UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PROGRAMA DE DOUTORADO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
ASSOCIAÇÃO PLENA EM REDE

ENTRE LAGOAS: DA ANÁLISE À DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA DA DINÂMICA LIMNOLÓGICA E COMUNIDADES AQUÁTICAS DE LAGOAS COSTEIRAS DO PIAUÍ

GIOVANNA SANTOS DE SOUZA

TERESINA-PI
2026

GIOVANNA SANTOS DE SOUZA

ENTRE LAGOAS: DA ANÁLISE À DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA DA DINÂMICA LIMNOLÓGICA E COMUNIDADES AQUÁTICAS DE LAGOAS COSTEIRAS DO PIAUÍ

Tese apresentada ao Programa de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), Associação Plena em Rede, da Universidade Federal do Piauí (UFPI), como requisito para obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientadora:
Profa. Dra. Ivanilza Moreira de Andrade Paiva

Coorientadoras:
Profa. Dra. Ruceline Paiva Melo Lins
Profa. Dra. Maria Helena Alves

TERESINA-PI
2026

GIOVANNA SANTOS DE SOUZA

ENTRE LAGOAS: DA ANÁLISE À DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA DA DINÂMICA LIMNOLÓGICA E COMUNIDADES AQUÁTICAS DE LAGOAS COSTEIRAS DO PIAUÍ

Tese apresentada ao Programa de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), Associação Plena em Rede, da Universidade Federal do Piauí (UFPI), como requisito para obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Linha de Pesquisa: Relações Sociedade-Natureza e Sustentabilidade

Defendida em: 20/04/2026.

BANCA EXAMINADORA

_____
Ivanilza Moreira de Andrade Paiva, Profa. Dra. (UFDPAR)
Presidente - Orientadora

_____
Francisco Soares Santos Filho, Prof. Dr. (UESPI)
Examinador - Representante local do PRODEMA

_____
Maria Cristina Basílio Crispim da Silva, Profa. Dra. (UFPB)
Examinadora – Representante da Rede PRODEMA

_____
Pryscilla Denise Almeida da Silva, Profa. Dra. (UEPA)
Examinador – Representante de instituição externa a Rede PRODEMA

_____
Roneide dos Santos Sousa, Profa. Dra. (UFPI)
Examinadora – Representante interno UFPI

Dedico aos meus pais, Luiz Giovanni e Maria Irma, e
ao meu irmão, Gilvan Santos, pois tudo sempre foi por eles,
e ao Piauí, como uma carta de amor.

AGRADECIMENTOS

De todos os aprendizados que o doutorado me trouxe, a certeza de que não se faz ciência sozinho é a principal, por isso deixo meus mais sinceros agradecimentos:

À Universidade Federal do Piauí (UFPI), pela estrutura e oportunidade de concluir toda a minha formação acadêmica, desde a graduação em Engenharia de Pesca, no *Campus* Ministro Reis Velloso, em Parnaíba, até o doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida durante o curso, bem como outros recursos que possibilitaram o suporte a idas a campo e à compra de insumos para as análises laboratoriais.

Ao curso de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente em Rede – PRODEMA/UFPI, aos professores que contribuíram para minha formação acadêmica, em especial ao professor Wedson Souto, que não descansou até conseguir minha bolsa; às professoras Roseli Barros, Giovanna Espindola e Elayne Silva; bem como aos demais professores que ministram no prédio do Núcleo de Referência em Ciências Ambientais do Trópico Ecotonal do Nordeste (TROPEN) e na Rede, por todo acolhimento e disponibilidade para tirar dúvidas e compartilhar conhecimento. Também ao professor Dr. José Santana da Rocha, "Zezinho", que tanto ajudou no desenrolar das burocracias, sempre salvando nos momentos de dúvida.

À minha orientadora Professora Dra. Ivanilza Moreira de Andrade Paiva, por todo o suporte, incentivo, paciência e cuidado, por ter acreditado e me ajudado a construir esse sonho. Por todas as conversas, cobranças e celebrações que fizeram parte desse processo, que me tiraram da zona de conforto e me fizeram perceber que eu podia muito mais. Conheci um pouco mais da pessoa por trás da pesquisadora, e não poderia concordar mais com o apelido carinhoso "DIVAnilza", dado pelos orientandos, por toda sua dedicação em sempre ter e dar o melhor de si em tudo o que faz. És uma inspiração como pessoa e profissional. Obrigada por tudo!

À minha coorientadora, Professora Dra. Ruceline Paiva Melo Lins, minha parceira e amiga em todos os momentos. É incrível o que pode acontecer quando alguém te olha para além das suas dificuldades e desafios daquele momento, que acredita, incentiva, acolhe, corrige e caminha ao seu lado. Obrigada por ter me apresentado à Limnologia ainda na graduação, confiado e me dado a oportunidade de participar de todas as etapas de construção de um ambiente de colaboração e aprendizado constante no Laboratório de Ecologia Aquática – LEA/UFDPar, a ponto de me inspirar a sonhar com o meu próprio laboratório. Obrigada por

estar sempre disposta, aberta, defendendo, incentivando e divulgando nosso trabalho, por sua amizade e pelo carinho comigo e com minha família, que são recíprocos (ai de mim se eu reclamar dela por dois segundos lá em casa!). Fico muito feliz em poder compartilhar mais essa vitória com você.

À minha coorientadora, Professora Dra. Maria Helena Alves, por estar sempre de prontidão nas correções dos textos, por ter dado suporte na importação do Naphrax e por sempre estar de braços abertos e com um sorriso no rosto, dizendo que, apesar da tese enorme, ia dar tudo certo. Parecem pequenos gestos, mas foram de grande valia e tiveram grande impacto, muito obrigada!

Aos professores que participaram da banca examinadora, desde o Seminário de Tese 1 até a defesa, em especial às professoras Dra. Cristina Crispim, Dra. Pryscilla Almeida, Dra. Roneide Sousa e ao professor Dr. Francisco Soares, por todas as contribuições para melhoria e refinamento deste estudo, pelo incentivo, disponibilidade e gentileza na arguição. Também agradeço a disposição e disponibilidade das professoras Dra. Sheila Milena e Dra. Elayne Figueiredo, suplentes da banca.

Aos colegas de turma, Alikaene Sá, Luan Brandão, Maralí Silva, Sara Zilanda e demais, por todo acolhimento durante as disciplinas e fora delas, compartilhando as dificuldades e alegrias de cada etapa de se tornar doutor. Foram dias difíceis, mas conseguimos! Em especial, agradeço à Ruanna Brandão, pela amizade e parceria, pelos desabafos e saídas para desopilar, pelo constante incentivo e cuidado desde o mestrado.

À Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAR), pelo suporte estrutural, técnico e de insumos para realização das coletas e análises. Em especial, agradeço à Coordenação de Laboratórios, ao técnico Leonardo Miranda, por todo suporte nas burocracias para as coletas, e a todos os motoristas da instituição. Em especial, ao Raimundo Nonato, "seu Raimundinho", que, desde o mestrado, vivencia a maior parte das minhas aventuras na pesquisa, sempre cuidando e me direcionando nas coletas, foram anos em que aprendi muito com suas histórias e conhecimentos, e sou muito feliz e grata por sua amizade.

À equipe do Laboratório de Ecologia Aquática – LEA/UFDPar, que já se renovou tantas vezes, mas considero aqui todos que já passaram por lá, mesmo que por pouco tempo. Cada um me ensinou um pouco e me deu a oportunidade de aprender a ensinar, a ter um pouco mais de paciência e a confiar, assim como confiaram em mim quando iniciei minha trajetória no laboratório.

Destaco os alunos que trabalharam com dados da tese na Iniciação Científica (IC): Artur Fialho, Daniele Nascimento, Vitor Igor Carvalho e Narlison Santos, que estiveram comigo nas

coletas, nas análises, na construção dos produtos da tese, nas madrugadas (*comitiva morcegas*) e nos dias bons e ruins. Vocês foram meu "todo dia". Pude ver o crescimento acadêmico de cada um e contribuir com isso. Ao mesmo tempo aprendi muito, fui acolhida e motivada pelo carinho e empenho de vocês em cada atividade. Finalizo esta etapa com a certeza de que os laços que criamos vão além do ambiente profissional e reafirmo que podem contar comigo sempre!

Aos discentes Luan Rodrigues (*my imensy*), pela criação da personagem "Léia" e das demais ilustrações da cartilha; Laís Costa, por suas poesias em cordel; Luan Silva, pelas fotos das diatomáceas; e Gabriel Talles, pelo auxílio nas coletas e análises. Também agradeço à Eduarda Santos, Thaissa Morais, Amanda Pereira, João Pedro Oliveira e demais integrantes da equipe do Lea, pelas horas de trabalho, conversas, pelo apoio, confiança e amizade construídas.

À toda equipe do Herbário HDELTA/UFDPar, que me acolheu e integrou em diversas atividades, pelos cafés, conversas e por compartilhar tantos conhecimentos. Em especial à Alessandra Santos, que esteve comigo nas primeiras coletas de macrófitas e me ensinou todo o processo de herborização; ao Elton Rodrigues "Teteu", que me auxiliou na identificação das espécies e construção do artigo; e à Francilene Silva, pela tradução e contribuições no artigo de macrófitas. À aluna de Iniciação Científica do Ensino Médio, Maria Helena Cerqueira, pela confiança, suporte e carinho, por "abraçar" o estudo das macrófitas, e pelo empenho em participar das atividades, desde as coletas até a identificação e a construção de produtos para divulgação dos resultados.

À Taiane Oliveira, pelas ilustrações da cartilha; ao Vicente Sousa Jr., pelos mapas e contribuições no artigo de geoprocessamento; ao Adonys Roney, pelas contribuições para elaboração dos mapas dos artigos; e à professora Daniela Santana, pelo auxílio na identificação e confirmação de algumas espécies do fitoplâncton. São tantos detalhes em um estudo desse porte, que privilégio contar com vocês para me ajudarem no que ia além do meu conhecimento e das minhas possibilidades, são parcerias que levo no coração.

À toda equipe do grupo de pesquisa Cymbella - Núcleo de Estudos Ficológicos no Semiárido, da Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA), em Sobral, na pessoa do coordenador, professor Dr. Kaoli Cavalcante, pela parceria, integração ao grupo de pesquisa e auxílio na identificação e confirmação das diatomáceas. À Lorany Vitoria, Miqueline Gomes, Filho Rocha e aos demais integrantes, que acolheram a mim e ao Artur e contribuíram para o nosso aprendizado no laboratório com as diatomáceas.

Ao meu amigo e sócio Tiago Bruno Paiva, pela confiança, suporte e paciência durante os últimos anos, por me ajudar nas coletas e tantos outros momentos. Aos amigos Bruno Iles,

Renata Brito, Nadine Teles, Marcos Moraes, Lana Carla Vieira, Luciana Ramalho, Cláudia Portela, Bruna Saraiva, tia Gracinha, Gilson e Vanda Santana, Sales e Amparo Azevedo, e tantos outros que estiveram por perto e atentos em todos esses anos, me tirando do automático e ajudando da forma que podiam. Muito obrigada!

À minha psicóloga Flávia Avelar, que segurou na minha mão e me deu ferramentas para enfrentar os diversos desafios que encontrei durante a execução desta pesquisa.

À toda a minha família, em especial meus pais Luiz Giovanni e Maria Irma, ao meu irmão Gilvan Santos e cunhada Thays Villarinho, por me apoiarem em todas as situações, por estarem presentes, ajudarem da forma que podiam. Se estou realizando esse sonho, é porque, antes de todos que citei acima, vocês acreditaram e fizeram todo o possível para que ele acontecesse. Amo vocês.

Por último, mas o mais importante, a Deus, por me sustentar e me ajudar em todas as situações, por colocar em meu caminho todas as pessoas citadas aqui e tantas outras que, mesmo sem saber, contribuíram para esta conquista. Obrigada por mais este sonho realizado, construído sobre lágrimas, transformação interior, e muita esperança de que seria possível. E foi.

“Bendito o homem que deposita a confiança no Senhor, e cuja esperança é o Senhor. Assemelha-se à árvore plantada perto da água, que estende as raízes para o arroio; se vier o calor, ela não temerá, e sua folhagem continuará verdejante; não a inquieta a seca de um ano, pois ela continuará a produzir frutos.” Jr 17, 7-8.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

Figura 1. Localização das lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana na zona costeira do Piauí/Brasil.....53
Figura 2. Vista aérea das lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana na zona costeira do Piauí/Brasil.... 54
Figura 3. Média mensal histórica de 50 anos (1974 a 2023) e precipitação total mensal por década no município de Parnaíba, Piauí/Brasil..... 57
Figura 4. Precipitação total anual (1974 a 2023), valor máximo mensal e média total no município de Parnaíba, Piauí/Brasil.*Anos com dados incompletos.....58
Figura 5. Variação da lâmina superficial d'água em hectares das lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, no período chuvoso e seco, de 2013 a 2023.....60
Figura 6. Dinâmica da lâmina d'água no período chuvoso e seco no período de 2013 a 2023 nas Lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí/Brasil.....62

ARTIGO 2

Figura 1. Mapa de localização da Lagoa do Portinho, Lagoa do Sobradinho e Lagoa do Santana, no litoral do Piauí.... 75
Figura 2. Riqueza (%) de espécies por família registrada nas lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí, Brasil... 81
Figura 3. A-E: Espécies de Fabaceae ocorrentes na lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí, Brasil. A. *Indigofera microcarpa*, B. *Mimosa pudica*, C. *Neptunia plena*, D. *Senna alata* e E. *S. occidentalis*... 82
Figura 4. A-F: Espécies de Cyperaceae ocorrentes nas lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí, Brasil. A. *Cyperus articulatus*, B. *C. brevifolius*, C. *C. ligularis*, D. *C. surinamensis*, E. *Eleocharis geniculata* e F. *E. mutata*.....83
Figura 5. A-L. Macrófitas aquáticas ocorrentes nas lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí, Brasil. A. *Blutaparon portulacoides*, B. *Borreria verticillata*, C. *Euploca polyphylla*, D. *Ipomea asarifolia*, E. *Ludwigia leptocarpa*, F. *Paspalum vaginatum*, G. *Portulaca oleracea*, H. *Stemodia marítima*, I. *Typha domingensis*, J. *Turnera subulata*.....84
Figura 6. Diagrama de Venn com o número de espécies exclusivas e compartilhas entre as Lagoas do Portinho, Sobradinho, Santana, no Piauí, Jijoca, no Ceará e Candeia, na Bahia.....87
Figura 7. Índice de dissimilaridade de Jaccard aplicado à composição das comunidades nas lagoas estudadas. (A) Análise de agrupamento pelo método da média entre grupos (UPGMA) e (B) escalonamento multidimensional não métrico (NMDS) com árvore mínima geradora (MST), comparando as lagoas do Portinho (PT), Sobradinho (SB) e Santana (ST), no estado do Piauí; Jijoca (JJ), no Ceará; e Candeia (CA), na Bahia.....89

ARTIGO 3

Figura 1. Localização e pontos de coleta nas lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí/Brasil.....104
Figura 2. Precipitação pluviométrica (PP) e velocidade dos ventos no município de Parnaíba, Piauí, com valores dos anos de 2023 e 2024 e média histórica mensal no período de 1973 a 2022.....108
Figura 3. Biomassa fitoplanctônica total (mm3.L-1) e concentração de clorofila-a ($\mu g.L^{-1}$) nas lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí, nos anos de 2023 e 2024.....113

Figura 4. Análise de componentes principais (ACP) das variáveis ambientais, climáticas e biológicas das lagoas do Portinho (A e B), do Sobradinho (C e D) e da Santana (E e F), considerando os meses de fevereiro, junho, agosto e novembro de 2023, e fevereiro, maio, setembro e novembro de 2024.....115
Figura 5. Índice de Estado Trófico das lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí, nos anos de 2023 e 2024.....117

ARTIGO 4

Figura 1. Localização e pontos de coleta nas lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí/Brasil.....130
Figura 2. Riqueza de táxons por classes nos períodos chuvoso e seco, dos anos de 2023 e 2024, nas Lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí.....140
Figura 3. Táxons muito frequentes nas lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí, no período de 2023 a 2024. A. *Botryococcus neglectus*, B. *Campylodiscus clypeus*, C. *Coscinodiscus radiatus*, D. *Desmodesmus communis*, E. *Dolichospermum solitarium*, F. *Entomoneis paludosa*, G. *Euglena caudata*, H. *Merismopedia tenuissima*, I. *M. tranquila*, J. *Microcystis aeruginosa*, K. *Pseudanabaena catenata*, L. *Peridinium* sp., M. *Surirella robusta*, N. *Stauridium tetras*, e P. *Tetraedron caudatum*. Escala 20µm.....141
Figura 4. Diagrama de Venn com o número de espécies exclusivas e compartilhas entre as Lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, no Piauí, em 2023 (A) e 2024 (B).....143
Figura 5. Biovolume total (A) e percentual por classe (B) da comunidade fitoplanctônica das lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí, em 2023 e 2024.....145

ARTIGO 5

Figura 1. Fluxograma de criação da cartilha “Tem algo nessa água?”.....158
Figura 2. *QR Code* para acesso à Cartilha intitulada “Tem algo nessa água?”.....159
Figura 3. Procedimento de coleta do fitoplâncton e de macrófitas aquáticas, desde as etapas iniciais até a identificação das espécies.....163
Figura 4. Informações das lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, localizadas no estado do Piauí, Brasil.....164
Figura 5. Conceitos e imagens de cianobactérias, microalgas e macrófitas aquáticas encontradas nas lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí, Brasil.....165
Figura 6. Capa do capítulo e conceitos relacionados às ações antrópicas e de conservação, bem como aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) apresentados na cartilha.....167
Figura 7. Personagem Léia e algumas de suas expressões representadas na cartilha.....168
Figura 8. Exemplos da Léia dialogando e instruindo o leitor para a realização das atividades.....169
Figura 9. A lenda da “Macyrajara” em forma de cordel e os tutoriais para a elaboração do cordel e da ilustração em xilogravura.....170

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Tabela 1. Valores de área média dos períodos chuvoso (C) e seco (S) das lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí/Brasil, entre os anos de 2013 e 2023.....59
Tabela 2. Valores de área mínima, máxima e perda máxima em hectares e porcentagem das lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, no período de 2013 a 2023, Piauí/Brasil.....61

ARTIGO 2

Tabela 1. Táxons de macrófitas aquáticas registradas nas lagoas de Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí, Brasil: Presença (X) e Ausência (-) de espécies; Anfíbia (Anf), Emergente (Em), Submersa (Sub); Origem (Ori): Nativa (NA), Naturalizada (NT); Endemismo (End): Não endêmica (NE), Endêmica (E).....78

ARTIGO 4

Tabela 1. Média e desvio padrão dos das variáveis ambientais das Lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, em 2023 e 2024. *Diferenças estatísticas significativas ($p<0,05$), entre os anos de 2023 e 2024.....135
Tabela 2. Lista de classes e táxons e sua frequência de ocorrência (F.O.) nas lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí, no período chuvoso (C) e seco (S) de 2023 e 2024. Legenda: Rara (RA)= <30%; Pouco frequente (PF)= ≥30%; Frequente (FR)= ≥50% e Muito frequente (MF)= ≥80%. *Táxons que não contribuiram para o biovolume total.....136

ARTIGO 5

Tabela 1. Apresentação dos conteúdos, atividades e demais elementos da cartilha intitulada “Tem algo nessa água?” 160

SUMÁRIO

RESUMO GERAL 13
GENERAL ABSTRACT 14
1 INTRODUÇÃO GERAL 15
2 REVISÃO DE LITERATURA 19
2.1 LAGOAS COSTEIRAS 19
2.2 MACRÓFITAS AQUÁTICAS 23
2.3 COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA 26
2.4 EDUCAÇÃO AMBIENTAL E CARTILHA EDUCATIVA 30
ARTIGO I - ANÁLISE DA DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DOS ESPELHOS D'ÁGUA DE LAGOAS COSTEIRAS DO PIAUÍ POR SENSORIAMENTO REMOTO 46
ARTIGO II - FLORÍSTICA E DIVERSIDADE DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS EM LAGOAS COSTEIRAS DO PIAUÍ, BRASIL 70
ARTIGO III - DINÂMICA TEMPORAL E ESPACIAL DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS DE LAGOAS COSTEIRAS DO PIAUÍ, BRASIL 98
ARTIGO IV - DIVERSIDADE E DINÂMICA DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA DE LAGOAS COSTEIRAS DO PIAUÍ, BRASIL 125
ARTIGO V - "TEM ALGO NESSA ÁGUA?": A CONSTRUÇÃO DE UMA CARTILHA EDUCATIVA COMO SUBSÍDIO AO ENSINO DE CIÊNCIAS E À DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA 152
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS 174
APÊNDICE A – CARTILHA "TEM ALGO NESSA ÁGUA?" 175
ANEXO A – PUBLICAÇÃO ARTIGO ANÁLISE DA DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DOS ESPELHOS D'ÁGUA DE LAGOAS COSTEIRAS DO PIAUÍ POR SENSORIAMENTO REMOTO 176
ANEXO B – COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DO ARTIGO FLORÍSTICA E DIVERSIDADE DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS EM LAGOAS COSTEIRAS DO PIAUÍ, BRASIL 177

RESUMO GERAL

ENTRE LAGOAS: DA ANÁLISE À DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA DA DINÂMICA LIMNOLÓGICA E COMUNIDADES AQUÁTICAS DE LAGOAS COSTEIRAS DO PIAUÍ

Autor: Giovanna Santos de Souza
Orientador: Profa. Dra. Ivanilza Moreira de Andrade Paiva
Programa de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente
Teresina-PI, março de 2026.

Os ecossistemas lênticos costeiros são potencialmente instáveis, pois estressores naturais e antrópicos interferem com maior impacto em sua dinâmica, favorecendo processos de desequilíbrio ambiental. Objetivou-se com esta pesquisa analisar, em escala temporal e espacial, as características físicas, químicas e biológicas de ecossistemas lênticos situados na planície litorânea do estado do Piauí, utilizando a comunidade fitoplanctônica e as macrófitas aquáticas como bioindicadores ambientais, visando gerar ferramentas de divulgação científica que possam auxiliar futuros programas de gestão e educação ambiental. Foi realizada a caracterização sazonal das lagoas, com coletas trimestrais em 2023 e 2024, a elaboração de mapas com delimitação da lâmina superficial de água com aplicação do *Normalized Difference Water Index* (NDWI), o levantamento florístico das macrófitas aquáticas e a análise física, química e biológica da água, utilizando a comunidade fitoplanctônica como bioindicadora. Também foi aplicado o índice de estado trófico (IET) e elaborada uma cartilha com informações e atividades didáticas sobre as lagoas estudadas. As lagoas do Portinho, no município de Parnaíba, Sobradinho, em Luís Correia e Santana, em Cajueiro da Praia, foram selecionadas por serem as maiores da região costeira do estado do Piauí. Houve variação de até 43% da lâmina d'água superficial das lagoas com influência direta de eventos climáticos extremos, que ocasionaram índices pluviométricos abaixo da média histórica no período de 2010 a 2017, bem como de interferências antrópicas de uso desordenado do solo e a construção de vias de acesso que cortam as lagoas. Além disso, observou-se uma redução gradual dos índices de precipitação e modificações no ciclo sazonal da região ao longo dos últimos 50 anos. As lagoas abrigam macrófitas aquáticas com formas de vida anfíbias, submersas e emergentes, principalmente das famílias Fabaceae, Cyperaceae e Poaceae. A maior riqueza e exclusividade de táxons observadas na lagoa do Sobradinho sugerem melhores condições ambientais e maior estabilidade ecológica. Por outro lado, a menor diversidade registrada na lagoa da Santana pode estar associada à elevada salinidade da água e à intensificação do uso antrópico em seu entorno. A sazonalidade mostrou-se o principal fator de interferência na dinâmica ecológica das lagoas, afetando as variáveis ambientais, o estado trófico e a composição e biomassa da comunidade fitoplanctônica. O filo Bacillariophyta apresentou 43 táxons, enquanto a classe Cyanophyceae apresentou maior contribuição para a biomassa. Como produto de divulgação científica, foi elaborada a cartilha intitulada "Tem algo nessa água?", que utiliza os dados científicos para apresentar a temática das lagoas costeiras, abordando sua dinâmica sazonal, lendas locais, biodiversidade, ações antrópicas, estratégias de conservação e a relação de comunidades tradicionais com esses ambientes. Assim, ressalta-se a importância deste estudo como registro e análise da dinâmica ecológica das lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, contribuindo para o conhecimento sobre sazonalidade, limnologia e biodiversidade da região costeira do Piauí, bem como para a produção de materiais educativos alinhados ao contexto regional.

Palavras-chave: cartilha educativa; fitoplâncton; macrófitas aquáticas; NDWI; sazonalidade.
Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: #06 - Água Potável e Saneamento; #14 - Vida na Água.

GENERAL ABSTRACT

BETWEEN LAGOONS: FROM ANALYSIS TO SCIENTIFIC DISSEMINATION OF THE LIMNOLOGICAL DYNAMICS AND AQUATIC COMMUNITIES OF COASTAL LAGOONS IN PIAUÍ

Author: Giovanna Santos de Souza
Advisor: Profa. Dra. Ivanilza Moreira de Andrade Paiva
Programa de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente
Teresina-PI, março de 2026.

Coastal lentic ecosystems are potentially unstable, as natural and anthropogenic stressors have a greater impact on their dynamics, promoting processes that lead to environmental imbalance. The objective of this study was to analyze, on a temporal and spatial scale, the physical, chemical, and biological characteristics of lentic ecosystems located on the coastal plain of the state of Piauí, using the phytoplankton community and aquatic macrophytes as environmental bioindicators, with the aim of developing tools for scientific outreach that can support future environmental management and education programs. A seasonal characterization of the lagoons was conducted, with quarterly samplings in 2023 and 2024; maps were created to delineate the surface water layer using the Normalized Difference Water Index (NDWI); a floristic survey of aquatic macrophytes was performed; and physical, chemical, and biological analyses of the water were carried out, using the phytoplankton community as a bioindicator. The Trophic Status Index (TSI) was also applied, and a booklet was prepared containing information and educational activities about the lagoons studied. The Portinho lagoons, in the municipality of Parnaíba; Sobradinho, in Luís Correia; and Santana, in Cajueiro da Praia, were selected because they are the largest in the coastal region of the state of Piauí. There was a variation of up to 43% in the surface water level of the lagoons, directly influenced by extreme weather events—which caused rainfall levels below the historical average from 2010 to 2017—as well as anthropogenic factors such as unregulated land use and the construction of access roads that cut through the lagoons. In addition, a gradual reduction in precipitation rates and changes in the region's seasonal cycle have been observed over the past 50 years. The lagoons are home to aquatic macrophytes with amphibious, submerged, and emergent life forms, primarily from the Fabaceae, Cyperaceae, and Poaceae families. The greater taxonomic richness and endemism observed in the Sobradinho Lagoon suggest better environmental conditions and greater ecological stability. On the other hand, the lower diversity recorded in the Santana pond may be associated with the high salinity of the water and the intensification of human use in its surroundings. Seasonality proved to be the main factor influencing the ecological dynamics of the lagoons, affecting environmental variables, trophic status, and the composition and biomass of the phytoplankton community. The phylum Bacillariophyta comprised 43 taxa, while the class Cyanophyceae made the greatest contribution to biomass. As a science outreach tool, a booklet titled "Is There Something in That Water?" was produced. It uses scientific data to explore the topic of coastal lagoons, addressing their seasonal dynamics, local legends, biodiversity, human activities, conservation strategies, and the relationship between traditional communities and these environments. Thus, this study is significant as a record and analysis of the ecological dynamics of the Portinho, Sobradinho, and Santana lagoons, contributing to knowledge about seasonality, limnology, and biodiversity in the coastal region of Piauí, as well as to the production of educational materials tailored to the regional context.

Keywords: educational booklet; phytoplankton; aquatic macrophytes; NDWI; seasonality.
Sustainable Development Goals: #6 - Clean Water and Sanitation; #14 - Life Below Water.

1 INTRODUÇÃO GERAL

A Zona Costeira brasileira compreende uma faixa que se estende por mais de 8.500 km voltados para o Oceano Atlântico, considerando os recortes litorâneos, como baías e reentrâncias (Abreu; Vasconcelos; Albuquerque, 2017). Por ser uma área com grande variedade de ecossistemas (dunas, costões rochosos, praias, banhados e áreas alagadas, restingas, manguezais, estuários, lagoas, lagunas e marismas), em sua riqueza natural, abriga inúmeras espécies da flora e fauna, muitas das quais são endêmicas e ameaçadas de extinção (Prates; Gonçalves; Rosa, 2010).

Dentre os estados brasileiros, o Piauí é o que possui menor extensão territorial costeira (66 km) e abrange quatro municípios (Cajueiro da Praia, Ilha Grande, Luís Correia e Parnaíba), onde apresentam seis unidades geoambientais com dinâmicas e complexidades diferenciadas como faixas de praias, campos de dunas (móveis, fixas e semifixas, e paleodunas), planícies fluviomarinhas, planícies lacustres e fluviolacustres, planícies fluviais e tabuleiros litorâneos (Abreu; Vasconcelos; Albuquerque, 2017; Silva; Lima, 2020).

Os ecossistemas lênticos costeiros apresentam características resultantes de processos continentais diversos, ligados a eventos tectônicos, climáticos e oceanográficos, como o transporte de sedimentos por correntes marinhas, ação do vento, processo de erosão, amplitude das marés, formação rochosa, foz de rios e variação pluviométrica (Silva; Lima, 2020). São ambientes em sua maioria rasos e considerados potencialmente instáveis, pois as alterações causadas por estressores naturais e antrópicos interferem com maior impacto em sua dinâmica, favorecendo seu desequilíbrio, quando comparados aos lagos profundos (Esteves, 2011). No presente trabalho será utilizado o termo lagoa, por seu caráter regional e ampla aceitação (Esteves, 2011; Sousa, 2019).

O crescente adensamento populacional, associado à implantação de residências e redes de *resorts*, empreendimentos turísticos, de energia eólica, extração de sal, pesca, aquicultura e agropecuária, somado ao aquecimento global e eventos naturais extremos de seca e chuva, causam mudanças significativas, que podem ser observadas na estrutura da paisagem e das comunidades aquáticas (Rocha; Tavares, 2017).

Ações antrópicas em ecossistemas aquáticos vão de encontro aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), da Agenda 2030, especificamente aqueles que estimulam ações para assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento, no tópico 6, e dos oceanos, mares e recursos marinhos, no tópico 14 (ONU, 2015). A gestão construída a partir de informações sobre a dinâmica da qualidade da água e das comunidades aquáticas de

ecossistemas costeiros, permite uma maior eficácia das ações de conservação desenvolvidas por diversos atores, como grupos de cidadãos, Organizações Não Governamentais (ONGs), cientistas e corporações industriais, além de ser subsídio para a implementação das políticas ambientais, como a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) e o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC) (Silva; Gordilho; Braz, 2017).

Para o monitoramento desses ambientes o uso de comunidades produtoras, que fazem parte da base da cadeia trófica, como o fitoplâncton e as macrófitas aquáticas, que reagem às alterações naturais e antrópicas, mudando sua composição, temporal e espacial, trazendo assim informações sobre o estado do ambiente (Jovanović et al., 2017). Além de desempenhar grande importância para as outras comunidades do ecossistema, o fitoplâncton e as macrófitas participam da ciclagem e estocagem de nutrientes, podendo intensificar a eutrofização artificial e/ou ser ferramenta para o controle de poluentes (Pott; Pott, 2000).

A percepção daqueles que se utilizam do ambiente aquático para seu sustento e lazer, envolve sensações, associações e comparações das informações captadas no seu dia a dia (Silva; Costa, 2021). Nessa experiência de reconhecer, selecionar, organizar e interpretar o funcionamento de um ecossistema, o conhecimento gerado é repassado de geração em geração, e pode ser utilizado na educação ambiental, gestão sustentável e implementação de políticas públicas direcionadas, pois reflete o saber e as necessidades reais de uma população (Cavalcante; Andrade, 2022).

Enquanto a Educação Ambiental e a Divulgação Científica, tanto dentro do currículo escolar quanto em ações com a comunidade, permitem que as informações geradas em pesquisas científicas sejam associadas ao conhecimento empírico repassado no contexto familiar, principalmente em áreas no entorno de ambientes aquáticos importantes para o desenvolvimento socioeconômico (Silva; Costa, 2021).

As lagoas do Portinho, no município de Parnaíba, Sobradinho em Luis Correia e a laguna ou lagamar da Santana em Cajueiro da Praia, estão inseridas na área de influencia da bacia hidrográfica do rio Parnaíba, sendo a lagoa do Portinho abastecida principalmente pelo rio Portinho (Mesquita; Lima; Santos Filho, 2018b), Sobradinho pelo período chuvoso (Sena; Silva, 2020) e Santana pelas variações de maré (Sousa, 2019). Apesar de apresentarem em diferentes níveis, proximidade da matriz urbana e perfil costeiro, suas feições paisagísticas apresentam diversificações tipológicas em função de suas condições naturais.

Estudos recentes sobre os ecossistemas lênticos e a planície litorânea do Piauí têm buscado investigar a flora (Santos-Filho *et al.*, 2016), informações socioambientais da população (Rocha; Tavares, 2017), impactos socioambientais (Mesquita; Lima; Santos Filho,

2018), zoneamento geoecológico (Sousa, 2019), monitoramento por sensoriamento remoto (Sena; Silva, 2020), e uso e cobertura do solo (Barbosa; Valladares, 2018). Diferente dos estudos citados, este integra dados de geoprocessamento, limnológicos e de divulgação científica, buscando registrar e analisar a relação de fatores sazonais e abióticos com as comunidades aquáticas, em especial a fitoplanctônica e de macrófitas, e com a construção de material educativo como ferramenta de incentivo à conservação, que ainda se encontra pouco explorada, em termos de conhecimento desses fatores para a região.

Frente a isso, as perguntas a seguir foram elaboradas a fim de nortear o presente trabalho:

a) Os fenômenos climáticos e ações antrópicas, como urbanização e turismo, da região, interferem na variação dos espelhos d'água das lagoas costeiras do Piauí? b) A composição florística de macrófitas aquáticas é influenciada pelas características geomorfológicas e impactos antrópicos nas lagoas? c) As variações espaço-temporais das características limnológicas e dinâmica da comunidade fitoplanctônica refletem os impactos naturais e antrópicos nas lagoas? d) O conhecimento gerado pode ser transformado em ferramentas de divulgação científica voltadas à educação ambiental e à gestão desses ecossistemas?

Como hipóteses tem-se que a) Os fenômenos climáticos e ações antrópicas são os principais agentes na variação dos espelhos d'água das lagoas costeiras do Piauí; b) As características geomorfológicas e impactos antrópicos determinam a composição florística de macrofitas aquáticas nas lagoas; c) Os impactos naturais e antrópicos determinam espacial e temporalmente as variações das características limnológicas e dinâmica da comunidade fitoplanctônica nas lagoas; d) Ferramentas de divulgação científica voltadas à educação ambiental e à gestão desses ecossistemas podem ser geradas com informações e registros sobre as lagoas.

Assim, objetiva-se com este trabalho analisar temporal e espacialmente as características limnológicas de ecossistemas lênticos situados na planície litorânea do estado do Piauí, utilizando as comunidades fitoplanctônica e macrófitas aquáticas, como bioindicadores, para gerar ferramentas de divulgação científica, a fim de auxiliar futuros programas de gestão desses ecossistemas. Os objetivos específicos, que irão nortear os artigos da tese, serão: I) Caracterizar temporal e espacialmente a variação do espelho d'água das lagoas, correspondente ao artigo "Dinâmica espaço-temporal dos espelhos d'água de lagoas costeiras do Piauí", publicado na Revista Geoconexões,; II) Registrar e comparar a composição florística de macrófitas aquáticas das lagoas, no artigo "Levantamento florístico e diversidade de macrófitas aquáticas de lagoas costeiras do Piauí, Brasil", submetido à revista Ecology and Evolution; III)

Avaliar a dinâmica temporal e espacial das variáveis físico-químicas e biológicas da água, para o artigo “Dinâmica temporal e espacial das variáveis ambientais de lagoas costeiras do Piauí-Brasil”, a ser submetido à revista Geonorte; IV) Identificar os principais fatores reguladores da composição e biomassa da comunidade fitoplanctônica das lagoas, no artigo “Diversidade e dinâmica da comunidade fitoplanctônica de lagoas costeiras do Piauí, Brasil”, a ser submetido à revista Austral Ecology; e V) Gerar ferramenta de divulgação científica, no artigo “Tem algo nessa água: a construção de uma cartilha para o ensino básico”, a ser submetido à revista RevBea.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Lagoas costeiras

A Zona Costeira tem por definição clássica um espaço geográfico que abrange a área de interação entre o oceano e a terra, bem como suas relações ambientais, e representa cerca de 20% da superfície terrestre (Belfiore, 2003; Rodríguez; Windevoxhel, 1998). Entretanto, é possível encontrar na literatura definições a partir de características físicas e funcionalidade ecológica (Zollini *et al.*, 2023), assim como de aspectos demográficos e recursos de propriedade pública (Mikhaylova *et al.*, 2022). Áreas litorâneas para oceanos abertos, mares interiores ou ambos ocorrem em 84% dos países, constituindo uma ampla variedade de características geomorfológicas, regimes climáticos e biomas (Martínez *et al.*, 2007).

As variações espaciais e temporais no ambiente costeiro se relacionam com os fatores geológicos, climáticos, biológicos e oceanográficos de cada área (Muehe, 1998), resultando em diferentes tipos de ambientes como planícies fluviais e planícies lamosas de maré (com extensos manguezais), falésias arenosas, campos de dunas, lagoas, estuários e deltas fluvio marinhos, cordões ou barreiras arenosas (com lagunas associadas), até enseadas com presença de costões rochosos, ilhas, atóis e baías (Lins-de-Barros; Batista, 2020). Essa diversidade de feições geomorfológicas localizadas na zona costeira torna imprecisa a definição de seus limites, para marcar até onde os processos terrestres e marinhos influenciam e são influenciados pelo oceano e o continente, o que dificulta o registro e monitoramento da sua dinâmica e, a gestão integrada desses ambientes (Martínez *et al*., 2007).

A maior parte da população mundial vive num raio de 200 km da costa, o que significa que o desenvolvimento costeiro e o planejamento urbano são inevitáveis nestas áreas (Belfiore, 2003; Jones *et al*., 2020). O processo de urbanização da zona costeira eleva a produção alimentícia, industrial e atividade portuária, impactando esses ambientes, fragilizando a dinâmica ambiental, o que pode acelerar a escassez de recursos naturais e o processo de eutrofização, com o um aporte de nutrientes acima da capacidade de autodepuração do ambiente (Belfiore, 2003; Esteves, 2011; Martínez *et al.*, 2007).

A diversidade e complexidade biofísica da zona costeira são vulneráveis às ações antrópicas, que podem prejudicar a eficiência dos serviços ecossistêmicos prestados por esses ambientes, que incluem a redução do impacto tanto de eventos climáticos extremos atuais, quanto as ameaças futuras projetadas pelas mudanças climáticas nas comunidades humanas (Jones *et al*., 2020).

Os impactos humanos nos recursos naturais e a busca do uso sustentável dos ecossistemas aquáticos vêm sendo tema de debates internacionais, dentre elas destaca-se a proposta da comissão mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas (ONU), em 1987, no relatório conhecido como "Nosso Futuro Comum" (Brundtland, 1987).

Na discussão sobre sustentabilidade os padrões de consumo e produção são questionados em busca da criação de tecnologias mais limpas e eficientes, redução na geração de resíduos e adoção de alternativas renováveis de energia (Martínez *et al.*, 2007). Nessa perspectiva a Assembleia Geral da ONU se reuniu para redigir 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) na Agenda 2030, ratificada por 193 países, para orientar ações dos governos, da sociedade civil, da academia, do meio empresarial e da comunidade internacional, visando a promoção do desenvolvimento sustentável, em benefício da sociedade (ONU, 2015).

