *et al.*, 2013; Legendre; Legendre, 1998) foi utilizado para a execução da PCA.

4 RESULTADOS

4.1 Características ambientais

A salinidade apresentou valores crescentes do ES em direção à foz em todos os períodos (Figura 3a-c). Dessa forma, ao longo de todo o estudo, o estuário se comportou como hipossalino. Os valores médios aumentaram do período chuvoso para o seco (Tabela 1), com a salinidade na estação mais interna (E1) passando de 0,46 para 6,68 (Figura 3a,c), respectivamente, indicando maior influência da intrusão salina com a diminuição do fluxo fluvial.

Tabela 1 – Média e desvio padrão das variáveis físico-químicas e concentrações de nitrogênio dos períodos chuvoso, transição e seco do estuário superior (ES) e estuário inferior (EI) do rio Pacoti. T - temperatura (°C), OD - oxigênio dissolvido (mg/L), % Sat. O₂ - saturação de oxigênio, N-NO₂⁻ - nitrito (μM), N-NO₃⁻ - nitrato (μM), NT - nitrogênio total (μM).

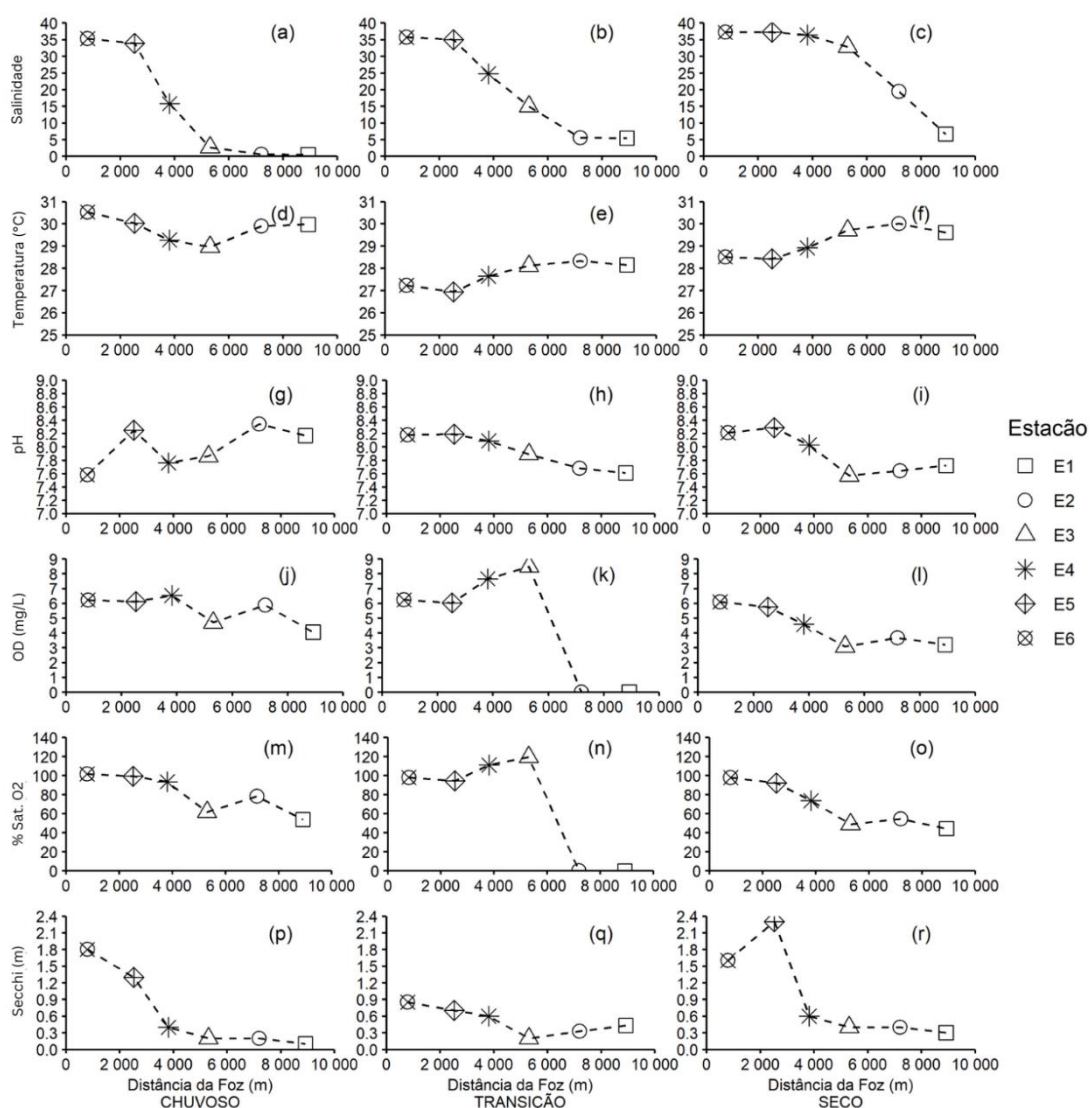
Parâmetros	Chuvoso		Transição		Seco	
	ES	EI	ES	EI	ES	EI
Salinidade	1,23±1,23	28,30±10,90	8,64±5,49	31,80±6,10	19,67±13,08	36,93±0,49
T	29,61±0,56	29,94±0,63	28,19±0,11	27,27±0,35	29,78±0,21	28,62±0,27
pH	8,12±0,24	7,86±0,35	7,73±0,15	8,15±0,06	7,64±0,08	8,18±0,13
OD	4,87±0,92	6,29±0,21	2,83±4,90	6,64±0,88	3,32±0,30	5,47±0,79
% Sat. O ₂	64,53±12,36	98,13±4,20	39,80±68,94	101,17±8,79	49,27±5,01	87,87±12,69
Secchi	0,17±0,06	1,17±0,71	0,32±0,12	0,72±0,13	0,37±0,06	1,50±0,85
N-amoniaco	9,95±4,11	1,67±2,69	5,42±1,24	0,45±0,64	25,67±19,76	0,95±0,20
NO ₂ ⁻	0,82±0,16	0,21±0,20	1,09±0,83	0,09±0,03	2,12±2,62	0,06±0,02
NO ₃ ⁻	2,32±0,81	0,72±1,03	2,48±2,98	0,55±0,38	4,15±4,72	0,00±0,00
NT	66,36±3,84	21,00±17,73	66,20±4,91	22,95±17,20	74,61±55,77	12,98±6,26

Fonte: Elaborada pela autora.

A temperatura variou pouco ao longo do estuário (27,2°C a 30,5°C) e diminuiu em direção ao EI, com exceção do período chuvoso. As menores médias de temperatura (ES e EI) ocorreram no período de transição (Tabela 1). Os valores de pH também apresentaram pouca variação (7,57 a 8,34) e permaneceram levemente

alcalinos em todo o estudo (Figura 3g-i). Nos períodos de transição e seco, foi observada uma tendência de aumento do pH do ES para o EI, enquanto no período chuvoso, a distribuição seguiu um padrão inverso.

Figura 3 – Variação da (a-c) Salinidade, (d-f) Temperatura, (g-i) pH, (j-m) OD (mg/L), (m-o) % Sat. O₂ e (p-r) Secchi ao longo da extensão do estuário por estação de amostragem e período sazonal (chuvoso - 1ª coluna; transição - 2ª coluna; seco - 3ª coluna).