De forma geral os ODS abordam desafios como fome, educação, saúde, meio ambiente, desigualdade e mudança climática, visando conscientizar e instigar a proteção, conservação e gestão sustentável dos recursos naturais. No Brasil foram acrescentados os ODS 18: Igualdade Racial, ODS 19: Arte, Cultura e Comunicação e ODS 20: Direitos dos Povos Originários e Comunidades Tradicionais, buscando dar visibilidade a grupos populacionais representativos das realidades brasileira e latino-americana (Cabral; Gehre, 2020).

O Brasil possui diversas políticas públicas ambientais, dentre elas o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), constituído pela Lei 7.661, de 16 de maio de 1988, que define a Zona Costeira (ZC) como espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos ambientais (Brasil, 2012). A ZC abrange uma faixa terrestre que se estende até o limite dos 443 municípios litorâneos, e uma faixa marinha, onde até 12 milhas náuticas da linha de costa corresponde ao mar territorial, ilhas costeiras e oceânicas e a plataforma continental, somada à Zona Econômica Exclusiva (ZEE), que se estende até 200 milhas marítimas, conforme a Portaria MMA n.º 34, de 2 de fevereiro de 2021.

Com a Lei 9.985 de 2000 instituiu-se o Sistema Nacional de Unidade de Conservação da Natureza (SNUC), que determina e padroniza conceitos, assim como reconhece doze categorias de unidades de conservação (UCs) para incentivar e garantir tanto a proteção integral quanto o uso sustentável dessas áreas. Foram criadas, até 2024, 231 UCs para a área Bioma Marinho, totalizando 26,51 % de sua área protegida (MMA, 2024). Estas UCs estão distribuídas ao longo do litoral, que possui aproximadamente 8.500 km e se estende da foz do rio Oiapoque, no Amapá, à foz do rio Chuí, no Rio Grande do Sul, para proteger e conservar a grande variedade de feições geomorfológicas encontradas no ecossistema costeiro (Brasil, 2012).

Na planície litorânea do Piauí encontram-se as UCs da Área de Proteção Permanente (APA) Delta do rio Parnaíba, que contempla um sistema contínuo de manguezais, rios, igarapés, lagoas costeiras e lagunas, e da Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) da Lagoa do Portinho, que buscam determinar limites sustentáveis para uso e exploração dos recursos naturais das áreas abrangidas (ICMBIO, 2020). Estas áreas possuem, na transição entre o ambiente terrestre e aquático, comunidades de animais e plantas adaptadas à sua dinâmica hídrica, além de fornecerem serviços ecossistêmicos, como área de alimentação de aves migratórias e de reprodução de espécies em perigo de extinção, como, por exemplo, o peixe-boi marinho, *Trichechus manatus* L., a tartaruga de couro, *Dermochelys coriacea* Vandelli, e o cavalo-marinho, *Hippocampus reidi* Ginsburg (Mai; Rosa, 2009; Putrick; Cury, 2012).

As lagoas costeiras são corpos de água permanentes ou temporários, com tamanho e salinidade em diferentes níveis e isoladas do mar, enquanto as lagunas são influenciadas pelo fluxo e refluxo das marés, e ambas recebem no Brasil a mesma denominação de lagoa, independentemente de sua origem ou localização (Esteves, 2011; Souza; Moreira, 2017). São ambientes mais susceptíveis aos impactos da sazonalidade e urbanização, pois suas águas têm uma permanência longa, quando comparadas aos rios, com uma dinâmica sensível às mudanças provenientes dos processos bióticos e abióticos internos e externos (Vasistha; Ganguly, 2020).

O aporte de matéria orgânica e inorgânica carreado pelas chuvas, a diminuição do volume de água pela evaporação e a consequente concentração dos compostos ali presentes são fatores que interferem na qualidade da água desses ambientes, assim como as ações antrópicas diretas e indiretas (Michalak, 2016). A sazonalidade também é uma importante variável na dinâmica hídrica das lagoas, que se refere ao comportamento climático em um determinado período e que, sob a influência de fenômenos e anomalias atmosféricas, pode sofrer interferências na intensidade dos períodos de chuva (Nascimento *et al*., 2019).

A região Nordeste tem suas condições climáticas regidas por fatores de circulação atmosférica convencionais, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e Anticiclone do Atlântico associado aos ventos alísios, mas incrementados pelas anomalias na condição média histórica da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), como o *El Niño* (aquecimento) e *La Niña* (esfriamento), que são parte de um mesmo fenômeno acoplado (atmosférico-oceânico) que ocorre no oceano Pacífico Equatorial (e na atmosfera adjacente), denominado de *El Niño* Oscilação Sul (ENOS) (Ferreira; Kemenes, 2023). Tais alterações na temperatura do oceano Pacífico Equatorial acarretam efeitos globais nos padrões de circulação atmosférica, transporte de umidade, temperatura e precipitação (INPE, 2025).

Além disso, a emissão de CO_2 e, como consequência, o aumento da temperatura global têm provocado mudanças climáticas, impactando na dinâmica das características pluviométricas, variação dos espelhos d'água e das comunidades pertencentes às lagoas costeiras (Mesquita; Lima; Santos Filho, 2018; Woolway; Sharma; Smol, 2022). O uso inadequado da água e exploração vegetal, unidos à redução dos índices pluviométricos e o avanço do deslocamento de dunas, são interferências que podem acelerar a redução de volume nas lagoas, aumentando seu grau de trofia, apesar dos esforços relacionados às políticas públicas implementadas em áreas de conservação (Vasistha; Ganguly, 2020).

A sensibilidade às alterações no ambiente das lagoas costeiras exige o conhecimento e monitoramento de suas áreas, que podem ser feitos pelo sensoriamento remoto, a partir de imagens de satélite (Costa *et al*., 2022). A evolução tecnológica do processamento dessas imagens em nuvem, acoplada a integração e compatibilidade de manipulação de grandes quantidades de dados usando linguagem de programação, resultam em melhores resultados para análises ambientais (Batina; Krtalić, 2024).

O uso do *Google Earth Engine* (GEE) em conjunto conhecimentos de Programação, que eleva os níveis de análises que anteriormente só eram possíveis com o uso de supercomputadores e sua grande quantidade de armazenamento, e de Índices Espectrais (IE) é bastante difundida no Sensoriamento Remoto, inclusive, na delimitação de cursos e corpos d'água (Gomes; Candeias, 2025; Silva *et al.*, 2024). O pioneiro dos IE para análise de água é o *Normalized Difference Water Index* (NDWI), que consiste em fazer uma diferença normalizada das bandas que mais e menos respondem ao alvo água (McFeeters, 1996). Segundo Xu (2006) não é aconselhável o uso do NDWI em locais densamente urbanizados, por ocorrer confusão entre alvos urbanos e de água. Já Knight, Tindall e Wilson (2009) abordam que esse índice possui falhas em realçar áreas alagadas com pouca profundidade.

Com isso, foi proposta uma modificação no NDWI com acréscimo do infravermelho de ondas curtas (SWIR, sigla do inglês *Short-Wave InfraRed*) por Xu (2006), já que o NDWI se utiliza do infravermelho próximo (NIR, sigla do inglês *Near-InfraRed*).

Esse tipo de estudo tem sido direcionado mais a lagoas urbanas (Pizani *et al.*, 2022), reservatórios de abastecimento público (Morais, 2023) e outros tipos de ambientes aquáticos (Pereira *et al.*, 2020). Em lagoas costeiras tem-se estudos principalmente na região dos lagos no Rio de Janeiro (Costa *et al.*, 2022), do Rio Grande do Sul (Schuster; Fan; Collischonn, 2020) e planície costeira amazônica (Souza *et al.*, 2020). No Nordeste os reservatórios de abastecimento público são monitorados, principalmente pela dificuldade de acesso a água em períodos longos de seca (Silva; Calou; Silva, 2023).

No Piauí, estudos sobre a dinâmica de lagoas costeiras, ainda escassos e necessários para o conhecimento, registro e divulgação dos recursos naturais da região, estando representados por Mesquita, Lima e Santos Filho (2018) ao estudarem a Lagoa do Portinho para compreender os motivos de sua seca quase total ocorrida entre 2014 e 2015; Andrade, Gomes e Cruz (2019) ao analisar o uso e ocupação da Lagoa do Portinho, em Parnaíba, Piauí; Sina e Sena (2020) ao registrar a dinâmica da superfície de água da Lagoa do Sobradinho, em Luis Correia, e Sousa (2019) que delimita o zoneamento geoecológico do complexo fluviomarinho dos rios Cardoso/Camurupim e porção costeira adjacente, trazendo características sobre a lagoa do Santana e outros ambientes aquáticos da região.

Assim, observa-se a necessidade de estudos sobre o comportamento desses ambientes em relação às variações sazonais e antrópicas em suas características físicas e químicas, e suas consequências na qualidade da água e na dinâmica das comunidades biológicas, como subsídio para criação e implementação de políticas públicas para o monitoramento e gestão das lagoas costeiras do Piauí.

2.2 Macrófitas aquáticas

Plantas aquáticas são organismos que apresentam adaptação que lhes permitem sobreviver em ambientes aquáticos e palustres, exibindo elevada plasticidade morfológica e fisiológica, o que possibilita sua sobrevivência também durante períodos secos em áreas úmidas, ambientes caracterizados por flutuações no nível da água (Pivari; Melo; Moura-Júnior, 2024). A maioria das plantas aquáticas deriva de ancestrais terrestres, os quais, por sua vez, evoluíram a partir de algas; além disso, algumas linhagens de plantas aquáticas readaptaram-se posteriormente ao ambiente terrestre (Chambers; Maberly, 2024).

Dentre essas plantas aquáticas, destacam-se as macrófitas, frequentemente descritas na literatura apenas como plantas herbáceas, ainda que no mesmo ambiente possam ocorrer também espécies lenhosas, as quais competem por luz com as herbáceas e cuja ausência, em determinados locais, pode estar relacionada à limitação hídrica durante a fase terrestre em seu ciclo de vida (Pivari; Melo; Moura-Júnior, 2024; Pott; Pott, 2000).

O termo macrófitas aquáticas deriva do grego *makrós* (grande) e *phyton* (planta) e refere-se a um conjunto de plantas de porte visível que se desenvolvem em ambientes aquáticos ou sujeitos à inundação, correndo em uma ampla variedade de ecossistemas, incluindo rios, lagos, lagoas, brejos, áreas periodicamente alagadas e reservatórios artificiais, podendo habitar águas doces, salobras ou marinhas (Cook, 1990; Scremin-Dias *et al.*, 1999; Xavier *et al.*, 2021).

De modo geral, apresentam estruturas fotossintéticas total ou parcialmente imersas na água durante a maior parte do ciclo anual, o que as distingue de outras formas de vegetação aquática microscópica, além de serem facilmente observáveis a olho nu (Cook, 1990).

Dessa forma, essas plantas desempenham papéis fundamentais na manutenção e no equilíbrio dos ecossistemas aquáticos, aumentando a complexidade ambiental, fornecendo alimento e habitat para peixes, zooplâncton e outros invertebrados aquáticos, além de participarem ativamente da ciclagem de nutrientes (Veloso *et al.*, 2025).

Além disso, auxiliam em diversos serviços ecossistêmicos, como a retenção de nutrientes dissolvidos no sedimento e na coluna d'água, reduzindo o aporte ao ambiente aquático, auxiliando a desacelerar o processo de eutrofização e inibindo, assim, o crescimento do fitoplâncton; além disso, favorecem o aumento da infiltração de água para o lençol freático, contribuindo para o reabastecimento das águas subterrâneas (Silva, 2019).

Outras consequências da presença de macrófitas aquáticas incluem a supressão da ressuspensão de sedimentos, resultando em uma elevada transparência da água, bem como o suporte à alimentação humana, seja por meio de fornecimento de habitat para peixes, aves aquáticas, crustáceos, moluscos e mamíferos, seja pela proteção das infraestruturas marginais contra danos decorrentes dos processos de erosão (Janssen *et al.*, 2021).

Em lagoas rasas, o estado de águas claras, associado a baixas concentrações de nutrientes, ocorre quando há presença de extensos agrupamentos adensados (bancos) de macrófitas, os quais mantém esse estado até que alguma perturbação, geralmente associada à sazonalidade, que desestabiliza o ambiente, causando o declínio populacional de macrófitas, promovendo a transição para um estado de águas túrbidas, dominado por algas e/ou cianobactérias (Silva; Marques; Lolis, 2012).

Em bancos monoespecíficos, as macrófitas presentes são da mesma espécie, enquanto em bancos mistos ocorrem diferentes espécies, que podem apresentar distintas formas de vida e ocupar posições ao longo da margem, de acordo com as características do ambiente e suas estratégias de sobrevivência (Thomaz; Esteves, 2011).

As formas de vida, ou formas biológicas, refletem a estruturação física dos nichos aquáticos em áreas úmidas e, portanto, constituem um importante caráter descritivo das estratégias de crescimento e estabelecimento das macrófitas, as quais são reguladas pelas características químicas e físicas da água e do solo (Pivari *et al.*, 2018). Os conceitos dessa classificação derivam da ecologia vegetal geral, a partir da adaptação para plantas aquáticas, por autores como Sculthorpe (1967) e Cook (1990), com a divisão em plantas anfíbias, emergentes, flutuantes e submersas.

Em estudos focados na diversidade de ambientes tropicais, dentro da limnologia, destacam-se Irgang, Pedralli, Waechter, 1984, Thomaz e Esteves (2011), Pott e Pott (2000), consolidando em Anfíbia: plantas presente na margem das lagoas e geralmente toleram os períodos de seca; Emergente: plantas fixas no substrato, onde suas partes vegetativas e reprodutivas sobressaem parcialmente à lâmina d'água; Epífitas: plantas que se desenvolvem sobre outras plantas; Flutuante Fixa: planta que possui todas ou algumas partes flutuantes na superfície, mas permanece submersa ao substrato; Flutuante Livre: planta flutuante que não está fixada ao substrato; Submersa Fixa: planta submersa que possui raízes fixadas ao substrato e Submersa Livre: planta submersa que não está fixada ao substrato.

A ampliação da classificação tradicional a partir da consideração de que as formas de vida são estratégias que revelam o dinamismo do ambiente e podem incluir a plasticidade fenotípica de uma espécie, podendo ser classificada em mais de uma categoria e mudar conforme a variação hidrológica do ambiente é abordada por autores como Moura Júnior *et al.* (2015); Moura-Júnior; Cotarelli (2019); Pivari; Melo; Moura-Júnior (2024).

Os conceitos empregados incluem organismos pertencentes a distintos ramos evolutivos, contemplando briófitas, como musgos, hepáticas e antóceros, além de pteridófitas e espermatófitas (Bornette; Puijalon, 2011; Lesiv; Polishchuk; Antonyak, 2020). As angiospermas aquáticas correspondem a aproximadamente 1,5% do conjunto total das espermatófitas e, entre as plantas com flores adaptadas a ambientes aquáticos, observa-se maior diversidade taxonômica no grupo das monocotiledôneas (Bornette; Puijalon, 2011; Grace, 1993; Sculthorpe, 1967). De acordo com Meseguer (2022), esse padrão pode refletir a presença de um sinal filogenético; entretanto, as evidências disponíveis ainda não permitem conclusões definitivas sobre os mecanismos evolutivos envolvidos.

No que diz respeito à sua dispersão, espécies anfíbias e emergentes são predominantemente dispersas através do vento (anemocoria), apresentam maior tolerância às variações das condições ambientais e atuam como boas colonizadoras, o que diverge nas espécies flutuantes ou submersas, já que estas tendem a ser mais sensíveis às mudanças na qualidade da água e dependem de outros vetores de dispersão (Veloso *et al.*, 2025).

Em lagoas costeiras, a influência dos ventos e a variação da profundidade favorecem o crescimento de macrófitas anfíbias e emergentes nas margens, como espécies das famílias Cyperaceae e Poaceae, em comparação com as zonas mais centrais e profundas (Moura-Júnior; Cotarelli, 2019). Em função da variação do nível da água, especialmente durante o período seco, as macrófitas localizadas mais próximas da zona litorânea das lagoas acompanham o recuo

d’água e tornam-se suscetíveis ao pisoteamento, em decorrência da pressão turística e de atividades agropecuárias (Matias; Amado; Nunes, 2003).

No Brasil, embora os estudos sobre macrófitas aquáticas tenham avançado nas últimas décadas, grande parte do conhecimento ainda se concentra nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil (Pott; Pott, 2000; Cunha *et al*., 2012). Por sua vez, a região Centro-Oeste destaca-se pela maior riqueza de táxons registrados, com 1.393 espécies, 520 gêneros e 132 famílias, enquanto a região Nordeste apresenta os menores valores, com 662 espécies, 337 gêneros e 92 famílias (Pivari; Melo; Moura-Júnior, 2024).

A região Nordeste, especialmente no que se refere a ambientes aquáticos costeiros, ainda carece de levantamentos florísticos sistemáticos, o que dificulta a compreensão da composição e dinâmica dessas comunidades vegetais (Moura-Júnior; Cotarelli, 2019). Essas lacunas tornam-se ainda mais evidentes nas áreas litorâneas do estado do Piauí, cuja planície costeira abriga uma complexa rede de corpos d’água, influenciado por padrões sazonais de precipitação e pela dinâmica das marés (Barbosa *et al*., 2012).

Dentre os principais estudos registrados para o litoral do Piauí sobre macrófitas aquáticas, destaca-se a flora da família Pontederiaceae (Nascimento *et al.*, 2013), realizado no Delta do rio Parnaíba (Andrade *et al.*, 2014) e em ambientes aquáticos da cidade de Picos (Sousa *et al.*, 2021). Nesse contexto, o presente trabalho contribui com um levantamento das macrófitas para as lagoas costeiras da região, apresentando caráter pioneiro e ampliando o conhecimento florístico sobre esses ecossistemas.

2.3 Comunidade fitoplanctônica

Lagoas costeiras são ambientes que respondem rapidamente às alterações climáticas e aos fatores de estresses naturais e antropogênicos, o que é refletido em sua ampla gama de variáveis físicas, químicas e biológicas que, ao sofrerem a influência cumulativa da evaporação, do uso da água para agropecuária e aquicultura, urbanização, entre outros, podem acelerar o processo de eutrofização e inviabilizar seus múltiplos usos (Woolway; Sharma; Smol, 2022).

As comunidades ecológicas destes ambientes aquáticos estão também sujeitas a perturbações externas e, para evitar a perda da biodiversidade e de serviços ecossistêmicos, é crucial compreender não só a resposta de toda a comunidade, mas também de suas espécies constituintes, a fim de detectar quais são sensíveis e bioindicadoras, com potencial para serem usadas como subsídio para melhorar estratégias de gestão e conservação (Medeiros *et al*., 2023).

A comunidade fitoplanctônica pode ser utilizada como bioindicador da qualidade de um ambiente aquático, pois é a base da cadeia trófica, desempenhando papel fundamental nos ciclos biogeoquímicos e no funcionamento dos ecossistemas lacustres, consumindo com eficiência os nutrientes e os elementos disponíveis fundamentais para a produção primária e transferência de energia (Gao; Hu, 2023; Ligorini *et al*., 2023).

A influência dos fatores ambientais sobre a fisiologia, crescimento e biomassa dos organismos do fitoplâncton, apoiam serviços ecossistemicos que sustentam níveis tróficos mais elevados nas cadeias alimentares aquáticas, tais como o zooplâncton e peixes planctívoros (Janssen *et al*., 2021).

Em geral, espécies fitoplanctônicas das classes Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Chrysophyceae, Cyanophyceae, Dinophyceae Euglenophyceae, Xanthophyceae e Zygnemaphyceae habitam ecossistemas lênticos (Esteves, 2011). Possuem uma ampla diversidade morfológica, podendo ser coloniais, unicelulares ou filamentosas, como também podem apresentar adaptações fisiológicas, como células especializadas com características adaptáveis, influenciadas pelos fatores ambientais (Reynolds, 2006).

Sua distribuição é afetada por agentes de dispersão, como microcorrentes e predação, que contribuem para a dinâmica da estrutura e diversidade, junto às condições ambientais locais, que filtram as espécies que melhor se adaptam, influenciando na composição da comunidade (Feki-Sahnoun *et al*., 2018). Sendo amplamente distribuído em diversos tipos de ambientes, o fitoplâncton apresenta estratégias adaptativas de sobrevivência, uma vez que reage diretamente às alterações naturais e antrópicas, fatores climáticos, físicos, químicos e geográficos dos ecossistemas aquáticos (Jovanović *et al*., 2017). O fitoplâncton também participa da ciclagem e estocagem de nutrientes, podendo intensificar a eutrofização, seja natural ou artificial (Esteves, 2011). Sua ampla variedade de espécies podem se adaptar à intensidade luminosa, concentração de nutrientes na água, pressão osmótica do meio e temperatura (Tundisi; Tundisi, 2008).

O regime sazonal de uma região pode interferir nas características do meio aquático, ocasionando diluição de componentes e/ou carreamento, pelo aporte de água da chuva, e no período seco pode ocorrer a intensificação do processo perda de volume e área de espelho d'água por evaporação, concentrando nutrientes e modificando seu estado trófico (Esteves, 2011; Ligorini *et al*., 2023).

O aporte de efluentes ricos em compostos orgânicos promove uma série de alterações no ambiente (Fermino; Santos, 2019), podendo favorecer a dominância ou até mesmo florações de diversos grupos da comunidade fitoplanctônica (Fonseca *et al.*, 2020). Os principais

compostos são nitrogênio e fósforo, uma vez que estes elementos colaboram para formação de diferentes componentes celulares como as proteínas, ácidos nucléicos, membrana plasmática, dentre outros (Tundisi; Tundisi, 2016).

Além da composição específica da comunidade fitoplanctônica, a sua biomassa e taxa de produtividade têm sido empregada como indicadores biológicos (Al-Mur, 2021; Lima; Roque; Oliveira, 2024; Martins *et al.*, 2024; Melese; Debella, 2024; Tarafdar *et al.*, 2021). Esses indicadores passaram a ser mais utilizados na medida em que as técnicas de avaliação se tornaram mais precisas, por exemplo: como a qualidade da água pode ser avaliada por meio da composição taxonômica utilizando espécies indicadoras (Fonseca *et al.*, 2020).

A estrutura física, disponibilidade de luz e a concentração de nutrientes influenciam direta ou indiretamente o fitoplâncton, sendo dois principais recursos (luz e nutrientes) relacionados com a capacidade fotossintética, havendo uma ligação entre o aumento da produção da biomassa fitoplanctônica e a quantidade de luz e nutrientes, refletindo num aumento dos teores de clorofila a e consequente elevação no nível trófico (Kochem; Crossetti; Barros, 2025) (Litchman; Klausmeier, 2008).

Dependendo das condições ambientais o grupo Cyanophyta, também chamado de cianobactérias, é favorecido pelo aporte alóctone ou autóctone de nutrientes (Reynolds, 1988; Lins, 2011; Gomes *et al*., 2017). Esse grupo é conhecido devido a sua alta capacidade adaptativa, minimizando a predação, regulando a flutuabilidade, por meio de aerótopos, fixando o nitrogênio atmosférico em heterocistos, e tolerando gradientes de temperatura e salinidade (Bicudo; Menezes, 2017; Esteves, 2011).

As cianobactérias destacam-se também por serem produtoras de toxinas (Molica; Azevedo, 2009). Cerca de 40 gêneros, dentre os 150 descritos de cianobactérias, estão relacionadas a produção de cianotoxinas, como: *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek, *Cylindrospermopsis raciborskii* (Wołoszyńska) Seenayya & Subba Raju, *Pseudanabaena limnetica* (Lemmermann) Komárek, e *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing (Lins, 2011; Lima; Roque; Oliveira, 2024; Metcalf; Codd, 2020).

A presença das cianotoxinas quando ingeridas através da água ou do consumo do pescado, pode causar impactos na saúde humana, provocando distúrbios hepáticos, neurológicos, gastrointestinais e dermatológicos (Metcalf; Codd, 2020). Dentre os casos extremos de intoxicação, Azevedo *et al.* (2002) descrevem o caso do reservatório de Caruaru, Pernambuco, no Nordeste do Brasil, em que pacientes renais crônicos apresentaram intoxicação por microcistina em um centro de hemodiálise e vieram a óbito devido a falências de suas funções hepáticas. Em animais selvagens as toxinas produzidas por cianobactérias podem levar

a morte ou serem bioacumuladas nos diferentes níveis tróficos, em poucos minutos ou horas (Minillo *et al*., 2016).

Além das cianobactérias, outros grupos são potencialmente produtores de toxinas, como as diatomáceas (Bacillariophyta) e os dinoflagelados (Dinophyta). De maneira geral, as diatomáceas são algas unicelulares capazes de formar cadeias ou colônias, podendo ser encontradas livres ou fixas a substratos (Round; Crawford; Mann, 1990). São cosmopolitas, com ampla distribuição e abundância nos ecossistemas aquáticos, possuindo curto ciclo de vida e tolerantes a altas disposições de nutrientes e turbulências (Bicudo; Menezes, 2017).

Sua facilidade adaptativa está relacionada às frústulas, formadas por uma parede celular rica em sílica, que contribui para o aumento da densidade e diversidade desses organismos em ambientes aquáticos (Round; Crawford; Mann, 1990). As frústulas apresentam uma grande variedade de formas e padrões, as quais possibilitam a identificação taxonômica das espécies ou níveis superiores (Round; Crawford; Mann, 1990; Bathurst; Zori; Byock, 2010). As diatomáceas atualmente são classificadas pela morfologia em dois grandes grupos: cêntricas, cêntricas polares e penadas (Medlin; Kaczmarska, 2004). Em ambientes costeiros tropicais as diatomáceas, em termos de composição e abundância de espécies, são registradas como o grupo mais representativo, além disso, algumas espécies apresentam toxicidade (Haraguchi *et al*., 2015).

Já os dinoflagelados podem ser ou não fotossintetizantes e apresentam características morfológicas bastante distintas, relacionadas à parede celular, ao cisto, ao núcleo e aos flagelos (Saldarriaga; Taylor, 2017). Esses organismos são encontrados na maioria dos ambientes aquáticos, tanto de água doce quanto marinhos, bem como em habitats intrazoicos, no interior de organismos vivos (Esteves, 2011). Eles são causas frequentes de “marés vermelhas” que podem matar peixes e/ou moluscos, seja pela produção de toxinas ou por efeitos não tóxicos decorrentes da elevada concentração de células na água, como obstrução das brânquias dos animais, depleção de oxigênio e outros (Saldarriaga; Taylor, 2017).

Por outro lado, as clorofíceas reúnem um grupo de algas verdes que não apresentam toxicidade, mas atuam como bioindicadoras de qualidade ambiental, por sua resposta rápida às variações do ambiente. Por serem o grupo mais diversos de microalgas são consideradas cosmopolitas, uma vez que a ação do vento é um fator fundamental para dispersão das espécies (Esteves, 2011). Além disso possuem grandes estratégias competitivas devido ao seu pequeno tamanho, diferentes formas, uma rápida reprodução e alta taxa fotossintética (Reynolds, 2006).

Estas microalgas são comumente reportadas em ambientes em todos os níveis de trofia, sendo bastante influenciados pelos fatores abióticos principalmente pela luz e temperatura

(Reynolds, 2006). Devido sua alta sensibilidade às variações e ao aumento da carga de nutrientes nos ambientes aquáticos, sua dinâmica vai de encontro ao perfil do ambiente (Costa; Schults; Nascimento, 2019), podendo fornecer informações eficientes para estudos de padrões ecológicos desses ecossistemas (Litchman; Klausmeier, 2008).

Os estudos sobre o fitoplâncton no Brasil estão relacionados diretamente a caracteres taxonômicos e levantamento florísticos (Baião *et al.*, 2022; Pereira *et al.*, 2024), e aspectos ecológicos e aplicações de abordagens funcionais (Alves-de-Souza; Menezes; Huszar, 2006). Estudos em lagoas costeiras sobre a comunidade fitoplanctônica são importantes para compreender o funcionamento desses ambientes e suas interações ecológicas (D'Alelio *et al.*, 2022; Ligorini *et al.*, 2023), e, em sua maioria, estão concentrados nas regiões Sudeste e Sul do Brasil (Santos; Fermino, 2019). Este trabalho vem contribuir para o registro e conhecimento ao analisar a comunidade fitoplanctônica em lagoas costeiras sendo considerado pioneiro para o estado do Piauí.

Medidas de gestão baseadas em informações sobre o ambiente em foco, podem ajudar a prever e planejar intervenções no processo de eutrofização lacustre. O conhecimento sobre padrões de riqueza e composição de espécies é de fundamental importância para a formulação de hipóteses sobre como as interferências internas e externas influenciam na vantagem competitiva de um produtor primário sobre outro, mudando a dominância de um grupo diferente de produtores primários no corpo aquático (Janssen *et al*., 2021). Os fatores controladores dessas variações e suas consequências para o ecossistema são a base para proposição de estratégias de monitoramento e conservação da biodiversidade (Moura; Cotarelli, 2019).

2.4 Educação ambiental e cartilha educativa

A dinâmica natural de ambientes costeiros sofre a influência social, com o desenvolvimento de atividades humanas tradicionais, como a pesca e o extrativismo, e de expansão urbana, que acarreta no uso dos recursos naturais na agropecuária, pesca e aquicultura, abastecimento público e turismo (Cruz-Ramírez *et al.*, 2024). Essas interferências, quando ocorrem sem planejamento ou sem atender às políticas públicas ambientais, levam ao desmatamento, uso inadequado do solo, lançamento de efluentes domésticos, agrícolas e industriais, pesca predatória, entre outros, gerando conflitos socioambientais, devido os diferentes níveis e formas de entendimento da necessidade de conservação (Eiras; Crispim, 2018).

A ocupação e uso desordenado dessas áreas podem descaracterizar a paisagem e acelerar o processo de eutrofização do ambiente, assim o ser humano, que é dependente desses recursos, se torna o agente poluidor, prejudicando sua própria vivência (Ferreira *et al.*, 2021). A fim de minimizar os impactos e implementar as políticas públicas internacionais e nacionais definidas para a proteção e/ou conservação dos recursos aquáticos, o nível de percepção de valor do ambiente daqueles que o utilizam é base para a aplicação de ferramentas para sensibilização e motivação social, a fim de alcançar uma participação mais efetiva de diferentes atores na gestão de problemas ambientais (Santos *et al.*, 2022).

O monitoramento dos impactos ecológicos, a divulgação de dados e sensibilização da comunidade residente na região, com relação às ações antrópicas e ao uso dos recursos naturais, é parte fundamental para a eficácia de ações de conservação (Silva; Gordilho; Braz, 2017). A relação humana com esses ambientes é complexa, com ações simbólicas, religiosas, culturais, emocionais, místicas e de respeito, porém a necessidade econômica faz com que o olhar sobre os recursos naturais seja modificado (Souza *et al.*, 2021). Para a identificação do problema e das possíveis soluções, a compreensão de como a comunidade se relaciona afetiva, cognitiva e eticamente com o meio ambiente, demonstra quais ações rotineiras levam à degradação ou conservação (Silva; Costa, 2021).

O desafio da coletividade nas ações de cidadania está na aplicação de práticas que estejam próximas da realidade social dos indivíduos, pois a falta de conhecimento da sociedade sobre a formulação das políticas ambientais interfere na exigência dos seus direitos e execução de seus deveres, frente a aparente disponibilidade infinita de recursos naturais (Eiras; Crispim, 2018).

O entendimento de quais são os direitos e deveres de uma pessoa em relação ao meio ambiente é construído culturalmente e dentro do contexto escolar, pois a temática ambiental é fundamental e permeia os diversos espaços e modalidades do processo educativo, sejam formal, não-formal ou informal (Cézar; Santos, 2017).

Na reflexão sobre os conceitos e questões que diferenciam a educação, Gohn (2006) define a educação formal ocorre no espaço escolar, ministrada por professores; a não formal ocorre em espaços educativos fora da escola, e é intencionalmente aplicada, direcionada por agentes educadores e na informal o local é demarcado por referências de nacionalidade, localidade, idade, sexo, religião e etnia, entre outros aspectos, e repassados pela família, amigos, vizinhos, meios de comunicação em massa, e outras formas de divulgação.

Sob a ótica da Educação Ambiental (EA), sendo caracterizada segundo a lei N° 9.795, de 27 de abril de 1999, como um componente essencial e permanente da educação nacional,

devendo estar presente, de forma articulada, em todos os níveis e modalidades de ensino (Brasil, 1999). A EA assume um papel fundamental na formação dos sujeitos, ao incentivar valores e práticas sustentáveis voltadas a conservação do meio ambiente como temas transversais em todas modalidades de ensino.

As Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Básica, em todas as suas etapas e modalidades, devem reconhecer a relevância e a obrigatoriedade da Educação Ambiental, conforme a Resolução nº 2 do Conselho Nacional de Educação CNE/CP de 15 de junho de 2012. Entretando, Oliveira e Neiman (2020) afirmam que o documento BNCC carece de estratégias e tópicos norteadores voltados a educação ambiental. No Piauí, a EA torna-se obrigatória nas diversas modalidades de ensino e deve ser desenvolvida permanentemente no currículo escolar das instituições estaduais, segundo a Lei Estadual nº 8.100, de 14 de julho de 2023.

Com isso, a inserção EA em diversas modalidades de ensino exige a adaptação de temáticas que permeiam diversos aspectos da relação ser humano *versus* meio ambiente, em uma linguagem popular, divertida e interdisciplinar (Hansen, 2018), com elementos visuais estratégicos para que possam ludicamente comunicar o conteúdo (Silveira; Silva; Lorenzetti, 2021). Para o alcance em variadas camadas sociais e intelectuais da população, a construção de materiais didáticos incorporando elementos culturais às práticas de preservação e conservação ambiental, deve trazer o assunto abordado um embasamento teórico de linguagem simples e acessível aos diversos sujeitos (Alves; Gutjahr; Pontes, 2019).

No Brasil a temática “água” geralmente é centrada na exposição do conteúdo dentro da sala de aula por meio de aulas tradicionais, podendo se tornar demasiadamente complexa, acadêmica e distante das condições sociais, econômicas e ambientais que constituem a rotina do público-alvo (Lanes; de Andrade; Miranda, 2022). O uso de atividades teóricas, voltadas aos conteúdos obrigatórios, restringe as possibilidades de uma construção significativa da aprendizagem, principalmente quando se utiliza linguagem pouco atraente e a falta abordagem prática, que estimule a criatividade, com base em conceitos fundamentais, básicos e necessários (Hansen, 2018).

A produção de conhecimento e divulgação da dinâmica dos ecossistemas costeiros, em especial no que concerne a dinâmica comunidade fitoplanctônica e de macrófitas, tem um importante papel na realização de ações de conservação e do planejamento da exploração dos recursos naturais, minimizando os impactos antrópicos e possíveis conflitos sociais (Silva, 2019). Além disso, muitos termos populares para definir esses ambientes refletem suas

características, diferenças físico-químicas, geomorfológicas e biológicas, seja com base científica ou em vivências das populações próximas.

Santos *et al*. (2022) destacam que há carência de pesquisas sobre a temática em Unidades de Conservação e áreas rurais. Práticas pedagógicas com etapas de idealização, construção e aplicação se destacam como ferramenta ativa nos processos de educação e ensino e aprendizagem (Silva; Costa, 2021). Outra forma também é a utilização de materiais paradidáticos que, segundo Souza, Jesus e Santos (2021), contribui de maneira lúdica no processo de ensino e aprendizagem sobre a interdisciplinaridade no ensino do meio ambiente.

Ferramentas dessa natureza podem possibilitar aos usuários o desenvolvimento do raciocínio, e estimular o pensamento lógico, crítico e estratégico (Hansen, 2018). A ludicidade pode ser explorada por meio de jogos didáticos e materiais paradidáticos, facilitando o processo de ensino-aprendizagem, tanto em ambientes formais quanto não formais de ensino (Lovato; Michelotti; da Silva Loreto, 2018) .

Nesse contexto, por ser uma publicação não periódica que contém informações de caráter pedagógico, com noções e informações elementares, além de práticas sobre determinado tema (Embrapa, 2023), as cartilhas educativas destacam-se como um importante material paradidático, pois podem ser elaboradas a partir de uma realidade previamente estudada, articulando elementos verbais e não verbais, como imagens e esquemas, de modo a facilitar a socialização e a compreensão de informações que precisam ser compartilhadas (Souza; Jesus; Santos, 2021).

REFERÊNCIAS

ABREU, F. L.; VASCONCELOS, F. P.; ALBUQUERQUE, M. F. C. A Diversidade no Uso e Ocupação da Zona Costeira do Brasil: A Sustentabilidade como Necessidade. **Conexões - Ciência e Tecnologia**, [*s. l.*], v. 11, n. 5, p. 8–16, 2017. Disponível em: http://conexoes.ifce.edu.br/index.php/conexoes/article/view/1277. Acesso em: 8 set. 2025.

AL-MUR, B. A. Environmental Assessment Using Phytoplankton Diversity, Nutrients, Chlorophyll-a, and Trophic Status Along Southern Coast of Jeddah, **Red Sea**. [*s. l.*], 2021. Disponível em: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/. Acesso em: 5 abr. 2025.

ALVES, R. J. M.; GUTJAHR, A. L. N.; PONTES, A. N. Processo metodológico de elaboração de uma cartilha educativa socioambiental e suas possíveis aplicações na sociedade. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, [*s. l.*], vol. 14, n· 2, p. 69–85, 2019. Disponível em: https://periodicos.unifesp.br/index.php/revbea/article/view/2595. Acesso em: 22 jul. 2025.

ANDRADE, I. M. de *et al.* **Guia de campo macrófitas do Delta do Parnaíba**. Parnaíba: EDUFPI, 2014.

AZEVEDO, S. M. F. O. *et al*, Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruaru—Brazil, **Toxicology**, v. 181-182, p. 441–446, 2002.

BARBOSA, W.; VALLADARES, G. S. Mapeamento Geomorfológico do Município de Cajueiro da Praia, Costa Litorânea do Estado do Piauí. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [*s. l.*], v. 11, n. 4, p. 1585–1592, 2018. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/234381/pdf. Acesso em: 10 jul. 2025.

BATINA, A.; KRTALIĆ, A. **Integrating Remote Sensing Methods for Monitoring Lake Water Quality: A Comprehensive Review**. [*S. l.*]: Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 2024. Disponível em: https://www.mdpi.com/2306-5338/11/7/92. Acesso em: 30 out. 2025.

BELFIORE, S. The growth of integrated coastal management and the role of indicators in integrated coastal management: introduction to the special issue. **Ocean & Coastal Management**, [*s. l.*], v. 46, n. 3–4, p. 225–234, 2003. Disponível em: Acesso em: 5 dez. 2025.

BICUDO, C. E. de M.; MENEZES, M. **Gêneros de Algas de Águas Continentais no Brasil – Terceira Edição – RiMa Editora**. [*S. l.*]: RIMA, 2017.

BORNETTE, G.; PUIJALON, S. Macrophytes: Ecology of Aquatic Plants. *In*: **Encyclopedia of Life Sciences (ELS)**. Chichester: John Wiley & Sons, 2011.

BRASIL. **Lei da Educação Ambiental**. Presidência da República. Casa Civil. Disponível em:< http://www. planalto. gov. br/ccivil_03/leis L: 9795, Lei n. º 9.795, de 27 de abril de 1999, 1999.

BRASIL. Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro. **Ministério do Meio Ambiente**: Brasil, n. Lei 7.661, de 16 de maio de 1988, 2012. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/apoio-a-projetos/programa-nacional-do-meio-ambiente/base-legal/plano-nacional-de-gerenciamento-costeiro.html. Acesso em: 15 nov. 2024.

CABRAL, R.; GEHRE, T. **Guia Agenda 2030: integrando ODS, Educação e Sociedade**. São Paulo: [*s. n.*], 2020. Disponível em: https://www.guiaagenda2030.org/_files/ugd/9d6116_6a17e1773a19464684cab3197d92d349.pdf. Acesso em: 15 nov. 2024.

CARVALHO, M. **Semar lança projeto de educação ambiental para preservação da Lagoa do Portinho**. [*S. l.*], 2019. Disponível em: https://antigo.pi.gov.br/noticias/semar-lanca-projeto-de-educacao-ambiental-para-preservacao-da-lagoa-do-portinho/. Acesso em: 19 nov. 2024.

CAVALCANTE, G.; ANDRADE, L. Eichornia crassipes (baronesa): percepção dos moradores do entorno da área de proteção ambiental açude de apipucos (Recife, Pernambuco, Brasil). *In*: CASTRO, A. C.; CARVALHO, A. C.; CARVALHO, A. V. de (org.). **Meio ambiente e a outra economia dos povos e comunidades tradicionais**. 1. ed. [*S. l.: s. n.*], 2022. v. 1, p. 184–201. Disponível em: 10.37885/978-65-5360-096-6. Acesso em: 19 nov. 2024.

CHAMBERS, P. A.; MABERLY, S. C. Freshwater Plants. *In*: WETZEL'S LIMNOLOGY. [*S. l.*]: Elsevier, 2024. p. 759–816.

COOK, C. D. K. **Aquatic plant book**. Amsterdam: SPB Academic Publishing, 1990. 645 p.

COPERTINO, M. S. *et al.* Seagrass and Submerged Aquatic Vegetation (VAS) Habitats off the Coast of Brazil: state of knowledge, conservation and main threats. **Brazilian Journal of Oceanography**, [*s. l.*], v. 64, n. Special Issue 2, p. 53–80, 2016. Disponível em: https://www.scielo.br/j/bjoce/a/QzTy3pqBSSm3pqYC5wGsKkq/?lang=en&format=html. Acesso em: 21 nov. 2025.

COSTA, E. de C. P. *et al.* Mapeamento multitemporal e cadastral das salinas da Lagoa de Araruama - RJ. **GEOgraphia**, [*s. l.*], v. 24, n. 53, p. 2022, 2022. Disponível em: https://periodicos.uff.br/geographia/article/view/42595. Acesso em: 2 mar. 2026.

CRUZ-RAMÍREZ, C. J. *et al.* Coastal Management: A Review of Key Elements for Vulnerability Assessment. **Journal of Marine Science and Engineering**, [*s. l.*], vol. 12, nº 3, p. 386, 2024. Disponível em: https://www.mdpi.com/2077-1312/12/3/386. Acesso em: 2 mar. 2026.

CUNHA, N. L. *et al*. Structure of aquatic vegetation of a large lake, western border of the Brazilian Pantanal. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, p. 519-531, 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/j/abb/a/7xS8m6XKjGQSSJm7bVq7t5S/?lang=pt. Acesso em: 2 fev. 2026.

EIRAS, R. C. de F.; CRISPIM, M. C. Melhoria da conscientização ambiental como contribuição para a gestão ambiental em Santa Rita, Paraíba. **Educação Ambiental em Ação**,

[*s. l.*], vol. XVI, n. 62, 2018. Disponível em: http://revistaea.org/logo_fb.png. Acesso em: 2 mar. 2026.

Embrapa. **Manual de produção editorial da Embrapa**. Brasília, DF : Embrapa, 2023, 1001 p.

ESTEVES, F. de A. **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FERNANDES, V. O.; SILVA, L. P.; ARAÚJO, M. P. M. Sensibilização ambiental para alunos dos anos iniciais do ensino fundamental por meio da divulgação científica: desvelando os mistérios da Lagoa Mãe-Bá. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**. [s. l.], v. 15, n. 1, p. 116-130, 2020.

FERREIRA, J. M. *et al.* Ecologia de microalgas e Educação Ambiental: avaliando a percepção ambiental e sensibilizando pescadores da Lagoa Mãe-Bá (Guarapari-Anchieta, ES). **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, [*s. l.*], vol. 16, nº 1, p. 78–95, 2021. Disponível em: https://periodicos.unifesp.br/index.php/revbea/article/view/10455. Acesso em: 21 nov. 2023.

FERREIRA, L. G. C.; KEMENES, A. A influência dos eventos climáticos extremos na climatologia da planície litorânea piauiense. **Revista Brasileira de Climatologia**, [*s. l.*], v. 32, p. 636–657, 2023. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/16349/9418. Acesso em: 13 out. 2024.

FONSECA, A. L. dos S. *et al.* Lagoas costeiras urbanas sujeitas a impactos antrópicos via aporte de efluentes: aspectos gerais e a concentração de metano na Lagoa Imboassica, Macaé, RJ. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, [*s. l.*], v. 14, n. 1, p. 81–97, 2020. Disponível em: https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/boletim/article/view/15353. Acesso em: 16 nov. 2024.

GAO, J.; HU, W. A Bibliometric Analysis of Lake Restoration with Submerged Macrophytes. **Water (Switzerland)**, [*s. l.*], v. 15, n. 13, 2023. Disponível em: Acesso em: 21 nov. 2023.
GOHN, M. da G. Educação não-formal, participação da sociedade civil e estruturas colegiadas nas escolas. **Ensaio: avaliação e políticas públicas em educação**, [*s. l.*], vol. 14, nº 50, p. 27–38, 2006.

GOMES, A. M. A. *et al*. Florações de cianobactérias tóxicas em uma lagoa costeira hipereutrófica do Rio de Janeiro/RJ (Brasil) e suas consequências para saúde humana, **Oecologia Australis**, v. 13, n. 2, p. 322–345, 2017.

GOMES, S. de O.; CANDEIAS, A. L. B. Integração do Google Earth Engine e Google Colaboratory aplicados ao processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, [*s. l.*], v. 14, n. 2, p. 1077–1084, 2025.

GRACE, J. B. The adaptive significance of clonal reproduction in angiosperms: an aquatic perspective. **Aquatic Botany**, v. 44, p. 159–180, 1993.

HANSEN, K. S. Metodologias de ensino da educação ambiental no âmbito da educação infantil. **Educação Ambiental em Ação**, [*s. l.*], vol. XI, nº 43, 2018. Disponível em: Acesso em: 5 mar. 2026.

HARAGUCHI, L. *et al.* Long-term changes of the phytoplankton community and biomass in the subtropical shallow Patos Lagoon Estuary, Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, [*s. l.*], v. 162, p. 76–87, 2015. Disponível em: Acesso em: 21 nov. 2023.

ICMBIO. **Plano de manejo da área de proteção ambiental Delta do Parnaíba**. Brasília, DF: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinho/lista-de-ucs/apa-delta-do-parnaiba/arquivos/plano_de_manejo_da_apa_delta_do_parnaiba.pdf. Acesso em: 2 out. 2023.

INPE. **Condições atuais do ENOS: caracterização do El-Niño**. [*S. l.*], 2025. Disponível em: http://enos.cptec.inpe.br/. Acesso em: 2 fev. 2025.

IRGANG, B. E., PEDRALLI, G., WAECHTER, J. L., Macrófitos aquáticos da Estação Ecológica do Taim, Rio Grande do Sul, Brasil. **Roessléria**, v.1, p.395-404, 1984

JANSSEN, A. B. G. *et al.* Shifting states, shifting services: Linking regime shifts to changes in ecosystem services of shallow lakes. **Freshwater Biology**, [*s. l.*], v. 66, n. 1, p. 1–12, 2021. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/fwb.13582. Acesso em: 21 nov. 2023.

JONES, H. P. *et al.* Global hotspots for coastal ecosystem-based adaptation. **PLoS ONE**, [*s. l.*], v. 15, n. 5, 2020. Disponível em: Acesso em: 19 nov. 2023.

JOVANOVIĆ, J. *et al.* The effect of meteorological and chemical parameters on summer phytoplankton assemblages in an urban recreational lake. **Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems**, [*s. l.*], n. 418, p. 48, 2017. Disponível em: https://www.kmae-journal.org/articles/kmae/abs/2017/01/kmae170032/kmae170032.html. Acesso em: 2 fev. 2025.

JUNK, W.J *et al.* Parte I: Definição e Classificação das Áreas Úmidas (AUs) Brasileiras: Base Científica para uma Nova Política de Proteção e Manejo Sustentável . *In*: CUNHA, C. N. da; PIEDADE, Maria Teresa Fernandez; JUNK, Wolfgang J. (org.). **Classificação e delineamento das áreas úmidas brasileiras e de seus macrohabitats**. [*S. l.*]: INCT-INAU - EdUFMT, 2014. p. 13–76. Disponível em: https://observatoriopantanal.org/wp-content/uploads/crm_perks_uploads/5cb0f734750a11456042675850236/2020/09/2015_Classificao_e_Delineamentodas_Areas_Umidas_Brasileiras_e_Seus_Macrohabitats.pdf. Acesso em: 19 nov. 2024.

KNIGHT, A. W.; TINDALL, D. R.; WILSON, B. A. A multitemporal multiple density slice method for wetland mapping across the state of Queensland, Australia. **International Journal of Remote Sensing**, [*s. l.*], v. 30, n. 13, p. 3365–3392, 2009. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431160802562180. Acesso em: 30 out. 2024.

KOCHEM, L. H.; CROSSETTI, L. O.; BARROS, C. A. P. de. Compreendendo a eutrofização de uma lagoa costeira rasa subtropical pelo monitoramento de parâmetros hídricos. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, [*s. l.*], v. 13, n. 1, p. 26–46, 2025. Disponível em: https://www.revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/1764/440. Acesso em: 6 jul. 2025.

LANES, D. M.; DE ANDRADE, F. M. R.; MIRANDA, J. C. Abordagens educativas da água e bncc: potencialidades pedagógicas de uma cartilha didática. **Revista Ciência Geográfica**, [*s. l.*], vol. 26, nº 3, p. 1675–1704, 2022.

LEMOS, V. M. *et al.* Patos Lagoon estuary and adjacent marine coastal biodiversity long-term data. **Earth System Science Data**, [*s. l.*], v. 14, n. 3, p. 1015–1041, 2022. Disponível em: Acesso em: 21 nov. 2023.

LESIV, M. S.; POLISHCHUK, A. I.; ANTONYAK, H. L. Aquatic macrophytes: ecological features and functions. **Studia Biologica**, Lviv, v. 14, n. 2, p. 79–94, 2020.

LIGORINI, V. *et al.* Response of Phytoplankton Communities to Variation in Salinity in a Small Mediterranean Coastal Lagoon: Future Management and Foreseen Climate Change Consequences. **Water**, [*s. l.*], v. 15, n. 18, p. 3214, 2023. Disponível em: Acesso em: 21 nov. 2023.

LIMA, G. H. P.; FÁVARO, A.; COELHO, F. F. As microalgas e a vida: o micromundo fotossintetizante e alunos de ensino médio. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 83525-83535, 2020.

LIMA, M. R.; ROQUE, B. de F.; OLIVEIRA, A. C. P. de. Densidade fitoplanctônica e o impacto das cianobactérias na qualidade da água da Lagoa de Marapendi, Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Contemporânea**, [*s. l.*], v. 4, n. 3, p. e3632, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/367290085_Condicoes_de_saneamento_e_a_qualidade_da_agua_e_ambiental_da_Lagoa_do_Parque_Metropolitano_de_Pituacu_Salvador_Bahia_Brasil. Acesso em: 22 fev. 2025.

LINS, R. P. M. **Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplactônica em um reservatório eutrófico do trópico semiárido brasileiro**. 2011. 118p. Dissertação (Doutorado em Recurso Naturais), Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2011.

LINS-DE-BARROS, F. M.; BATISTA, C. M. Os limites espaciais da zona costeira para fins de gestão a partir de uma perspectiva integrada. **Gestao ambiental e sustentabilidade em áreas costeiras e marinhas: conceitos e práticas**, [*s. l.*], 2020.

LITCHMAN, E.; KLAUSMEIER, C. A. Trait-Based Community Ecology of Phytoplankton, **Annual Review of Ecology Evolution and Systematics**, v. 39, n. 1, p. 615–639, 2008.

LOVATO, F. L.; MICHELOTTI, A.; DA SILVA LORETO, E. L. Metodologias ativas de aprendizagem: uma breve revisão. **Acta Scientiae**, [*s. l.*], vol. 20, nº 2, 2018.

LOVATO, L. F.; MICHELOTTI, A.; LORETO, S. L. E. Metodologias Ativas de Aprendizagem: Uma Breve Revisão. **Acta Scientiae**, v. 20, n. 2, 2018.

MARTÍNEZ, M. L. *et al.* The coasts of our world: Ecological, economic and social importance. [*s. l.*], 2007.

MARTINS, M. P. M. *et al.* Phytoplankton community diversity, dominance, and rarity: a case study of tropical urban lakes. **Acta Limnologica Brasiliensia** , [*s. l.*], v. 36, 2024.

MATIAS, L. Q.; AMADO, E. R.; NUNES, E. P. Macrófitas aquáticas da lagoa de Jijoca de Jericoacoara, Ceará, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, [*s. l.*], vol. 17, p. 623–631, 2003. Disponível em: http://www.scielo.br/j/abb/a/7xS8m6XKjGQSSJm7bVq7t5S/?lang=pt. Acesso em: 12 jun. 2024.

MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, [*s. l.*], v. 17, n. 7, p. 1425–1432, 1996.

MEDEIROS, L. P. *et al.* Ranking species based on sensitivity to perturbations under non-equilibrium community dynamics. **Ecology Letters**, [*s. l.*], v. 26, n. 1, p. 170–183, 2023. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ele.14131. Acesso em: 29 maio 2023.

MELESE, H.; DEBELLA, H. J. Temporal phytoplankton dynamics and environmental variables in four Ethiopian soda lakes. **Environmental Systems Research**, [*s. l.*], v. 13, n. 1, p. 1–15, 2024. Disponível em: https://environmentalsystemsresearch.springeropen.com/articles/10.1186/s40068-023-00329-0. Acesso em: 5 abr. 2025.

MESEGUER, A. S. et al. Macroevolutionary dynamics in the transition of angiosperms to aquatic environments. **New Phytologist**, v. 235, n. 1, p. 344–355, 2022.

MESQUITA, T. K. da S.; LIMA, I. M. de M. F.; SANTOS FILHO, F. S. Lagoa fluvial do rio Portinho, Piauí: impactos socioambientais recentes. *In*: BARBOSA, L. N. *et al.* (org.). **Análise de impactos e riscos ambientais em bacias hidrográficas**. Mossoró – RN: EDUERN, 2018. (“PLANEJAMENTO URBANO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS”). p. 91–102. Disponível em: http://www.ppggeografia.ufc.br/images/documentos/C7T3_compressed.pdf#page=91. Acesso em: 30 out. 2024.

METCALF, J. S.; CODD, G. A. Co-Occurrence of Cyanobacteria and Cyanotoxins with Other Environmental Health Hazards: Impacts and Implications. **Toxins**, v. 12, n. 10, p. 629, 2020.

MICHALAK, A. M. Study role of climate change in extreme threats to water quality. **Nature 2016 535:7612**, [*s. l.*], v. 535, n. 7612, p. 349–350, 2016. Disponível em: https://www.nature.com/articles/535349a. Acesso em: 22 out. 2023.

MIKHAYLOVA, A. *et al.* Geoinformation representation of maritime knowledge flows: new frontiers of coastalization. **The 5th International Workshop on Environment and Geoscience IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**, [*s. l.*], 2022. Disponível em: https://rosrid.ru. Acesso em: 3 out. 2023.

MINILLO, A. *et al*. Microcystin accumulation in golden mussel limnoperna fortunei and potencial risks to the aquatic biota. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Rio de Janeiro, n. 41, p. 42–57, 2016. Disponível em: https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/138. Acesso em: 27 jun. 2025.

MMA. **Painel Unidades de Conservação Brasileiras**. [*S. l.*], 2024. Disponível em: https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMGNmMGY3NGMtNWZlOC00ZmRmLWExZWItNTNiNDhkZDg0MmY4IiwidCI6IjM5NTdhMzY3LTZkMzgtNGMxZi1hNGJhLTMzZThmM2M1NTBlNyJ9&pageName=ReportSectione0a112a2a9e0cf52a827. Acesso em: 15 nov. 2024.

MOLICA, R.; AZEVEDO, S. M. F. O. Ecofisiologia de cianobactérias produtoras de cianotoxinas. **Oecol. Bras**, v. 13, n. 2, p. 229-246, 2009.

MORAIS, R. C. de S. Monitoramento mensal de reservatórios hídricos superficiais do estado do Piauí (Brasil) utilizando imagens de satélite e computação em nuvem (2015 – 2021). **Caminhos de Geografia**, [*s. l.*], v. 24, n. 95, p. 131–144, 2023.

MOURA JÚNIOR, E. G. de *et al.* Lista atualizada de macrófitas aquáticas da região Norte do Brasil. **Acta Amazonica**, [*s. l.*], vol. 45, nº 2, p. 111–132, 2015. Disponível em: Acesso em: 24 jul. 2025.

MOURA-JÚNIOR, E. G. de; COTARELLI, V. M. An update on the knowledge of aquatic macrophytes in Northeast Brazil. **Rodriguesia**, [*s. l.*], v. 70, 2019.

MUEHE, D. Geomorfologia costeira. *In*: GUERRA, J. T.; CUNHA, S. B. da (org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

NAPOLEÃO, P. C. R.; COSTA, A. G.; ARAÚJO, M. P. M. Importância ambiental, ecológica e econômica das microalgas: uma sequência didática para o ensino médio. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, v. 17, n. 4, p. 275-297, 2022.

NASCIMENTO, H. C. E. *et al.* Pontederiaceae do litoral piauiense, Brasil. **Rodriguésia**, [*s. l.*], vol. 64, nº 3, p. 625–634, 2013.

NASCIMENTO, M. G. P. *et al.* Climatological trends for the municipality of Parnaíba Piauí/Brazil. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing v**, [*s. l.*], v. 9, n. 1, p. 10–20, 2019. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/jhrs/article/download/239775/31933. Acesso em: 13 out. 2024.

OLIVEIRA, L. de; NEIMAN, Z. Educação Ambiental no âmbito escolar: análise do processo de elaboração e aprovação da Base Nacional Comum Curricular (BNCC). **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, [*s. l.*], vol. 15, nº 3, p. 36–52, 2020.

ONU. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Brasília: [*s. n.*], 2015. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel. Acesso em: 15 Nov. 2024.

ONU. **Vida na água - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. [*S. l.*], 2024. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/14. Acesso em: 15 nov. 2024.

PEDRALLI, G. Macrófitas aquáticas: técnicas e métodos de estudos. **Estudos de Biologia**, Curitiba, n. 26, 24 p., 1990.

PEREIRA, J. D. A. *et al.* Uso do sensoriamento remoto para monitoramento da redução das águas do complexo curema-mãe d'água. **Brazilian Journal of Development**, [*s. l.*], v. 6, n. 3, p. 13954–13966, 2020. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/7880. Acesso em: 15 out. 2024.

PIVARI, M. O. D. *et al.* New initiatives for Brazilian aquatic plant data management. **Acta Botanica Brasilica**, [*s. l.*], v. 33, p. 78–87, 2018. Disponível em: http://www.scielo.br/j/abb/a/dRJjtcPbHnJQWnh5Fp7NJsb/?lang=en. Acesso em: 15 out. 2024.

PIVARI, M. O. D. *et al.* New initiatives for Brazilian aquatic plant data management. **Acta Botanica Brasilica**, [*s. l.*], vol. 33, p. 78–87, 2018. Disponível em: http://www.scielo.br/j/abb/a/dRJjtcPbHnJQWnh5Fp7NJsb/?lang=en. Acesso em: 15 out. 2025.

PIVARI, M. O. D.; MELO, P. H. A. de; MOURA-JÚNIOR, E. G. de. **Plantas aquáticas do Brasil**. Viçosa, MG: UFV, 2024.

PIZANI, F. M. C. *et al.* Técnicas de sensoriamento remoto para análise temporal do espelho d'água da Lagoa Grande na cidade de Sete Lagoas – MG. **Revista Geografias**, [*s. l.*], v. 17, n. 1, p. 81–102, 2022.

POMPÊO, M. Plantas aquáticas e seus papéis nos ecossistemas aquáticos. **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p. 237–249, 2017.

POTT, V. J.; POTT, A. **Plantas aquáticas do Pantanal**. Brasília: EMBRAPA Comunicação para transferência de Tecnologia, 2000.

PRATES, A. P. L.; GONÇALVES, M. A.; ROSA, M. R. **Panorama da Conservação dos Ecossistemas Costeiros e Marinhos no Brasil**. 2. ed. Brasília: MMA/SBF/GBA, 2010. Disponível em: files/289/Prates et al. - Panorama da Conservação dos Ecossistemas Costeiros.pdf. Acesso em: 15 jun. 2025.

REYNOLDS, C. S. **Functional morphology and the adaptive strategies of freshwater phytoplankton**. In: SANDGREEN, C. D. (Org.). Growth and Reproductive Strategies of Freshwater Phytoplankton. Cambridge: Cambridge University Press, p. 388-433, 1988.

ROCHA, G. C.; TAVARES, A. C. Levantamento de informações socioambientais na comunidade da praia de Macapá - Luís Correia - Piauí - Brasil: contribuições ao gerenciamento costeiro participativo. **Caderno de Geografia**, [*s. l.*], p. 18, 2017. Disponível em: files/145/Rocha e Tavares - 2017 - Levantamento de informações socioambientais na com.pdf. Acesso em: 15 jun. 2025.

RODRÍGUEZ, J. J.; WINDEVOXHEL, N. J. **Análisis regional de la situación de la zona marina costera centroamericana**. Washington, D.C. : [*s. n.*], 1998. Disponível em: https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/An%C3%A1lisis-regional-de-la-situaci%C3%B3n-de-la-zona-marina-costera-centroamericana.pdf. Acesso em: 18 set. 2023.

ROUND, F. E.; CRAWFORD, R. M.; MANN, D. G. **The Diatoms: Biology and Morphology of the Genera**. [*s. l.*]: Cambridge University Press, 1990.

SALDARRIAGA, J. F.; TAYLOR, F. J. R. Dinoflagellata. In: ARCHIBALD, J. M.; SIMPSON, A. G. B.; SLAMOVITS, C. H. **Handbook of the Protists**; Springer International Publishing, p. 1–54, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-32669-6_22-1. Acesso em: 12 set. 2025.

SANTOS, I. T. dos; FERMINO, F. S. Análise de vinte anos de dados limnológicos e bacteriológicos nas lagoas costeiras do litoral norte do Rio Grande do Sul - Marcelino Ramos, Peixoto e Pinguela (Osório/RS). **Revista Eletrônica Científica da UERGS** , [*s. l.*], v. 5, n. 1, p. 57–74, 2019. Disponível em: http://revista.uergs.edu.br/index.php/revuergs/article/view/1664. Acesso em: 21 nov. 2023.

SANTOS, L. de B. *et al.* Estudos sobre percepção ambiental no Brasil: uma revisão. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, [*s. l.*], vol. 17, nº 3, p. 131–148, 2022. Disponível em: https://periodicos.unifesp.br/index.php/revbea/article/view/12270. Acesso em: 15 out. 2025.

SANTOS, S. C. S. Espaços educativos científicos: formal, não formal e informal / Scientific Education Spaces: formal, non-formal, and informal. **Revista Areté | Revista Amazônica de Ensino de Ciências**, [*s. l.*], vol. 9, nº 20, p. 98–107, 2017. Disponível em: https://formularios.uea.edu.br/index.php/arete/article/view/251. Acesso em: 28 ago. 2025.

SANTOS-FILHO, F. S. *et al.* A flora de cajueiro da praia: uma área de tabuleiros do litoral do Piauí, Brasil. **Revista Equador**, [*s. l.*], v. 5, n. 2, p. 21–35, 2016. Disponível em: https://revistas.ufpi.br/index.php/equador/article/view/4460. Acesso em: 15 jun. 2025.

SCHUSTER, R. C.; FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. Scenarios of climate change effects in water availability within the patos lagoon's basin. **Revista Brasileira de Recursos Hidricos**, [*s. l.*], v. 25, 2020. Disponível em: Acesso em: 29 jul. 2025.

SCREMIN-DIAS, E.; POTT, V. J.; HORA, R. C. da; SOUZA, P. R. de. **Nos jardins submersos da Bodoquena**: guia para identificação de plantas aquáticas de Bonito e região. Campo Grande: UFMS, 1999. 160 p.

SCULTHORPE, C. D. **The biology of aquatic vascular plants**. London: Edward Arnold, 1967.

SENA, N. A.; SILVA, M. P. da. Monitoramento de recursos hídricos: estudo da Lagoa do Sobradinho em Luís Correia - PI. *In*: **XI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. Vitória - ES: [*s. n.*], 2020. Disponível em: http://earthexplorer.usgs.gov/. Acesso em: 2 Mar. 2023.

SILVA, A. L. P. da *et al.* O uso do sensoriamento remoto na biodiversidade e conservação. **Peer Review**, [*s. l.*], v. 6, n. 7, p. 107–117, 2024.

SILVA, C. H. S. da; LIMA, I. M. de M. F. Litoral do estado do Piauí: proposta de compartimentação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [*s. l.*], v. 21, n. 1, 2020. Disponível em: https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/1459/386386471. Acesso em: 15 Jun. 2025.

SILVA, D. S.; MARQUES, E. E.; LOLIS, S. F. Macrófitas aquáticas: "vilãs ou mocinhas"? **Revista Interface (Porto Nacional)**, [*s. l.*], n. 04, 2012. Disponível em: https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/interface/article/view/355. Acesso em: 29 jul. 2025.

SILVA, D. S.; MARQUES, E. E.; LOLIS, S. F. Macrófitas aquáticas: "vilãs ou mocinhas"? **Revista Interface (Porto Nacional)**, [*s. l.*], nº 04, 2012. Disponível em: https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/interface/article/view/355. Acesso em: 29 jul. 2025.

SILVA, J. F. Educação Ambiental no Ensino Fundamental: ensinar a conhecer "microalgas" para preservação dos corpos d'água. Ambiente & Educação: **Revista de Educação Ambiental**, [*S. l.*], v. 23, n. 3, p. 267–280, 2018. Disponível em: https://periodicos.furg.br/ambeduc/article/view/6937 Acesso em: 16 mar. 2025.

SILVA, L. B. C. da. **Revisão Histórica sobre o estado trófico de lagoas costeiras do Estado do Rio de Janeiro**. Campos dos Goytacazes, RJ: Essentia, 2019. Disponível em: https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/livros/article/view/14194/11495. Acesso em: 1 nov. 2023.

SILVA, M. G. L. da; COSTA, V. S. de O. Água, conhecimento e ação local: cartilha como instrumento de aprendizagem. **Revista Sergipana de Educação Ambiental**, [*s. l.*], vol. 8, nº Especial, p. 1–19, 2021. Disponível em: https://periodicos.ufs.br/revisea/article/view/15514. Acesso em: 22 jul. 2025.

SILVA, M. L.; CALOU, V. B. C.; SILVA, A. R. A. da. Análise espaço-temporal do espelho d'água do açude Trussu através de sensoriamento remoto. **Energia na Agricultura**, [*s. l.*], v. 38, n. 3, p. 36–41, 2023. Disponível em: Acesso em: 29 jul. 2025.

SILVA, T. T. de A.; GORDILHO, H. J. de S.; BRAZ, L. C. F. dos S. A participação popular na implementação das políticas públicas ambientais. **Revista de Estudos e Pesquisas Avançadas do Terceiro Setor**, [*s. l.*], vol. 4, nº 1, p. 868, 2017. Disponível em: https://portalrevistas.ucb.br/index.php/REPATS/article/view/8389. Acesso em: 15 out. 2025.

SILVA, T. T. de A.; GORDILHO, H. J. de S.; BRAZ, L. C. F. dos S. A participação popular na implementação das políticas públicas ambientais. **Revista de Estudos e Pesquisas Avançadas do Terceiro Setor**, [*s. l.*], v. 4, n. 1, p. 868, 2017. Disponível em: https://portalrevistas.ucb.br/index.php/REPATS/article/view/8389. Acesso em: 15 jun. 2025.

SILVEIRA, D. P. da; SILVA, J. C. S. da; LORENZETTI, L. A educação ambiental e o ensino de ciências nos anos iniciais: contribuições para a formação cidadã. **VIDYA**, [*s. l.*], vol. 41, nº 2, p. 41–59, 2021. Disponível em: https://periodicos.ufn.edu.br/index.php/VIDYA/article/view/3824. Acesso em: 5 mar. 2026.

SOARES, M. H. F. B.; MESQUITA, N. A. S. Jogos pedagógicos e suas relações com a cultura lúdica. *In:* Silva, J. F. M. (org.). **O lúdico em redes: reflexões e práticas no ensino de ciências da natureza**. Porto Alegre: Editora Fi. p. 100-116. 2021.

SOUSA, R. D. S. Zoneamento geoecológico do complexo fluviomarinho dos rios Cardoso/Camurupim e porção costeira adjacente, litoral leste piauiense. 2019. 154 f. Fortaleza/CE, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/49257/3/2019_tese_rssousa.pdf. Acesso em: 15 jun. 2025.

SOUSA, W. G. M. de *et al.* Riqueza e distribuição de macrófitas aquáticas no rio Guaribas, Picos, Piauí. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, [*s. l.*], v. 29, n. 2, 2021.

SOUZA, A. da S.; JESUS, T. B. de; SANTOS, L. T. S. de O. Cartilha educativa com propostas de inserção das lagoas de Feira de Santana no ensino de Ciências. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, [*s. l.*], vol. 16, nº 5, p. 27–45, 2021.

SOUZA, B. de *et al.* Mapeamento geoecológico da Costa Atlântica Amazônica aplicado ao município de Quatipuru – Pará, Brasil. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, [*s. l.*], v. 3, n. 4, p. 3508–3519, 2020. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/19462. Acesso em: 29 jul. 2025.

SOUZA, E. M. da S. de; MOREIRA, L. C. de S. Avaliação da composição de espécies de macrófitas aquáticas em ecossistemas lênticos perenes do Parque das Dunas, Salvador – BA. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, [*s. l.*], v. 3, n. 4, p. 807–820, 2017.

SOUZA, G. S. de *et al.* Socioeconomia e percepção ambiental de pescadores artesanais em uma comunidade do Maranhão. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, [*s. l.*], vol. 16, nº 4, p. 153–168, 2021. Disponível em: https://periodicos.unifesp.br/index.php/revbea/article/view/11122. Acesso em: 15 out. 2025.

SOUZA, G. S. de *et al.* Socioeconomia e percepção ambiental de pescadores artesanais em uma comunidade do Maranhão. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, [*s. l.*], v. 16, n. 4, p. 153–168, 2021. Disponível em: https://periodicos.unifesp.br/index.php/revbea/article/view/11122. Acesso em: 15 jun. 2025.

TARAFDAR, L. *et al.* Responses of phytoplankton community structure and association to variability in environmental drivers in a tropical coastal lagoon. **Science of The Total Environment**, [*s. l.*], v. 783, p. 146873, 2021.

THOMAZ, S. M.; ESTEVES, F. de A. Comunidade de macrófitas aquáticas. *In*: Fundamentos de limnologia. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. v. 3, p. 461–518.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. Disponível em: files/191/Limnologia_Tundisi_LIVRO_pdf.pdf. Acesso em: 17 out. 2024.

VASISTHA, P.; GANGULY, R. Water quality assessment of natural lakes and its importance: An overview. **Materials Today: Proceedings**, [*s. l.*], v. 32, p. 544–552, 2020. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/339531564_Water_quality_assessment_of_natural_lakes_and_its_importance_An_overview. Acesso em: 20 out. 2024.

VELOSO, G. K. O. *et al.* Influence of limnological variables on aquatic macrophytes in the Belo Monte reservoir, Amazon, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [*s. l.*], v. 97, n. 3, p. e20240742, 2025. Disponível em: https://www.scielo.br/j/aabc/a/V9JB469XZhPC9CDhrxt6vfd/?lang=en. Acesso em: 29 jul. 2025.

VELOSO, G. K. O. *et al.* Influence of limnological variables on aquatic macrophytes in the Belo Monte reservoir, Amazon, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [*s. l.*], vol. 97, nº 3, p. e20240742, 2025. Disponível em: https://www.scielo.br/j/aabc/a/V9JB469XZhPC9CDhrxt6vfd/?lang=en. Acesso em: 29 jul. 2025.

WOOLWAY, R. I.; SHARMA, S.; SMOL, J. P. Lakes in hot water: the impacts of a changing climate on aquatic ecosystems. **BioScience**, [*s. l.*], v. 72, n. 11, p. 1050–1061, 2022. Disponível em: https://dx.doi.org/10.1093/biosci/biac052. Acesso em: 22 out. 2023.

XAVIER, J. O.; CAMPOS, M. C. S.; RIBEIRO, S. T. M.; MOTA, H. R. **Macrófitas aquáticas: caracterização e importância em reservatórios hidrelétricos**. Belo Horizonte: Cemig, 2021. 96 p.

XU, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**, [*s. l.*], v. 27, n. 14, p. 3025–3033, 2006.

ZOLLINI, S. *et al.* New Methodology for Shoreline Extraction Using Optical and Radar (SAR) Satellite Imagery. [*s. l.*], 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3390/jmse11030627. Acesso em: 3 out. 2023.

ARTIGO I

ANÁLISE DA DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DOS ESPELHOS D'ÁGUA DE LAGOAS COSTEIRAS DO PIAUÍ POR SENSORIAMENTO REMOTO[1]

RESUMO

Os ambientes aquáticos costeiros apresentam dinâmicas que estão sujeitas às interferências decorrentes de fenômenos climáticos e ações antrópicas, passíveis de impactar na variação de espelhos e cursos d'água, bem como na qualidade hídrica desses ecossistemas. Nesse contexto, objetivou-se com o presente estudo analisar, por meio de Sensoriamento Remoto, a dinâmica sazonal dos espelhos d'água de lagoas costeiras localizadas na região norte do estado do Piauí, como subsídio para a gestão e conservação desses ambientes. Foram selecionadas três lagoas, situadas em municípios litorâneos do estado do Piauí, para a aplicação do *Normalized Difference Water Index* (NDWI), visando comparar a variação da área superficial da água das lagoas no período chuvoso e seco, no período de 2013 a 2023. Observou-se que a influência do fenômeno *El Niño* e a redução dos índices de precipitação pluviométrica da região, somados ao barramento de rios tributários das lagoas, ocasionaram a perda de até 43% de área nas lagoas. Após o período de menor pluviosidade, entre 2013 a 2017, houve a recuperação de área das lagoas do Portinho e Sobradinho, com ganhos superiores ao estágio inicial em 2013, enquanto na lagoa da Santana ocorreu diminuição de área. Conclui-se que a variação de área das lagoas esteve relacionada, principalmente, aos eventos climáticos extremos e às ações antrópicas na região. O uso do Sensoriamento Remoto mostrou-se eficiente para compreensão e monitoramento da dinâmica sazonal, gerando dados necessários à gestão para conservação desses ambientes.

Palavras-chave: sazonalidade; eventos climáticos; NDWI.

[1] Artigo publicado na revista Geoconexões. DOI: https://doi.org/10.15628/geoconexes.2025.18304.

ANALYSIS OF THE SPATIO-TEMPORAL DYNAMICS OF COASTAL LAGOON WATER SURFACES IN PIAUÍ USING REMOTE SENSING

ABSTRACT

Coastal aquatic environments have dynamics that are subject to interference from climatic phenomena and human activity, which can impact the variation of water mirrors and watercourses, as well as the water quality of these ecosystems. In this context, this study aimed to use Remote Sensing to analyze the seasonal dynamics of the water mirrors of coastal lagoons located in the northern region of the state of Piauí, as a tool for the management and conservation of these environments. Three lagoons, located in coastal municipalities in the state of Piauí, were selected for the application of the Normalized Difference Water Index (NDWI) to compare the variation in the surface area of the water in the lagoons during the rainy and dry periods, from 2013 to 2023. It was observed that the influence of the *El Niño* phenomenon and the reduction in rainfall in the region, combined with the damming of tributary rivers to the lagoons, led to the loss of up to 43% of their area. After the period of lower rainfall, from 2013 to 2017, the area of the Portinho and Sobradinho lagoons recovered, with gains higher than the initial stage in 2013, while the Santana lagoon lost area. It can be concluded that the variation in the area of the lagoons was mainly related to extreme climatic events and anthropogenic actions in the region. The use of remote sensing proved to be efficient in understanding and monitoring the seasonal dynamics, generating necessary data for the conservation management of these environments.

Keywords: seasonality; climate events; NDWI.

1. INTRODUÇÃO

Sazonalmente a dinâmica hídrica de uma região é influenciada por comportamentos climáticos em um determinado período de tempo e que, sob a influência de fenômenos e anomalias atmosféricas, pode sofrer interferências na intensidade dos períodos de chuva (Nascimento *et al.*, 2019). A região Nordeste tem suas condições climáticas regidas por fatores de circulação atmosférica convencionais, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e Anticiclone do Atlântico, associados aos ventos alísios e incrementados pelas anomalias na condição média histórica da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), como o *El Niño* (aquecimento) e *La Niña* (esfriamento) (Ferreira; Kemenes, 2023).

Considerando a dinâmica de ambientes aquáticos, as interferências desses fenômenos naturais têm impactado: as características pluviométricas da região, a variação de espelhos e cursos d'água e a dinâmica de comunidades aquáticas diversas, inclusive em lagoas costeiras (Mesquita; Lima; Santos Filho, 2018; Woolway; Sharma; Smol, 2022).

Além disso, as lagoas costeiras com seus bens e serviços ecossistêmicos de alto valor monetário e não monetário, sustentam e são impactadas pelas diversas atividades sociais, culturais e econômicas ligadas ao turismo, a pesca, aquicultura, mineração, biotecnologia, recreação, energias renováveis, navegação e segurança alimentar (Ribeiro, E. *et al.*, 2020).

No Piauí, apesar dos esforços relacionados às políticas públicas implementadas em áreas de conservação (Vasistha; Ganguly, 2020), como a Área de Proteção Ambiental (APA) do Delta do rio Parnaíba e a Área de Relevante Interesse Econômico (ARIE) da Lagoa do Portinho, a sensibilidade às alterações no ambiente das lagoas costeiras existe e exige o conhecimento e monitoramento de suas áreas, o que pode ser feito por meio de sensoriamento remoto, a partir de imagens de satélite.

A aplicação de técnicas de sensoriamento remoto, a partir de dados e imagens geoespaciais sem custos, pode minimizar limitações espaço-temporais apresentadas por métodos tradicionais de monitoramento, bem como impulsionar estudos para o conhecimento de características de corpos hídricos, possibilitando o levantamento e acompanhamento de informações em diferentes escalas espaciais e temporais, inclusive por longos períodos de anos (Pizani *et al.*, 2022).

Buscando compreender como a sazonalidade, os fenômenos climáticos e as ações antrópicas interferiram na variação de área das lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, objetivou-se com este estudo analisar, por meio de Sensoriamento Remoto, a dinâmica de 2013 a 2023 dos espelhos d'água de lagoas costeiras localizadas na região norte do estado do

Piauí/Brasil, visando ampliar os conhecimentos, considerados ainda escassos, sobre esses ecossistemas aquáticos, e assim contribuir para gestão e conservação dos mesmos.

2. REVISÃO TEÓRICA

Espelho d'água refere-se à área ocupada por um corpo d'água, seja lago, lagoa, reservatório de barragem ou açude, que corresponde, no contexto da gestão dos recursos hídricos, à superfície contínua de água de um corpo hídrico exposta à atmosfera (ANA, 2014).