Fonte: Elaborada pela autora.

Nos três períodos de estudo as médias de OD no EI foram maiores em relação ao EI (Tabela 1). O ES apresentou frequentemente ocorrência de hipóxia durante os períodos chuvoso e seco, e anoxia durante o período de transição (Figura

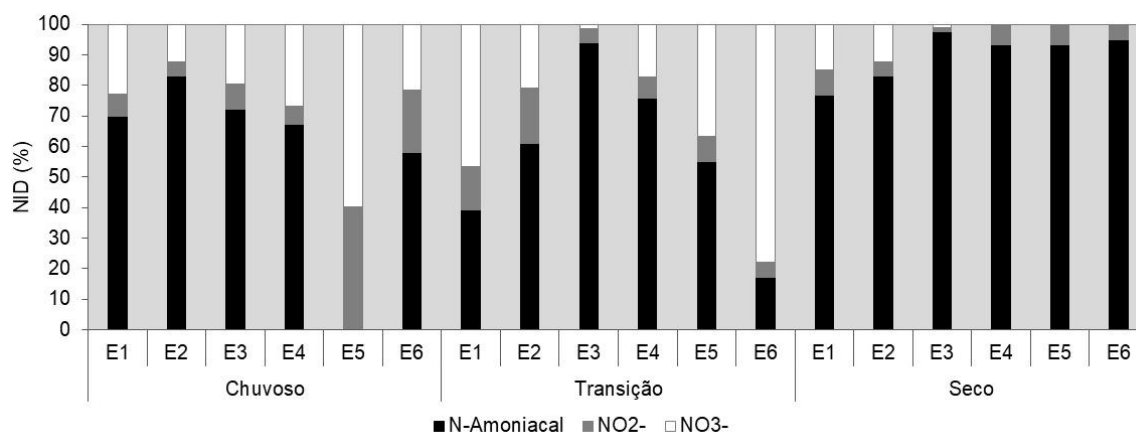
3j-l), no entanto, com ocorrência do valor máximo registrado (E3 = 8,48 mg/L) (Figura 3k). De forma geral, sazonalmente os valores de OD tenderam a diminuir do período chuvoso para o seco. No entanto, durante o período de transição o ES apresentou a menor média de OD, enquanto no EI foi verificada a maior média (Tabela 1). Na maioria das estações, os valores de % Sat. O₂ permaneceram abaixo da saturação e, assim como o OD, aumentaram em direção à estação E6 (Figura Xm-o). Valores acima da saturação foram registrados na estação E6, durante o período chuvoso (101,7%), e nas estações E3 e E4, no período de transição (119,40% e 111,10%, respectivamente).

A transparência da água (Secchi) aumentou em direção ao EI em todos os períodos, com valores variando de 0,10 a 2,30 m e crescimento menos acentuado no período de transição (Figura 3p-r). Os valores médios tenderam a crescer do período chuvoso para o seco, com exceção do EI durante o período de transição (Tabela 1).

4.2 Frações de NID e NT

O N-amoniacal foi a fração inorgânica de nitrogênio predominante no estuário, representando, em média, 68,48% do NID (Figura 4). No período seco, essa predominância foi ainda mais elevada com uma média de 89,98% do NID.

Figura 4 – Composição percentual das formas de NID por estação de amostragem e período sazonal.



Fonte: Elaborada pela autora.

As concentrações de N-Amoniacal diminuíram ao longo das estações do ES em direção ao EI, com exceção do período chuvoso, que apresentou o maior valor

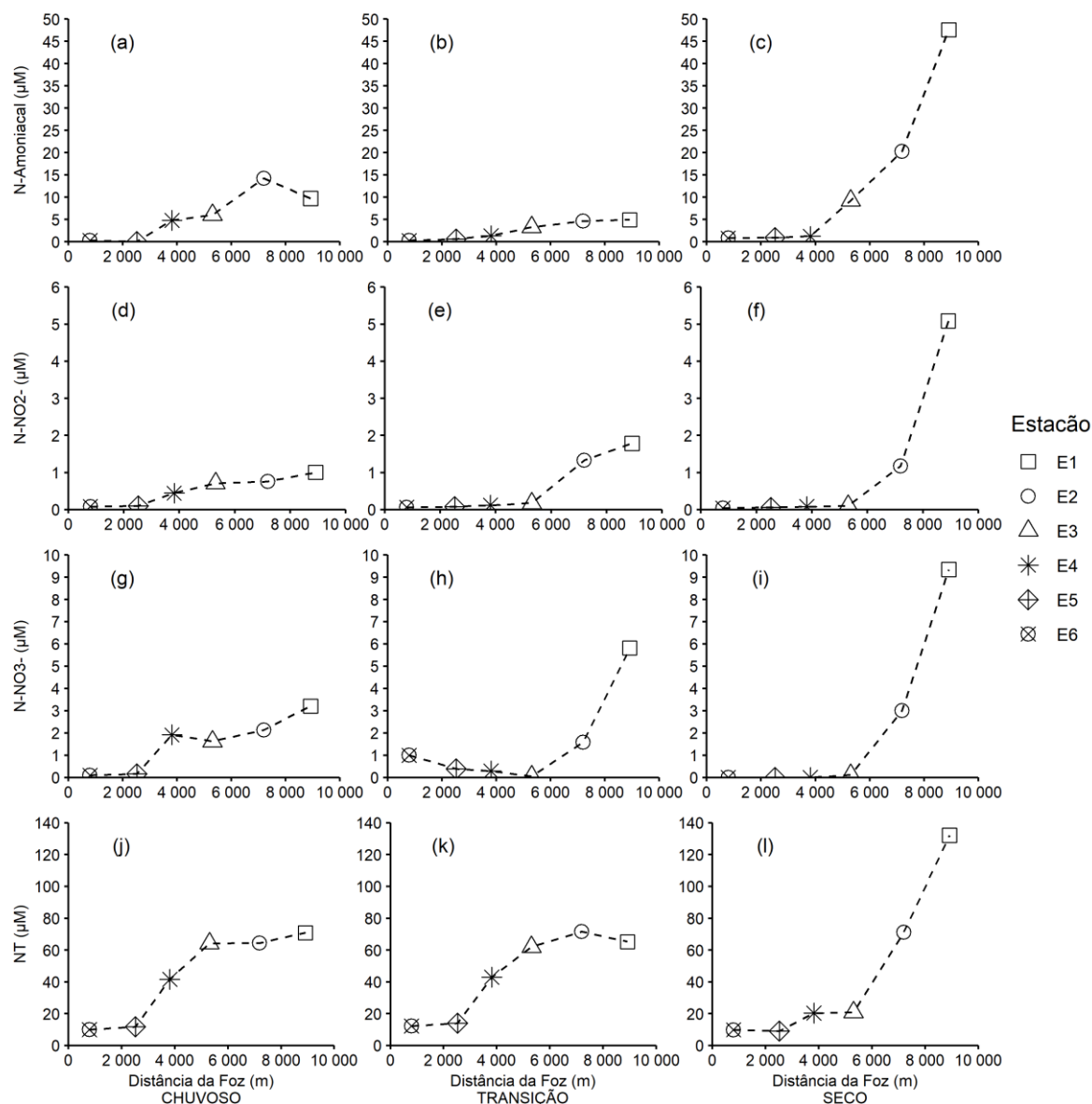
na E2 (14,19 μM) (Figura 5a). Durante o período seco, no ES foi verificada elevada concentração na estação E1 (47,58 μM), com forte redução dos valores no ES (Figura 4c). Sazonalmente, o valor médio do N-Amoniacal cresceu do período chuvoso para o seco no ES, com o EI se comportando de forma inversa (Tabela 1). Em ambas as porções do estuário o menor valor médio foi verificado no período de transição (ES = $5,42 \pm 1,24 \mu\text{M}$ e EI = $0,45 \pm 0,64 \mu\text{M}$).