As lagoas costeiras são corpos de água permanentes ou temporários, com tamanho e salinidade em diferentes níveis e isoladas do mar, enquanto as lagunas são influenciadas pelo fluxo e refluxo das marés e ambas recebem, no Brasil, a mesma denominação de lagoa, independentemente de sua origem ou localização (Esteves, 2011; Souza; Moreira, 2017). Encontradas nas planícies costeiras, as lagoas e lagunas de origem natural possuem características que geram bens e serviços ambientais, culturais e econômicos (Ribeiro, E. *et al.*, 2020).

As lagoas e áreas adjacentes formam corredores ecológicos, que são refúgio e habitat para a biodiversidade, proporcionam a ciclagem de nutrientes, dão suporte à produção de alimento pela pesca, aquicultura e agropecuária. Além disso, dão condições de navegabilidade e regulação hídrica (Ribeiro, J. *et al.*, 2020), que são imprescindíveis à sobrevivência humana e contribuem para que sejam alcançados os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), principalmente os ODS 1: sem pobreza, 2: fome zero, 3: boa saúde e bem-estar, 6: água limpa e saneamento e 14: vida abaixo da água (Ribeiro, E. *et al.*, 2020).

Nesse sentido, as lagoas são ambientes mais susceptíveis aos impactos da sazonalidade e urbanização, pois suas águas têm uma permanência longa, quando comparadas aos rios, e uma dinâmica sensível às mudanças provenientes dos processos bióticos e abióticos internos e externos (Vasistha; Ganguly, 2020). A retirada e/ou deslocamento da água para aquicultura e irrigação, o desmatamento, que acelera o avanço de deslocamento de dunas, e erosão são interferências que podem acarretar a redução de volume d'água em lagoas costeiras, aumentando seu grau de trofia e alterando sua dinâmica ecossistêmica (Mesquita; Lima; Santos Filho, 2018).

Quando a evaporação e a percolação de água superficial são maiores que os influxos de fontes de água a montante ou subterrâneas, as lagoas se tornam vulneráveis a eventos de inundações, que carregam contaminantes, macropoluentes e microrganismos quando a água é lixiviada de áreas com produções agrícolas e transbordamentos de esgotos, e/ou secas extremas,

que reduzem o volume e área desses ambientes. Com isso, o processo de salinização é acelerado, podendo levar à seca completa do recurso hídrico (Weyhenmeyer *et al.*, 2024).

A resposta rápida das lagoas às mudanças ambientais, sejam elas naturais ou induzidas pela espécie humana (incluindo as mudanças climáticas), demonstram a sensibilidade de suas características físicas, químicas e biológicas aos efeitos de interferências dentro e fora do ecossistema (Adrian *et al.*, 2009).

Os fenômenos que ocorrem no oceano Pacífico Equatorial e na atmosfera adjacente, formando o *El Niño* Oscilação Sul (ENOS), causam alterações nos padrões de circulação atmosférica, transporte de umidade, temperatura e precipitação, que intensificadas por ações antrópicas, como a emissão de CO2, provocam mudanças climáticas em escala global (INPE, 2025a). Os padrões anômalos de ENOS vão oscilar entre dois extremos, com o *El Niño* em sua fase quente, e *La Niña* na fase fria e podem variar a intensidade entre fraco, moderado, forte e muito forte (Kayano *et al.*, 2016).

No Brasil, a variabilidade climática e ambiental da região Nordeste é regida por fatores de circulação atmosférica, que são influenciados pelas anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) (Ferreira; Kemenes, 2023). No Piauí a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e Anticiclone do Atlântico, em conjunto com os ventos alísios do Nordeste, influenciam a precipitação pluviométrica na região (Nascimento *et al.*, 2019).

Além dos fenômenos naturais, as mudanças climáticas são consequências diretas do aquecimento global, que consiste no aumento das temperaturas médias da Terra causando ondas de calor, tempestades, secas, inundações e outros fenômenos (Dias; Matos, 2023). Essas alterações, cada vez mais extremas, ocasionam alterações direta e indiretamente em corpos aquáticos, em sua estrutura e funcionamento físico, químico e biológico, que podem ser percebidas de várias maneiras e escalas (Gerhard *et al.*, 2023).

Buscando a conservação de ambientes aquáticos, diversas técnicas de monitoramento podem ser aplicadas. O Sensoriamento Remoto oferece variadas alternativas de observação de um corpo d'água, desde a detecção e mapeamento à caracterização bio-óptica, utilizando o efeito de absorção de luz da água, que tem uma reflectância menor dentro do espectro visível e infravermelho que outros alvos, facilitando sua aplicação (Vitor *et al.*, 2023).

O uso de índices espectrais e sensores ativos e/ou passivos, de diferentes resoluções espaciais, espectrais e temporais, permitem diversos tipos de estudos como, detecção (Costa *et al.*, 2022), extração e monitoramento (Huang *et al.*, 2018), modelagem preditiva (Șerban; Maftei; Dobrică, 2022), qualidade da água (Batina; Krtalić, 2024; Costa; Claudino-Sales;

Carvalho, 2023), volume de reservatórios (Barbosa *et al.*, 2021; Pereira *et al.*, 2020; Toledo Junior *et al.*, 1983), variação de espelhos d'água (Barbosa; Cuellar; Arraes, 2019; Barbosa *et al.*, 2021; Pizani *et al.*, 2022), entre outros.

Estudos sobre a dinâmica de lagoas costeiras ainda são escassos no Piauí, porém necessários e urgentes para implementação de políticas públicas no que tange à conservação dos usos de recursos naturais da região. Os estudos recentes estão representados por Mesquita, Lima e Santos Filho (2018), que analisaram a Lagoa do Portinho para compreender os motivos de sua seca quase total ocorrida em 2014; Andrade, Gomes e Cruz (2019) avaliaram o uso e ocupação da Lagoa do Portinho, em Parnaíba, Piauí; Sena e Silva (2020) observaram a dinâmica de variação da área da Lagoa do Sobradinho, em Luís Correia; e Sousa (2019), que delimitou o zoneamento geoecológico do complexo fluviomarinho dos rios Cardoso/Camurupim e porção costeira adjacente, trazendo características sobre a Lagoa da Santana e outros ambientes aquáticos da região.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

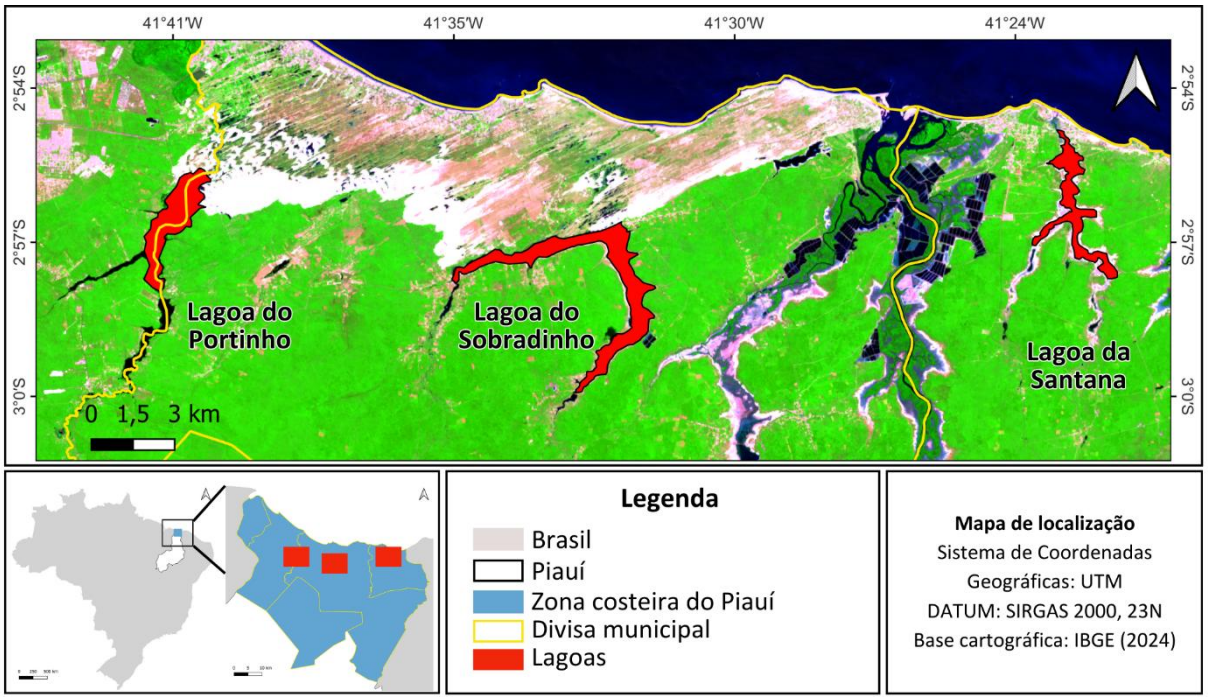
A zona costeira do Piauí é formada pelos municípios de Bom Princípio do Piauí, Cajueiro da Praia, Ilha Grande, Luís Correia e Parnaíba, conforme a portaria nº 34 do Ministério do Meio Ambiente (Brasil, 2021). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é "Aw", caracterizado como megatérmico, com verão chuvoso e inverno quente, temperatura média de 27,5 C, meses mais chuvosos entre janeiro e maio e de menores índices pluviométricos entre julho e dezembro (Ferreira; Kemenes, 2023; Santos Filho; Almeida; Zickel, 2013). Esta região possui solos originários de sedimentos do Terciário e do Quaternário, com classe textural variando de arenosa a argilosa (Valladares *et al*., 2023). Sua vegetação é dividida em sete formações vegetacionais: vegetação pioneira psamófila; vegetação subperenifólia de dunas; vegetação perenifólia de mangue; vegetação de várzea; vegetação do Delta dos rios Parnaíba/Longá; vegetação estacional de tabuleiros e vegetação estacional secundária de cerradão (Santos Filho, 2009).

O litoral do Piauí é o menor do Brasil, contando com 66 km de linha de costa, onde podem ser encontradas áreas estuarinas, como o Delta do rio Parnaíba, os estuários dos rios Cardoso/Camurupim e Timonha/Ubatuba, além de áreas de dunas móveis ou fixas, lagoas, restingas e mangue em sua planície litorânea (Brasil, 2002). Para este estudo foram selecionadas

três lagoas costeiras: Lagoa do Portinho, Lagoa do Sobradinho e Lagoa/lagamar da Santana, situadas em três municípios da zona costeira piauiense (Figura 1).

A Lagoa do Portinho, com área de aproximadamente 5 km², localiza-se na divisa dos municípios de Luís Correia e Parnaíba (Figura 2), é formada pelo barramento por dunas do Rio Portinho e Riacho Brandão, seu tributário com maior contribuição no fluxo de água e volume, em comparação com os outros córregos a montante da lagoa (Mesquita; Lima; Santos Filho, 2018). Por ser uma área com rica diversidade biológica, presença de sítios arqueológicos (Mendes Junior; Silva, 2011), exploração por mineração, atividades de turismo, lazer e expansão urbana (Sousa; Bacelar; Sousa, 2024), em 2019 foi criada a ARIE da Lagoa do Portinho, a partir de estudos de compensação ambiental da instalação de uma usina de produção de cachaça no sul do Piauí (Medeiros *et al*., 2022; Mesquita; Lima; Santos Filho, 2018).

Figura 1. Localização das lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana na zona costeira do Piauí/Brasil.



Fonte: Os Autores (2025).

A Lagoa do Sobradinho é localizada no município de Luís Correia, a 20 km da sede municipal, possui uma extensão de aproximadamente 16 km, em formato de U e é cortada por uma rodovia próximo a comunidade Bezerro Morto (Figura 2). Sousa (2019) considera que a lagoa é formada por fluxo pluvial, fluvial e freático, enquanto Baptista (2016) categoriza sua origem como residual, formada pela transgressão e regressão marinha, o que justificaria suas águas salgadas e salobras, dependendo do período sazonal local, pois a mesma possuiu um canal

de alimentação, interrompido pela movimentação das dunas, que chega à praia do Arrombado, entre as praias de Carnaubinha e Itaqui (Brasil, 2002).

Situada na Zona de Uso Comunitário dentro da APA do Delta do rio Parnaíba (ICMBIO, 2020), a Lagoa do Sobradinho possui potencial turístico, em virtude de sua beleza cênica, e é utilizada, principalmente, para o cultivo de tilápia e camarão, embora a pesca não represente mais a principal atividade da região devido ao baixo nível das águas e, consequente, processo de salinização (Sena; Silva, 2020).

A Lagoa/Lagamar da Santana (Figura 2), por sua vez, pertence ao município de Cajueiro da Praia, situada na Zona de Uso Moderado dentro da APA do Delta (ICMBIO, 2020). Influenciada pela interação fluvial, lagunar e marinha, a Lagoa da Santana forma um sistema estuarino-lagunar na desembocadura do rio Santana, que deságua na praia da Barrinha, favorecendo a formação de um alinhamento rochoso, devido ao contraste da salinidade entre a água doce e salgada, que leva a precipitação do carbonato sobre a costa (Sousa, 2019). No período de preamar, principalmente nas marés de sizígia, há o aumento do volume represado da lagoa, intensificando o processo de salinização (Sousa, 2019). O processo de urbanização e desenvolvimento turístico no município de Cajueiro da Praia acentua a fragilidade da Lagoa da Santana, devido ao acúmulo de lixo e descarte de efluentes (Ribeiro, 2019; Sousa, 2022).

Figura 2. Vista aérea das lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana na zona costeira do Piauí/Brasil.



Fonte: Os Autores (2025).

3.2 Coleta e análise dos dados

3.2.1 Precipitação pluviométrica

Para a caracterização sazonal, os dados de precipitação pluviométrica durante o período de estudo e para a série histórica de 50 anos (1974 a 2023) foram obtidos utilizando banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2025), coletados nas estações pluviométricas convencional 82287 e automática A308, da Agência Nacional de Águas (ANA, 2025), nas estações convencionais 241001 e 241002 e do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN, 2025), na estação automática 220770201A, da cidade de Parnaíba, Piauí. Para tabulação dos dados, elaboração de gráficos e análise dos valores médios e totais mensais e totais anuais de precipitação, foi utilizado o software Excel 2019.

3.2.2 Sensoriamento Remoto

Para a delimitação de cursos e corpos d'água, aplicaram-se índices espectrais diretamente no ambiente da plataforma *Google Earth Engine* (GEE). Inicialmente foi utilizado o índice *Normalized Difference Water Index* (NDWI), que calcula a diferença normalizada entre bandas espectrais específicas e é eficaz na identificação de alvos aquáticos. No entanto, considerando suas limitações em áreas urbanizadas, adotou-se o *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI), conforme proposto por Xu (2006). O MNDWI substitui a banda do infravermelho próximo (NIR) pelo infravermelho de ondas curtas (SWIR) no cálculo da diferença normalizada, aumentando a sensibilidade à detecção de superfícies aquáticas e reduzindo a confusão com áreas urbanas. Sua fórmula é expressa como:

$$MNDWI = \frac{(Green - SWIR)}{(Green + SWIR)}$$

Onde:

Green: banda verde;

SWIR: banda do infravermelho de ondas curtas.

A aplicação do índice foi realizada por meio de *scripts* desenvolvidos em linguagem Java Script no editor de código do GEE.

Foram utilizadas imagens das coleções Landsat 5 e Landsat 8, disponíveis no GEE (Landsat 5: https://code.earthengine.google.com/1c959a7d1dbd1fef57a86ae8eb37c35e; Landsat 8: https://code.earthengine.google.com/da52c2d125e0bcc276c39adb689d4b4a). Para o ano de 2013, empregou-se a coleção LANDSAT/LT05/C02/T1_L2, composta por imagens com correção atmosférica, fornecendo valores de reflectância da superfície e temperatura terrestre, derivados do sensor TM (Thematic Mapper). Para os anos de 2015, 2017, 2019, 2021 e 2023, utilizou-se a coleção LANDSAT/LC08/C02/T1_L2, proveniente do Landsat 8, com

correções atmosféricas aplicadas e dados dos sensores OLI/TIRS (Operational Land Imager / Thermal Infrared Sensor).

A área de estudo foi estabelecida a partir de uma feição vetorial importada no GEE, utilizada tanto para o recorte espacial das imagens quanto para a delimitação das análises. A qualidade dos dados foi assegurada por meio da aplicação de uma máscara de nuvens baseada na banda QA_PIXEL, utilizando operações *bitwise* para remover pixels afetados por nuvens, sombras e neve. Após a aplicação da máscara, os valores de reflectância foram corrigidos pelo fator de escala de 0,0001, conforme especificação dos produtos Landsat de Nível 2.

As imagens foram submetidas ao cálculo dos índices espectrais NDWI e MNDWI. O NDWI foi derivado da diferença normalizada entre as bandas verde (SR_B2) e infravermelho próximo (SR_B4), enquanto o MNDWI foi calculado entre as bandas verde (SR_B2) e infravermelho de ondas curtas (SR_B5), proporcionando maior acurácia na detecção de corpos d'água em cenários urbanos e com solos expostos.

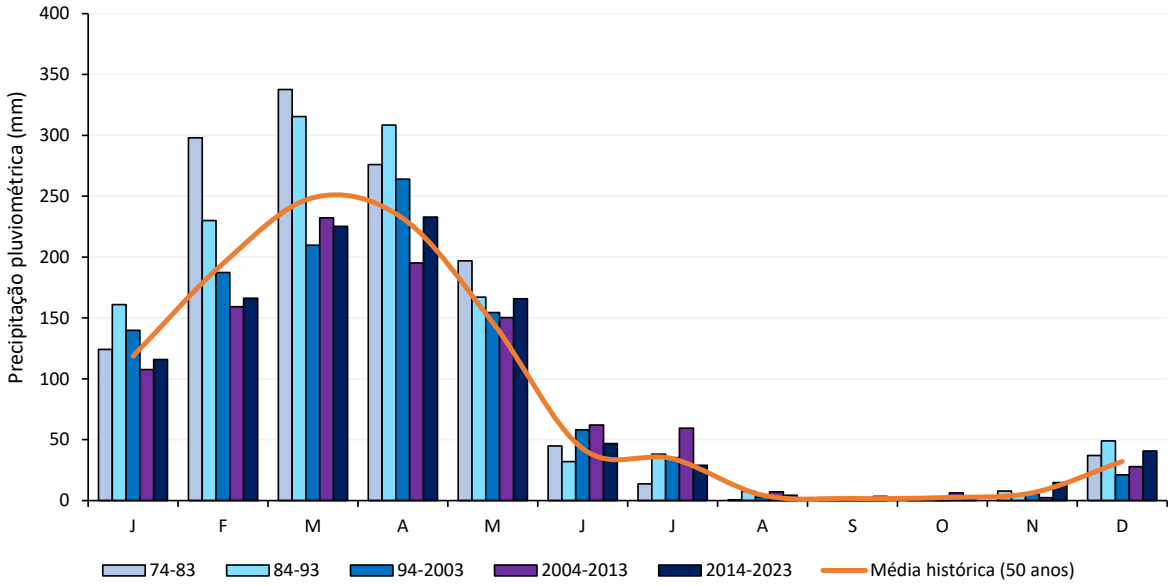
As séries temporais processadas foram compostas a partir do valor do percentil 90 do MNDWI, representando as condições de maior disponibilidade hídrica para cada período sazonal, considerando o período chuvoso, nos meses de janeiro a maio, e o seco, de junho a dezembro. As imagens MNDWI resultantes foram binarizadas mediante aplicação de limiar, classificando como presença de água os pixels com valores positivos. Posteriormente, as imagens binarizadas foram vetorizadas utilizando a função ".reduceToVectors", com parâmetros de conectividade definidos e resolução compatível com a escala dos dados, possibilitando a extração de polígonos representativos das áreas alagadas.

Os produtos gerados, compostos pelas imagens processadas e pelos vetores extraídos, foram exportados para o *Google Drive* em formatos compatíveis com Sistemas de Informações Geográficas (SIG), permitindo análises espaciais dos valores médios em hectares e porcentagem das dinâmicas hídricas ao longo dos anos estudados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A dinâmica sazonal observada para o município de Parnaíba na média histórica de 50 anos (1974-2023), divide-se em dois períodos distintos: o período chuvoso, nos meses de janeiro a maio e o período seco, com menor acúmulo de precipitação, abrangendo os meses de junho a dezembro (Figura 3). Os meses de março e abril compõem o pico de chuva na região, já nos meses de setembro, outubro e novembro ocorre o período, popularmente, conhecido na região como "B-R-O BRÓ", em que é comum a ausência de registro de precipitação.

Figura 3. Média mensal histórica de 50 anos (1974 a 2023) e precipitação total mensal por década no município de Parnaíba, Piauí/Brasil.

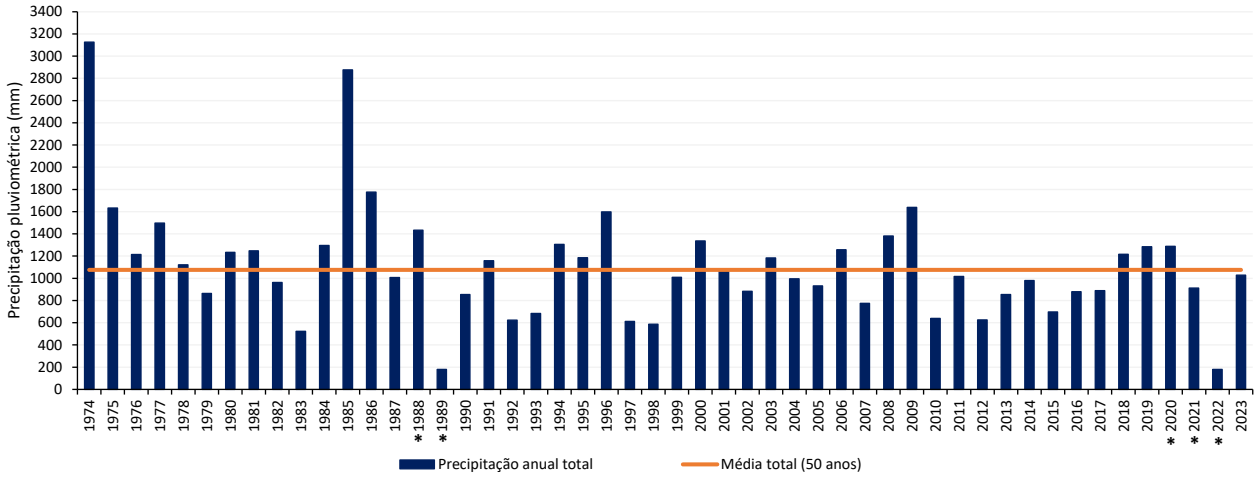


Fonte: INMET (2025), ANA (2025) e CEMADEM (2025).

Na comparação entre os valores de precipitação total mensal por década é possível observar, além da redução do volume das chuvas, que nas décadas de 1974 a 1983 e de 1984 a 1993, valores acima da média histórica ocorriam, principalmente, no primeiro trimestre, de janeiro a março, comportamento que se foi modificando nas décadas seguintes, com maiores valores no segundo trimestre, de abril a junho. Silva *et al*. (2023) destacam a redução de 11% na média de precipitação para o estado do Piauí, comparando os períodos de 1961 a 1990 e 1981 a 2010, que está associada à mudança nos padrões termo pluviométricos no Nordeste brasileiro nos últimos 50 anos, onde as temperaturas apresentaram aumento e o padrão das precipitações mostrou-se mais aleatório e heterogêneo.

A partir de 2010 os valores de precipitação total apresentaram-se abaixo da média histórica de 50 anos, registrada na cidade de Parnaíba, de 1.075 mm (Figura 4) e da média anual do Brasil, de 1.760 mm (ANA, 2023). Os anos de 2010, 2012 e 2015 apresentaram os menores valores, com 637,9, 624,8 e 696,5, respectivamente. Não foram encontrados dados completos para o ano de 2022, porém as chuvas registradas no referido ano foram próximas ou acima da média em grande parte da região Nordeste, conforme dados do INMET (2023).

Figura 4. Precipitação total anual (1974 a 2023), valor máximo mensal e média total no município de Parnaíba, Piauí/Brasil.*Anos com dados incompletos.



Fonte: INMET (2025), ANA (2025) e CEMADEM (2025).

O principal fator de formação de precipitação na região é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) em conjunto com a brisa marítima e terrestre, os ventos alísios de nordeste e os vórtices ciclônicos de altos níveis (Medeiros; Cavalcanti; Duarte, 2020).

Ferreira e Kemenes (2023) ao analisarem 30 anos (1991 a 2020) das variações climáticas em Parnaíba observaram que a precipitação e o *El Niño* tiveram relação oposta, pois o fenômeno esteve ausente no período de 2013 a 2014 e em 2020, podendo indicar a presença do fenômeno *La Niña*, e presente no período de 2015-2016 (*El Niño* extraforte) e 2017-2019 (*El Niño* fraco). Já o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) indicou que no ano de 2013 ocorreu *La Niña*; em 2014 e 2015 *El Niño*; de 2016 a 2018, neutralidade ENOS, com baixa precipitação (INPE, 2024); em 2019, neutralidade do *El Niño*, com chuvas acima da média histórica; 2020 e 2021, *La Niña* e em 2023, *El Niño* (INPE, 2025).

A dinâmica da sazonalidade na região da zona costeira do estado do Piauí é afetada pela intensidade das anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM). Em anos de *El Niño*, geralmente, há menor precipitação, enquanto em anos de *La Niña*, há ocorrência de precipitação acima da média (Batista; Rodrigues; Silva, 2024; INPE, 2025).

As características climáticas e os ecossistemas aquáticos da região semiárida brasileira são influenciados pelos eventos climáticos extremos, associados à variabilidade dos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico após eventos *El Niño* e *La Niña* (Santos *et al*., 2024). O episódio *El Niño* entre 2015 e 2016 é classificado como um dos mais fortes desde 1950 (Fuentes-Aguilera *et al*., 2024), ocasionando impactos econômicos, sociais e ambientais na região (Lima *et al*., 2017).

Em relação à lâmina d'água superficial, registrou-se valor médio de 289,31 ha na Lagoa

do Portinho, 439,24 ha na Lagoa do Sobradinho e 235,23 ha na Lagoa da Santana, durante o período estudado. Entre o período chuvoso e seco, ao longo de 2013 a 2023, observou-se uma redução do espelho d'água das lagoas, sendo: 49,39 ha na Lagoa da Santana, 39,51 ha na Lagoa do Sobradinho e 11,68 ha na Lagoa do Portinho. O comportamento da variação de área das lagoas mostra semelhanças com as mudanças na precipitação durante o mesmo período.

A diferença de área ao se comparar os anos de 2013 e 2023 mostram que, ao longo do tempo, as lagoas do Portinho e Sobradinho tiveram aumento de área no período chuvoso de 15,83 % e 2,83 % e no período seco de 17,42% e 8,85%, respectivamente. Já a Lagoa da Santana diminuiu 14,30% de seu espelho d'água durante as chuvas e aumentou 15,56% no período seco (Tabela 1).

A redução da lâmina de água pode estar relacionada às caracteristicas geológicas da região, pois a zona costeira do Piauí faz parte da Bacia Sedimentar do rio Parnaíba que, por sua maior permeabilidade em relação a áreas de geologia cristalina, favorece o abastecimento do aquífero (Zanella, 2014). Assim, apesar do aumento da temperatura, a facilidade da transferência de água superficial diminui sua exposição à radiação solar e consequente evaporação durante o período seco (Barbosa, A. *et al*., 2022).

Tabela 1. Valores de área média dos períodos chuvoso (C) e seco (S) das lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí/Brasil, entre os anos de 2013 e 2023.

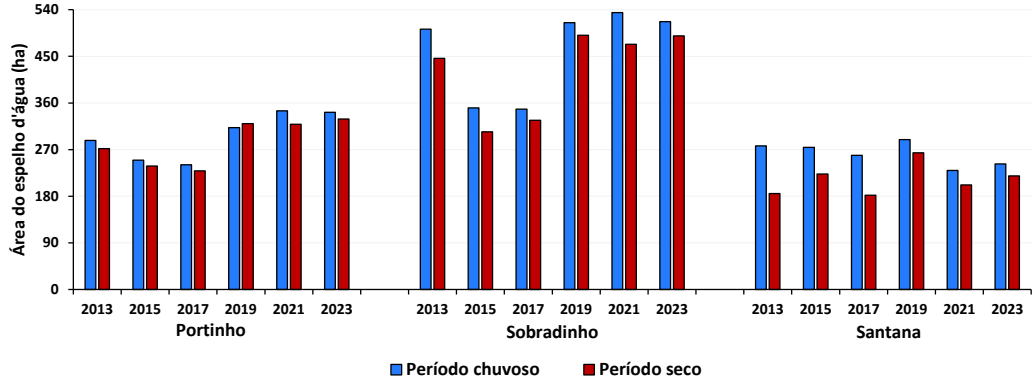
Lagoas	2013		2023		Perda/Ganho de área (ha)		Perda/Ganho de área (%)	
	C	S	C	S	C	S	C	S
Portinho	287,76	271,78	341,87	329,10	54,11	57,32	15,83	17,42
Sobradinho	502,48	446,23	517,12	489,53	14,64	43,30	2,83	8,85
Santana	276,96	185,09	242,32	219,19	-34,64	34,11	-14,30	15,56

Fonte: Os Autores (2025).

A área das lagoas apresentou uma diminuição acentuada de 2013 até 2017 quando voltaram a aumentar, concomitantemente ao aumento da precipitação (Figura 5). A lagoa do Portinho demostrou menor variação entre os períodos chuvoso e seco em cada ano, com recuperação de área acima do registrado para o ano de 2013. A lagoa do Sobradinho teve maior redução de área em 2015-2017, com recuperaçãonos anos seguintes acima dos valores de 2013. A lagoa da Santana sofreu menores variações durante os anos estudados, devido à influência das marés em seu abastecimento, porém com maior perda de área ao longo do tempo, pois, distintamente das demais, mostra maior diferença entre os períodos chuvoso e seco. Nos anos de menor precipitação (2013 a 2017), observa-se maior perda de área no período seco que nos

anos seguintes, o que pode estar relacionada a maiores valores de evapotranspiração no período de 2010 a 2016 (Ferreira; Kemenes, 2023).

Figura 5. Variação da lâmina superficial d'água em hectares das lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, no período chuvoso e seco, de 2013 a 2023.



Fonte: Os Autores (2025).

O baixo índice pluviométrico, a distribuição irregular de chuvas e alta taxa de evaporação, características da região semiárida do nordeste (Gomes; Zanella, 2023), foram intensificadas de 2010 a 2016, período registrado por Lima *et al*. (2017) como a maior seca em 100 anos. Ao comparar as normais climatológicas de 1961-1990 e de 1991-2020, Ferreira e Kemenes (2023) constataram o aumento de 2 % na taxa de evapotranspiração real e redução de 60 % do regime de chuvas.

Para Mesquita, Lima e Santos Filho (2018), os impactos naturais na Lagoa do Portinho, como a redução da precipitação e vazão dos rios e o avanço das dunas sobre o leito da lagoa, somados aos impactos antrópicos, acentuaram a redução de área, levando à quase extinção da lagoa. A influência de ações como barragem construída em propriedade privada, ocasionando a restrição da descarga fluvial do rio Portinho à montante da lagoa (Galvão, 2015), captação de água para piscicultura, desmatamento, agricultura e pastagem, bem como a dinâmica natural da ação eólica e atividades turísticas de passeio nas dunas, também contribuiram para o aumento da fragilidade desse ecossistema frente a eventos climáticos intensos na região (Sousa; Bacelar; Sousa, 2024).

Na Lagoa do Sobradinho em 2015, Sena e Silva (2020) registraram uma redução de 4,02 km² comparado com o último ano de referência (2010), e ganho de 2,65 km² no ano de 2020 em comparação com 2015. Ao final do período estudado, a Lagoa da Santana teve perda 5,40 % de sua área, apesar de estar situada em uma planície fluviomarinha que é abastecida diariamente

no período de maior vazão da maré (Sousa, 2019) (Tabela 1).

Assim como na Lagoa do Sobradinho, a Lagoa da Santana possui uma estrada cortando seu fluxo natural, dificultando a passagem de água doce dos riachos que as alimentam em tempos de baixa pluviosidade, intensificando os efeitos do processo de salinização (Cavalcanti; Camargo, 2000; Cunillera-Montcusí *et al*., 2022). Nesses canais fluviais e nas lagoas o assoreamento é acelerado pelo desmatamento e queimadas sistemáticas, que facilitam, ao longo do tempo, a migração de sedimentos trazidos pelo vento (Andrade; Gomes; Cruz, 2019; Cavalcanti; Camargo, 2000).

As belezas do litoral piauiense tornam a região propícia para o fluxo de visitantes nacionais e internacionaisem busca de atividades turísticas, impactando tanto positiva quanto negativamente, em diversas escalas e esferas (Braga; Guzzi, 2021; Vieira; Araújo, 2015). Cavalcanti e Camargo (2000) já alertavam sobre o impacto da especulação imobiliária com a construção de casas e meios de hospedagem próximo às lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana e suas respectivas áreas de inundação.

O aumento da pegada de dióxido de carbono (CO_2) (Melo *et al*., 2023), a construção de salinas e tanques de carcinicultura (Sousa; Valladares; Espíndola, 2016), a falta de infraestrutura de transporte, descarte de reísuos sólidos, abastecimento de água e tratamento de esgoto nos municípios da zona costeira do Piauí (Borges, 2022; Braga; Guzzi; Malta, 2023) são fatores que aumentam o grau de vulnerabilidade dessas áreas de planície fluvio-lacustre e fluvio-marinha (Barbosa, D. *et al*., 2022).

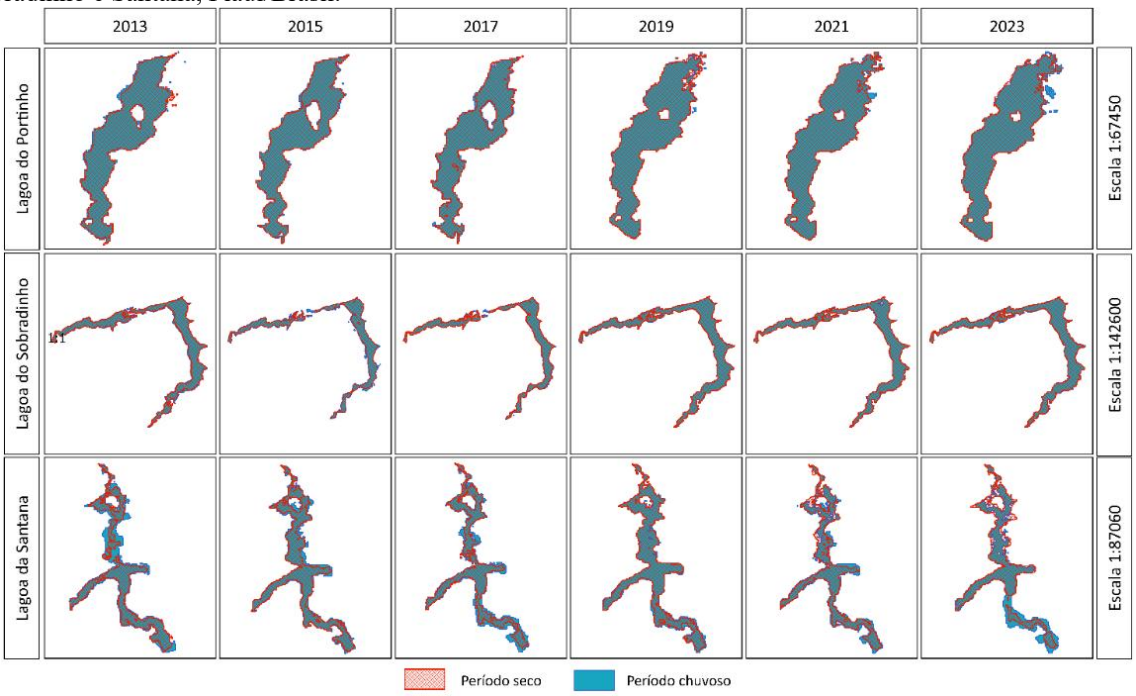
A dinâmica da variação da lâmina d'água superficial mostrou que, em relação à perda máxima de área, comparando o maior valor no período chuvoso e menor valor no período seco, houve na Lagoa do Sobradinho o ganho máximo de 43,08 % de área, em Santana 37,06 % e Portinho de 33,67 % (Tabela 3). A menor área registrada na Lagoa do Portinho ocorreu em 2017, com 228,83 ha, na Lagoa do Sobradinho em 2015, com 304,27 ha e na Lagoa da Santana em 2017, com 181,96 ha (Tabela 2, Figura 6).

Tabela 2. Valores de área mínima, máxima e perda máxima em hectares e porcentagem das lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, no período de 2013 a 2023, Piauí/Brasil.

Lagoas	Ano	Área mínima (ha)	Ano	Área máxima (ha)	Ganho máximo (ha)	Ganho máximo (%)
Portinho	2017	228,83	2021	344,99	116,16	33,67
Sobradinho	2015	304,27	2021	534,53	230,25	43,08
Santana	2017	181,96	2019	289,10	107,14	37,06

Fonte: Os Autores (2025).

Figura 6. Dinâmica da lâmina d'água no período chuvoso e seco no período de 2013 a 2023 nas Lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí/Brasil.



Fonte: Os Autores (2025).

Para Nascimento *et al*. (2019), o período com anos secos está cada vez mais longo, com a redução hídrica impulsionada por mudanças climáticas globais. A variabilidade da precipitação de um ano para outro, que está relacionada aos fenômenos atmosféricos, causa interferência na dinâmica e qualidade dos recursos hídricos, muitas vezes, limitando seus múltiplos usos (Gomes; Zanella, 2023). Os ecossistemas aquáticos lacustres sofrem a interferência natural e antrópica na sua biodiversidade e funcionamento, o que afeta direta e indiretamente as sociedades humanas que dependem deles em níveis econômicos e de saúde (Cunillera-Montcusí *et al*., 2022). O uso do sensoriamento remoto permite preencher lacunas de conhecimento que contribuam para o avanço significativo e o desenvolvimento concomitante de melhores estratégias de gestão e conservação desses ambientes.

A Secretaria do Meio Ambiente e Recurso Hídricos (Semarh/PI), desde 2012, possui uma Sala de Monitoramento e previsão de eventos climáticos no Estado, em colaboração com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Porém, somente a partir de agosto de 2023 o compartilhamento de tecnologias e dados, que possibilitam maior exatidão às previsões hidrológicas nos períodos de estiagem e chuvas do estado, foi implementado (Santos, 2023).

A previsão e monitoramento de parâmetros ambientais (hidrometeorológico, queimadas, desmatamentos, urbanização etc), bem como a modernização de processos, equipamentos e equipe técnica, são ações essenciais para a tomada de decisão governamental, que a partir do auxílio do Sensoriamento Remoto tornam dinâmica a divulgação de dados, inclusive para a população geral.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dinâmica de redução e expansão da lâmina d'água superficial das lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana sofreu consequência direta dos eventos climáticos extremos, como *El Niño*, que ocasionou índices pluviométricos abaixo da média histórica, principalmente no período de 2010 a 2017, e da redução gradativa dos índices de precipitação pluviométrica e modificação do ciclo sazonal da região nos últimos 50 anos.

No período estudado, a maior redução de área nas lagoas ocorreu de 2013 a 2017, seguida de recuperação nas lagoas do Portinho e Sobradinho com ganhos superiores ao estágio inicial em 2013, enquanto na lagoa da Santana percebeu-se diminuição de área. Contudo, as características geológicas da região, as hidrológicas de cada lagoa e suas formas de usos múltiplos, podem ter contribuído para os cenários apresentados. Ações antrópicas como barramento de rios e riachos tributários, construção de estradas que cortam as lagoas, expansão urbana sem planejamento e assoreamento pela movimentação das dunas, seja natural ou por consequências do turismo, atuam como importantes interferências nesses ambientes aquáticos. Dessa forma, sugere-se o monitoramento para a atualização e implementação das políticas públicas para a conservação desses ambientes.