Em todos os períodos, as concentrações de NO_2^- diminuíram no sentido do EI. Assim, como o N-Amoniacal, elevado valor foi observado na E1 durante o período seco (5,08 μM) seguido de forte redução até a E3 (0,10 μM) (Figura 4f). No ES, a sazonalidade implicou no aumento do valor médio de NO_2^- do período chuvoso ($0,82 \pm 0,16 \mu\text{M}$) para o seco ($2,12 \pm 2,62 \mu\text{M}$), enquanto no EI, o valor médio diminuiu, com o menor valor igual a $0,06 \pm 0,02 \mu\text{M}$ no período seco.

Os valores médios do NO_3^- seguiram o mesmo comportamento sazonal do NO_2^- (Tabela 1) e, assim como as demais frações de NID, apresentaram o maior valor na E1 durante o período seco (9,34 μM) (Figura 4i). No EI, as concentrações foram baixas em todos os períodos, estando abaixo do limite de detecção no período seco. Já no ES, observou-se um aumento progressivo do valor médio, de $2,32 \pm 0,80 \mu\text{M}$ no período chuvoso a $4,15 \pm 4,76 \mu\text{M}$ no seco. Durante o período de transição, o ES manteve o comportamento observado nos demais períodos, com as concentrações diminuindo em direção ao EI e o maior valor registrado na E1 (5,81 μM), seguido de uma redução acentuada na E2 (1,58 μM). No entanto, no EI, o comportamento foi inverso, com um aumento gradual das concentrações, variando de 0,29 μM na E4 a 0,99 μM na E6 (Figura 4h).

As concentrações NT foram maiores no ES, principalmente nas estações E1 e E2. No período seco, a concentração máxima foi registrada na E1 (132,10 μM), enquanto no período chuvoso, os valores foram menores, porém ainda elevados (70,79 μM) (Figura 4j,l). No EI, os valores foram mais baixos, as maiores concentrações registrada foram na E4 de 42,79 μM durante o período de transição e de 41,44 no período chuvoso, o período seco já apresentou já mostrou uma grande redução, com concentração de 20,20 na mesma estação e valores médios de $12,98 \pm 6,26$.

Figura 4 – Variação do (a-c) N-Amóniacal, (d-f) NO_2^- , (g-i) NO_3^- e (j-m) NT ao longo da extensão do estuário por estação de amostragem e período sazonal (chuvoso - 1a coluna; transição - 2a coluna; seco - 3a coluna).



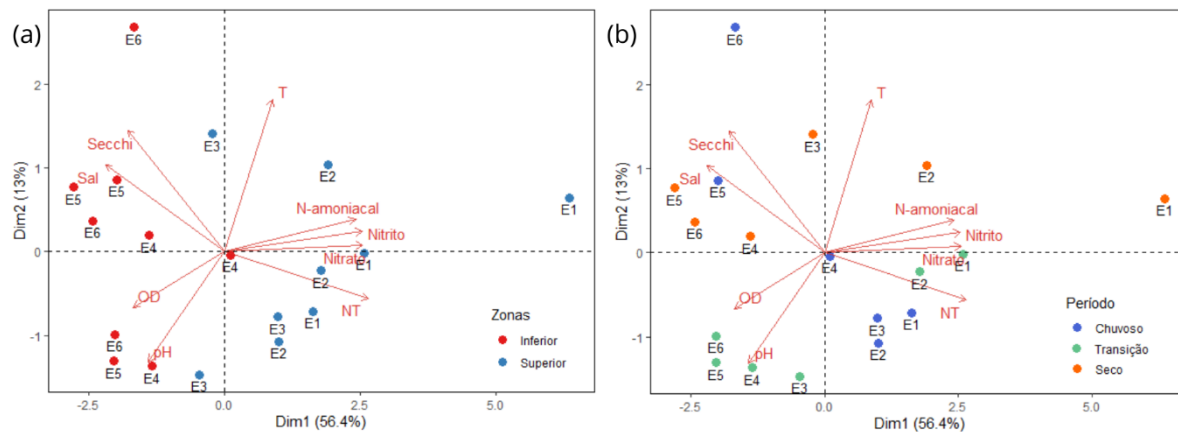
Fonte: Elaborada pela autora.

Na PCA, os dois primeiros eixos explicaram 69,4% da variação total (Figura 6). O eixo 1 explicou 56,4% da variabilidade dos dados e foi positivamente correlacionado com o nitrito ($r = 0,91$), nitrato ($r = 0,91$), N-amóniacal ($r = 0,87$) e NT ($r = 0,95$) e negativamente correlacionado com a profundidade do Secchi ($-0,64$), salinidade ($r = -0,79$), OD ($r = -0,60$) e pH ($r = -0,51$). Dessa forma, esse eixo separou o EI do ES (Figura 6a), onde todas as formas de N foram associadas às amostras da zona superior, pois tenderam a apresentar maiores concentrações, posicionando-se

do lado positivo do eixo. Por sua vez, as amostras da zona inferior foram mais correlacionadas a OD, pH e transparência da água (Secchi), posicionando-se no lado negativo, indicando maior oxigenação e transparência.

O eixo 2 explicou 13% da variação dos dados e correlacionou-se positivamente com temperatura ($r=0,65$), Secchi ($r=0,52$) e salinidade ($r=0,37$), e negativamente com pH ($r=-0,47$). Esse eixo foi associado a sazonalidade, separando as amostras do período seco e transição. O período seco foi mais influenciado pela salinidade e maior transparência da água, enquanto as amostras do período de transição foram mais relacionadas a OD, pH (Figura 6b). Esse eixo não explicou o período chuvoso, provavelmente devido à alta variabilidade da salinidade e transparência nesse período, o que dispersou as amostras e dificultou a formação de um padrão mais claro.

Figura 6 – Análise de componentes principais (PCA) indicando o padrão de orientação com base na variação espacial (a) e sazonal (b) das variáveis ambientais e concentrações de nitrogênio ao longo de 2022 no estuário do rio Pacoti.



Fonte: Elaborada pela autora.

5 DISCUSSÃO

A influência das variáveis físico-químicas e variações climáticas na dinâmica de N pode ser destacada pelos resultados da PCA representando separadamente para a variação espacial e sazonal. Em ambos os casos a PCA corrobora com as médias encontradas, pois foi observado um gradiente espacial para os locais de amostragem dividindo o estuário em duas porções. Diferentemente da porção superior, a região inferior do estuário é fortemente influenciada pela água do mar, com maiores valores de salinidade, transparência do Secchi e oxigênio dissolvido. A maior renovação da água contribui para o aumento das concentrações de oxigênio dissolvido, uma vez que promove maior agitação e a incorporação de oxigênio na coluna d'água (Eschrique; Braga; Marins, 2010; Huang *et al.*, 2019).

Por outro lado, o estuário superior apresentou as maiores concentrações de N e menor salinidade. Além de hipóxia em todos os períodos, indicando condições limitantes para a oxigenação da água, possivelmente relacionadas ao longo tempo de residência da água e à remineralização da matéria orgânica a partir de aportes fluviais e de estações de tratamento de esgoto (Coffin *et al.*, 2018). Esse fator é característico de ambientes eutrofizados, onde há maior consumo de oxigênio por organismos produtores (Su *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2016). No período de transição, foi registrada anóxia, seguida por um evento de supersaturação de OD, o que sugere um intenso consumo de oxigênio por decomposição da matéria orgânica, seguido por um aumento da atividade fotossintética (Jarvis *et al.*, 2023). A supersaturação pode estar associada ao aumento da transparência da água (Secchi), que favoreceu maior penetração de luz e intensificação da fotossíntese. Estuários rasos e produtivos são particularmente suscetíveis a variações diárias de OD entre anóxia e supersaturação (Jarvis *et al.*, 2023). Esses padrões de variação do OD influenciam diretamente a dinâmica das formas de N, uma vez que em condições de baixa oxigenação a nitrificação é inibida, favorecendo o acúmulo de N-amoniacal (Molnar *et al.*, 2013; Linnik *et al.*, 2023).

Ao longo do estuário, a temperatura da água superficial manteve-se relativamente alta e estável, uma característica típica de ambientes tropicais (Lønborg *et al.*, 2021; Teoh *et al.*, 2016). O pH também apresentou pouca variação e características levemente alcalinas. O pH alcalino é típica de estuários influenciados por águas marinhas, como observado em outros sistemas estuarinos do Nordeste

brasileiro, como o rio Jaguaribe (Eschrique *et al.*, 2010), o Delta do rio Parnaíba (Paula Filho *et al.*, 2020) e o rio São Francisco (Melo *et al.*, 2020).

O regime de chuvas afetou diretamente variáveis ambientais como salinidade, OD e concentrações de N, um padrão comum em estuários de baixo influxo (Largier, 2023; Cira; Palmer; Wetz, 2021). Nesses sistemas, as maiores concentrações de nutrientes tendem a ocorrer no período seco, quando a vazão fluvial diminui e o tempo de residência da água aumenta, favorecendo a retenção e o acúmulo de nutrientes (Beecraft; Wetz, 2023; Cira; Palmer; Wetz, 2021; Barroso; Becker; Melo, 2016). A redução da descarga fluvial e os longos tempos de residência tornam esses estuários mais suscetíveis a estressores ambientais (Largier, 2023). No caso do Pacoti, a maior parte do ano é caracterizada por um fluxo fluvial reduzido, associado à baixa precipitação e à açudagem ao longo da bacia (Schettini; Valle-Levinson; Truccolo, 2017).

A precipitação anual seguiu um padrão sazonal bem definido (chuvoso e seco), determinando a extensão do influxo de água do mar no estuário e a lixiviação de nutrientes dos manguezais e áreas de bacias hidrográficas. Padrões sazonais semelhantes foram observados em outros estuários localizados na costa semiárida do Brasil (Barroso *et al.*, 2018; Godoy; Meireles; Lacerda, 2018; Schettini; Valle-Levinson; Truccolo, 2017; Barroso; Becker; Melo, 2016; Frota, Paiva; Schettini, 2013; Moraes; Pinheiro, 2011) e outras áreas estuarinas tropicais (Mello *et al.*, 2025; Brandini *et al.*, 2016; Anand *et al.*, 2014; Burford *et al.*, 2012; Sarma *et al.*, 2010).

No período chuvoso, o aumento da influência fluvial resultou na diminuição da salinidade no estuário, especialmente no ES, onde a diluição provocada pelo maior aporte de água doce foi mais intensa. Esse padrão também se refletiu nas formas de N, cujas concentrações diminuíram devido à maior exportação para a zona costeira e ao efeito de diluição promovido pelo aumento do fluxo fluvial. Esse fluxo foi superior à média histórica para o ano estudado, potencializando ainda mais o efeito de diluição. Apesar de ter uma redistribuição do N da porção superior para a inferior do estuário (Noriega *et al.*, 2013), foi observado maior média de N no estuário inferior durante período chuvoso. Esse aumento pode estar associado ao maior fluxo fluvial, que intensifica a lixiviação das bacias hidrográficas (Chowdhury *et al.*, 2017). Resultados semelhantes já foram observados no Pacoti por Barroso, Becker e Melo (2016), que realizaram as coletas em um ponto próximo às estações do estuário inferior. Além disso, outros estuários da mesma região também observaram as concentrações de

nutrientes mais elevadas durante o período chuvoso (Santos *et al.*, 2018; Barroso *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2015).

A diminuição do aporte de água doce e da precipitação aumentou a quantidade de N, resultando em concentrações mais elevadas durante o período de transição e com um pico no seco. Além disso, a distribuição da salinidade da porção inferior para a superior do estuário indica que a maré foi a principal força física hidrológica atuante no estuário durante o período seco, o que é comum em estuários tropicais e de baixo influxo onde os períodos de baixa vazão fluvial favorecem a intrusão salina, como os estuários do nordeste do Brasil (Mariani; Lessa; Marta-Almeida, 2022; Santos *et al.*, 2018) do México (Perales-Valdivia; Sanay-González; Valle-Levinson, 2018) e da Malásia (Teoh *et al.*, 2016). No entanto, resultados diferentes foram observados no Pacoti por (Barroso; Becker; Melo, 2016), provavelmente pelo ponto de coleta ser mais próximo a foz, o que diminui o efeito dos aportes antropogênicos. Além disso, o acúmulo das concentrações de N no período seco é mais semelhante aos estuários do Cocó e Ceará, que são influenciados pela urbanização (Barroso; Becker; Melo, 2016). Este fato provavelmente está relacionado ao aporte de matéria orgânica e nutrientes de origem antropogênica, combinado com o aumento do tempo de residência da água, que favorece a decomposição desse material (John *et al.*, 2020; Barrera-Alba *et al.*, 2009).

A dinâmica do nitrogênio mostrou variações sazonais e espaciais claras, conforme evidenciado na PCA, com o NT e NID diminuindo em direção ao mar e com as maiores concentrações observadas no período seco, seguidas de uma redução gradual durante o período chuvoso. Na maioria dos estudos, o nitrato é a principal espécie de NID no rio e na água estuarina (Santos *et al.*, 2018; Teixeira *et al.*, 2014; Yu *et al.*, 2019) pois é a forma termodinamicamente estável de NID sob condições de coluna de água oxigenada (Statham, 2012). Entretanto, em sistemas sujeitos à descarga de efluentes domésticos e industriais, o N-amoniaco pode se tornar a fração dominante do NID, uma vez que as contribuições antropogênicas elevam suas concentrações no meio aquático (Lim *et al.*, 2019; Barroso, Becker e Melo, 2016; Carbone *et al.*, 2016). A maior parte do NID no Pacoti foi na forma de N-amoniaco, representando em média 50 a 90% na maioria das estações, com as maiores concentrações nas últimas estações durante o período seco. Observações semelhantes foram relatadas na Malásia (Teoh *et al.*, 2016) e em outras regiões tropicais (Pratihary *et al.*, 2009; Brandini *et al.*, 2016).