A aplicação de técnicas e recursos de sensoriamento remoto para monitoramento e análise da dinâmica da área de lâmina d'água das lagoas demonstrou ser uma abordagem ágil e eficaz para o estudo. A disponibilidade de dados geoespaciais, imagens de sensoriamento remoto sem custos e geotecnologias adequadas permitiu uma integração eficiente em sua aplicação, contribuindo para a expansão nos estudos da dinâmica ambiental e impactos antrópicos, assim como para geração de dados importantes para subsidiar a gestão dos recursos hídricos na zona costeira do estado do Piauí.

REFERÊNCIAS

ADRIAN, R. *et al.* Lakes as sentinels of climate change**. Limnology and Oceanography**, [*S. l.*], v. 54, n. 6, p. 2283–2297, 2009. Disponível em: https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2283. Acesso em: 22 out. 2023.

ANA. **Espelhos d'água**. Atlas Geográfico de Recursos Hídricos do Brasil. [*S. l.*: *s. n.*], 2014. Disponível em: https://portal1.snirh.gov.br/arquivos/atlasrh2013/4-II-TEXTO.pdf. Acesso em: 28 out. 2024.

ANA. **Estatísticas de Chuvas e Vazões**. [*S. l.*], 2023. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/3ec95f52-d294-4102-807f-e71c56959fde. Acesso em: 20 out. 2024.

ANA. **Séries Históricas de Estações**. Hidroweb. [*S. l.*], 2025. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas. Acesso em: 3 maio 2025.

ANDRADE, A. L. M.; GOMES, A. C. A.; CRUZ, M. L. B. da. A importância do geoprocessamento na análise do uso e ocupação da Lagoa do Portinho localizada entre os municípios de Luís Correia e Parnaíba-PI. **Revista Cadernos de Ensino, Ciências & Tecnologia**, [*S. l.*], v. 1, p. 144–158, 2019. Disponível em: https://revistas.uece.br/index.php/CECiT/article/view/799/8606. Acesso em: 1 nov. 2024.

BAPTISTA, E. M. de C. Geomorfologia e Geodiversidade do litoral piauiense para fins de Geoconservação. **Revista de Geociências do Nordeste**, [*S. l.*], v. 2, p. 1250–1258, 2016. Disponível em: https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/10591/7505. Acesso em: 1 nov. 2024.

BARBOSA, A. H. da S. *et al.* Dinâmica dos espelhos d'água dos reservatórios da Bahia: uma aplicação a partir do Sensoriamento Remoto. **Caderno de Geografia**, [*S. l.*], v. 32, n. 70, p. 1000–1000, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/362884014_DINAMICA_DOS_ESPELHOS_D'AGUA_DOS_RESERVATORIOS_DA_BAHIA. Acesso em: 2 nov. 2024.

BARBOSA, A. H. da S. *et al.* Seis anos de seca: Análise Espaço-temporal dos Espelhos d'água dos Reservatórios do Ceará por Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [*S. l.*], v. 14, n. 4, p. 2220–2241, 2021. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/244978/39138. Acesso em: 12 dez. 2024.

BARBOSA, A. H. da S.; CUELLAR, M. Z.; ARRAES, K. A. Sensoriamento remoto aplicado a análise dos espelhos d'água dos principais reservatórios do Rio Grande do Norte. *In:* , 2019. **Anais** [...]. [*S. l.*: *s. n.*], 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/332879214. Acesso em: 2 mar. 2024.

BARBOSA, D. L. dos S. *et al.* Vulnerabilidade ambiental da área de proteção ambiental delta do Parnaíba. **Brazilian Journal of Development**, [*S. l.*], v. 8, n. 6, p. 45227–45239, 2022. Disponível em:

https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/49183/pdf. Acesso em: 30 out. 2024.

BATINA, A.; KRTALIĆ, A. Integrating Remote Sensing Methods for Monitoring Lake Water Quality: A Comprehensive Review. [*S. l.*]: **Multidisciplinary Digital Publishing Institute** (MDPI), 2024. Disponível em: https://www.mdpi.com/2306-5338/11/7/92. Acesso em: 30 out. 2024.

BATISTA, F. F.; RODRIGUES, D. T.; SILVA, C. M. S. e. Analysis of climatic extremes in the Parnaíba River Basin, Northeast Brazil, using GPM IMERG-V6 products. **Weather and Climate Extremes**, [*S. l.*], v. 43, p. 100646, 2024. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212094724000070. Acesso em: 30 out. 2024.

BORGES, G. K. L. Lazer, turismo e produção imobiliária no litoral do Piauí. **Pensar Geografia**, [*S. l.*], v. 6, n. 2, p. 46–65, 2022.

BRAGA, S. de S.; GUZZI, A. Organização espacial da atividade turística no litoral piauiense. **Mercator**, Fortaleza/CE, v. 20, p. e20024, 2021. Disponível em: https://www.scielo.br/j/mercator/a/CGKhQCZByqKxnFqTvSrYnZg/?lang=pt#. Acesso em: 26 out. 2024.

BRAGA, S. de S.; GUZZI, A.; MALTA, G. A. P. Analysis of the tourist territories of the Piauí coast using the analytical hierarchy process. **Mercator**, Fortaleza/CE, v. 22, n. 2023, p. 1–14, 2023. Disponível em: http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/e22007. Acesso em: 26 out. 2024.

BRASIL. **Portaria MMA No 34, de 2 de fevereiro de 2021**. Listagem atualizada dos municípios abrangidos pela faixa terrestre da zona costeira brasileira. Ministério do Meio Ambiente: n. 34, p. 53, 2 fev. 2021. Disponível em: https://www.sema.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/36/2021/02/PORTARIA-MMA-No-34-DE-2-DE-FEVEREIRO-DE-2021-PORTARIA-MMA-No-34-DE-2-DE-FEVEREIRO-DE-2021-DOU-Imprensa-Nacional.pdf. Acesso em: 21 out. 2024.

BRASIL**. Relatório do Zoneamento Ecológico-Econômico do Baixo Rio Parnaíba**. [*S. l.*: *s. n.*], 2002. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/estruturas/PZEE/_arquivos/baixopar_relatorio_completo.pdf. Acesso em: 22 out. 2024.

CAVALCANTI, A. P. B.; CAMARGO, J. C. G. Impactos e condições ambientais da zona costeira do Estado do Piauí. *In:* GERARDI, L. H. de O.; MENDES, I. A. (org.). **Do Natural, do Social e de suas Interações:** visões geográficas. Rio Claro: USP/DGH, 2000. p. 59–78.

CEMADEN. **Mapa interativo**. [*S. l.*], 2025. Disponível em: https://mapainterativo.cemaden.gov.br/#. Acesso em: 3 maio 2025.

COSTA, E. de C. P. *et al.* Mapeamento multitemporal e cadastral das salinas da Lagoa de Araruama - RJ. **GEOgraphia**, [*S. l.*], v. 24, n. 53, p. 2022, 2022. Disponível em: https://periodicos.uff.br/geographia/article/view/42595/32415. Acesso em: 2 out. 2024.

COSTA, G. L. da; CLAUDINO-SALES, V. de; CARVALHO, A. M. de. Análise ambiental da Área de Proteção Ambiental (APA) do Lagamar do Cauípe - Ceará. **Revista Territorium Terram**, [*S. l.*], v. 6, n. 8, p. 1–18, 2023. Disponível em: http://www.seer.ufsj.edu.br/territorium_terram/article/view/5242/3091. Acesso em: 20 nov. 2024.

CUNILLERA-MONTCUSÍ, D. *et al.* Freshwater salinisation: a research agenda for a saltier world. **Trends in Ecology and Evolution**, [*S. l.*], v. 37, n. 5, p. 440–453, 2022. Disponível em: http://www.cell.com/article/S0169534721003402/fulltext. Acesso em: 21 nov. 2024.

DIAS, R.; MATOS, F. Impactos das mudanças climáticas nos recursos hídricos: desafios e implicações para a humanidade. **Revista Sociedade Científica**, [*S. l.*], v. 6, n. 1, p. 1571–1603, 2023. Disponível em: https://revista.scientificsociety.net/wp-content/uploads/2023/09/Art00172-2023.pdf. Acesso em: 30 out. 2024.

ESTEVES, F. de A. **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FERREIRA, L. G. C.; KEMENES, A. A influência dos eventos climáticos extremos na climatologia da planície litorânea piauiense. **Revista Brasileira de Climatologia**, [*S. l.*], v. 32, p. 636–657, 2023. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/16349/9418. Acesso em: 13 out. 2024.

FUENTES-AGUILERA, P. *et al.* Recovery of Time Series of Water Volume in Lake Ranco (South Chile) through Satellite Altimetry and Its Relationship with Climatic Phenomena. **Water,** Switzerland, v. 16, n. 14, 2024. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4441/16/14/1997. Acesso em: 25 out. 2024.

GALVÃO, V. **Parecer técnico científico** (Ofício Lagoa Livre). [*S. l.*: *s. n.*], 2015.

GERHARD, M. *et al.* Environmental variability in aquatic ecosystems: Avenues for future multifactorial experiments. **Limnology and Oceanography Letters**, [*S. l.*], v. 8, n. 2, p. 247–266, 2023. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/lol2.10286. Acesso em: 21 nov. 2024.

GOMES, F. I. B. P.; ZANELLA, M. E. Histórico, causas e características da semiaridez do Nordeste do Brasil. **Geografares**, [*S. l.*], n. 37, p. 1–20, 2023. Disponível em: https://journals.openedition.org/geografares/10409#text. Acesso em: 24 out. 2024.

HUANG, C. *et al.* Detecting, Extracting, and Monitoring Surface Water From Space Using Optical Sensors: A Review. **Reviews of Geophysics**, [*S. l.*], v. 56, n. 2, p. 333–360, 2018. Disponível em: Acesso em: 18 out. 2024.

ICMBIO. **Plano de manejo da área de proteção ambiental Delta do Parnaíba**. Brasília, DF: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinho/lista-de-ucs/apa-delta-do-parnaiba/arquivos/plano_de_manejo_da_apa_delta_do_parnaiba.pdf. Acesso em: 2 out. 2024.

INMET. **Estado do clima no Brasil em 2022.** Brasília – DF: INMET, 2023. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/uploads/notastecnicas/Estado-do-clima-no-Brasil-em-2022-

OFICIAL.pdf. Acesso em: 2 maio 2025.

INMET. **Banco de Dados Meteorológicos**. [*S. l.*]: Instituto Nacional de Meteorologia, 2025. Disponível em: https://bdmep.inmet.gov.br/. Acesso em: 3 maio 2025.

INPE. **Condições atuais do ENOS:** caracterização do El-Niño. [*S. l.*], 2025. Disponível em: http://enos.cptec.inpe.br/. Acesso em: 2 fev. 2025.

INPE. **Infoclima**. [*S. l.*], 2024. Disponível em: http://infoclima.cptec.inpe.br/. Acesso em: 3 nov. 2024.

KAYANO, M. T. *et al.* El Niño e La Niña dos últimos 30 anos: diferentes tipos. **Revista Climanalise**, [*S. l.*], v. 7, 2016. Disponível em: http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/30anos/Kayanoetal.pdf. Acesso em: 29 out. 2024.

LIMA, M. G. de *et al.* Secas de 2010 a 2016 no Piauí: impactos e respostas do Estado em articulação com os programas nacionais. *In:* **Parcerias Estratégicas**. 44. ed. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2017. v. 22, p. 155. Disponível em: https://cdi.mecon.gob.ar/bases/doc/parceriasest/44.pdf. Acesso em: 26 set. 2024.

MEDEIROS, R. M. de *et al.* A Lagoa do Portinho - Piauí, Brasil e suas contribuições ao turismo e meio ambiente. **Revista Científica Multidisciplinar - RECIMA21**, [*S. l.*], v. 3, n. 2, p. e321177–e321177, 2022. Disponível em: https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/1177/932. Acesso em: 30 out. 2024.

MEDEIROS, R. M. de; CAVALCANTI, E. P.; DUARTE, J. F. de M. Classificação climática de Köppen para o estado do Piauí - Brasil. **Revista Equador**, [*S. l.*], v. 9, n. 3, p. 82–99, 2020. Disponível em: https://comunicata.ufpi.br/index.php/equador/article/view/9845/6335. Acesso em: 21 out. 2024.

MELO, R. de S. *et al.* Pegada de dióxido de carbono (CO2) dos visitantes do município de Cajueiro da Praia (PI). **Revista Brasileira de Ecoturismo (RBEcotur)**, [*S. l.*], v. 16, n. 2, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/370698363_Pegada_de_dioxido_de_carbono_CO2_dos_visitantes_do_municipio_de_Cajueiro_da_Praia_PI. Acesso em: 30 out. 2024.

MENDES JUNIOR, J. Q.; SILVA, J. C. O povo das dunas na Lagoa do Portinho, Piauí, Brasil.**International Journal of South American Archaeology-IJSA**, [*S. l.*], n. 9, p. 6, 2011. Disponível em: https://ijsa.syllabapress.us/issues/articles/ijsa00048/ijsa00048.pdf. Acesso em: 30 out. 2024.

MESQUITA, T. K. da S.; LIMA, I. M. de M. F.; SANTOS FILHO, F. S. Lagoa fluvial do rio Portinho, Piauí: impactos socioambientais recentes. *In:* BARBOSA, L. N. *et al.* (org.). **Análise de impactos e riscos ambientais em bacias hidrográficas**. Mossoró – RN: EDUERN, 2018. (“PLANEJAMENTO URBANO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS”). p. 91–102. Disponível em: http://www.ppggeografia.ufc.br/images/documentos/C7T3_compressed.pdf#page=91. Acesso em: 30 out. 2024.

MESQUITA, T. K. da S.; LIMA, I. M. de M. F.; SANTOS FILHO, F. S. Cadê a lagoa que estava aqui? Estudo de caso da Lagoa do Portinho, litoral do Piauí (Brasil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [*S. l.*], v. 11, n. 1, p. 346–356, 2018. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/234206/pdf. Acesso em: 30 out. 2024.

NASCIMENTO, M. G. P. *et al.* Climatological trends for the municipality of Parnaíba Piauí/Brazil. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing,** v, [*S. l.*], v. 9, n. 1, p. 10–20, 2019. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/jhrs/article/download/239775/31933. Acesso em: 13 out. 2024.

PEREIRA, J. D. A. *et al.* Uso do sensoriamento remoto para monitoramento da redução das águas do complexo curema-mãe d'água. **Brazilian Journal of Development**, [*S. l.*], v. 6, n. 3, p. 13954–13966, 2020. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/7880/6840. Acesso em: 15 out. 2024.

PIZANI, F. M. C. *et al.* Técnicas de sensoriamento remoto para análise temporal do espelho d'água da Lagoa Grande na cidade de Sete Lagoas – MG. **Revista Geografias**, [*S. l.*], v. 17, n. 1, p. 81–102, 2022. Disponível em: https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/25893/30289. Acesso em: 24 out. 2024.

RIBEIRO, E. M. *et al.* Unidades de conservação costeiras e marinhas no Brasil . *In:* MUEHE, D.; LINS-DEBARROS, F. M.; PINHEIRO, L. (org.). **Geografia Marinha:** oceanos e costas na perspectiva de geógrafos. Rio de Janeiro: PGGM, 2020. p. 402–437. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Carolina-Villavicencio/publication/345744072_Unidades_de_conservacao_costeiras_e_marinhas_no_Brasil/links/6065d6af92851c91b1984b7b/Unidades-de-conservacao-costeiras-e-marinhas-no-Brasil.pdf. Acesso em: 27 out. 2024.

RIBEIRO, J. N. do A. *et al.* Métrica com Base Ecossistêmica para a Caracterização e Gestão de Lagoas Costeiras. **Revista Costas**, [*S. l.*], v. 2, n. 1, p. 105–144, 2020. Disponível em: https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/28178/ppereira1%2c%2bArt07.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 20 out. 2024.

RIBEIRO, M. **Condomínio de luxo no litoral do Piauí é multado em R$ 100 mil por obra sem autorização ambiental**. [*S. l.*], 2019. Disponível em: https://infonewss.com/condominio-de-luxo-no-litoral-do-piaui-e-multado-em-r-100-mil-por-obra-sem-autorizacao-ambiental/. Acesso em: 23 out. 2024.

SANTOS FILHO, F. S. **Composição florística e estrutural da vegetação de restinga do Estado do Piauí.** 2009. Tese - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

SANTOS, A. L. M. dos *et al.* Space–Time Characterization of Extreme Precipitation Indices for the Semiarid Region of Brazil. **Climate**, [*S. l.*], v. 12, n. 3, 2024. Disponível em: https://www.mdpi.com/2225-1154/12/3/43. Acesso em: 30 out. 2024.

SANTOS, R. **Semarh fortalece monitoramento climático no Piauí e emite mais de 300 boletins e alertas em 2023**. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Piauí –

SEMARH, [*S. l.*], 2023. Disponível em: https://www.pi.gov.br/noticia/semarh-fortalece-monitoramento-climatico-no-piaui-e-emite-mais-de-300-boletins-e-alertas-em-2023. Acesso em: 12 out. 2024.

SANTOS FILHO, F. S.; ALMEIDA JR, E. B.; ZICKEL, C. S. Do edaphic aspects alter vegetation structures in the Brazilian restinga?. **Acta Botanica Brasilica**, [*S. l.*], v. 27, n. 3, p. 613–623, 2013. Disponível em: https://www.scielo.br/j/abb/a/xm8YWrKjdySmWcRnsKkfKJf/?format=pdf&lang=en. Acesso em: 23 nov. 2024.

SENA, N. A.; SILVA, M. P. da. Monitoramento de recursos hídricos: estudo da Lagoa do Sobradinho em Luís Correia - PI. *In:* **XI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. Vitória - ES: [*s. n.*], 2020. Disponível em: https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2020/VIII-007.pdf. Acesso em: 2 out. 2024.

ȘERBAN, C.; MAFTEI, C.; DOBRICĂ, G. Surface Water Change Detection via Water Indices and Predictive Modeling Using Remote Sensing Imagery: A Case Study of Nuntasi-Tuzla Lake, Romania. **Water**, [*S. l.*], v. 14, n. 4, p. 556, 2022. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4441/14/4/556/htm. Acesso em: 18 out. 2024.

SILVA *et al.* Mudanças climáticas e variabilidade termopluviométrica na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, [*s. l.*], v. 36, p. 533–559, 2025. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/18695/10966. Acesso em: 2 maio 2025.

SOUSA, A. M.; BACELAR, F. K. R.; SOUSA, R. dos S. Dynamics of land use and coverage of the Portinho river water basin, coast of Piauí. **International Journal Semiarid**, [*S. l.*], v. 7, n. 7, 2024. Disponível em: https://journalsemiarid.com/index.php/ijsa/article/view/223/393. Acesso em: 25 out. 2024.

SOUSA, A. **Teresa Britto denuncia crime ambiental em Cajueiro da Praia**. [*S. l.*], 2022. Disponível em: https://www.al.pi.leg.br/institucional/noticias/teresa-britto-denuncia-crime-ambiental-em-cajueiro-da-praia. Acesso em: 23 out. 2024.

SOUSA, R. D. S. **Zoneamento geoecológico do complexo fluviomarinho dos rios Cardoso/Camurupim e porção costeira adjacente, litoral leste piauiense**. 2019. 154 f. Fortaleza/CE, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/49257/3/2019_tese_rssousa.pdf. Acesso em: 3 out. 2024.

SOUSA, R. dos S.; VALLADARES, G. S.; ESPÍNDOLA, G. M. de. Análise do índice de vegetação (NDVI) e vulnerabilidade ambiental da planície costeira do estado do Piauí. **Revista Casa da Geografia**, [*S. l.*], v. 18, n. 2, p. 82–99, 2016. Disponível em: https://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/304/297. Acesso em: 3 nov. 2023.

SOUZA, E. M. da S. de; MOREIRA, L. C. de S. Avaliação da composição de espécies de macrófitas aquáticas em ecossistemas lênticos perenes do Parque das Dunas, Salvador – BA. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, [*S. l.*], v. 3, n. 4, p. 807–820, 2017. Disponível em: https://revista.uergs.edu.br/index.php/revuergs/article/view/1172/264. Acesso em 15 nov. 2024.

TOLEDO JUNIOR, A. P. de *et al.* Aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. *In:* **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. [*S. l.*]: ABES, 1983. Disponível em: https://repositorio.cetesb.sp.gov.br/server/api/core/bitstreams/d7c9193b-7d01-4098-89e0-5f9b67a955cc/content. Acesso em: 30 out. 2024.

VALLADARES, G. S. *et al.* Análise espectral de solos do litoral piauiense. **Acta Geográfica**, [*S. l.*], v. 16, n. 42, p. 120–138, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/368427697_Analise_espectral_de_solos_do_litoral_piauiense. Acesso em: 27 out. 2024.

VASISTHA, P.; GANGULY, R. Water quality assessment of natural lakes and its importance: An overview. Materials Today: **Proceedings**, [*S. l.*], v. 32, p. 544–552, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/339531564_Water_quality_assessment_of_natural_lakes_and_its_importance_An_overview. Acesso em: 20 out. 2024.

VIEIRA, A. F.; ARAÚJO, J. L. L. Turismo e sustentabilidade ambiental na comunidade de Barra Grande, Cajueiro da Praia, Piauí (PI). **Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo**, [*S. l.*], v. 9, n. 3, p. 519–536, 2015. Disponível em: https://rbtur.org.br/rbtur/article/view/994/689. Acesso em: 20 out. 2024.

VITOR, C. *et al.* Impacts of extreme precipitation events in water quality: a scientometric analysis in global scale Impactos de eventos extremos de precipitação na qualidade da água: uma análise cienciométrica em escala global. **Acta Limnologica Brasiliensia**, [*S. l.*], v. 35, p. 17, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S2179-975X0223. Acesso em: 30 out. 2024.

WEYHENMEYER, G. A. *et al.* Global Lake Health in the Anthropocene: Societal Implications and Treatment Strategies. **Earth's Future**, [*S. l.*], v. 12, n. 4, 2024. Disponível em: https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2023EF004387. Acesso em: 24 out. 2024.

WOOLWAY, R. I.; SHARMA, S.; SMOL, J. P. Lakes in hot water: the impacts of a changing climate on aquatic ecosystems. **BioScience**, [*S. l.*], v. 72, n. 11, p. 1050–1061, 2022. Disponível em: https://dx.doi.org/10.1093/biosci/biac052. Acesso em: 22 out. 2024.

XU, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**, [*S. l.*], v. 27, n. 14, p. 3025–3033, 2006. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431160600589179. Acesso em: 30 out. 2024.

ZANELLA, M. E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, [*S. l.*], v. Especial, n. 36, p. 126–142, 2014. Disponível em: https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/3176/2680. Acesso em: 24 out. 2024.

ARTIGO II

FLORÍSTICA E DIVERSIDADE DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS EM LAGOAS COSTEIRAS DO PIAUÍ, BRASIL[2]

RESUMO

As macrófitas aquáticas são plantas que se desenvolvem em ambientes aquáticos ou sujeitos à inundação e desempenham papel fundamental na manutenção dos serviços ecossistêmicos, em diferentes sistemas aquáticos. Este estudo objetivou registrar a composição florística de macrófitas aquáticas em lagoas costeiras do estado do Piauí, Brasil, e comparar com outras lagoas costeiras do Nordeste. As coletas foram realizadas em diferentes pontos das lagoas, selecionados de modo a representar a variabilidade espacial dos ambientes em três lagoas costeiras do Piauí, entre os anos de 2024 e 2025. Todo o material coletado, foi herborizado, identificado e incorporado ao acervo do Herbário HDELTA. Análises florísticas e de dissimilaridade foram conduzidas entre as lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, no Piauí, Jijoca, no Ceará e em Candeias, na Bahia. Registrou-se 47 táxons, distribuídos em 22 famílias, dentre elas está *Sida brittoni* como um novo registro para o Piauí. As famílias mais representativas foram Fabaceae (19,51%), Cyperaceae (14,89%) e Poaceae (8,51%), com predominância da forma biológica anfíbia (71,43%). A composição de macrófitas mostrou-se heterogênea, com alta dissimilaridade (>0,8) entre as lagoas estudadas. A lagoa do Sobradinho apresentou maior riqueza e número de espécies exclusivas. As variações geomorfológicas e os diferentes níveis de proximidade urbana mostraram-se fatores que podem influenciar a estruturação da diversidade de macrófitas aquáticas. Os resultados reforçam a importância do monitoramento contínuo e da implementação de estratégias de manejo e conservação das lagoas costeiras do Piauí, frente ao aumento das pressões antrópicas, como a expansão urbana e a especulação imobiliária.

Palavras-chave: ecossistemas de zonas úmidas; inventário florístico; lagoas costeiras; macrófitas aquáticas; nordeste do Brasil; riqueza de espécies.

[2] Trabalho submetido à revista Ecology and Evolution (A3).

FLORISTIC COMPOSITION AND SPATIAL HETEROGENEITY OF AQUATIC MACROPHYTES IN COASTAL LAGOONS OF NORTHEASTERN BRAZIL

ABSTRACT

Aquatic macrophytes are plants that grow in aquatic environments or in areas prone to flooding and play a fundamental role in maintaining ecosystem services in various aquatic systems. This study aimed to document the floristic composition of aquatic macrophytes in coastal lagoons in the state of Piauí, Brazil, and to compare it with that of other coastal lagoons in the Northeast. Samples were collected at different locations within the lagoons, selected to represent the spatial variability of the environments in three coastal lagoons in Piauí between 2024 and 2025. All collected material was herbarium-preserved, identified, and added to the HDELTA Herbarium collection. Floristic and dissimilarity analyses were conducted among the lagoons of Portinho, Sobradinho, and Santana in Piauí; Jijoca in Ceará; and Candeias in Bahia. A total of 47 taxa were recorded, distributed across 22 families, including Sida brittoni, which represents a new record for Piauí. The most common families were Fabaceae (19.51%), Cyperaceae (14.89%), and Poaceae (8.51%), with the amphibious life form predominating (71.43%). The composition of macrophytes was heterogeneous, with high dissimilarity (>0.8) among the studied ponds. The Sobradinho pond exhibited greater species richness and a higher number of endemic species. Geomorphological variations and different levels of proximity to urban areas were found to be factors that can influence the structure of aquatic macrophyte diversity. The results reinforce the importance of continuous monitoring and the implementation of management and conservation strategies for the coastal ponds of Piauí, in light of increasing anthropogenic pressures, such as urban expansion and real estate speculation.

Keywords: aquatic macrophytes; coastal lagoons; floristic inventory; species richness; northeastern Brazil; wetland ecosystems

INTRODUÇÃO

As macrófitas aquáticas constituem um grupo ecologicamente relevante nos ecossistemas hídricos, atuando como produtoras primárias, fornecendo abrigo e alimento para diversos organismos, e desempenhando funções essenciais na ciclagem de nutrientes e, na retenção de sedimentos (Mori *et al*., 2021; Sood *et al*., 2012). Esse grupo engloba plantas vasculares e não vasculares adaptadas total ou parcialmente à vida submersa, flutuantes ou em áreas brejosas, apresentando elevada plasticidade ecológica, permitindo-lhes colonizar ambientes de águas interiores e salobras, estuários e águas costeiras, em sistemas lênticos ou lóticos, permanentes ou intermitentes (Pott; Pott, 2000; Pedralli, 2003; Porto *et al*., 2025).

As angiospermas apresentam casos evolutivos de retorno ao ambiente aquático a partir de ancestrais terrestres, mantendo estruturas como estômatos e cutícula, com adaptações morfoanatômicas que favorecem sua sobrevivência, tais como a presença de aerênquima, raízes reduzidas e folhas finas, contribuindo para seu sucesso ecológico em ambientes com variações hidrológicas (Neiff; Neiff, 2003; Bottino; Cunha-Santino; Bianchini, 2016). Essas adaptações refletem-se em uma ampla diversidade de formas de vida, cuja distribuição varia conforme a profundidade da lâmina d'água, a disponibilidade de luz e nutrientes e o regime hidrológico dos ambientes (Pott; Pott, 2000; Fares *et al*., 2020).

A interação dessas plantas com o ambiente influencia os parâmetros físico-químicos da água, estrutura trófica e fauna (Esteves, 2011; Mori *et al.*, 2021). Em lagoas costeiras, sua ocorrência e distribuição estão fortemente relacionadas à variação sazonal da lâmina d'água, disponibilidade de nutrientes e às características do substrato (Cunha *et al*., 2012; Fares *et al.*, 2020). Em ambientes eutrofizados, a proliferação excessiva de macrófitas pode comprometer o fluxo hídrico, a biodiversidade e a provisão dos serviços ecossistêmicos (Pompêo, 2008; Sood *et al*., 2012; Fares *et al.*, 2020), enquanto fatores climáticos, como temperatura e precipitação, atuam como filtros ambientais que moldam padrões de distribuição e riqueza de espécies (Mori *et al.*, 2021; Wagensommer *et al.*, 2025).

Vale ressaltar que, as macrófitas aquáticas apresentam elevado potencial aplicado em estratégias de biorremediação, controle da poluição e recuperação de ambientes degradados, em função de sua capacidade de absorver nutrientes, metais pesados e compostos orgânicos tóxicos (Sood *et al*., 2012; Zhang *et al.*, 2024). O conhecimento sobre essas espécies é fundamental para o planejamento ambiental e a gestão integrada de recursos hídricos, pois refletem a saúde dos ecossistemas, atuam como bioindicadoras de alterações na qualidade da

água e nos processos hidrológicos (Kastratović *et al.*, 2018), subsidiando políticas públicas de conservação (Lolis; Thomaz, 2011; Porto *et al*., 2025).

No Brasil, apesar do avanço dos estudos sobre macrófitas aquáticas, estudos revelam que a concentração se encontra principalmente nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul (Pivari *et al*., 2018; Pivari; Melo; Moura-Júnior, 2024; Pott; Pott, 2000). A maior riqueza é registrada no Centro-Oeste, com 1.393 espécies, 520 gêneros e 132 famílias, enquanto o Nordeste apresenta menor diversidade, com 662 espécies, 337 gêneros e 92 famílias (Pivari; Melo; Moura-Júnior, 2024). No Nordeste brasileiro, especialmente em ambientes aquáticos costeiros, os levantamentos florísticos ainda são escassos, com apenas dois estudos publicados: um para a lagoa de Jijoca, no Ceará (Matias; Amado; Nunes, 2003), e uma em uma lagoa em Candeias, Bahia (Neves *et al*., 2006).

Essas lacunas dificultam o entendimento da composição e dinâmica dessas comunidades de macrófitas aquáticas (Moura-Júnior; Cotarelli, 2019), sendo especialmente evidentes no litoral do Piauí. A planície costeira piauiense abriga uma complexa rede de corpos d'água influenciados pela sazonalidade de chuvas e pela dinâmica das marés (Barbosa *et al*., 2012). Nesta localidade, os estudos concentram-se principalmente no Delta do rio Parnaíba (Andrade *et al*., 2014) e em alguns municípios costeiros (Freitas *et al*., 2017; Nascimento *et al*., 2013), o que pode estar relacionado ao reduzido número de especialistas dedicados ao grupo na região (Moura Júnior *et al*., 2011).

Diante da relevância ecológica e aplicada das macrófitas e da escassez de informações sobre os ecossistemas aquáticos do litoral piauiense e nordestino, este estudo objetivou registrar e comparar a composição florística de macrófitas aquáticas em três lagoas costeiras do estado do Piauí, Brasil, ampliando os registros científicos disponíveis e fornecendo subsídio para futuros programas de gestão e conservação da biodiversidade regional.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

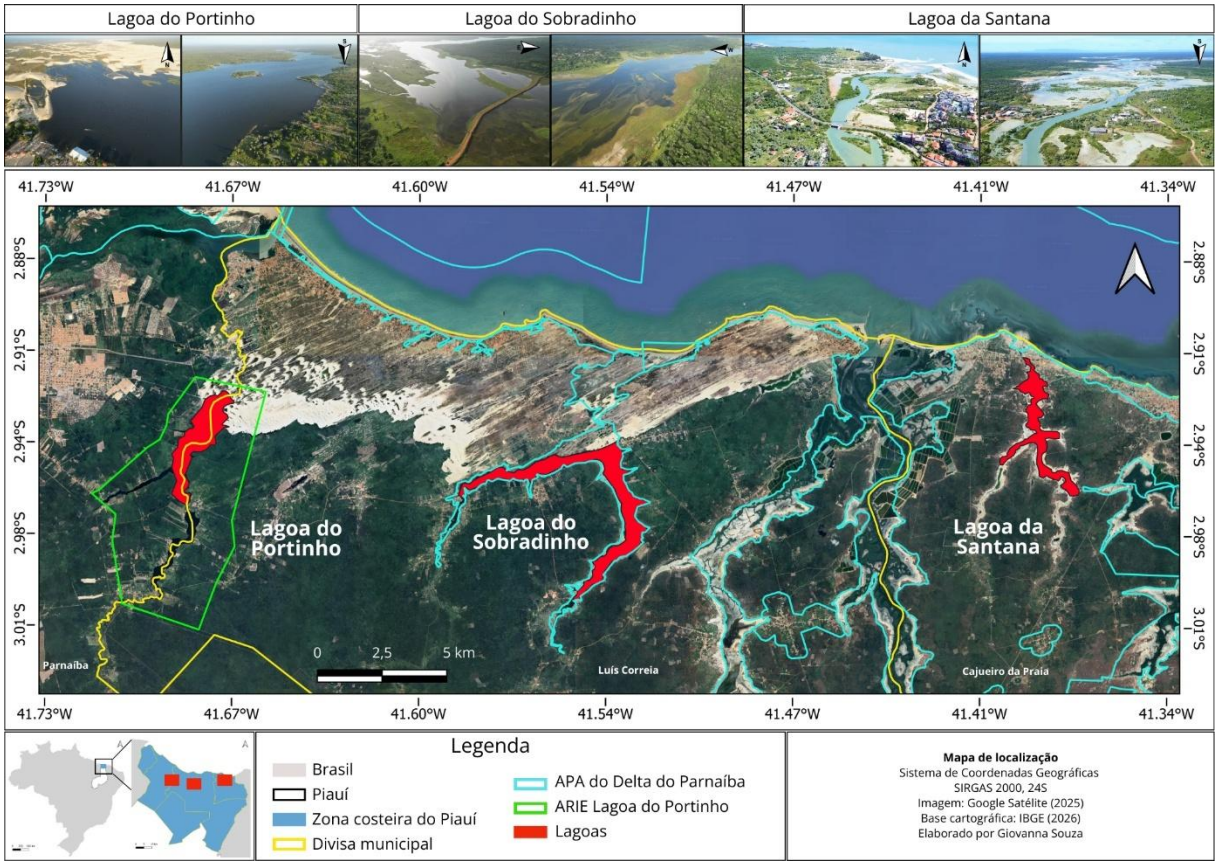
O litoral do Piauí possui 66 km de extensão e é formado pelos municípios de Cajueiro da Praia, Ilha Grande, Luís Correia e Parnaíba, sendo a zona costeira influenciada também pelo município de Bom Princípio do Piauí (Brasil, 2021). O clima da região é "Aw", caracterizado como megatérmico, com verão chuvoso e inverno quente e seco, conforme a classificação de Köppen (Ferreira; Kemenes, 2023). A temperatura média anual de 27,5 °C e a precipitação

média anual de 1075 mm, com período chuvoso entre janeiro e maio e período seco entre junho e dezembro (Ferreira; Kemenes, 2023; Souza *et al.*, 2025).

Os solos originários são originados de sedimentos do Terciário e Quaternário, apresentando textura que varia de arenosa a argilosa (Valladares *et al.*, 2023). A vegetação resulta da sobreposição de diferentes biomas, especialmente nas áreas de transição entre o Cerrado e a Caatinga (Farias; Castro, 2004 formando um mosaico de fitofisionomias que inclui vegetação pioneira psamófila; formações subperenifólia de dunas, perenifólia de mangue, várzea; vegetação do Delta dos rios Parnaíba e Longá florestas estacionais de tabuleiros e formações secundárias de cerradão (Santos-Filho, 2009). Do ponto de vista geomorfológico, a região litorânea é marcada por planícies associadas a corpos lacustres, sistemas fluviais, fluviomarinhas, além de praias, dunas e estuários (Silva; Baptista; Moura, 2022).

Foram selecionadas três lagoas permanentes da planície costeira do Piauí para o estudo: Lagoa do Portinho, Lagoa do Sobradinho e Lagoa da Santana, situadas em áreas sob proteção de Unidades de Conservação e sujeitas à crescente pressão da urbanização e do turismo (Figura 1).

Figura 1. Mapa de localização da Lagoa do Portinho, Lagoa do Sobradinho e Lagoa do Santana, no litoral do Piauí.



Fonte: Adaptado de IBGE (2026).

A Lagoa do Portinho (aproximadamente 5 km²) localiza-se na divisa entre os municípios de Luís Correia e Parnaíba. Sua forma está associada ao barramento por dunas do rio Portinho, riacho Brandão e outros córregos a montante, apresentando águas que variam de doces a salobras (Mesquita; Lima; Santos-Filho, 2018; SEMARH, 2025). Em 2019, foi criada a Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) da Lagoa do Portinho, a partir de estudos de compensação ambiental da instalação de uma usina de produção de cachaça no sul do estado do Piauí (Medeiros *et al.*, 2022; SEMARH, 2025).

A Lagoa do Sobradinho (aproximadamente 16 km²) localiza-se no município de Luís Correia, a cerca de 20 km da sede municipal, inserida na Zona de Uso Comunitário da Área de Proteção Ambiental (APA) do Delta do rio Parnaíba (ICMBIO, 2020). Trata-se de uma lagoa de origem residual, formada por transgressão e regressão marinha, o que justifica a predominância de águas salgadas e salobras (Baptista, 2016), seu abastecimento ocorre por fluxo pluvial, fluvial e freático (Sousa, 2019).

A Lagoa da Santana (aproximadamente 7 km²) situa-se no município de Cajueiro da Praia, na Zona de Uso Moderado dentro da APA do Delta do rio Parnaíba (ICMBIO, 2020). Possui conexão com o ambiente marinho, sendo influenciada pela dinâmica das marés de sizígia, formando um sistema estuarino-lagunar na desembocadura do rio Santana, que deságua na praia da Barrinha (Sousa, 2019).

Aspectos legais

O estudo foi autorizado pelo Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBIO), sob o número 86013-1. O cadastro de acesso ao Patrimônio Genético/CTA recebeu o nº A7F3E5A no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen).

Coleta e análise dos dados

O levantamento de macrófitas aquáticas foi realizado entre 2024 e 2025, utilizando amostragem aleatória pelo método de caminhamento ao longo das margens das lagoas (Paiva, 2024; Silva; Fontes, 2018). A amostragem foi conduzida durante oito campanhas de campo, distribuídas trimestralmente ao longo do período de estudo e abrangendo todas as estações do ano. O material botânico foi coletado e herborizado seguindo os procedimentos padrão descritos por Fidalgo e Bononi (1989). Após a identificação, todos os espécimes foram incorporados ao

acervo do Herbário Delta do Parnaíba (HDELTA), da Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPar).

A nomenclatura das espécies seguiu o sistema proposto pelo *Angiosperm Phylogeny Group* (APG IV *et al.*, 2016). A identificação das espécies e classificação das formas biológicas foram realizadas a partir de literatura especializada (Moura Júnior *et al.*, 2015; Moura-Júnior; Cotarelli, 2019; Pivari; Melo; Moura-Júnior, 2024; Pott; Pott, 2000), comparação com materiais previamente identificados e consultas a especialistas. A classificação utilizada neste estudo está de acordo com Pivari, Melo e Moura-Júnior (2024), onde as macrófitas são classificadas em anfíbias, emergentes, flutuantes fixas, flutuantes livres, submersas livres, submersas fixas, epífitas e embalsadas. Informações sobre a origem e o endemismo das espécies foram obtidas no Flora e Funga do Brasil (2026), e o estado de conservação, na Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da IUCN (2026). O estado de conservação foi incluído para fornecer informações preliminares sobre o conhecimento de conservação disponível para os táxons registrados.