O N-amoniaco pode ser proveniente de fontes antropogênicas, como lançamento de efluentes domésticos e da carcinicultura, além da excreção biológica e regeneração de matéria orgânica por atividade bacteriana (Bhavya *et al.*, 2016). No entanto, em condições de baixa oxigenação, a conversão de N-amoniaco em nitrito e nitrato por bactérias nitrificantes pode ser inibida, reduzindo a eficiência do processo de nitrificação (Molnar *et al.*, 2013) e alterando as condições redox do sistema (Linnik *et al.*, 2023). As concentrações de N-amoniaco observadas no Pacoti são comparáveis às registradas em estuários tropicais influenciados pela urbanização, como o estuário do Cachoeira, no nordeste do Brasil (Santos *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2013) e o estuário de Cochin, na Índia (Bhavya *et al.*, 2016). A diminuição das concentrações em direção ao estuário inferior pode estar associada a diluição da água do mar, à assimilação pelo fitoplâncton, ao processo de desnitrificação (que converte NO_3^- e NO_2^- em N_2 e N_2O) ou à oxidação anaeróbia de amônio (Anammox; $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2$) (Burgin; Hamilton, 2007). Já no período chuvoso, a redução pode ser explicada pelo aumento da vazão fluvial e menor tempo de residência da água. A intensificação da vazão do rio, caracterizada pela diluição da água, que promove maior diluição e transporte dos nutrientes em direção às áreas mais próximas ao mar.

O nitrito é a forma menos estável entre os compostos nitrogenados e podem ser rapidamente transformados em outras formas químicas (Jacob *et al.*, 2016), o que justifica as baixas concentrações no Pacoti. As concentrações de nitrato foram relativamente baixas quando comparadas a outros estuários tropicais (Santos *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2015; Pereira-Filho *et al.*, 2010), sugerindo possíveis processos de desnitrificação e sedimentação, que podem ter reduzido sua disponibilidade na coluna d'água. No entanto, o acúmulo de nitrato na E1 indica fontes externas, possivelmente relacionadas à entrada de fertilizantes durante o período chuvoso e à mineralização de matéria orgânica durante o período de menor vazão fluvial (Sanders; Schöl; Dähnke, 2018; Pamplona *et al.*, 2013). De acordo com Lacerda *et al.* (2008), a principal fonte de nitrogênio no estuário do rio Pacoti é de atividades antropogênicas, especialmente da pecuária e da agricultura, o que pode contribuir para a maior entrada de nitrato para o estuário superior. A taxa de regeneração ou formação de nitrato geralmente é menor do que a assimilação pelos produtores primários, resultando em baixas concentrações na coluna d'água (Wang *et al.*, 2018; Álvarez-Salgado; Gilcoto, 2004), como as encontradas no estuário inferior ao longo do ano, com exceção do período de transição, quando foi observado um aumento

gradual nas concentrações de nitrato, provavelmente devido a maior oxigenação da água favorecendo a nitrificação (Sanders; Schöl; Dähnke, 2018).

Os resultados demonstraram uma distribuição mais uniforme das concentrações de NT nos períodos chuvoso e transição ao longo do estuário, mas no período seco esses valores foram mais variáveis, provavelmente devido à maior influência de fontes antrópicas e ao aumento do tempo de residência da água. De acordo com Barroso, Becker e Melo (2016) estuários nordestinos sujeitos a intensa urbanização tendem a apresentar maiores concentrações de NT no período seco, enquanto em sistemas sob uso intensivo de solo agrícola, as maiores concentrações ocorrem no período chuvoso (Lacerda *et al.*, 2008), por conta do maior escoamento superficial. A predominância de NT no estuário do rio Pacoti foi semelhante ao estuário do Ceará e Piranji, no Nordeste (Barroso; Becker; Melo, 2016). Em um continuum rio-estuário-baía em um sistema subtropical australiano, foi observado períodos de grande vazão fluvial resultaram em elevação significativa das concentrações de NT no estuário inferior (Saeck *et al.*, 2013). No Pacoti já foi observado um aumento do NT no período chuvoso, onde a concentração foi quase três vezes maior do que na estação seca (Barroso; Becker; Melo, 2016). No entanto, esse padrão só foi observado no estuário inferior, sendo o superior mais alto que o inferior durante os demais períodos.

6 CONCLUSÕES

No estuário do rio Pacoti a precipitação foi um fator importante nas variações espaciais e sazonais. O estuarino superior apresentou características de águas eutróficas, com as maiores concentrações de NT (69,06 μM) e NID (18,01 μM), sendo mais influenciados por aportes fluviais e fontes antropogênicas, enquanto no estuário inferior, a maior influência marinha favoreceu a diluição, reduzindo as concentrações de N. Esse efeito é impulsionado pelo movimento de entrada da maré no sistema. No que diz respeito a sazonalidade, as maiores concentrações de NT (43,79 μM) e NID (16,48 μM) foram registradas no período seco, em comparação ao chuvoso, sugerindo maior retenção e acumulação de N.

Os estuários de baixo influxo são geralmente negligenciados e apesar de serem localmente importantes, uma vez que a maioria estão localizados em áreas densamente povoadas e sustentam as populações locais e os recursos pesqueiros, a dinâmica de nutrientes, principalmente N, ainda não é bem compreendida. Dessa forma, este estudo ressalta a importância de investigar a dinâmica do N nesses ambientes, buscando compreender suas fontes continentais e sua real contribuição para os processos biogeoquímicos em zonas estuarinas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁLVAREZ-SALGADO, Xosé Antón; GILCOTO, Miguel. Inferring nitrification rates with an inverse method in a coastal upwelling system, Ría de Vigo (NW Spain).

Marine Ecology Progress Series, v. 276, p. 3-17, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.56346/ijsa.v6i6.181>. Acesso em: 12 fev. 2025.

ANAND, S. Subha *et al.* Intra-and inter-seasonal variability of nutrients in a tropical monsoonal estuary (Zuari, India). **Continental Shelf Research**, v. 82, p. 9-30, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2014.04.005>. Acesso em: 24 fev. 2025.

BARRERA-ALBA, José Juan *et al.* Influence of allochthonous organic matter on bacterioplankton biomass and activity in a eutrophic, sub-tropical estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 82, n. 1, p. 84-94, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2008.12.020>. Acesso em: 25 fev. 2025.

BARROSO, Hortência de Sousa *et al.* Intra-annual variability of phytoplankton biomass and nutrients in a tropical estuary during a severe drought. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 213, p. 283-293, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.08.023>. Acesso em: 12 fev. 2025.

BARROSO, Hortência de Sousa; BECKER, Helena; MELO, Vânia Maria Maciel. Influence of river discharge on phytoplankton structure and nutrient concentrations in four tropical semiarid estuaries. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64, n. 1, p. 37-48, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1679-87592016101406401>. Acesso em: 12 fev. 2025.

BAUMGARTEN, Maria da Graça Zepka; DE BARROS ROCHA, Jusseli Maria; NIENCHESKI, Luis Felipe Hax. **Manual de análises em oceanografia química**. Furg, 1996.

BEECRAFT, Laura; WETZ, Michael S. Temporal variability in water quality and phytoplankton biomass in a low-inflow estuary (Baffin Bay, TX). **Estuaries and Coasts**, v. 46, n. 8, p. 2064-2075, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12237-022-01145-y>. Acesso em: 08 mar. 2025.

BHAVYA, P. S. *et al.* Nitrogen uptake dynamics in a tropical eutrophic estuary (Cochin, India) and adjacent coastal waters. **Estuaries and Coasts**, v. 39, p. 54-67, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12237-015-9982-y>. Acesso em: 25 fev. 2025.

BIGUINO, Beatriz *et al.* Climate change in estuarine systems: Patterns and gaps using a meta-analysis approach. **Science of The Total Environment**, v. 858, p. 159742, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159742>. Acesso em: 12 fev. 2025.

BORCARD, Daniel *et al.* **Numerical ecology with R**. New York: springer, 2011.

BRANDINI, Nilva *et al.* Nutrient behavior in a highly-eutrophicated tropical estuarine system. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 28, n. 00, p. e21, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S2179-975X3416>. Acesso em: 23 fev. 2025.

BURFORD, M. A. *et al.* Controls on phytoplankton productivity in a wet–dry tropical estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 113, p. 141-151, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.07.017>. Acesso em: 25 fev. 2025.

BURGIN, Amy J.; HAMILTON, Stephen K. Have we overemphasized the role of denitrification in aquatic ecosystems? A review of nitrate removal pathways. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 5, n. 2, p. 89-96, 2007. Disponível em: [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[89:HWOTRO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[89:HWOTRO]2.0.CO;2). Acesso em: 25 fev. 2025.

CARBONE, Maria Elizabeth; SPETTER, Carla Vanesa; MARCOVECCHIO, Jorge Eduardo. Seasonal and spatial variability of macronutrients and Chlorophyll a based on GIS in the South American estuary (Bahía Blanca, Argentina). **Environmental Earth Sciences**, v. 75, n. 9, p. 736, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5516-6>. Acesso em: 25 fev. 2025.

CEARÁ. **Decreto nº 25.778**, de 15 de fevereiro de 2000. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Pacoti nos municípios de Fortaleza, Eusébio e Aquiraz, e dá outras providências. Diário Oficial do Estado, série 2, ano III, n.º 34, caderno ½. Fortaleza: editoração SEAD, 17/02/2000.

CHOWDHURY, Mintu *et al.* Nutrient stoichiometry and freshwater flow in shaping of phytoplankton population in a tropical monsoonal estuary (Kundalika Estuary). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 198, p. 73-91, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/MF12083>. Acesso em: 09 mar. 2025.

CIRA, Emily K.; PALMER, Terence A.; WETZ, Michael S. Phytoplankton dynamics in a low-inflow estuary (Baffin Bay, TX) during drought and high-rainfall conditions associated with an El Niño event. **Estuaries and Coasts**, v. 44, n. 7, p. 1752-1764, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12237-021-00904-7>. Acesso em: 5 fev. 2025.

CLOERN, James E.; FOSTER, S. Q.; KLECKNER, A. E. Phytoplankton primary production in the world's estuarine-coastal ecosystems. **Biogeosciences**, v. 11, n. 9, p. 2477-2501, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/bg-11-2477-2014>. Acesso em: 19 jan. 2025.

COFFIN, Michael RS *et al.* An empirical model using dissolved oxygen as an indicator for eutrophication at a regional scale. **Marine pollution bulletin**, v. 133, p. 261-270, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.041>. Acesso em: 25 fev. 2025.

ESCHRIQUE, Samara Aranha *et al.* **Temporal variation of nutrients in transitional seasonal periods (dry-rainy) in the Jaguaribe Estuary-Ceará, Brazil.** In: Safety, Health and Environment World Congress. 2010. p. 66-70.

FANG, Tien Hsi; CHEN, Wei Hsiang. Dissolved and particulate nitrogen species partitioning and distribution in the Danshuei River Estuary, Northern Taiwan. **Marine**

Pollution Bulletin, v. 164, p. 111981, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.111981>. Acesso em: 12 fev. 2025.

FOWLER, David *et al.* The global nitrogen cycle in the twenty-first century. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 368, n. 1621, p. 20130164, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0164>. Acesso em: 19 jan. 2025.

FREEMAN, Lauren A. *et al.* Impacts of urbanization and development on estuarine ecosystems and water quality. **Estuaries and Coasts**, v. 42, p. 1821-1838, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12237-019-00597-z>. Acesso em: 25 fev. 2025.

FROTA, Felipe Facó; PAIVA, Bárbara Pereira; SCHETTINI, Carlos Augusto França. Intra-tidal variation of stratification in a semi-arid estuary under the impact of flow regulation. **Brazilian journal of oceanography**, v. 61, p. 23-33, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjoce/a/QVkpjCfykChjdZKbVKyrq6w/?lang=en#>. Acesso em: 24 fev. 2025.

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Dados pluviométricos da estação #363 (PICI)**. Fortaleza: FUNCEME, 2025a. Disponível em: http://www.funceme.br/?page_id=2694. Acesso em: 27 fev. 2025.

FUNCEME. **Portal Hidrológico do Ceará**. 2025. Disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br/>. Acesso em: 20 fev. 2025.

GALLOWAY, James N. *et al.* Nitrogen cycles: past, present, and future. **Biogeochemistry**, v. 70, p. 153-226, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10533-004-0370-0>. Acesso em: 19 jan. 2025.

GIBLIN, Anne E. *et al.* The importance of dissimilatory nitrate reduction to ammonium (DNRA) in the nitrogen cycle of coastal ecosystems. **Oceanography**, v. 26, n. 3, p. 124-131, 2013. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/24862073>. Acesso em: 25 fev. 2025.

GLIBERT, Patricia M. *et al.* Key questions and recent research advances on harmful algal blooms in relation to nutrients and eutrophication. **Global ecology and oceanography of harmful algal blooms**, p. 229-259, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-70069-4_12. Acesso em: 25 fev. 2025.

GODOY, Mario Duarte Pinto; MEIRELES, Antônio Jeovah de Andrade; LACERDA, Luiz Drude de. Mangrove response to land use change in estuaries along the semiarid coast of Ceará, Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 34, n. 3, p. 524-533, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-16-00138.1>. Acesso em: 19 jan. 2025.

GORAYEB, Adryane; SILVA, Edson Vicente da; MEIRELES, Antônio Jeovah de Andrade. Impactos ambientais e propostas de manejo sustentável para a planície flúvio-marinha do Rio Pacoti-Fortaleza/Ceará. **Sociedade & Natureza**, v. 17, n. 33, p. 143-152, 2005. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321327187011>. Acesso em: 19 jan. 2025.

HOWARTH, Robert *et al.* Coupled biogeochemical cycles: eutrophication and hypoxia in temperate estuaries and coastal marine ecosystems. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 9, n. 1, p. 18-26, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1890/100008>. Acesso em: 19 jan. 2025.

HOWARTH, Robert W. Coastal nitrogen pollution: a review of sources and trends globally and regionally. **Harmful algae**, v. 8, n. 1, p. 14-20, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.hal.2008.08.015>. Acesso em: 19 jan. 2025.

HUANG, Jia *et al.* Effects of physical forcing on summertime hypoxia and oxygen dynamics in the Pearl River Estuary. **Water**, v. 11, n. 10, p. 2080, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w11102080>. Acesso em: 25 fev. 2025.

INMET. **Clima**. 2020 Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/CE/82397>. Acesso em: 19 jan. 2025.

JACOB, Juliane; SANDERS, Tina; DÄHNKE, Kirstin. Nitrite consumption and associated isotope changes during a river flood event. **Biogeosciences**, v. 13, n. 19, p. 5649-5659, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/bg-13-5649-2016>. Acesso em: 09 mar. 2025.