A análise florística foi de natureza qualitativa, baseada em dados de presença-ausência provenientes de listas de flora de macrófitas deste estudo e de publicações anteriores sobre outras floras de macrófitas costeiras do Nordeste (Matias *et al*., 2003; Neves, 2006), as quais serviram de base para comparações quantitativas subsequentes. O pacote "ggVennDiagram" (Gao; Dusa, 2026) foi utilizado para determinar o número de espécies exclusivas e compartilhadas entre as lagoas. A similaridade florística foi avaliada por meio do índice de dissimilaridade de Jaccard, utilizando os pacotes readr (Wickham et al., 2025), dplyr (Wickham *et al*., 2023), vegan (Oksanen *et al*., 2025), ape (Paradis; Schliep, 2019), ggplot2 (Wickham, 2016), igraph (Csárdi *et al*., 2026) e RColorBrewer (Neuwirth, 2022). A análise de agrupamento foi realizada utilizando o método UPGMA, e a ordenação foi conduzida por meio de escalonamento multidimensional não métrico com árvore geradora mínima (NMDS com MST). Todas as análises foram realizadas no ambiente estatístico R (versão 4.5.1).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram identificados 47 táxons de macrófitas na área de estudo, distribuídas em 36 gêneros e 22 famílias. Fabaceae Lindl. e Cyperaceae Juss. destacaram-se como as mais representativas, com nove e sete espécies, respectivamente, seguidas por Poaceae (quatro spp), Amaranthaceae, Convolvulaceae, Malvaceae e Rubiaceae (três spp cada). As demais famílias ocorreram com apenas um táxon, evidenciando uma composição florística caracterizada pela dominância de poucos grupos taxonômicos e pela presença de diversas famílias pouco representadas (Tabela 1).

Tabela 1. Táxons de macrófitas aquáticas registradas nas lagoas de Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí, Brasil: Presença (X) e Ausência (-) de espécies; Anfíbia (Anf), Emergente (Em), Submersa (Sub); Origem: Nativa (NA), Naturalizada (NT); Endemismo: Não endêmica (NE), Endêmica (E).

Família/Espécie	Ocorrência nas lagoas			Formas biológicas	Origem	Endemismo	Registro no HDELTA
	PT	SB	ST				
Acanthaceae							
Ruellia paniculata L.	-	X	-	Anf	NA	NE	US 2949203
Amaranthaceae							
Blutaparon portulacoides (A.St.-Hil.) Mears	X	X	X	Anf	NA	NE	10783, 10794, 10820, 10845, 10860
Blutaparon vermiculare (L.) Mears	X	-	-	Anf	NA	NE	9597
Froelichia humboldtiana (Roem. & Schult.) Seub.	-	X	-	Anf	NA	NE	10855
Convolvulaceae							
Daustinia montana (Moric.) Buril & A.R. Simões	-	X	-	Anf	NA	E	10827, 10857
Ipomea asarifolia (Desr.) Roem. & Schult.	-	X	-	Anf/Em	NA	NE	10813, 10828, 10854
Ipomoea pes-caprae (L.) R. Br.	X	-	-	Anf	NA	NE	159
Cyperaceae							
Cyperus articulatus L.	X	X	-	Anf	NA	NE	10788, 10791, 10803, 10834
Cyperus brevifolius (Rottb.) Endl. ex Hassk.	X	-	-	Anf	NA	NE	10786
Cyperus ligularis L.	X	X	-	Anf/Em	NA	NE	10787, 10796, 10798, 10832
Cyperus polystachyos Rottb.	-	X	-	Em	NA	NE	10800, 10825, 10838
Eleocharis geniculata (L.) Roem. & Schult.	X	X	X	Anf/Em	NA	NE	10780, 10792, 10807, 10809, 10812, 10836, 10864
Eleocharis interstincta (Vahl) Roem. & Schult.	-	X	-	Em	NA	NE	10831
Fimbristylis cymosa R.Br.	X	X	X	Anf	NA	NE	10781, 10793, 10797, 10811,

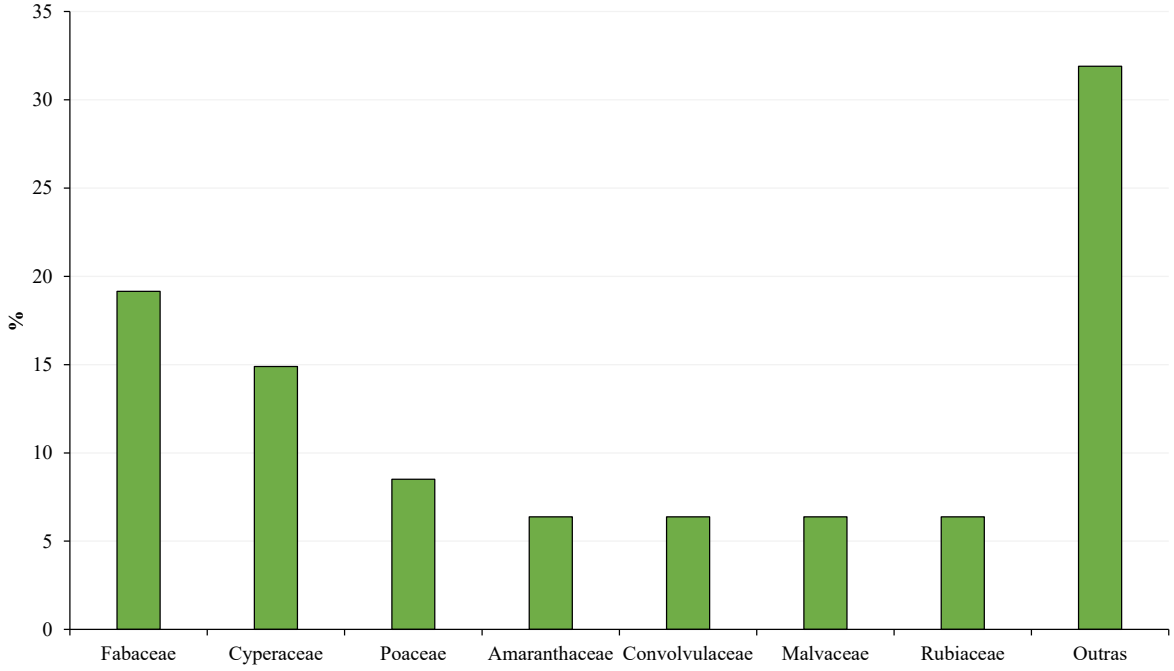
							10823, 10859, 10865
Fabaceae							
Crotalaria pallida Aiton	X	-	-	Anf	NT	NE	157, 4499, 4558
Indigofera microcarpa Desv.	-	X	-	Anf	NA	NE	10806, 10851
Macroptilium panduratum (Mart. ex Benth.) Maréchal & Baudet	-	X	-	Anf	NA	NE	10856
Mimosa camporum Benth.	-	-	X	Anf	NA	NE	10862
Neptunia plena (L.) Benth.	-	X	-	Anf/Em	NA	NE	10821
Senna alata (L.) Roxb.	-	X	-	Anf	NA	NE	10814
Senna obtusifolia (L.) H.S.Irwin & Barneby	-	X	-	Anf	NA	NE	10835
Senna occidentalis (L.) Link	-	X	-	Anf	NA	NE	10817
Stylosanthes angustifolia Vogel	-	X	X	Anf	NA	NE	10842, 10863
Gentianaceae							
Schultesia guianensis (Aubl.) Malme	-	X	-	Anf/Em	NA	NE	10843
Heliotropiaceae							
Euploca polyphylla (Lehm.) J.I.M.Melo & Semir	X	X	-	Anf	NA	NE	10779, 10789, 10822, 10849
Hydrocharitaceae							
Najas marina L.	X	-	-	Sub	NA	NE	10790
Lamiaceae							
Mesosphaerum suaveolens (L.) Kuntze	X	-	-	Anf	NA	NE	IPA 92175
Malpighiaceae							
Stigmaphyllon paralias A.Juss.	X	-	-	Anf	NA	EN	IPA 92185
Malvaceae							
Melochia tomentosa L.	-	X	-	Anf	NA	NE	10848
Sida ciliaris L.	-	X	-	Anf	NA	EN	10850
Sida brittoni León	-	X	-	Anf	NA	NE	10852
Onagraceae							
Ludwigia leptocarpa (Nutt.) H.Hara	-	X	-	Anf/Em	NA	NE	10804
Orobanchaceae							

Buchnera sp.	-	X	-	Anf	-	-	10840
Passifloraceae							
Passiflora foetida L.	X	-	-	Anf	NA	NE	9610
Plantaginaceae							
Stemodia maritima L.	-	X	-	Anf	NA	NE	10829
Poaceae							
Paspalum vaginatum Sw.	X	X	-	Anf/Em	NA	NE	10785, 10801, 10819, 10824
Paspalum maritimum Trin.	X	-	-	Anf	NA	NE	143
Sporobolus virginicus (L.) Kunth	X	-	X	Anf	NA	NE	10866
Poaceae sp.	-	X	-	Anf	-	-	10858
Polygalaceae							
Asemeia violacea (Aubl.) J.F.B.Pastore & J.R.Abbott	-	X	-	Anf	NA	NE	10818, 10853
Portulacaceae							
Portulaca oleracea L.	X	X	-	Anf	NA	NE	10784, 10805, 10826
Rubiaceae							
Borreria verticillata (L.) G.Mey.	X	X	-	Anf	NA	NE	10782, 10795, 10799, 10802, 10816, 10830, 10844, 10846
Richardia grandiflora (Cham. & Schltdl.) Steud.	-	X	-	Anf	NA	NE	10839, 10847
Borreria scabiosoides Cham. & Schltdl.	-	-	X	Anf	NA	NE	10861
Turneraceae							
Turnera subulata Sm.	-	X	-	Anf/Em	NA	NE	10815, 10841
Typhaceae							
Typha domingensis Pers.	X	-	-	Em	NA	NE	10808, 10833
Verbenaceae							
Stachytarpheta indica (L.) Vahl	-	X	-	Anf	NA	NE	10837

Fonte: Autores (2026).

A riqueza específica das famílias mais representativas neste estudo (Figura 2), como Fabaceae (19,15%) e Cyperaceae (14,89%), é condizente com seu reconhecido domínio desses grupos em distintos ecossistemas, especialmente em áreas abertas, campestres e ambientes sujeitos a regimes periódicos de inundação (Tannus; Assis, 2004). A predominância dessas famílias está associada ao elevado número de espécies, sua distribuição à sua ampla distribuição geográfica, e a alta capacidade competitiva de alguns táxons por espaço, luz e água, além da elevada produção de sementes, o que pode dificultar ou até impedir o estabelecimento de outras espécies na comunidade vegetal (Pestana; Hora; Guarçoni, 2024).

Figura 2. Representatividade percentual de táxons por família registrada nas lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí, Brasil.



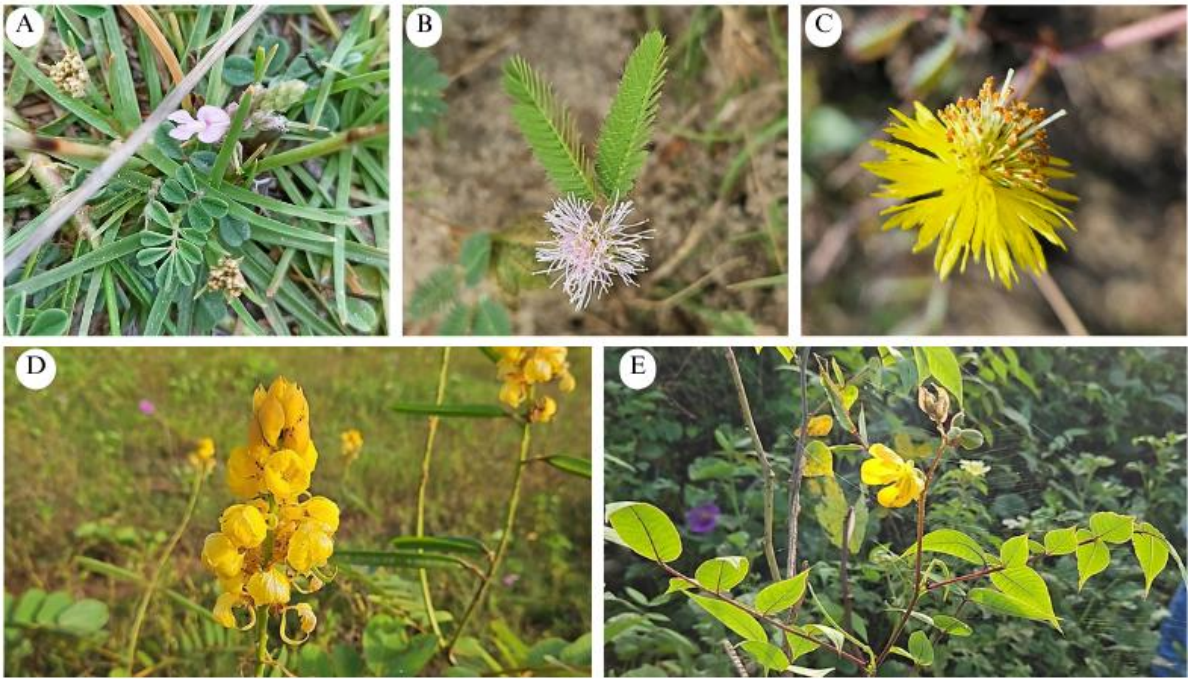
Fonte: Autores (2026).

A família Fabaceae é encontrada principalmente em regiões tropicais sazonalmente secas, sendo o Brasil destaque em relação ao número de espécies registradas (Wagensommer *et al.*, 2025). Com suas adaptações morfológicas, ecofisiológicas e reprodutivas, que incluem fixar nitrogênio, características xeromórficas, que minimizam a perda de água, cutículas espessadas e mecanismos especializados de dispersão de sementes (Ferreira *et al.*, 2025). As fabáceas conseguem resistir à períodos de seca e se reproduzir com eficiência, se destacando entre as espécies que dominam o ambiente (Wagensommer *et al.*, 2025).

Entre as espécies da família, *Stylosanthes angustifólia* foi a única encontrada na lagoa do Sobradinho e Santana ao mesmo tempo, áreas categoricamente com maior concentração de

salinidade do estudo. *Neptunia plena* (Figura 3), por sua vez, embora encontrada em apenas um ponto, é comum em ambientes paludosos e áreas sazonalmente alagadas (Henry-Silva; Moura; Dantas, 2010; Araújo *et al*., 2012). Seu registro na área estudada corrobora com o caráter ecotonal presente na flora do litoral do Piauí e com a dinâmica dessas áreas úmidas como refúgios para essas espécies hidrófilas, que crescem em reservatórios de pequeno e grande porte, como parte das lagoas observadas ao longo desse estudo (Santos Filho *et al*., 2010; Matos; Melo; Santos-Silva, 2019).

Figura 3. A-E: Espécies de Fabaceae ocorrentes na lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí, Brasil. A. *Indigofera microcarpa*, B. *Mimosa pudica*, C. *Neptunia plena*, D. *Senna alata* e E. *S. occidentalis*.



Fonte: Autores (2026).

No que se refere à Cyperaceae, as espécies desta família registradas nas três lagoas, contribuíram significativamente para a cobertura vegetal observada, com especial destaque para as dos gêneros *Cyperus* L. e *Eleocharis* R.Br. (Figura 4). A predominância desses táxons também foi observada por Moura-Júnior e Cotarelli (2019), ao atualizarem o *checklist* de macrófitas aquáticas do Nordeste do Brasil, e pode estar relacionada às estratégias de colonização desses gêneros em áreas naturais, como rápido crescimento, ampla distribuição geográfica e elevada tolerância a solos ácidos e condições ambientais adversas (Silva; Van Den Berg; 2020).

A presença de espécies do gênero *Paspalum* L. (Poaceae) associadas as ciperáceas reforça a importância desses táxons na estruturação dos campos litorâneos, conforme já salientado por Boldrini (1997), em abordagem fitofisionômica. A expressiva ocorrência dessas gramíneas evidencia sua adaptabilidade às condições ecológicas locais e sua relevância na composição florística desses ambientes (Boldrini; Trevisan; Schneider, 2008).

Figura 4. A-F: Espécies de Cyperaceae ocorrentes nas lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí, Brasil. A. *Cyperus articulatus*, B. *C. brevifolius*, C. *C. ligularis*, D. *C. surinamensis*, E. *Eleocharis geniculata* e F. *E. mutata*.



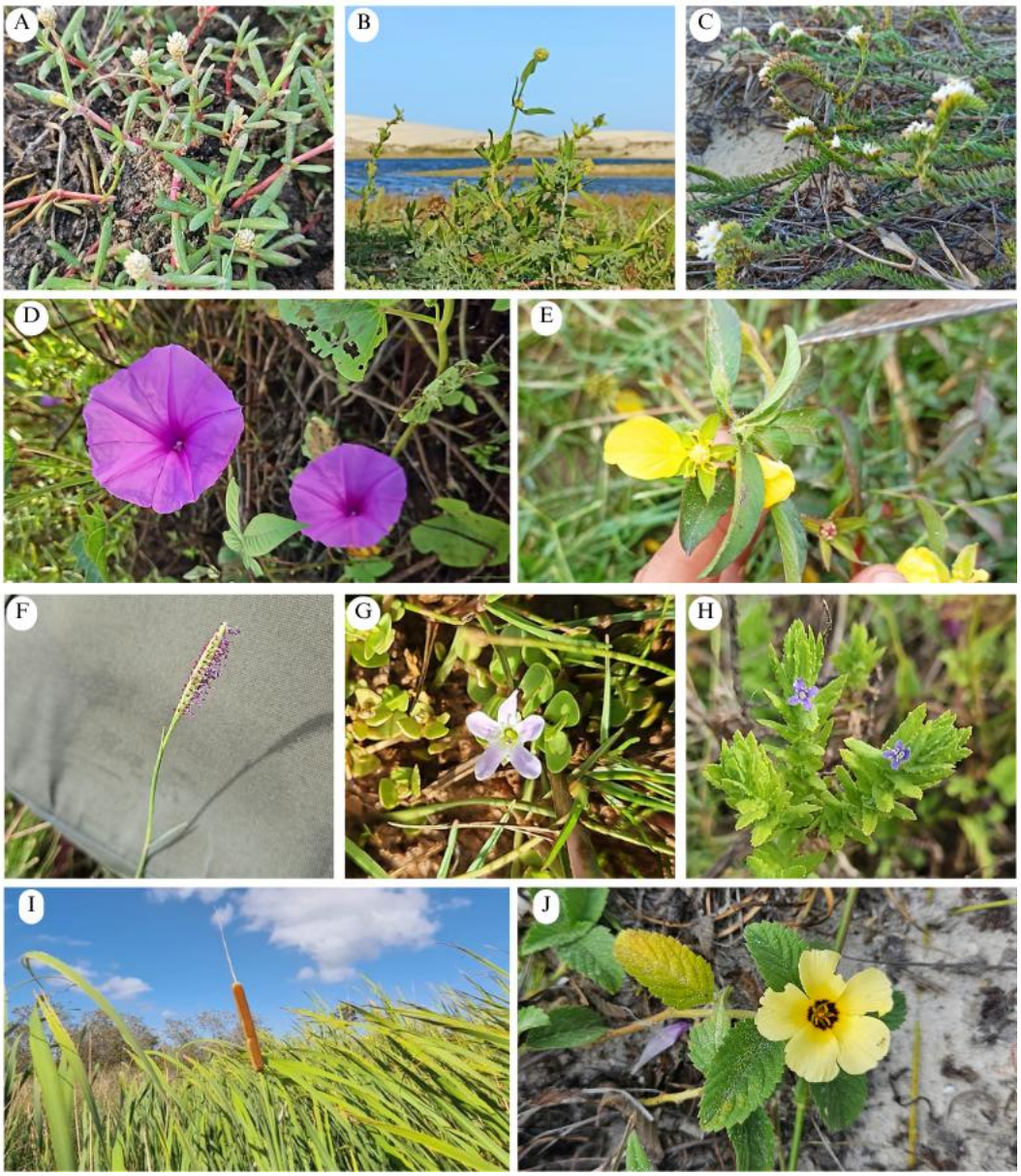
Fonte: Autores (2026).

As demais espécies registradas neste estudo corresponderam a 65,96 % da amostragem, indicando um padrão recorrente em ambientes alagáveis, no qual poucos táxons altamente adaptados tendem a dominar a comunidade, enquanto as demais espécies ocorrem em menor abundância (Carvalho *et al*., 2006). Esse padrão pode refletir a ação de filtros ambientais, como regime de inundação e a duração da saturação, que favorecem determinados grupos funcionais em áreas alagadas em detrimento de outros, como observado para Poaceae e Cyperaceae, conforme destacam França *et al*. (2010) e Araujo, Vitule e Padial (2021), em estudos sobre a

flora de macrófitas aquáticas das áreas alagadas dos Marimbus na Chapada Diamantina, Bahia e lista de espécies presentes no rio Guaraguaçu, Brasil, respectivamente.

Entre essas famílias destaca-se Onagraceae que, embora com pouca riqueza específica, desempenha papel ecológico relevante em ambientes aquáticos, em função de adaptações morfofisiológicas que possibilitam a tolerância às condições impostas pelos filtros ambientais mencionados, aspecto recorrente no gênero *Ludwigia* (Oziegbe; Faluyi, 2011) (Figura 5).

Figura 5. A-L. Macrófitas aquáticas ocorrentes nas lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí, Brasil. A. *Blutaparon portulacoides*, B. *Borreria verticillata*, C. *Euploca polyphylla*, D. *Ipomea asarifolia*, E. *Ludwigia leptocarpa*, F. *Paspalum vaginatum*, G. *Portulaca oleracea*, H. *Stemodia marítima*, I. *Typha domingensis*, J. *Turnera subulata*.



Fonte: Autores (2026).

No Brasil, o gênero *Ludwigia* apresenta ampla distribuição geográfica, com 12 espécies ocorrentes na Caatinga e 27 no Cerrado, sendo seus representantes predominantemente associados a ambientes úmidos, padrão comum em *L. leptocarpa*, observada neste estudo em áreas alagadas, bem como para espécies estritamente aquáticas, o que reforça a importância ecológica do gênero na estruturação da vegetação desses ecossistemas (Oziegbe; Faluyi; Azeez, 2011).

Em relação à família Malvaceae, destaca-se *Sida brittoni*, sendo considerada relevante por representar a primeira ocorrência documentada para o estado do Piauí. Até então, essa espécie havia sido coletada apenas duas vezes, nos anos de 1984 e 1994, conforme dados do *SpeciesLink*, não constando, portanto, com ocorrência oficial registrada para a região na Flora e Funga do Brasil (2025). Espécies do gênero *Sida* são frequentemente associadas a áreas submetidas a algum grau de perturbação antrópica, sendo raramente observadas no interior de formações florestais (Bovini, 2026).

Quanto às formas biológicas, foram registradas 35 espécies anfíbias, oito com hábito anfíbio-emergente, três exclusivamente emergentes e uma espécie submersa, *Najas marina*. Essa espécie apresenta ampla distribuição nas Américas, ocorrendo do sul da Flórida até a América do Sul, porém com distribuição esparsa no Brasil (Lowden, 1986), com registros concentrados principalmente nas regiões Nordeste, nos estados do Ceará, Piauí, Paraíba e Pernambuco, e Sudeste, com registros para o Rio de Janeiro e São Paulo (BFG, 2015).

No presente estudo, *N. marina* foi registrada formando aglomerados densos na Lagoa do Portinho, principalmente próximo a área das dunas, onde há maior interferência antrópica associada a atividades turísticas, como visitações. e navegação, com a realização de passeios com embarcações motorizadas (Piauí, 2022). A elevada frequência da espécie próxima nessas áreas sugere a presença e condições favoráveis ao seu estabelecimento possivelmente associadas à maior disponibilidade de nutrientes e a um processo incipiente de eutrofização, comum em áreas de uso intensivo (Pedro; Maltchik; Bianchini, 2006).

Dessa forma, a classificação das formas biológicas das macrófitas reflete as estratégias de estabelecimento dos indivíduos na zona de transição entre os ambientes terrestre e aquático (Pivari *et al*., 2018). A forma anfíbia, predominante neste estudo, representando 71,43% do total de espécies amostradas, foi registrada em quase todas as famílias levantadas, configurando um padrão recorrente entre plantas aquáticas em diferentes regiões do Brasil (Machado Filho *et al*., 2014).

A predominância de espécies anfíbias, sobretudo em ambientes rasos, está diretamente associada à sazonalidade dos ciclos de inundação observados nos diferentes tipos de corpos d'água do país sendo favorecida por adaptações morfofisiológicas que permitem tolerar variações no nível da água e períodos de estiagem (Pestana; Hora; Guarçoni, 2024). Entre essas adaptações destaca-se a presença de estolões, característica amplamente observada em espécies de Cyperaceae, que possibilita o acompanhamento das flutuações hidrológicas e confere maior resistência às condições ambientais adversas.

Entre as Cyperaceae registradas neste estudo, *Eleocharis geniculata* destaca-se por ser a espécie do gênero mais frequentemente coletada no estado do Piauí, conforme dados de herbários, sendo provavelmente a mais abundante. A espécie caracteriza-se por apresentar espigas predominantemente globosas e obtusas, bainhas com ápice oblíquo, cuspidado a apiculado e íntegro, além de aquênios de coloração negra a negro-purpúrea (Nunes *et al*., 2026).

O principal caráter diagnóstico para diferenciá-la de *E. geniculata* de *E. filiculmis*, são os aquênios alvos a pardo-pálidos. Além disso, essa espécie demonstra elevada tolerância à salinidade, sendo frequentemente registrada em ambientes hipersalinos (Gil; Bove, 2007), compatíveis com as condições observadas nas áreas estudadas.

As espécies exclusivamente classificadas como emergentes, representaram apenas 6,12% da amostragem, configurando o segundo extrato menos representativos. Apesar da baixa riqueza, seus representantes foram frequentemente observados formando populações densas, como *Typha domingensis*, espécie herbácea típica de áreas brejosas e margens de rios e lagoas, onde pode formar extensos aglomerados monodominantes (Reitz, 1984). Além de sua ampla distribuição e elevada capacidade de colonização, *T. domingensis* ocorre de forma abundante tanto em ambientes de água doce quanto salobra, apresentando notável resistência a condições de hipersalinidade (Bove; Paz, 2009). A espécie floresce ao longo de todo o ano e apresenta ampla importância socioeconômica, sendo utilizada em atividades artesanais, alimentícias e no aproveitamento de sua biomassa para fins energéticos e agrícolas (Pott; Pott, 2000; Canalli; Bove, 2017).

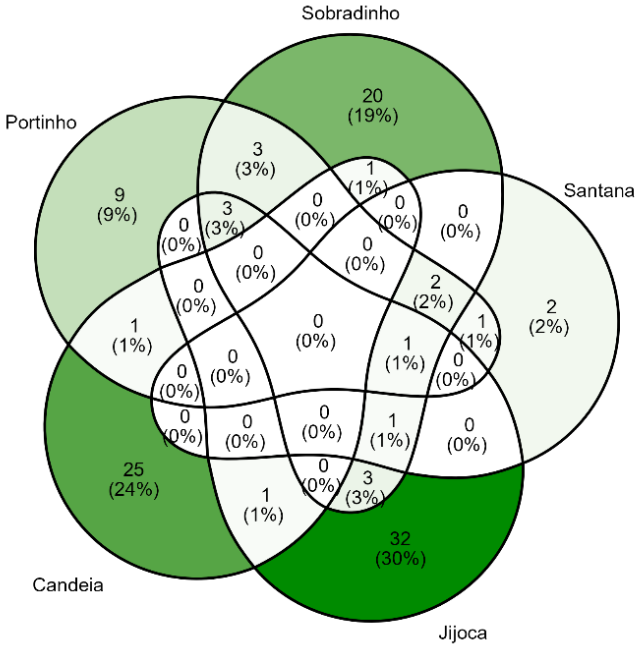
De modo geral, o predomínio de formas biológicas anfíbias e a baixa representatividade de espécies exclusivamente emergentes e submersas evidenciam a forte influência das condições hidrológicas locais na estruturação da comunidade de macrófitas aquáticas da área estudada (França *et al*., 2010; Henry-Silva *et al*., 2010). Essas estratégias adaptativas refletem a capacidade desses táxons de tolerar variações no regime hídrico e nas condições físico-químicas do ambiente, configurando um cenário característico de ecossistemas aquáticos do

Nordeste brasileiro, cuja composição florística é amplamente concordante com a registrada em estudos anteriores (Sobral-Leite *et al*. 2010; Lima *et al*., 2011; Campelo *et al*., 2012; Oliveira *et al*., 2013).

Em relação à riqueza de espécies por ponto amostral, na lagoa do Sobradinho foram identificadas 34 espécies, perfazendo 72,34% do total amostrado no Piauí, seguida pela lagoa do Portinho, com 20 espécies (42,55%), e pela lagoa da Santana, com sete espécies, abrangendo 14,89% do total registrado.

Em contraste, as áreas de Jijoca (CE) e Candeia (BA) apresentaram maior número de espécies identificadas, com 41 e 28 espécies, respectivamente. Essa elevada diversidade pode estar associada à menor influência marinha nesses ambientes, apesar da proximidade com campos de dunas do Parque Nacional de Jericoacoara (Matias; Amado; Nunes, 2003) e com a Baía de Todos os Santos (Neves *et al*., 2006), diferente das lagoas do Piauí, que, a depender do período chuvoso, se conectam com o mar (Baptista, 2016; Mesquita; Lima; Santos-Filho, 2018; Sousa, 2019).

Figura 6. Diagrama de Venn com o número de espécies exclusivas e compartilhas entre as Lagoas do Portinho, Sobradinho, Santana, no Piauí, Jijoca, no Ceará e Candeia, na Bahia.



Fonte: Autores (2026).

Ao analisar o número de espécies exclusivas de cada lagoa, as áreas de Jijoca (CE) e Candeia (BA) apresentaram 32 (78,04%) e 25 (89,28%) registros. Entre as lagoas piauienses, a do Sobradinho foi a que apresentou maior número de espécies exclusivas, totalizando 20

(58,82%) registros. Em contraste, a lagoa do Portinho apresentou nove espécies exclusivas (45%), enquanto a lagoa da Santana registrou apenas duas espécies (28,57%) (Figura 6).

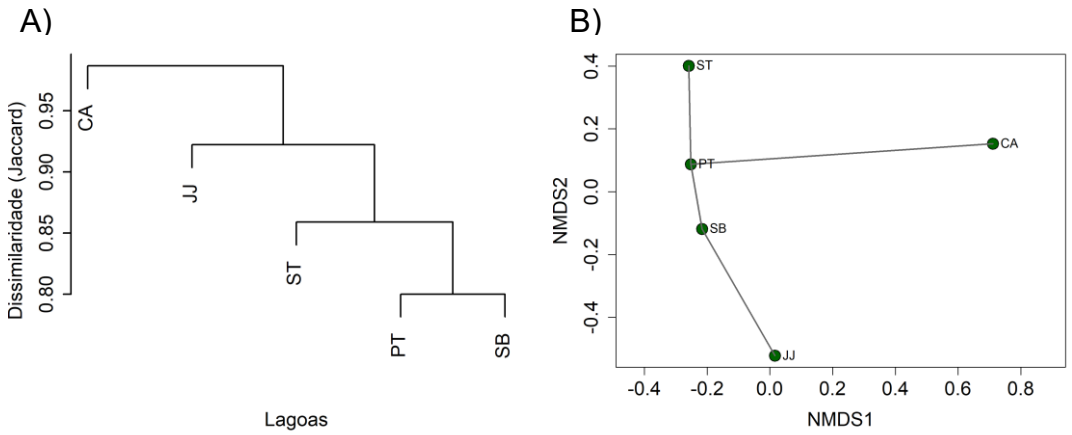
Embora esses valores sejam discrepantes, eles refletem parte da riqueza específica total observada nos pontos amostrados, o que, possivelmente pode estar relacionado às diferentes intensidades de interferências antrópicas entre as lagoas, visto que a de Sobradinho se apresenta como uma área mais resguardada, enquanto as lagoas do Portinho e Santana possuem maior apelo turístico, estando mais suscetíveis à visitação e à expansão urbana (Medeiros *et al.*, 2022; Vieira; Reis; Araújo, 2019).

Não foi observado compartilhamento de espécies entre todas as lagoas analisadas, entretanto, as lagoas piauienses tiveram em comum entre si as espécies: *Blutaparon portulacoides*, *Eleocharis geniculata* e *Fimbristylis cymosa.* As lagoas do Portinho e Sobradinho compartilharam ainda as espécies *Borreria verticillata*, *Cyperus articulatus*, *C. ligularis*, *Euploca polyphylla, Paspalum vaginatum* e *Portulaca oleracea.* Já as lagoas do Sobradinho e Santana apresentaram apenas uma espécie em comum, *Stylosanthes angustifolia*.

Em relação às áreas comparativas externas, a Lagoa de Jijoca apresentou similaridade florística com Sobradinho, compartilhando as espécies *Ipomea asarifolia*, *Neptunia plena*, *Schultesia guyanensis*. Por sua vez, a Lagoa de Candeia apresentou apenas *Typha domingensis* em comum com a Lagoa do Portinho e *Ludwigia leptocarpa* com a do Sobradinho.

Dessa forma, as lagoas do Portinho e Sobradinho apresentaram maior similaridade florística (Figura 7), enquanto a Lagoa de Candeia, demonstrou ser a mais distinta. O padrão observado nas análises sugere a existência de um gradiente florístico entre as lagoas do Portinho, Sobradinho, Santana e Jijoca, com esses ambientes atuando como áreas de transição, caracterizadas por conectividade parcial, mas ainda com elevada heterogeneidade espacial, principalmente em relação a lagoa de Candeia.

Figura 7. Índice de dissimilaridade de Jaccard aplicado à composição das comunidades nas lagoas estudadas. (A) Análise de agrupamento pelo método da média entre grupos (UPGMA) e (B) escalonamento multidimensional não métrico (NMDS) com árvore mínima geradora (MST), comparando as lagoas do Portinho (PT), Sobradinho (SB) e Santana (ST), no estado do Piauí; Jijoca (JJ), no Ceará; e Candeia (CA), na Bahia.



Fonte: Autores (2026).

Apesar da alta dissimilaridade florística entre as lagoas do Piauí e aquelas registradas em outras áreas, o predomínio de formações herbáceas associadas a ambientes de restinga foi comum a todos os locais analisados. Nessas formações, as espécies tendem a apresentar adaptações morfológicas e fisiológicas convergentes, incluindo sistemas radiculares superficiais, estratégias de dispersão anemocórica e tolerância à salinidade (Amorim *et al*., 2016). Para Santos-Filho *et al.* (2013) variações na composição e nas propriedades do solo podem estar diretamente relacionadas às diferenças observadas na distribuição das espécies nesses ambientes de restinga.

Além dos fatores geomorfológicos que conferem singularidade aos campos de dunas e restingas, caracterizadas por elevada salinidade e baixos teores de nutrientes no solo, entre outros aspectos (Santos Filho *et al.*, 2015), a degradação ambiental decorrente de atividades antrópicas também exerce influência significativa sobre a diversidade de macrófitas. Impactos associados à visitação turística, navegação, agropecuária e urbanização de áreas no entorno das lagoas, principalmente na lagoa da Santana (Borges, 2022; Galvão, 2020; Sousa; Bacelar; Sousa, 2024), podem comprometer a estrutura e a composição florística desses ecossistemas.

Estudos na região litorânea do Piauí vêm destacando o crescimento urbano impulsionado pelo turismo (Borges, 2022; Medeiros *et al.*, 2022; Vieira; Araújo, 2015; Vieira; Reis; Araújo, 2019), reforçando a necessidade de direcionamento e manejo adequado das áreas das lagoas (Galvão, 2020; Medeiros *et al.*, 2022; Piauí, 2022), bem como da vegetação associada a esses ambientes (Andrade; Gomes; Cruz, 2019; Barbosa; Valladares, 2020; Sousa, 2015, 2016).

A variação acentuada na riqueza e na singularidade de espécies entre as lagoas revela uma diferenciação florística pronunciada entre esses ambientes. Esse padrão é corroborado pelo

baixo número de espécies compartilhadas e pela elevada dissimilaridade observada nas análises comparativas. Tais diferenças podem refletir a influência de características ambientais locais e de variados graus de pressão antrópica, embora esses fatores não tenham sido avaliados diretamente no presente estudo. A Lagoa do Sobradinho parece estar relativamente menos exposta a perturbações antrópicas, ao passo que a Lagoa do Portinho e a Lagoa da Santana estão sujeitas a níveis mais elevados de visitação e de desenvolvimento urbano no entorno (Vieira *et al*., 2019; Medeiros *et al*., 2022).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo documenta a flora de macrófitas aquáticas de três lagoas costeiras do estado do Piauí, nordeste do Brasil, registrando 46 táxons. Fabaceae, Cyperaceae e Poaceae apresentaram a maior representação de espécies, com predominância de formas de vida anfíbias. As diferenças na riqueza de espécies, exclusividade e semelhança florística entre as lagoas demonstram uma marcada heterogeneidade à escala local, o que contribui para a diversidade florística regional e pode estar associada às condições hidrológicas locais e às pressões antrópicas.

A maior riqueza de espécies observada na Lagoa do Sobradinho e a composição florística distinta das lagoas do Piauí em comparação com outras áreas costeiras ressaltam ainda mais a singularidade ecológica de cada corpo d'água e a importância dos estudos florísticos regionais. Além de fornecer um inventário florístico, este estudo oferece uma das primeiras avaliações comparativas da composição de macrófitas aquáticas entre lagoas costeiras do Piauí, destacando a singularidade regional desses ecossistemas e ampliando o conhecimento atual da distribuição de macrófitas aquáticas no Nordeste do Brasil. Essas descobertas estabelecem uma base para estudos futuros e contribuem para a avaliação da biodiversidade e o planejamento de ações de conservação em ambientes úmidos costeiros do Nordeste do Brasil.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida à primeira autora, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa produtividade em pesquisa concedida a segunda autora.

REFERÊNCIAS

AMORIM I. F. F., SANTOS FILHO, F. S.; ALMEIDA-JÚNIOR, E. B. Fitossociologia do estrato herbáceo de uma área de dunas em Araçagi, Maranhão. *In*: ALMEIDA-JÚNIOR, E. B.; SANTOS FILHO, F. S. (eds) **Biodiversidade do Meio Norte do Brasil: conhecimentos ecológicos e aplicações**, Editora CRV, p. 29–44, 2016.

ANDRADE, A. L. M.; GOMES, A. C. A.; CRUZ, M. L. B. da. A importância do geoprocessamento na análise do uso e ocupação da Lagoa do Portinho localizada entre os municípios de Luís Correia e Parnaíba-PI. **Revista Cadernos de Ensino, Ciências & Tecnologia**, [*s. l.*], v. 1, p. 144–158, 2019. Disponível em: https://revistas.uece.br/index.php/CECiT/article/view/799/8606. Acesso em: 1 nov. 2025.

ANDRADE, I. M. de. *et al*. **Guia de campo macrófitas do Delta do Parnaíba**. Clube de Autores, 2014.

APG - Angiosperm Phylogeny Group *et al*. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical journal of the Linnean Society**, v. 181, n. 1, p. 1-20, 2016.

ARAÚJO, E. A.; VITULE, J. R. S.; PADIAL, A. A. A checklist of aquatic macrophytes of the Guaraguaçu river basin reveals a target for conservation in the Atlantic rainforest. Acta Scientiarum. **Biological Sciences**, v. 43, 2021.

ARAÚJO, E. S. *et* al. Riqueza e diversidade de macrófitas aquáticas em mananciais da Caatinga. **Diálogos & Ciência**, n. 32, p. 229-233, 2012.