JANI, Jariani; TOOR, Gurpal S. Composition, sources, and bioavailability of nitrogen in a longitudinal gradient from freshwater to estuarine waters. **Water Research**, v. 137, p. 344-354, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.02.042>. Acesso em: 19 jan. 2025.

JARVIS, Brandon M. *et al.* Measuring and modeling diel oxygen dynamics in a shallow hypereutrophic estuary: Implications of low oxygen exposure on aquatic life. **Science of the Total Environment**, v. 882, p. 163474, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163474>. Acesso em: 25 fev. 2025.

JOHN, Sebin *et al.* What controls the flushing efficiency and particle transport pathways in a tropical estuary? Cochin Estuary, Southwest Coast of India. **Water**, v. 12, n. 3, p. 908, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w12030908>. Acesso em: 09 mar. 2025.

LACERDA, Luiz Drude de; MENEZES, Marcelo Oliveira Teles de; MOLISANI, Maurício Mussi. Changes in mangrove extension at the Pacoti River estuary, CE, NE Brazil due to regional environmental changes between 1958 and 2004. **Biota Neotropica**, v. 7, p. 67-72, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1676-06032007000300007>. Acesso em: 19 jan. 2025.

LACERDA, Luiz Drude *et al.* 20-years cumulative impact from shrimp farming on mangroves of Northeast Brazil. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 4, p. 653096, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.653096>. Acesso em: 19 jan. 2025.

LACERDA, Luiz Drude *et al.* Estimating the importance of natural and anthropogenic sources on N and P emission to estuaries along the Ceará State Coast NE Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 141, p. 149-164, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9884-y>. Acesso em: 19 jan. 2025.

LARGIER, John L. Recognizing low-inflow estuaries as a common estuary paradigm. **Estuaries and Coasts**, v. 46, n. 8, p. 1949-1970, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12237-023-01271-1>. Acesso em: 19 jan. 2025.

LEGENDRE, Pierre; LEGENDRE, Louis. **Numerical ecology**. Elsevier, 2012.

LIM, Joon Hai *et al.* Long-term comparison of dissolved nitrogen species in tropical estuarine and coastal water systems. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 222, p. 103-111, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.04.008>. Acesso em: 25 fev. 2025.

LIMA, Sâmila Silva *et al.* Use of environmental systems for analysis in the changing landscape of the Pacoti river area in the years 1968-2023. **International Journal Semiarid**, v. 6, n. 6, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.56346/ijsa.v6i6.181>. Acesso em: 19 jan. 2025.

LINNIK, Peter *et al.* Redox potential as an important characteristic of the chemical and biological state of surface waters. **Chemistry and Ecology**, v. 39, n. 6, p. 640-672, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02757540.2023.2225496>.

LØNBORG, Christian *et al.* Nutrient cycling in tropical and temperate coastal waters: is latitude making a difference?. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 262, p. 107571, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107571>. Acesso em: 19 jan. 2025.

MALONE, Thomas C.; NEWTON, Alice. The globalization of cultural eutrophication in the coastal ocean: causes and consequences. **Frontiers in Marine Science**, v. 7, p. 670, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00670>. Acesso em: 19 jan. 2025.

MARIANI, Rafael; LESSA, Guilherme C.; MARTA-ALMEIDA, Martinho. Long-term variability of the salinity field in a large tropical, well-mixed estuary: the influence of climatic trends. **Estuaries and Coasts**, v. 45, n. 3, p. 721-736, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5953-2>. Acesso em: 04 mar. 2025.

MCGUIRK FLYNN, Amanda. Organic matter and nutrient cycling in a coastal plain estuary: carbon, nitrogen, and phosphorus distributions, budgets, and fluxes. **Journal of Coastal Research**, n. 10055, p. 76-94, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.2112/SI55-010.1>. Acesso em: 19 jan. 2025.

MELLO, Marianne P. *et al.* Temporal variations in water quality in a tropical urbanized estuary. **Regional Studies in Marine Science**, v. 83, p. 104070, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2025.104070>. Acesso em: 25 fev. 2025.

MELO, Edmara Ramos *et al.* Nutrients load estimation in a regulated streamflow estuary: the São Francisco estuary (NE/Brazil). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. spe, p. 803-811, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-7786355000007>. Acesso em: 25 fev. 2025.

MOLISANI, Mauricio Mussi; CRUZ, André Luiz Viana; MAIA, Luís Parente. Estimativa da descarga fluvial para os estuários do Estado do Ceará, Brasil. 2006. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/53938>. Acesso em: 19 jan. 2025.

MOLNAR, Nathalie *et al.* Impacts of shrimp farm effluent on water quality, benthic metabolism and N-dynamics in a mangrove forest (New Caledonia). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 117, p. 12-21, 2013. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/53938>. Acesso em: 25 fev. 2025.

MORAIS, J. O.; PINHEIRO, Lidriana de Souza. The effect of semi-aridity and damming on sedimentary dynamics in estuaries-Northeastern region of Brazil. **Journal of Coastal Research**, p. 1540-1544, 2011. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/26482433>. Acesso em: 25 fev. 2025.

MORGADO, Fernando *et al.* Chronological trends and mercury bioaccumulation in an aquatic semiarid ecosystem under a global climate change scenario in the northeastern coast of Brazil. **Animals**, v. 11, n. 8, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani11082402>. Acesso em: 19 jan. 2025.

NORIEGA, Carlos ED *et al.* The instantaneous transport of inorganic and organic material in a highly polluted tropical estuary. **Marine and freshwater research**, v. 64, n. 6, p. 562-572, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/MF12083>. Acesso em: 19 jan. 2025.

NORIEGA, Carlos ED; ARAUJO, Moacyr. Nutrient budgets (C, N and P) and trophic dynamics of a Brazilian tropical estuary: Barra das Jangadas. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 83, p. 441-456, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0001-37652011000200007>. Acesso em: 19 jan. 2025.

OKSANEN, Jari *et al.* Community ecology package. **R package version**, v. 2, n. 0, p. 321-326, 2013.

PAMPLONA, Fábio Campos; PAES, Eduardo Tavares; NEPOMUCENO, Aguinaldo. Nutrient fluctuations in the Quatipuru river: A macrotidal estuarine mangrove system in the Brazilian Amazonian basin. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 133, p. 273-284, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.09.010>. Acesso em: 19 jan. 2025.

PAULA FILHO, Francisco Jose de *et al.* Evaluation of water quality and trophic state in the Parnaíba River Delta, northeast Brazil. **Regional Studies in Marine Science**, v. 34, p. 101025, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.101025>. Acesso em: 19 jan. 2025.

PERALES-VALDIVIA, Héctor; SANAY-GONZÁLEZ, Rosario; VALLE-LEVINSON, Arnoldo. Effects of tides, wind and river discharge on the salt intrusion in a microtidal tropical estuary. **Regional Studies in Marine Science**, v. 24, p. 400-410, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2018.10.001>. Acesso em: 04 mar. 2025.

PEREIRA-FILHO, Jurandir *et al.* Spatial changes in the water quality of Itajaí-Açú Fluvial-Estuarine System, Santa Catarina, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 82, p. 963-982, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0001-37652010000400019>. Acesso em: 19 jan. 2025.

PRATHIARY, Anil K. *et al.* Benthic fluxes in a tropical estuary and their role in the ecosystem. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 85, n. 3, p. 387-398, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2009.08.012>. Acesso em: 19 jan. 2025.

RODRIGUES, Marta *et al.* Temporal assessment of the water quality along an urban estuary (Tagus estuary, Portugal). **Marine Chemistry**, v. 223, p. 103824, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2020.103824>. Acesso em: 19 jan. 2025.

RSTUDIO TEAM. RStudio: Integrated development environment for R. Versão 2024.12.0. Posit Software, PBC, 2024. Disponível em: <https://posit.co>. Acesso em: 28 fev. 2025.

SAECK, Emily A. *et al.* Changes to chronic nitrogen loading from sewage discharges modify standing stocks of coastal phytoplankton. **Marine pollution bulletin**, v. 71, n. 1-2, p. 159-167, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.03.020>. Acesso em: 19 jan. 2025.

SANDERS, Tina; SCHÖL, Andreas; DÄHNKE, Kirstin. Hot spots of nitrification in the Elbe estuary and their impact on nitrate regeneration. **Estuaries and coasts**, v. 41, p. 128-138, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12237-017-0264-8>. Acesso em: 19 jan. 2025.

SANTOS, Celimarcos Bezerra dos *et al.* Nitrogen distribution in a tropical urbanized estuarine system in northeastern Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 190, p. 1-13, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6420-6>. Acesso em: 19 jan. 2025.

SARMA, V. V. S. S. *et al.* Intra-annual variability in nutrients in the Godavari estuary, India. **Continental Shelf Research**, v. 30, n. 19, p. 2005-2014, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2010.10.001>. Acesso em: 19 jan. 2025.

SCHETTINI, Carlos AF; VALLE-LEVINSON, Arnoldo; TRUCCOLO, Eliane C. Circulation and transport in short, low-inflow estuaries under anthropogenic stresses. **Regional Studies in Marine Science**, v. 10, p. 52-64, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2017.01.004>. Acesso em: 19 jan. 2025.

SEITZINGER, Sybil P.; SANDERS, R. W.; STYLES, Renée. Bioavailability of DON from natural and anthropogenic sources to estuarine plankton. **Limnology and Oceanography**, v. 47, n. 2, p. 353-366, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.4319/lo.2002.47.2.0353>. Acesso em: 19 jan. 2025.

SILVA, Maria Aparecida Macêdo *et al.* Dissolved inorganic nutrients and chlorophyll a in an estuary receiving sewage treatment plant effluents: Cachoeira River estuary (NE Brazil). **Environmental monitoring and assessment**, v. 185, p. 5387-5399, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2953-x>. Acesso em: 19 jan. 2025.

SILVA, Maria Aparecida Macedo; SOUZA, Marcelo FL; ABREU, Paulo C. Spatial and temporal variation of dissolved inorganic nutrients, and chlorophyll- α in a tropical estuary in northeastern Brazil: dynamics of nutrient removal. **Brazilian Journal of**

Oceanography, v. 63, p. 1-15, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1679-87592015064506301>. Acesso em: 19 jan. 2025.

SOARES, Marcelo de Oliveira *et al.* Challenges and perspectives for the Brazilian semi-arid coast under global environmental changes. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, n. 3, p. 267-278, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.06.001>. Acesso em: 19 jan. 2025.

STATHAM, Peter J. Nutrients in estuaries—An overview and the potential impacts of climate change. **Science of the total environment**, v. 434, p. 213-227, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.09.088>. Acesso em: 19 jan. 2025.

SU, Jianzhong *et al.* Tracing the origin of the oxygen-consuming organic matter in the hypoxic zone in a large eutrophic estuary: the lower reach of the Pearl River Estuary, China. **Biogeosciences**, v. 14, n. 18, p. 4085-4099, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/bg-14-4085-2017>. Acesso em: 19 jan. 2025.

TAHERKHANI, Mohsen *et al.* Flushing time variability in a short, low-inflow estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 284, p. 108277, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108277>. Acesso em: 19 jan. 2025.

TANAKA, Yasuaki; MINGGAT, Elizerberth; ROSELI, Wardina. The impact of tropical land-use change on downstream riverine and estuarine water properties and biogeochemical cycles: a review. **Ecological Processes**, v. 10, n. 1, p. 40, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13717-021-00315-3>. Acesso em: 19 jan. 2025.

TEIXEIRA, Catarina *et al.* The contribution of anaerobic ammonium oxidation to nitrogen loss in two temperate eutrophic estuaries. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 143, p. 41-47, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2014.03.023>. Acesso em: 19 jan. 2025.

TELESH, Irena V.; KHLEBOVICH, Vladislav V. Principal processes within the estuarine salinity gradient: a review. **Marine Pollution Bulletin**, v. 61, n. 4-6, p. 149-155, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.02.008>. Acesso em: 19 jan. 2025.

TEOH, Hong Wooi *et al.* Nutrient (N, P, Si) concentration and primary production on a perturbed tropical coastal mudflat. **Environmental Earth Sciences**, v. 75, p. 1-14, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5953-2>. Acesso em: 19 jan. 2025.

VALDERRAMA, Jorge C. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. **Marine chemistry**, v. 10, n. 2, p. 109-122, 1981. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0304-4203\(81\)90027-X](https://doi.org/10.1016/0304-4203(81)90027-X). Acesso em: 19 jan. 2025.

VALENTIM, Samuel Soares; MENEZES, M. O. B.; TEIXEIRA, Carlos Eduardo Peres. Seasonally hypersaline estuaries in semiarid climate regions: an example from the Northeast Brazil. **Journal of Coastal Research**, n. 85, p. 6-10, 2018. <https://doi.org/10.2112/SI85-002.1> Acesso em: 19 jan. 2025.

VOSS, Maren *et al.* The marine nitrogen cycle: recent discoveries, uncertainties and the potential relevance of climate change. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 368, n. 1621, p. 20130121, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0121>. Acesso em: 19 jan. 2025.

WANG, Hongjie *et al.* Eutrophication-driven hypoxia in the East China Sea off the Changjiang Estuary. **Environmental Science & Technology**, v. 50, n. 5, p. 2255-2263, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b06211>. Acesso em: 19 jan. 2025.

WANG, Wentao *et al.* Rates of nitrification and nitrate assimilation in the Changjiang River estuary and adjacent waters based on the nitrogen isotope dilution method. **Continental Shelf Research**, v. 163, p. 35-43, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2018.04.014>. Acesso em: 25 fev. 2025.

WIEGNER, Tracy N. *et al.* Bioavailability of dissolved organic nitrogen and carbon from nine rivers in the eastern United States. **Aquatic Microbial Ecology**, v. 43, n. 3, p. 277-287, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.3354/ame043277>. Acesso em: 25 fev. 2025.

YU, Dan *et al.* Understanding how estuarine hydrology controls ammonium and other inorganic nitrogen concentrations and fluxes through the subtropical Jiulong River Estuary, SE China under baseflow and flood-affected conditions. **Biogeochemistry**, v. 142, p. 443-466, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10533-019-00546-9>. Acesso em: 25 fev. 2025.

ZHANG, Xuan *et al.* Review of effects of dam construction on the ecosystems of river estuary and nearby marine areas. **Sustainability**, v. 14, n. 10, p. 5974, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su14105974>. Acesso em: 19 jan. 2025.