BAPTISTA, E. M. de C. Geomorfologia e Geodiversidade do litoral piauiense para fins de Geoconservação. **Revista de Geociências do Nordeste**, [*s. l.*], v. 2, p. 1250–1258, 2016. Disponível em: https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/10591. Acesso em: 16 nov. 2025.

BARBOSA, J. E. L. *et al*. Sistemas aquáticos no Semiárido brasileiro: limnologia e manejo. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 24, n. 1, p. 103–118, 2012.

BARBOSA, W. C. de S.; VALLADARES, G. S. Mapa de uso e cobertura como ferramenta para espacialização de pontos propícios ao ecoturismo em Cajueiro da Praia/ PI. **Geoambiente On-line**, [*s. l.*], no 37, p. 35–55, 2020. Disponível em: https://revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/60924. Acesso em: 11 nov. 2025.

BFG - The Brazil Flora Group. Growing knowledge: an overview of seed plant diversity in Brazil. **Rodriguésia,** 66: 1085-1113, 2015.

BOLDRINI, I. I. Campos do Rio Grande do Sul: caracterização fisionômica e problemática ocupacional. **Boletim do Instituto de Biociências**, n. 56, p. 1-39, 1997.

BOLDRINI, I. I.; TREVISAN, R.; SCHNEIDER, A. A. Estudo florístico e fitossociológico de uma área às margens da lagoa do Armazém, Osório, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 6, n. 4, 2008.

BORGES, G. K. L. Lazer, turismo e produção imobiliária no litoral do Piauí. **Pensar Geografia**, [*s. l.*], v. 6, n. 2, p. 46–65, 2022. Disponível em: https://periodicos.apps.uern.br/index.php/PGEO/article/view/3731/3526. Acesso em: 26 out. 2025.

BOTTINO, F.; CUNHA-SANTINO, M. B.; BIANCHINI, I. Decomposition of particulate organic carbon from aquatic macrophytes under different nutrient conditions. **Aquatic Geochemistry**, v. 22, p. 17-33, 2016.

BOVE, C. P.; PAZ, J. **Guia de campo das plantas aquáticas do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, Rio de Janeiro, Brasil.** Série livros 35. Museu Nacional, Rio de Janeiro. 176p., 2009.

BOVINI, M.G. *Sida in* **Flora e Funga do Brasil.** Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB9203. Acesso.em07 jan. 2026.

BRASIL. **Portaria MMA Nº 34, de 2 de fevereiro de 2021**. Listagem atualizada dos municípios abrangidos pela faixa terrestre da zona costeira brasileira. Ministério do Meio Ambiente: n. 34, p. 53, 2021. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/. Acesso em: 22 jul. 2025.

CAMPELO, M. J. A. *et al*. Macrófitas aquáticas nas áreas do Projeto de Integração do Rio São Francisco. *In*: SIQUEIRA FILHO, J. A. (org.). **Flora das Caatingas do Rio São Francisco: história natural e conservação.** Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson Estúdio Editorial, p. 192–229, 2012.

CANALLI, Y. M.; BOVE, C. P. Flora do Rio de Janeiro: Typhaceae. **Rodriguésia**, v. 68, n. 1, p. 111-113, 2017.

CARVALHO, F. A. *et* al. Estrutura da comunidade arbórea da floresta atlântica de baixada periodicamente inundada na reserva Biológico de Poço das Antas, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia**, v. 57, n. 3, p. 503-528, 2006.

CUNHA, N. L. *et al*. Structure of aquatic vegetation of a large lake, western border of the Brazilian Pantanal. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, p. 519-531, 2012.

ESTEVES, F. de A. **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FARES, A. L. B.; CALVÃO, L. B.; TORRES, N. R.; GURGEL, E. S. C.; MICHELAN, T. S. Fatores ambientais afetam a diversidade de macrófitas nos ecossistemas aquáticos amazônicos inseridos em uma paisagem antropogênica. **Ecological Indicators**, v. 113, p. 106231, 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X20301680?via%3Dihub. Acesso em 22 out. 2025.

FARIAS, R. R. S.; CASTRO, A. A. J. F. Fitossociologia de trechos da vegetação do Complexo Campo Maior, PI, Brasil. **Acta Botanica Brasílica**, v. 18, p. 949-963, 2004.

FERREIRA, A. dos S. *et al.* Macrófitas aquáticas de corpos d'água em diferentes regiões fitogeográficas do estado de Pernambuco, Brasil. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, [*s. l.*], v. 10, n. 2, p. 071–087, 2025. Disponível em: https://www.journals.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/7031/482485545. Acesso em: 21 dez. 2025.

FERREIRA, A. dos S. *et al.* Macrófitas aquáticas de corpos d'água em diferentes regiões fitogeográficas do estado de Pernambuco, Brasil. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, [*s. l.*], v. 10, n. 2, p. 071–087, 2025. Disponível em: https://www.journals.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/7031/482485545. Acesso em: 22 dez. 2025.

FERREIRA, L. G. C.; KEMENES, A. A influência dos eventos climáticos extremos na climatologia da planície litorânea piauiense. **Revista Brasileira de Climatologia**, [*s. l.*], v. 32, p. 636–657, 2023. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/16349/9418. Acesso em: 22 jul. 2025.

FIDALGO, O.; BONONI, V. L. R. **Técnicas de coleta, preservação e herborização de material botânico**. São Paulo: Instituto de Botânica, 1989. Disponível em: files/357/tecnicas-de-coleta-preservacao-e-herborizacao-de-material-botanico-2.html. Acesso em: 17 dez. 2025.

FLORA e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: https://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/ConsultaPublicaUC/ResultadoDaConsultaNovaConsulta.do#CondicaoTaxonCP. Acesso em: 10 jan. 2026.

FRANÇA, F. *et al*. Plantas vasculares das áreas alagadas dos Marimbus, Chapada Diamantina, BA, Brasil. **Hoehnea**, v. 37, p. 719-730, 2010.

FRANÇA, F.; MELO, E.; OLIVEIRA, I. B.; REIS, A. T. C.; ALVES, G. L.; COSTA, M. F. Plantas vasculares das áreas alagadas dos Marimbus, Chapada Diamantina, BA, Brasil. **Hoehnea**, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 719–730, 2010.

FREITAS, R. N. *et al*. Taxonomic survey of the Araceae Juss. in the coastal region of Piauí state, northeast Brazil, including the Rio Parnaíba Delta. **Iheringia, Série Botânica.**, [*S. l.*], v. 72, n. 3, p. 341–350, 2018. Disponível em: https://isb.emnuvens.com.br/iheringia/article/view/650. Acesso em: 10 dez. 2025.

GALVÃO, V. Impactos antrópicos originados por barragens particulares afetam o turismo e a pesca em um dos cartões postais do estado do Piauí. *In*: SILVA, E. G. de A. *et al.* (orgs.). **Meio Ambiente, Patrimônio e Turismo no Estado do Piauí**. Parnaíba: EDUFPI:SIEART, 2020. p. 89–116. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/351354100_MEIO_AMBIENTE_PATRIMONIO_E_TURISMO_NO_ESTADO_DO_PIAUI. Acesso em: 13 jun. 2025.

GIL, A. S. B.; BOVE, C. P. *Eleocharis* R. Br. (Cyperaceae) no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 7, p. 163-193, 2007.

HENRY-SILVA, G. G.; MOURA, R. S. T.; DANTAS, L. L. O. Richness and distribution of aquatic macrophytes in Brazilian semi-arid aquatic ecosystems. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 22, p. 147–156, 2010.

ICMBIO. **Plano de manejo da área de proteção ambiental Delta do Parnaíba**. Brasília, DF: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinho/lista-de-ucs/apa-delta-do-parnaiba/arquivos/plano_de_manejo_da_apa_delta_do_parnaiba.pdf. Acesso em: 2 out. 2025.

IBGE. **Todos os produtos. Geociências**. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/todos-os-produtos-geociencias.html. Acesso em: 10 jan. 2026.

KASTRATOVIĆ, V., *et al*. Levels and distribution of cobalt and nickel in the aquatic macrophytes found in Skadar Lake, Montenegro. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 27, p. 26823–26830, 2018. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29411283/. Acesso em 22 nov. 2025.

LIMA, L. F.; SILVA, S. S. L.; MOURA-JÚNIOR, E. G.; ZICKEL, C. S. Composição florística e chave de identificação das macrófitas aquáticas ocorrentes em reservatórios do estado de Pernambuco. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 62, n. 4, p. 771–783, 2011.

LOLIS, S. F.; THOMAZ, S. M. Monitoramento da composição específica da comunidade de macrófitas aquáticas no reservatório Luis Eduardo Magalhães. **Planta daninha**, v. 29, n. 2, p. 1-10, 2011.

LOWDEN, R. M. Taxonomy of the genus *Najas* L. (Najadaceae) in the Neotropics. **Aquatic Botany,** 24: 147-184, 1986.

MACHADO FILHO, H. de O. *et al.* Macrófitas aquáticas da região neotropical: uma abordagem cientométrica. **Revista Biociências**, [*s. l.*], v. 20, n. 2, 2014. Disponível em: https://periodicos.unitau.br/biociencias/article/view/1958. Acesso em: 22 jul. 2025.

MATIAS, L. Q.; AMADO, E. R.; NUNES, E. P. Macrófitas aquáticas da lagoa de Jijoca de Jericoacoara, Ceará, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, [*s. l.*], vol. 17, p. 623–631, 2003. Disponível em: http://www.scielo.br/j/abb/a/7xS8m6XKjGQSSJm7bVq7t5S/?lang=pt. Acesso em 22 nov. 2025.

MATOS, S. S.; MELO, A. L.; SANTOS-SILVA, J. Clado Mimosoide (Leguminosae-Caesalpinioideae) no Parque Estadual Mata da Pimenteira, Semiárido de Pernambuco, Brasil. **Rodriguésia**, v. 70, p. e01902017, 2019. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rod/a/cDwWJwJjwWvMSsyCWCHJX9J/?format=html&lang=pt. Acesso em: 19 dez. 2025.

MEDEIROS, R. M. de *et al.* A Lagoa do Portinho - Piauí, Brasil e suas contribuições ao turismo e meio ambiente. **Revista Científica Multidisciplinar - RECIMA21**, [*s. l.*], v. 3, n.

2, p. e321177–e321177, 2022. Disponível em: https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/1177. Acesso em: 30 out. 2025.

MESQUITA, T. K. da S.; LIMA, I. M. de M. F.; SANTOS-FILHO, F. S. Cadê a lagoa que estava aqui? Estudo de caso da Lagoa do Portinho, litoral do Piauí (Brasil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [*s. l.*], v. 11, n. 1, p. 346–356, 2018. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234206. Acesso em: 22 jul. 2025.

MORI, G. B. *et al.* Different scales determine the occurrence of aquatic macrophyte species in a tropical stream. Acta Botanica Brasilica, [*s. l.*], vol. 35, no 1, p. 37–45, 2021. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-33062021000600037&tlng=en. Acesso em: 22 set. 2025.

MOURA JÚNIOR, E. G. de *et al.* Lista atualizada de macrófitas aquáticas da região Norte do Brasil. **Acta Amazonica**, [*s. l.*], v. 45, n. 2, p. 111–132, 2015.

MOURA-JÚNIOR, E. G. de; COTARELLI, V. M. An update on the knowledge of aquatic macrophytes in Northeast Brazil. **Rodriguesia**, [*s. l.*], vol. 70, 2019. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rod/a/L46yskWkNNyjfNNB5mRhMyn/?lang=en. Acesso em: 24 jul. 2025.

MOURA-JÚNIOR, E. G. *et al.* Análise crítica do conhecimento das macrófitas aquáticas no estado do Piauí. *In*: SANTOS-FILHO, F. S.; ALMEIDA JR, E. B. de; SOARES, A. F. C. L. (Ed.). **Biodiversidade do Piauí: pesquisas e perspectivas**, v. 1, p. 173-190**.** Editora CRV, 2011. Disponível em: https://lebufma.com.br/wp-content/uploads/2022/11/2011_Moura-Junior-et-al_Analise-critica-das-macrofitas-aquaticas-PI.pdf. Acesso em: 10 dez. 2025.

NASCIMENTO, H. C. E. *et al*. Pontederiaceae do litoral piauiense, Brasil. **Rodriguésia**, v. 64, p. 625-634, 2013. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rod/a/9fcqqBXHdHrBmp75nLRM7TG/?lang=pt. Acesso em: 20 dez. 2025.

NEIFF, J. J.; NEIFF, A. S. G. P. Connectivity processes as a basis for the management of aquatic plants. *In*: THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. (org.). **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá, EDUEM. p. 39-58, 2003.

NEVES, E. L. *et al*. Plantas aquáticas vasculares em uma lagoa de planície costeira no município de Candeias, Bahia, Brasil. **Sitientibus, Série Ciências Biológicas**, v. 6, n. 1, p. 24-29, 2006.

NUNES, C.S. *et al*. *Eleocharis in* **Flora e Funga do Brasil.** Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB7200. Acesso em: 09 jan. 2026.

OLIVEIRA, R. C. *et al*. List of angiosperm species of the riparian vegetation of the Apodi-Mossoró River, Rio Grande do Norte, Brazil. **Check List**, Rio Claro, v. 9, n. 4, p. 740–751, 2013.

OZIEGBE, M.; FALUYI, J. O.; AZEEZ, S. O. Comparative vegetative and fruit characteristics of seven *Ludwigia* Linn. species in Nigeria. **Nigerian Journal of Botany,** v.24, n.1, p. 219-230, 2011.

PEDRALLI, G. Macrófitas aquáticas como bioindicadoras da qualidade da água: alternativas para usos múltiplos de reservatórios. *In*: THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. (org.). **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá, EDUEM, p. 171-188, 2003.

PEDRO, F.; MALTCHIK, L.; BIANCHINI, I. Hydrologic cycle and dynamics of aquatic macrophytes in two intermittent rivers of the semi-arid region of Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, [*s. l.*], v. 66, n. 2 B, p. 575–585, 2006. Disponível em: https://www.scielo.br/j/bjb/a/xQM34cpFJdxrBcGJzKvcSqr/?format=html&lang=en. Acesso em: 6 jan. 2026.

PESTANA, M. C. A.; HORA, R. C.; GUARÇONI, E. A. E. Floristic survey of aquatic macrophytes in eastern Maranhão, Brazil: richness, biological forms and three new records. **Brazilian Journal of Biology**, [*s. l.*], v. 84, 2024. Disponível em: https://www.scielo.br/j/bjb/a/F9VHsL8MB7dFZmBMVC3nHCH/. Acesso em: 24 jul. 2025.

PESTANA, M. C. A.; HORA, R. C.; GUARÇONI, E. A. E. Floristic survey of aquatic macrophytes in eastern Maranhão, Brazil: richness, biological forms and three new records. **Brazilian Journal of Biology**, [*s. l.*], v. 84, 2024. Disponível em: https://www.scielo.br/j/bjb/a/F9VHsL8MB7dFZmBMVC3nHCH/. Acesso em: 22 jul. 2025.

PIAUÍ. **Diagnóstico Rápido Participativo (DRP) da cadeia do turismo náutico, da cadeia da pesca estuarina e marinha no litoral do Piauí e da comunidade que vive na área de influência direta do Complexo Industrial Pesqueiro e marina em Luís Correia**. [*S. l.*]: [*s. d.*], 2022. Disponível em: https://investepiaui.com/wp-content/uploads/2022/05/Diagnostico-Rapido-Participativo.pdf. Acesso em: 6 jan. 2026.

PIVARI, M. O. D. *et al.* New initiatives for Brazilian aquatic plant data management. **Acta Botanica Brasilica**, [*s. l.*], v. 33, p. 78–87, 2018. Disponível em: http://www.scielo.br/j/abb/a/dRJjtcPbHnJQWnh5Fp7NJsb/?lang=en. Acesso em: 16 dez. 2025.

PIVARI, M. O. D. *et al.* New initiatives for Brazilian aquatic plant data management. **Acta Botanica Brasilica**, [*s. l.*], v. 33, p. 78–87, 2018. Disponível em: http://www.scielo.br/j/abb/a/dRJjtcPbHnJQWnh5Fp7NJsb/?lang=en. Acesso em: 22 jul. 2025.

PIVARI, M. O. D.; MELO, P. H. A. de; MOURA-JÚNIOR, E. G. de. **Plantas aquáticas do Brasil**. Viçosa, MG: UFV, 2024.

POMPÊO, M. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas. **Oecologia brasiliensis**, v. 12, n. 3, p.5, 2008.

PORTO, R. V. *et al*. Riqueza florística e ecologia de macrófitas aquáticas no reservatório da Fazenda Escola de Castanhal-UFRA: estrutura, função e importância ecológica. **Aracê**, v. 7,

n. 3, p. 11579-11592, 2025. Disponível em: https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/3762. Acesso em: 10 jan. 2026.

POTT, V. J.; POTT, A. **Plantas aquáticas do Pantanal**. Brasília: Embrapa, 2000. 404p.

REITZ, R. Tifáceas *In*: REITZ, P.R. (ed.). **Flora Ilustrada Catarinense, Itajaí**. Part. 1, fasc. Tif. p. 1-14, 1984.

SANTOS FILHO, F. S**. Composição florística e estrutural da vegetação de restinga do Estado do Piauí**. 2009. Tese - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

SANTOS FILHO, F. S. *et al.* Checklist of the flora of the restingas of Piauí state, Northeast Brazil**. Check List**, [*s. l.*], vol. 11, no 2, p. 1598, 2015.

SANTOS FILHO, F. S.; ALMEIDA JR, E. B.; ZICKEL, C. S. Do edaphic aspects alter vegetation structures in the Brazilian restinga?. **Acta Botanica Brasilica**, [*s. l.*], vol. 27, no 3, p. 613–623, 2013.

SEMARH. Plano de Manejo da Área de Relevante Interesse Ecológico da Lagoa do Portinho. Teresina: [*s. d.*], 2025.

SILVA, B.; BAPTISTA, E.; MOURA, L. Elementos da geodiversidade para a geoconservação do litoral do Piauí. **Revista da Academia de Ciências do Piauí**, [*s. l.*], vol. 3, no 3, 2022. Disponível em: https://periodicos.ufpi.br/index.php/acipi/article/view/1022/1570. Acesso em: 22 jul. 2025.

SILVA, R. G.; VAN DEN BERG, E. A flora da Zona de Transição Aquático-Terrestre (ATTZ) de uma lagoa marginal perenizada no rio Pandeiros: retrato do impacto da PCH de Pandeiros sobre um gradiente ambiental. **Revista Cientifica MG. Biota**, v. 12, n. 2, p. 55-69, 2020. Disponível em: https://periodicos.meioambiente.mg.gov.br/MB/article/view/149. Acesso em: 10 dez. 2025.

SOBRAL-LEITE, M.; CAMPELO, M. J. A.; SIQUEIRA FILHO, J. A.; SILVA, S. I. Checklist das macrófitas vasculares de Pernambuco: riqueza de espécies, formas biológicas e considerações sobre distribuição. *In*: ALBUQUERQUE, U. P.; MOURA, N. A.; ARAÚJO, E. L. (org.). **Biodiversidade, potencial econômico e processos ecofisiológicos em ecossistemas nordestinos**. Recife: NUPPEZ, 2010. v. 2, p. 253–280.

SOOD, A. *et al*. Phytoremediation potential of aquatic macrophyte, Azolla. **Ambio**, v. 41, p. 122-137, 2012.

SOUSA, A. M.; BACELAR, F. K. R.; SOUSA, R. dos S. Dynamics of land use and coverage of the Portinho river water basin, coast of Piauí. **International Journal Semiarid**, [*s. l.*], v. 7, n.7, 2024. Disponível em: https://journalsemiarid.com/index.php/ijsa/article/view/223. Acesso em: 10 dez. 2025.

SOUSA, R. D. S. **Zoneamento geoecológico do complexo fluviomarinho dos rios Cardoso/Camurupim e porção costeira adjacente, litoral leste piauiense**. 2019. 154 f. Fortaleza/CE, 2019. Disponível em:

https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/49257/3/2019_tese_rssousa.pdf. Acesso em: 22 jul. 2025.

SOUSA, R. dos S. Avaliação da cobertura vegetal e uso da terra da bacia hidrográfica costeira do rio Portinho, Piauí. **REGNE**, [*s. l.*], v. 2, n. Especial, p. 1141–1150, 2016. Disponível em: https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/10577/7493. Acesso em: 3 nov. 2025.

SOUSA, R. dos S. **Planície costeira do estado do Piauí: mapeamento das unidades de paisagem, uso e cobertura da terra e vulnerabilidade ambiental**. 2015. 138 f. Dissertação - Universidade Federal do Piauí, Teresina - PI, 2015. Disponível em: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=2400163. Acesso em: 3 nov. 2025.

SOUZA, G. S. de *et al.* Análise da dinâmica espaço-temporal dos espelhos d'água de lagoas costeiras do Piauí por Sensoriamento Remoto. **Geoconexões**, [*s. l.*], n. 21, p. e1830411, 2025. Disponível em: https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/geoconexoes/article/view/18304. Acesso em: 11 dez. 2025.

TANNUS, J. L. S.; ASSIS, M. A. Composição de espécies vasculares de campo sujo e campo úmido em área de cerrado, Itirapina - SP, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27, n.3, p. 489-506, 2004.

VALLADARES, G. S. *et al.* Análise espectral de solos do litoral piauiense. **Acta Geográfica**, [*s. l.*], v. 16, n. 42, p. 120–138, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/368427697_Analise_espectral_de_solos_do_litoral_piauiense. Acesso em: 27 out. 2025.

VIEIRA, A. F.; ARAÚJO, J. L. L. Turismo e sustentabilidade ambiental na comunidade de Barra Grande, Cajueiro da Praia, Piauí (PI). **Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo**, [*s. l.*], v. 9, n. 3, p. 519–536, 2015. Disponível em: https://rbtur.org.br/rbtur/article/view/994/689. Acesso em: 20 out. 2025.

VIEIRA, A. F.; REIS, W. G.; ARAÚJO, J. L. L. Indicadores ambientais aplicados ao turismo: um estudo na comunidade de Barra Grande, Cajueiro da Praia (PI). **Revista Brasileira de Ecoturismo (RBEcotur)**, [*s. l.*], vol. 12, no 2, p. 274–294, 2019. Disponível em: https://periodicos.unifesp.br/index.php/ecoturismo/article/view/6726. Acesso em: 22 out. 2025.

WAGENSOMMER, R. P. *et al.* Global patterns and drivers of species and genera richness of Fabaceae. **Frontiers in Plant Science**, [*s. l.*], v. 16, p. 1581814, 2025. Disponível em: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2025.1581814/full. Acesso em: 26 jul. 2025.

ZHANG, S.; HUANG, J.; JI, Y.; ZHANG, J.; PEI, P.; GAO, J. Nitrogen and Phosphorus Cycling for Aquaculture Ponds with Artificially-Controlled Drainage: Sources, Sinks and Ecological Treatment Strategies. **Ecological Engineering**, v. 206, p. 107331, 2024. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4743510. Acesso em: 22 dez. 2025.

ARTIGO III

DINÂMICA TEMPORAL E ESPACIAL DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS DE LAGOAS COSTEIRAS DO PIAUÍ, BRASIL

RESUMO

Lagoas costeiras são ecossistemas rasos, permanentes ou temporários, cuja dinâmica físico-química e biológica é fortemente influenciada pela sazonalidade climática, pela geomorfologia e por pressões antrópicas. Assim, objetivou-se avaliar a dinâmica espaço-temporal das variáveis físicas, químicas e biológicas da água em lagoas costeiras do litoral do Piauí. As amostragens ocorreram nos anos de 2023 a 2024, nas lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, para análise das variáveis temperatura, profundidade, transparência, salinidade, turbidez, pH, condutividade elétrica, sólidos totais, oxigênio dissolvido, $N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NO_3$, fósforo total e fósforo solúvel reativo (PSR), clorofila-a, biomassa fitoplanctônica (mm^3) e coliformes termotolerantes. Foram estimadas a razão NID:PRS e o Índice de Estado Trófico (IET), também aplicados testes de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) e Análise de Componentes Principais (ACP). Os resultados indicaram forte influência da sazonalidade pluviométrica e de ventos sobre a dinâmica limnológica. Em 2024, o aumento das chuvas intensificou o aporte e a ressuspensão de nutrientes e compostos inorgânicos, reduzindo a penetração luminosa e a razão NID:PRS em todas as lagoas. No período seco, observou-se expansão da zona eufótica e incremento da biomassa fitoplanctônica na Lagoa do Portinho, enquanto nas lagoas do Sobradinho e Santana foi registrado aumento da biomassa fitoplanctônica associado a elevações de turbidez, condutividade elétrica e sólidos totais, no período seco em 2023 e no período chuvoso em 2024. Pelo IET médio a Lagoa do Portinho foi classificada como supertrófica e as lagoas do Sobradinho e Santana como hipereutróficas. Conclui-se que a sazonalidade climática foi o principal estruturador da qualidade da água nesses ambientes, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo, considerando sua dinamicidade e fragilidade, bem como por serem espaços estratégicos para região, tanto do ponto de vista ambiental quanto social e econômico.

Palavras-chave: biomassa fitoplanctônica; ecossistemas lacustres; índice de estado trófico; qualidade da água; variáveis limnológicas.

TEMPORAL AND SPATIAL DYNAMICS OF ENVIRONMENTAL VARIABLES IN COASTAL LAGOONS IN PIAUÍ, BRAZIL

ABSTRACT

Coastal lagoons are shallow ecosystems—either permanent or temporary—whose physical, chemical, and biological dynamics are strongly influenced by seasonal climate patterns, geomorphology, and anthropogenic pressures. Thus, the objective of this study was to assess the spatiotemporal dynamics of physical, chemical, and biological water variables in coastal lagoons along the coast of Piauí. Sampling took place from 2023 to 2024 in the Portinho, Sobradinho, and Santana lagoons to analyze the variables temperature, depth, transparency, salinity, turbidity, pH, electrical conductivity, total solids, dissolved oxygen, NH_4-N, NO_2-N, NO_3-N, total phosphorus, and reactive soluble phosphorus (RSP), chlorophyll-a, phytoplankton biomass (mm^3), and thermotolerant coliforms. The NID:PRS ratio and the Trophic State Index (TSI) were estimated, and Kruskal-Wallis tests ($p < 0.05$) and Principal Component Analysis (PCA) were also applied. The results indicated a strong influence of rainfall seasonality and winds on limnological dynamics. In 2024, increased rainfall intensified the input and resuspension of nutrients and inorganic compounds, reducing light penetration and the NID:PRS ratio in all lagoons. During the dry season, an expansion of the euphotic zone and an increase in phytoplankton biomass were observed in Lagoa do Portinho, while in the Sobradinho and Santana lagoons, an increase in phytoplankton biomass was recorded, associated with elevations in turbidity, electrical conductivity, and total solids, during the dry season in 2023 and the rainy season in 2024. Based on the average IET, Lagoa do Portinho was classified as supertrophic, and the Sobradinho and Santana lagoons as hypereutrophic. It is concluded that climatic seasonality was the primary factor influencing water quality in these environments, underscoring the need for continuous monitoring, given their dynamic nature and fragility, as well as their strategic importance to the region from environmental, social, and economic perspectives.

Keywords: phytoplankton biomass; lake ecosystems; trophic status index; water quality; limnological variables.

INTRODUÇÃO

Lagoas costeiras são ambientes aquáticos que fornecem diversos serviços ecossistêmicos, como abrigo para fauna e flora endêmica, suporte à pesca, lazer e turismo, além de atuarem como zonas de amortecimento frente aos impactos das mudanças climáticas sobre comunidades humanas (Esteves, 2011). De forma geral, esses ecossistemas podem ser permanentes ou temporários, predominantemente rasos e apresentarem ampla variação de salinidade ao decorrer do ano, com águas doces ou salobras durante o período chuvoso e condições salinas ou hipersalinas na estação seca, em função de processos de sedimentação, evaporação e influência do regime de marés (Kjerfve, 1994).

A dinâmica das características abióticas e bióticas desses corpos hídricos está relacionada a sazonalidade climática, incluindo padrões de precipitação, regime de ventos, anomalias atmosféricas, além de fatores geomorfológicos e interferências antrópicas, tais como expansão urbana em áreas adjacentes, que podem alterar significativamente o balanço hídrico, a disponibilidade de nutrientes e, consequentemente, o estado trófico desses sistemas (Vasistha; Ganguly, 2020). Em resposta a essas alterações ambientais, a comunidade fitoplanctônica desempenha papel central no funcionamento dos ecossistemas lacustres, participando ativamente dos ciclos biogeoquímicos, da ciclagem e do armazenamento de nutrientes, além de responder rapidamente às mudanças nas condições ambientais (Ligorini *et al.*, 2023).

Ao longo do litoral brasileiro, as lagoas costeiras apresentam elevada heterogeneidade quanto à dimensão, origem e formas de abastecimento hídrico, podendo variar desde pequenas depressões, preenchidas por águas fluviais, subterrâneas ou marinhas até grandes sistemas lagunares com conexão temporária ou permanente com o oceano (Pereira *et al.*, 2017). Essa diversidade estrutural e funcional torna esses ambientes particularmente sensíveis às variações climáticas e às pressões antrópicas.

No estado do Piauí, as lagoas localizadas na planície costeira têm sido submetidas a intensas modificações decorrentes da dinâmica sazonal e de atividades humanas, com a retirada e/ou deslocamento da água para aquicultura e irrigação, o desmatamento da vegetação nativa, que acelera o avanço e deslocamento de dunas, e os processos erosivos (Mesquita; Lima; Santos Filho, 2018b). Essas interferências podem acarretar a redução de volume hídrico, intensificação da salinização, aumento do grau de trofia e alterações na dinâmica ecossistêmica, comprometendo a qualidade ambiental e inviabilizando seus múltiplos usos (Woolway; Sharma; Smol, 2022).

Apesar de sua relevância ecológica, econômica e social, os estudos desenvolvidos nas lagoas costeiras do Piauí concentram-se, majoritariamente, em análises de uso e cobertura da terra (Sousa; Bacelar; Sousa, 2024; Sousa, 2016), infraestrutura turística (Araujo *et al.*, 2014; Medeiros *et al.*, 2022), impactos socioambientais (Mesquita; Lima; Santos Filho, 2018b, 2018a) e variação dos espelhos d'água (Santos de Souza *et al.*, 2025; Sena; Silva, 2020). Observa-se, portanto, uma lacuna de conhecimento relacionada à integração entre variáveis físico-químicas e biológicas da água e sua variabilidade espaço-temporal.

Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a dinâmica temporal e espacial das variáveis físico-químicas e biológicas da água em lagoas costeiras do litoral do Piauí, visando contribuir para a compreensão dos processos limnológicos que regulam esses ecossistemas e subsidiar ações de monitoramento e gestão ambiental.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O litoral do estado do Piauí possui aproximadamente 66 km de extensão e compreende os municípios de Cajueiro da Praia, Ilha Grande, Luís Correia e Parnaíba, inseridos na planície litorânea da macrorregião Litoral (SEPLAN, 2007), e na Área de Expansão Metropolitana de Parnaíba (SEPLAN, 2022). De acordo com a portaria nº34 do Ministério do Meio Ambiente (MMA), esses municípios, juntamente com Bom Princípio do Piauí, compõem a Zona Costeira do Estado (Brasil, 2021).

Nessa região, o clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw (tropical megatérmico), caracterizado por verão chuvoso e inverno seco, com temperatura média anual de aproximadamente 27,5 °C. O período chuvoso ocorre predominantemente entre os meses de janeiro e maio, enquanto os menores índices pluviométricos concentram-se entre junho e dezembro (Ferreira; Kemenes, 2023; Souza *et al.*, 2025).

Os solos da planície litorânea são originários de sedimentos do Período Terciário (Grupo Barreiras) e do Quaternário, incluindo depósitos praiais, eólicos, marinhos e lagunares, e depósitos colúvio-aluvionares, com classe textural variando de arenosa a argilosa (Sousa; Valladares; Espíndola, 2016; Valladares *et al.*, 2023). As unidades pedológicas da região são classificadas em Argissolos, Cambissolos, Gleissolos, Espodossolos, Neossolos Flúvicos, Neossolos Quartzarênicos, Planossolos e Vertissolos (Valladares *et al.*, 2023).

Do ponto de vista geomorfológico, a região litorânea é marcada por duas feições distintas: planícies associadas a sistemas fluviais, corpos lacustres, zonas de transição entre rios e o mar (fluviomarinha), praias, dunas móveis, e Tabuleiros Litorâneos (Silva; Baptista; Moura, 2022). A cobertura vegetal é composta por diferentes formações, incluindo vegetação pioneira psamófila, vegetação subperenifólia de dunas; vegetação perenifólia de mangue; vegetação de várzea; vegetação do Delta dos rios Parnaíba/Longá; vegetação estacional de tabuleiros e vegetação estacional secundária de cerradão (Santos Filho, 2009).

A região apresenta intensa atividade turística, com destaque para os segmentos de sol e praia, aventura, cultural, ecológico, eventos, histórico e rural, e se distingue em cada município litorâneo (Braga; Guzzi, 2021). Parnaíba abriga a segunda maior população do estado e concentra atividades ligadas aos segmentos de negócios, saúde e educação (IBGE, 2025). Em Luís Correia predomina o turismo de massa e de segunda residência, enquanto em Cajueiro da Praia observa-se um perfil mais voltado ao turismo de aventura, esportivo e ecoturismo, especialmente nas localidades de Barra Grande e Barrinha (Borges, 2022; Braga; Guzzi, 2021).

Visando a conservação dos múltiplos usos desses ambientes, foi criada a partir do decreto S/N de 28.08.1996 a Área de Proteção Permanente (APA) do Delta do Rio Parnaíba (ICMBIO, 2020), a qual incluiu as lagoas do Sobradinho e Santana, e em 2019, pelo decreto nº 18346, foi criada a Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE), englobando a Lagoa do Portinho (SEMARH, 2025). Essas lagoas representam os maiores sistemas lacustres costeiros da região em termos de extensão (Figura 1).

Figura 1. Localização e pontos de coleta nas lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí/Brasil.



Fonte: Adaptado de IBGE (2026).

A lagoa do Portinho possui área aproximada de 5km² e é formada pelo barramento natural de dunas sobre o rio Portinho, riacho Brandão e outros cursos d´água, dependendo do volume de chuvas, pode se conectar com o rio Igaraçu, braço do rio Parnaíba, além de abrigar sítios arqueológicos e atividades relacionadas à mineração, pesca, turismo e lazer (Mesquita; Lima; Santos Filho, 2018). A lagoa do Sobradinho, com aproximadamente 16 km² de área, é abastecida principalmente por águas pluviais, estando inserida em área de dunas e sendo utilizada, principalmente, para a aquicultura de tilápias e camarões (Sena; Silva, 2020). A lagoa da Santana, com aproximadamente 7 km², localiza-se no município de Cajueiro da Praia e mantém conexão com o oceano por meio de um canal, sendo abastecida principalmente durante marés de sizígia (Sousa, 2019). Além da pesca artesanal, a lagoa é utilizada para o cultivo de ostras, atividades turísticas (como passeios de caiaque e trilhas) e apresenta ocupação crescente por empreendimentos hoteleiros e residências de veraneio ao longo de suas margens.

Aspectos legais

O estudo foi realizado sob autorização do Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBIO), sob o número 86013-1. O cadastro de acesso ao Patrimônio

Genético/CTA recebeu o nº A7F3E5A no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen).

Sazonalidade climática

Os dados de precipitação pluviométrica referentes ao período de estudo e para elaboração da série histórica de 50 anos (1973 a 2022), bem como os dados de velocidade dos ventos, foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2025), coletados das estações pluviométricas 82287 (convencional) e A308 (automática); e no banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA, 2025), das estações convencionais 241001 e 241002, e da estação automática 220770201, do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN, 2025), todas localizadas no município de Parnaíba, Piauí/Brasil.

Coleta e análise da água

Foram estabelecidos três pontos amostrais em cada lagoa: Portinho - P1 (02°55'47.1"S, 41°40'32.1"W), P2 (02°56'21.6"S, 41°40'40.8"W) e P3 (02°57'09.0"S, 41°41'01.1"W); Sobradinho - P1 (02°56'39.5"S, 41°31'59.6"W), P2 (02°57'52.2"S, 41°31'20.5"W) e P3 (02°57'06.4"S, 41°33'21.5"W); Santana - P1 (02º54'50.148"S, 41º23'29.216"W), P2 (02º55'16.687"S, 41º23'6.799"W) e P3 (02º56'44.016"S, 41º23'2.548"W) (Figura 1).

As coletas foram realizadas em 2023 (fevereiro, junho, agosto e novembro) e em 2024 (fevereiro, maio, setembro e novembro), abrangendo períodos chuvoso e seco, de modo a contemplar a variabilidade temporal e espacial, incluindo áreas próximas e distantes de interferências antrópicas.

As amostras foram coletadas na subsuperfície da água, acondicionadas em frascos de polietileno de 500 mL para análises físico-químicas, e em frascos estéreis de vidro borossilicato de 100 mL, para análises microbiológicas. As amostras foram mantidas sob refrigeração e transportadas para o Laboratório de Ecologia Aquática (LEA) da Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPar), para processamento.

As variáveis ambientais a saber: temperatura da água (ºC), pH, salinidade (‰) e condutividade elétrica ($mS.cm^{-1}$), foram medidas *in situ* com medidor digital portátil EZ-9909. A turbidez (NTU) foi medida com turbidímetro portátil HI98703. A transparência da água (m) foi estimada por meio da média de duas medições com disco de Secchi, e a profundidade da

zona eufótica (Zeu) calculada utilizando o fator 3 (Cole, 1994). A classificação de salinidade seguiu o Sistema de Veneza (Bulger *et al.*, 1993).

As concentrações de sólidos totais (método 2540 B em $mg.L^{-1}$), oxigênio dissolvido (método 4500-O C em $mg.L^{-1}$), $N\text{-}NH_4$ (método 4500-NH_3-F em $\mu g.L^{-1}$), $N\text{-}NO_2$ (método 4500-NO_2^- em $\mu g.L^{-1}$), fósforo solúvel reativo (PSR) (método 4500-P^-E em $\mu g.L^{-1}$), fósforo total (método 4500-P^-E em $\mu g.L^{-1}$), coliformes termotolerantes (método 9221E em NMP/100mL), foram determinados conforme os *Standard Methods of Water and Wastewater* (APHA, 2023). O nitrato ($N\text{-}NO_{3)}$ foi analisado conforme Rodier (1975). A clorofila-a ($\mu g.L^{-1}$) seguiu Nusch (1980) e Jespersen e Christoffersen (1987).

A limitação por nutrientes foi avaliada por meio da razão molar do nitrogênio inorgânico dissolvido (NID), resultante da soma dos valores de $N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_2$ e $N\text{-}NO_3$, com o fósforo solúvel reativo (PSR), onde: NID:PSR < 13 o nitrogênio é limitante, 13 < NID:PSR < 50 não existe limitação por nutrientes e NID:PSR > 50 o fósforo é limitante (Morris; Lewis, 1988).

O grau de trofia das lagoas foi verificado pelo Índice de Estado Trófico (IET) conforme Lamparelli (2004) para reservatórios. Os resultados do IET foram categorizados em: Ultraoligotrófico ($IET \leq 47$); Oligotrófico ($47 < IET \leq 52$); Mesotrófico ($52 < IET \leq 59$); Eutrófico ($59 < IET \leq 63$); Supereutrófico ($63 < IET \leq 67$) e Hipereutrófico ($IET > 67$).

Biomassa fitoplanctônica

Para a análise quantitativa da biomassa fitoplanctônica, as amostras foram coletadas na subsuperfície e fixadas com formaldeído a 4%. A contagem seguiu o método de Utermöhl (1958), usando microscópio invertido Zeiss, com tempo de sedimentação conforme Margalef (1984). O número mínimo de campos por amostra foi determinado quando atingidos 100 indivíduos de uma espécie dominante no primeiro campo da câmara de sedimentação, ou pelo menos 450 indivíduos da espécie dominante, ou na contagem total da câmara na ausência de dominância, em transeções horizontais e verticais.

A biomassa total ($mg.L\text{-}^1$) foi estimada pelo produto entre o biovolume e a densidade total do fitoplâncton. O cálculo da densidade ($indivíduos.mL^{-1}$) seguiu Weber (1973). O biovolume foi estimado a partir de fórmulas geométricas (Hillebrand *et al.*, 1999; Sun; Liu, 2003), utilizando-se os valores médios das medidas de 20 a 30 indivíduos. O biovolume expresso em $\mu m^3\ mL^{-1}$ foi convertido para $mm^3.L^{-1}$ dividindo-se esse valor por 10^6, onde 1 $mm^3.L^{-1}$=1 $mg\ L^{-1}$ (Wetzel; Likens, 2000).

Análise estatística

Os dados foram organizados no *software* Microsoft Excel® 2019 e analisados no *software* R 4.4.2, utilizando pacotes do "*Tidyverse*". A normalidade e a homogeneidade das variâncias foram avaliadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Fligner-Killeen, respectivamente. As diferenças entre meses e pontos foram testadas por meio da análise de variância não paramétrica de Kruskal-Wallis, considerando-se significativos os valores de $p < 0,05$. A Análise de Componentes Principais (ACP) foi usada para avaliar as relações entre as variáveis ambientais, a partir da matriz de correlação de Pearson, com dados transformados em ln(x+1), exceto o pH.
A normalidade e a homogeneidade das variâncias foram avaliadas pelos testes de Shapiro-Wilk (função "shapiro.test") e Fligner-Killeen (função "fligner.test"), respectivamente. As diferenças entre meses e pontos foram testadas por meio da análise de variância não paramétrica de Kruskal-Wallis (função "kruskal.test"), considerando-se significativos os valores de probabilidade $p < 0,05$, todos com o pacote broom (Robinson; Hayes, 2025).

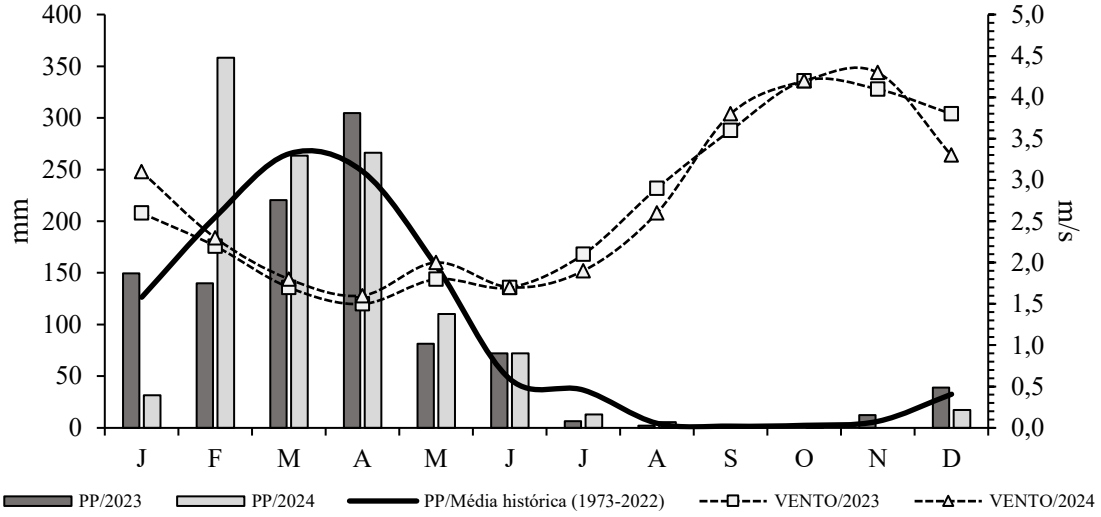
RESULTADOS E DISCUSSÃO

A dinâmica pluviométrica do município de Parnaíba, com base na série histórica de 50 anos (1973-2022), apresenta um padrão sazonal bem definido, com peródo chuvoso de janeiro a maio, e período seco entre junho e dezembro, com precipitação média anual de 1075 mm (Figura 2).

No período de estudo, a precipitação anual foi de 1028 mm em 2023 e 1141 mm em 2024, com picos registrados em abril (304,8 mm) e fevereiro (358,4 mm), respectivamente. Apesar da maior precipitação observada em 2024, não foram verificadas diferenças estatisticamente significativas entre os anos ($p = 0,57$).

Esse regime pluviométrico evidencia a forte sazonalidade climática da região, a qual exerce influência direta sobre a dinâmica limnológica dos sistemas aquáticos. O aumento das chuvas, especialmente em 2024, pode estar associado ao maior aporte de nutrientes e material particulado para as lagoas, contribuindo para alterações na transparência da água e na disponibilidade de recursos para a comunidade fitoplanctônica.

Figura 2. Precipitação pluviométrica (PP) e velocidade dos ventos no município de Parnaíba, Piauí, com valores dos anos de 2023 e 2024 e média histórica mensal no período de 1973 a 2022.



Fonte: INMET (2025), ANA (2025) e CEMADEM (2025).

Observou-se a ocorrência de chuvas abaixo da média climatológica principalmente no primeiro trimestre de 2023, associada à redução de intensidade do fenômeno *La Niña*, o que resultou em um regime irregular de chuvas na região, fortemente influenciado pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (INMET, 2023). Ainda em 2023, estabelecue-se o fenômeno *El Niño*, classificado como de intensidade moderada a forte, atingindo condição muito forte em novembro e dezembro (CPTEC, 2024).

No início de 2024, as alterações de temperatura da superfície do mar no Oceano Pacífico Equatorial indicaram condições de neutralidade para o *El Niño* (Becker, 2024), contribuindo para valores de precipitação superiores à média histórica, principalmente em fevereiro e abril. Esse cenário evidencia a forte influência dos fenômenos climáticos de grande escala sobre a variabilidade pluviométrica regional.

Os ventos na região litorânea do Piauí são controlados principalmente pela mobilidade sazonal da ZCIT, sendo representados, em escala regional, pelos ventos alísios e, localmente. por brisas marítimas e terrestres (Monteiro, 2022). Observou-se um padrão sazonal da velocidade média dos ventos, onde o ciclo anual apresentou valores decrescentes entre janeiro e junho, e crescentes de julho a dezembro, correspondendo aos períodos de chuva e seca na região, respectivamente, bem como diferenças estatísticas significativas (p=0,003) entre 2023 e 2024 (Figura 2). Houve diferença significativa entre os anos de estudo (p = 0,003), com valores variando de 1,5 m s^{-1} a 4,3 m s^{-1}, em consonância com padrões já descritos para a região

(Ferreira; Kemenes, 2023), que observaram médias históricas de 1,36 m s^{-1} entre abril e julho e superiores a 3 m s^{-1} entre setembro e janeiro.

A sazonalidade da precipitação e dos ventos refletiu-se diretamente nas variáveis limnológicas. A temperatura da água variou entre 26,70 °C e 33,40 °C, com valores mais elevados durante o período chuvoso e diferença estatística entre meses para Portinho (p=0,032) e Sobradinho (p=0,034), em 2023, e entre pontos no Sobradinho em 2024 (p=0,015), padrão típico de ambientes tropicais (Pereira *et al*., 2017). Esse comportamento está associado à elevada umidade relativa do ar durante a estação chuvosa e ao aumento da evaporação no período seco, intensificada pela ação dos ventos e pelo aquecimento da coluna d'água (MacIntyre; Hamilton, 2024).

Segundo Ferreira e Kemenes (2023), a umidade relativa do ar chega a 85% no pico do período chuvoso, enquanto a temperatura do ar e evapotranspiração tem maiores valores no período seco, quando analisada a normal climatológica de 1991 a 2020 para Parnaíba. Com o aumento da temperatura do ar e da velocidade do vento, a evaporação ocorre mais rapidamente, pois a coluna d'água é aquecida e a camada de vapor, logo acima da superfície de água, é facilmente removida pelo vento, criando mais oportunidades para a evaporação (MacIntyre; Hamilton, 2024; Rakhecha; Singh, 2009).

O oxigênio dissolvido apresentou variação entre 2,55 mg.L^{-1} e 10,03 mg.L^{-1}, com maiores concentrações predominantemente no período seco, enquanto o pH oscilou de levemente ácido a alcalino (5,39–8,99). Diferenças significativas foram observadas entre meses e anos, especialmente nas lagoas do Portinho e Sobradinho. Nessas áreas, variações espaciais foram associadas à presença de macrófitas aquáticas e à compartimentação física, favorecendo o acúmulo de matéria orgânica e intensificação de processos de decomposição (Esteves, 2011).

Na lagoa do Sobradinho, diferenças espaciais foram associadas à presença de macrófitas aquáticas e à separação física do ponto 3 por uma estrada, o que favorece a acumulação de matéria orgânica e processos de decomposição, reduzindo o pH e o oxigênio dissolvido (Esteves, 2011).

Gonçalves *et al*. (2024) observaram valores menores de pH ao final do período chuvoso na Laguna da Jansen, em São Luís, Maranhão, relacionando com maior entrada de efluentes. Fermino e Santos (2019) associaram menores valores médios de pH e de oxigênio dissolvido, das lagoas costeiras do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, às atividades biológicas (fotossíntese e respiração) e fenômenos físicos (turbulência natural ou induzida com concomitante aeração).

Conforme Cutrim *et al.* (2019), a solubilidade do oxigênio na água diminui com o aumento da temperatura e da salinidade, o que pode ser intensificado durante períodos de menor precipitação. Mudanças físicas induzidas pelo aquecimento, como o aumento da temperatura da água, evaporação intensificada e menor solubilidade do oxigênio, favorecem o desenvolvimento da biomassa fitoplanctônica (Meerhoff; Beklioğlu, 2024).

A lagoa do Portinho apresentou as maiores profundidades entre as lagoas estudadas, atingindo 5,40 m no P3 em novembro de 2023, com profundidade média dos pontos de 3,56 m em 2023 e 3,59 m em 2024. Observou-se extensa zona eufótica, com redução durante o período chuvoso, visto que, a transparência média foi de 0,92 m em 2023 e 0,78 m em 2024, aumentando para 1,12 m e 1,41 m, respectivamente, no período seco. Já nas lagoas do Sobradinho e Santana, as profundidades em todos os pontos amostrados foram inferiores a 0,5 m, embora áreas mais profundas ocorram, conforme a variação do regime pluviométrico e da maré.

A condutividade elétrica variou de 2,02 $mS.cm^{-1}$ a 96,5 $mS.cm^{-1}$, com diferenças significativas entre meses na lagoa do Portinho (p=0,016) em 2023 e no Sobradinho (p=0,033) em 2024 e entre os anos de estudo (p=0,043). A turbidez apresentou as maiores médias em 2023 na lagoa do Portinho (4,39 NTU) e na lagoa da Santana (10,17 NTU), enquanto no Sobradinho os maiores valores ocorreram em 2024, com 9,61 NTU. Já com o teor de sólidos totais, a maior média registrada na lagoa da Santana (54204,55 $mg.L^{-1}$) ocorreu no ano de 2023 e no Portinho (2492,33 $mg.L^{-1}$) e Sobradinho (17754,43 $mg.L^{-1}$), em 2024. Diferenças significativas foram observadas para turbidez entre os pontos na lagoa da Santana (p=0,021) e para sólidos totais ocorreram entre meses na lagoa do Portinho (p=0,039) e entre os pontos na do Sobradinho (p=0,023), em 2024.

Por apresentarem sistemas rasos, as lagoas sofrem forte influência do carreamento de matéria orgânica e da ressuspensão de sedimentos provocados pela chuva, o que, conforme Kochem, Crossetti e Barros (2025), reduzem a incidência da radiação solar no meio aquático e desfavorece os organismos fotossintetizantes não especializados, ao mesmo tempo em que dilui a concentração de nutrientes. Pereira *et al*. (2017) observaram na lagoa Salina (nordeste do Pará) que, no período seco, o acréscimo de materiais e nutrientes na coluna d'água se deu pela topografia do fundo e ação do vento, principalmente por ser um ambiente raso.

Quanto à salinidade, a lagoa do Portinho apresentou águas oligohalinas durante todo o estudo, com valor máximo de 2,17 ‰ e diferença significativa entre os meses de estudo (p=0,012 em 2023 e p=0,030 em 2024). Na lagoa do Sobradinho, a salinidade média durante o

período chuvoso, foi de 17,40 ‰, valor máximo de 42 ‰, em fevereiro de 2023, mês atípico com precipitação abaixo da média histórica. Durante o período seco, a salinidade média foi de 14,67 ‰, caracterizado por águas polihalinas. Diferenças significativas (p=0,023) ocorreram apenas entre pontos em 2024, devido a posição do ponto 3, localizado após a estrada que corta a lagoa, apresentando maior influência direta da precipitação.

Na lagoa da Santana, a salinidade média foi classificada como euhalina durante o período chuvoso (33,05 ‰) e hiperhalina no período seco (51,67 ‰). O valor máximo (95 ‰) foi registrado no ponto 3 em agosto de 2023, em área de retenção hídrica, onde a evaporação intensifica a concentração de sais. Além da interferência da precipitação e evaporação, o gradiente de salinidade está ligado à formação e ao tipo de abastecimento das lagoas, que variam do fluxo fluvial e freático ao de marés.

Em lagoas costeiras as mudanças na concentração de sais podem ocorrer em maior intensidade e rapidez, pois o seu controle primário se dá pelas variações nas taxas de evaporação e precipitação da região (Jeppesen; Beklioğlu; Zadereev, 2023). A redução prolongada das chuvas pode promover a hipersalinização progressiva e profundas alterações ecológicas (D'Alelio *et al.*, 2022).

Na série nitrogenada, os valores máximos registrados foram 3,85 μg L^{-1} para amônia (ponto 2, lagoa do Sobradinho, fevereiro/2023), 0,58 μg L^{-1} para nitrito (ponto 2, lagoa do Portinho, junho/2023, e ponto 3 da lagoa da Santana, novembro/2023) e 1995 μg L^{-1} para nitrato (ponto 3 da lagoa da Santana, novembro/2023). Em 2024, observaram-se maiores médias de nitrato nas lagoas do Portinho (310,11 μg L^{-1}) e Santana (337,91 μg L^{-1}), associadas ao maior volume de precipitação e ao carreamento de matéria orgânica. Na lagoa do Sobradinho, o nitrato apresentou maior média no período seco de 2023 (1493,65 μg L^{-1}) e no período chuvoso de 2024 (578,85 μg L^{-1}). O nitrato foi a principal fração contribuinte para o nitrogênio inorgânico dissolvido (NID).

Diferenças estatísticas significativas foram observadas entre os dois anos, para amônia na lagoa do Portinho (p=0,002) e Sobradinho (p=0,030) e para nitrito na Santana (p=0,009). Entre meses foram observadas em 2023 no Portinho, para amônia (p=0,047), e em 2024 para nitrato (p=0,021). Na lagoa do Sobradinho p=0,026 para amônia e p=0,049 para nitrito entre meses, e p=0,021 para nitrato entre pontos, em 2023, e amônia (p=0,039) e nitrato (p=0,013) entre meses, em 2024. Já na lagoa da Santana $p<0,05$ ocorreu para toda a série nitrogenada entre meses, em 2024. Essa variação significativa dos dados indica a influência da sazonalidade no

comportamento da série nitrogenada, que pode estar associada a entrada de matéria ogânica, por lixiviamento, e a ressuspensão de nutrientes do sedimento.

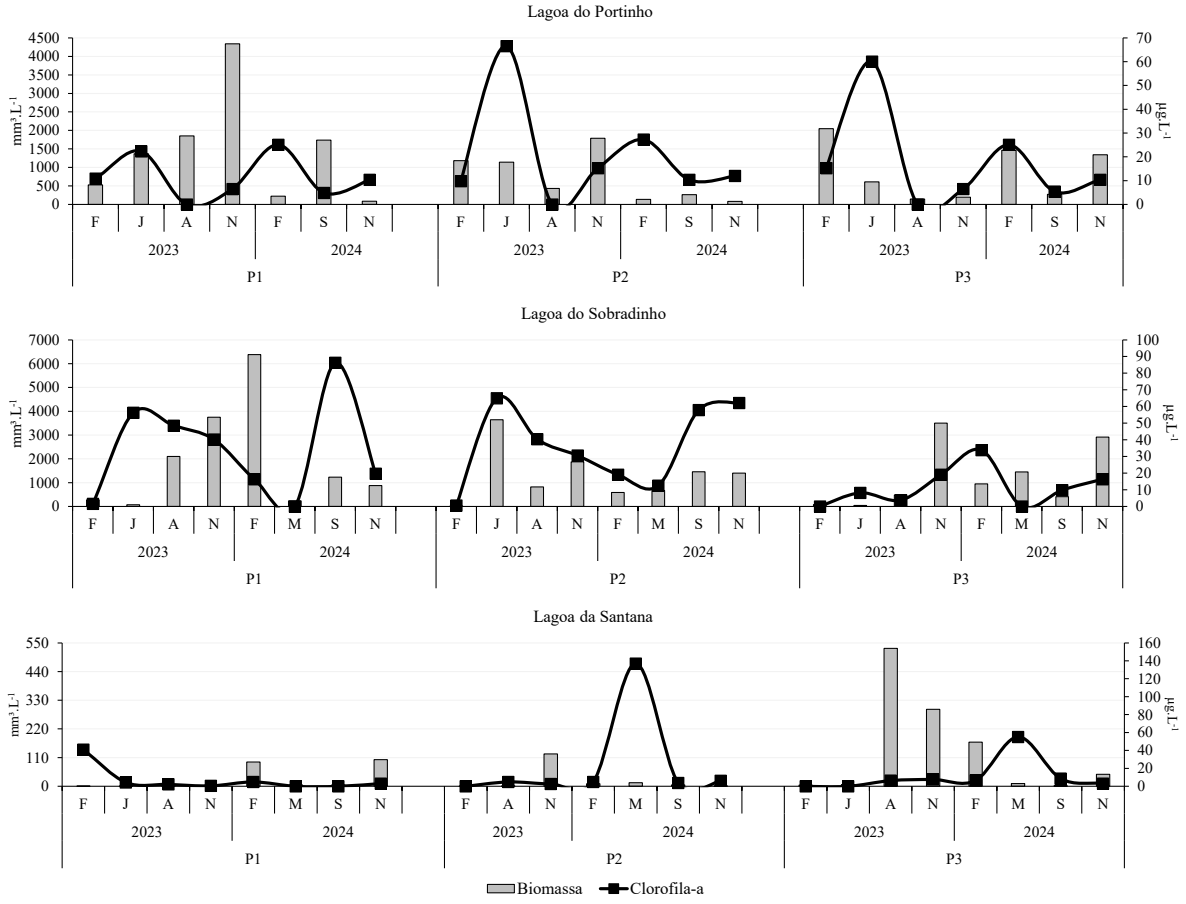
O fósforo total apresentou valor máximo de 44,80 $\mu g.L^{-1}$ no ponto 1 em novembro/2024 na lagoa do Portinho, 43,97 $\mu g.L^{-1}$ em Sobradinho e 32,54 $\mu g.L^{-1}$ em Santana, ambos no ponto 3. As médias foram maiores no período seco em todas as lagoas, com diferenças estatísticas significativas ($p<0,05$) entre os meses, com exceção da lagoa do Sobradinho em 2023, e entre os dois anos na lagoa do Portinho ($p=0,039$) e Santana ($p=0,010$). O fósforo reativo solúvel (PRS) teve valor máximo de 13,02 $\mu g.L^{-1}$ no ponto 1, em maio/2024 na lagoa do Sobradinho, e diferenças estatísticas significativas ($p<0,05$) entre meses e entre os dois anos em todas as lagoas. Os resultados reforçam a influência sazonal, com destaque para a ressuspensão de nutrientes no período seco.

Ao fazer a relação entre o NID:PRS, observou-se que houve limitação de PRS apenas nos pontos 1 e 2 da lagoa do Sobradinho em 2023. Já o NID foi limitante no período chuvoso de 2023 e 2024, nos três ambientes, seguido por ausência de condições limitantes, considerando esses nutrientes.

Gonçalves *et al*. (2024) descrevem que a série nitrogenada teve maiores valores no período chuvoso na Laguna da Jansen e, para fósforo, assim como observado por Kochem, Crossetti e Barros (2025) na Lagoa Salina, o aumento dos valores ocorreu no período seco. As fontes de nitrogênio e fósforo podem ser alóctones (efluentes, escoamento superficial, lixiviação) ou autóctones (sedimentos, macrófitas, fitoplâncton e bactérias) (Lemes da Silva; Hennemann; Petrucio, 2019). O nitrogênio é absorvido preferencialmente por organismos procariotos fotossintetizantes, enquanto o fósforo pode ser rapidamente assimilado e estocado como polifosfatos pela comunidade fitoplanctônica (Burford; Lu, 2024; Berthold *et al*., 2018). Quando não há limitação por N ou P, a luz tende a se tornar o principal fator limitante (Reynolds, 1999).

As concentrações médias de clorofila-a foram maiores durante o período chuvoso de 2023 e 2024 na lagoa do Portinho, com valor de 30,85 $\mu g.L^{-1}$ e 25,85 $\mu g.L^{-1}$, e na lagoa da Santana, com 9,06 $\mu g.L^{-1}$ e 34,77 $\mu g.L^{-1}$, respectivamente. Já na lagoa do Sobradinho as maiores médias ocorreram no período seco, com 30,44 $\mu g.L^{-1}$ em 2023, e 42,02 $\mu g.L^{-1}$ em 2024 (Figura 3).

Figura 3. Biomassa fitoplanctônica total ($mm^3.L^{-1}$) e concentração de clorofila-a ($\mu g.L^{-1}$) nas lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí, nos anos de 2023 e 2024.



Fonte: Autores (2026).

A biomassa fitoplanctônica apresentou na lagoa do Portinho maior valor médio no período seco de 2023, com 1458,84 $mm^3.L^{-1}$, e 632,80 $mm^3.L^{-1}$em 2024. Na lagoa do Sobradinho, a média foi maior em 2023 no período seco (2088,0 $mm^3.L^{-1}$) e em 2024 no período chuvoso (1710,23 $mm^3.L^{-1}$). Na lagoa da Santana, a média em 2023 foi de 159,50 $mm^3.L^{-1}$ no período seco e em 2024 foi de 50,24 $mm^3.L^{-1}$ no período chuvoso.

A clorofila-a, principal pigmento fotossintético, varia conforme a disponibilidade de luz e nutrientes. Em condições de limitação luminosa, as células do fitoplâncton aumentam sua concentração de clorofila, enquanto em condições favoráveis ocorre aceleração da taxa de divisão celular, aumentando a biomassa (Litchman; Klausmeier, 2008; Streit *et al*., 2005). Essa situação possívelmente esteja ocorrendo nas três lagoas, com exceção do mês de fevereiro/2023, em que os valores de clorofila-a são mais baixos que junho, o que pode estar relacionado a ausência de chuvas nos dias anteriores às coletas.

Os coliformes termotolerantes apresentaram valor máximo de 1600 NMP.100 mL^{-1} e maiores médias no período chuvoso em 2024, na lagoa do Portinho (800 NMP.100mL^{-1}),

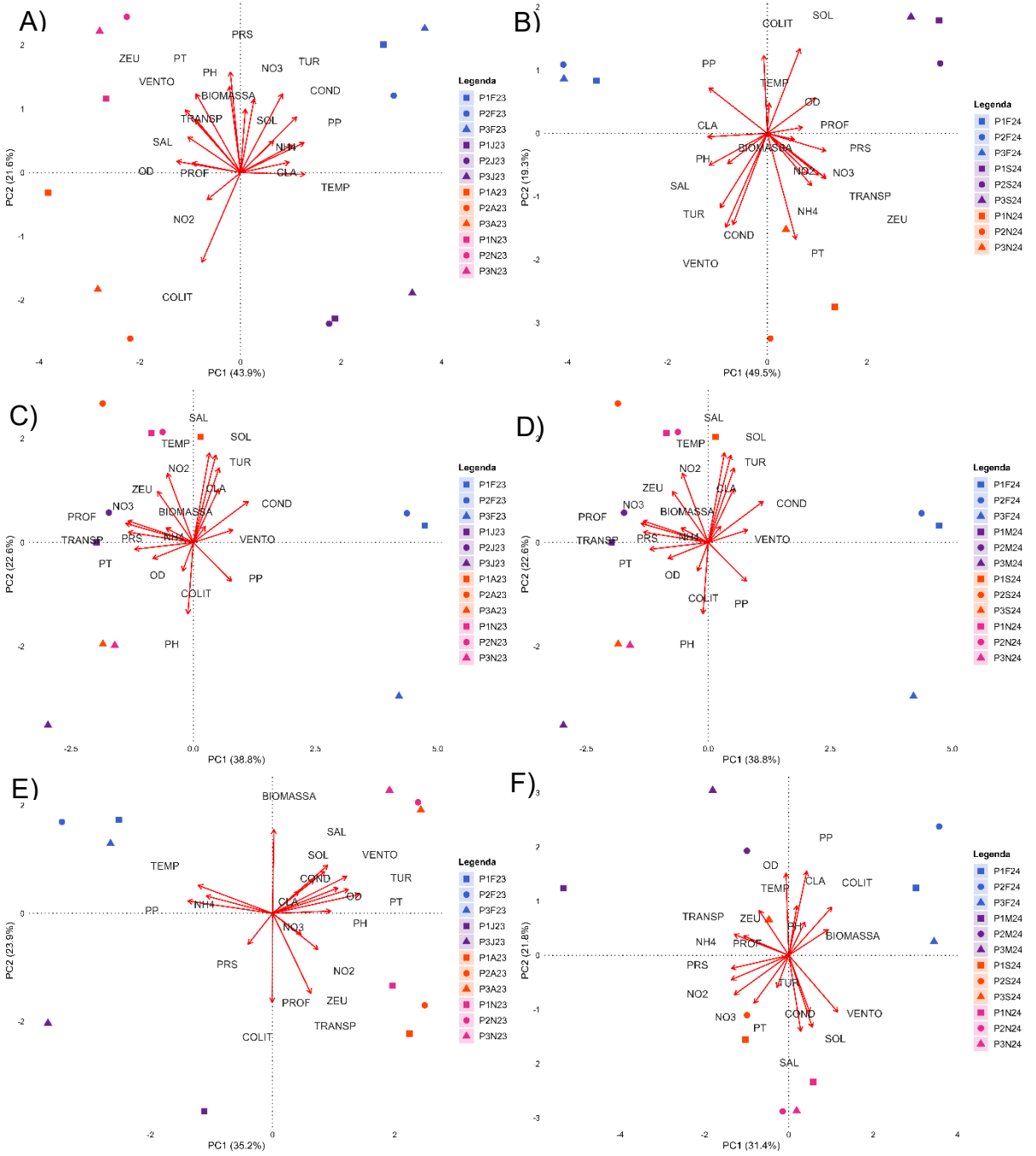
Sobradinho (1362 NMP.100 mL^{-1}) e Santana (730 NMP.100 mL^{-1}), com diferenças estatísticas significativas entre meses em 2023 (p=0,040) e por pontos em 2024 (p=0,048), no Portinho. Na lagoa do Sobradinho ocorreu em relação aos meses de 2023 (p=0,048) e entre os anos de 2023 e 2024 (p=0,038).

O aporte de água no período chuvoso leva para o corpo d'água as fezes de animais, que utilizam áreas do entorno de lagoas para beber e se alimentar, e humanas, originadas do adensamento urbano, aumentando a quantidade de coliformes termotolerantes no ambiente (Torres-Alvarado *et al.*, 2019). Veras *et al*. (2017) observaram que na lagoa do Portinho a movimentação turística é um fator que contribui para o aumento de coliformes termotolerantes, no período seco. Por sua origem no trato intestinal de humanos e animais vertebrados (Santos; Fermino, 2019), os coliformes podem ser um risco à saúde, principalmente pela proximidade a áreas de cultivo de ostras, como ocorre próximo ao ponto 1 na lagoa da Santana. Os valores médios registrados no período chuvoso na lagoa da Santana ficaram acima do máximo permitido pela resolução CONAMA nº 357/2005 para cultivo de moluscos bivalves destinados à alimentação humana em águas salinas, cujo valor é 88 NMP.100mL^{-1} (CONAMA, 2005).

A Análise de Componentes Principais (ACP) evidenciou que os padrões sazonais da chuva e do vento exerceram influência na ordenação das variáveis em todas as lagoas (Figura 4). Na lagoa do Portinho em 2023, os dois primeiros eixos explicaram, juntos, 65,5% da variância total dos dados, sendo 43,9% no PC1, e 21,6% no PC2. A sazonalidade foi representada pelo lado positivo do PC1.

No lado positivo do eixo PC2 agruparam-se, para Lagoa do Portinho, a maioria das unidades amostrais pertencentes aos meses chuvosos, com correlação positiva da precipitação com as variáveis: condutividade (r=0,96), temperatura (r=0,93), clorofila (r=0,82), amônia (r=0,76) e turbidez (r=0,70), e negativa principalmente com o vento (r=-0,64) e OD (r=-0,91).

Figura 4. Análise de componentes principais (ACP) das variáveis ambientais, climáticas e biológicas das lagoas do Portinho (A e B), do Sobradinho (C e D) e da Santana (E e F), considerando os meses de fevereiro, junho, agosto e novembro de 2023, e fevereiro, maio, setembro e novembro de 2024.



Fonte: Autores (2026).
Legenda: CLA= clorofila-a; COLIT= coliformes termotolerantes; COND= condutividade; NH4= amônia; NO2= nitrito; NO3= nitrato; OD= oxigênio dissolvido; PP= precipitação pluviométrica; PROF= profundidade; PRS= fósforo reativo solúvel; PT= fósforo total; SAL= salinidade; SOL= sólidos totais; TEMP= temperatura; TRANSP= transparência; TUR= turbidez e ZEU= zona eufótica.

No lado negativo do PC2, o vento teve correlação positiva com fósforo total (r=0,92), salinidade (r=0,88), OD (r=0,81), profundidade (r=0,60) e transparência (r=0,65), e negativa com temperatura (r=-0,83).

Em 2024 o eixo PC1, pelos dados obtidos no Portinho, explicou 49,5% dos dados e a interferência da sazonalidade, onde no lado positivo do eixo agruparam-se as variáveis influenciadas pela chuva, com correlação positiva com salinidade(r=0,74) e clorofila a (r=0,89), e negativa com transparência (r=-0,96), amônia(r=-0,75), nitrito (r=-0,69), nitrato (r=-0,89), fósforo total (r=-0,73) e fósforo reativo solúvel (r=-0,95). No lado negativo, o vento teve correlação positiva com condutividade (r=0,83), turbidez (r=0,95), salinidade (r=0,80) e clorofila a (r=0,61) e negativa com OD (r=-0,73) e sólidos totais (r=-0,82).

Na lagoa do Sobradinho as análises dos anos de 2023 e 2024 explicaram, cada uma, 61,4% dos dados. No lado negativo do eixo PC1 (38,8%), em 2023, destaca-se a influência da precipitação, com correlação positiva com temperatura (r=0,85) e amônia (r=0,76), bem como o posicionamento do ponto 3, separando espacialmente a lagoa. No lado positivo do eixo PC2 (22,6%) a correlação positiva do vento com OD (r=0,75), nitrito (r=0,71) e fósforo total (r=0,60), e negativa com a temperatura (r=-0,75) e amônia (r=-0,62), mostrando maior influência da sazonalidade. Em 2024 a precipitação teve correlação negativa com profundidade (r=-0,70), transparência (r=-0,70), nitrito (r=-0,69) e nitrato (r=-0,77), e o vento correlação positiva com a condutividade (r=0,80) e clorofila a (r=0,53) e negativa com amônia (r=-0,75) e fósforo reativo solúvel (r=-0,70).

Já na lagoa da Santana, em 2023 a análise explicou 59,1% das variáveis, com o eixo PC2 (23,9%), destacando a influência da sazonalidade nos pontos de coleta e correlação positiva de precipitação com a temperatura (r=0,90) e amônia (r=0,60), e negativa com vento (r=-0,62), turbidez (r=-0,66), OD (r=-0,80) e fósforo total (r=-0,89). Já o vento teve correlação positiva com fósforo total (r=0,86), pH (r=0,79) e turbidez (r=0,70).

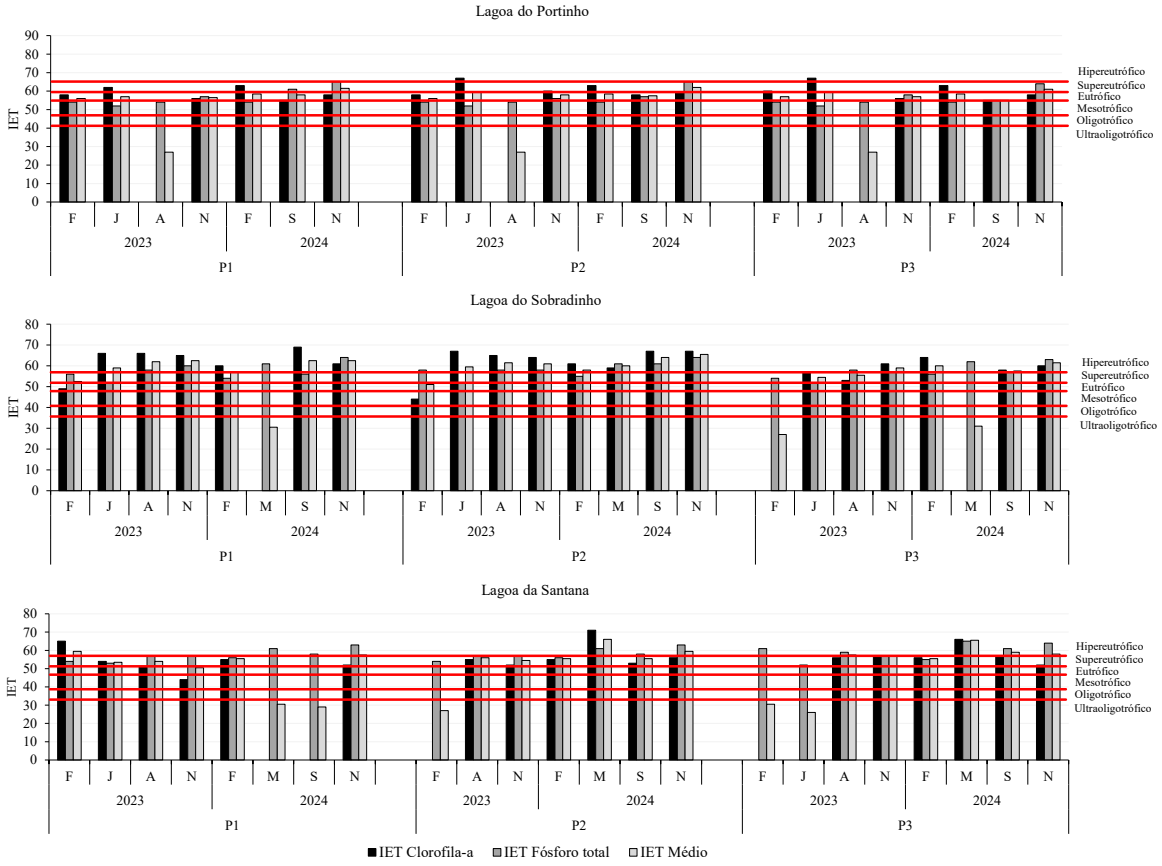
Já em 2024, a análise explicou 53,2%, com o lado positivo do eixo PC1 (31,4%) representando os meses chuvosos, com correlação positiva da precipitação com coliformes (r=0,73) e pH (r=0,63), e negativa com nitrato (r=-0,70). O vento teve correlação positiva com condutividade (r=0,71) e sólidos totais (r=0,72), e negativa com temperatura (r=-0,60), amônia (r=-0,66) e fósforo reativo solúvel (r=-0,60).

Em todas as lagoas foi possível observar a influência da precipitação e do vento na ressuspensão dos compostos orgânicos e inorgânicos, bem como a limitação de luz na coluna d'água, interferindo nos valores de clorofila-a e biomassa fitoplanctônica, principalmente em 2024. Essa dinâmica corrobora com o observado por Pereira *et al*. (2017), onde a precipitação e as marés de sizígia promoveram a entrada de matéria orgânica oriunda do manguezal adjacente à lagoa Salina, interferindo nas variáveis ambientais.

Na aplicação do Índice de Estado Trófico (IET) com os valores de clorofila-a e fósforo total, o IET médio mostrou a elevação do estado trófico das lagoas durante o período de estudo. Na lagoa do Portinho o nível trófico foi maior no período chuvoso, com maiores valores do IET associado a clorofila-a. Nas lagoas do Sobradinho e Santana tiveram maiores valores de IET médio no período seco, principalmente em 2024 (Figura 5). A classificação das lagoas quanto ao IET médio variou de meso a supereutrófico no Portinho e de eutrófico a hipereutrófico no Sobradinho e na Santana.

Em novembro de 2024, último mês de coleta, a lagoa do Portinho, considerando os valores de IET médio, apresentou-se como supereutrófica e as lagoas do Sobradinho e Santana como hipereutrófica. Os valores crescentes de IET estão relacionados ao aporte de carga de nutrientes e alterações climáticas sazonais, que podem acelerar o processo de eutrofização em ambientes aquáticos rasos (Tarafdar *et al.*, 2021). Gonçalves *et al.* (2024) observaram que na Laguna da Jansen houve a variação de classificação do IET de ultraoligotrófico até hipereutrófico, com maiores níveis de eutrofização no período chuvoso do ano em estudo.

Figura 5. Índice de Estado Trófico das lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí, nos anos de 2023 e 2024.



Fonte: Autores (2026).

Os resultados evidenciaram que as variações nos parâmetros físicos, químicos e biológicos da água das lagoas costeiras estudadas, estão associadas a influência da sazonalidade, mais do que dos níveis de influência antrópica e suas diferenças geomorfológicas. Foram observados padrões distintos de estado trófico, concentração da biomassa fitoplanctônica e disponibilidade de nutrientes entre os ambientes, evidenciando a heterogeneidade limnológica do sistema. Esses resultados ampliam a compreensão dos processos ecológicos que regulam a dinâmica desses ecossistemas e reforçam a importância da integração entre fatores climáticos, hidrológicos e biológicos no monitoramento e gestão desses recursos, visando a conservação de seus múltiplos usos.

CONCLUSÃO

Este estudo permitiu compreender a influência dos ciclos sazonais e das atividades antrópicas que interferem na dinâmica física, química e biológica de lagoas costeiras do norte do Piauí. A sazonalidade climática, com a variação anual da chuva e do vento, foi o principal fator de perturbação das demais variáveis ambientais, isso nas três lagoas. Nos períodos chuvosos, cujas concentrações de água foram maiores, especialmente em 2024, o carreamento e a ressuspensão de materiais resultou em menor transparência da água e redução da razão NID:PRS.

Durante o período seco, a intensificação dos ventos favoreceu a mistura da coluna d'água e a ressuspensão de sedimentos, com respostas distintas entre os ambientes. Na lagoa do Portinho, esse período foi caracterizado pela ampliação da zona eufótica e pelo incremento da biomassa fitoplanctônica. Em contraste, nas lagoas do Sobradinho e da Santana, observou-se aumento da salinidade, da turbidez, da condutividade elétrica e dos sólidos totais, associado ao aumento da biomassa fitoplanctônica, no período seco, em 2023, e em 2024 no período chuvoso.

No ano de 2024 também foi observado que as ações antrópicas interferiram espacialmente nos valores de pH, salinidade e sólido totais na lagoa do Sobradinho, isso devido a estrada que separa o ponto 3 dos demais. Além disso, o aumento de coliformes termotolerantes no ponto 1, na lagoa da Santana, durante o período chuvoso, pode comprometer o cultivo de organismos aquáticos na área, por consequência da expansão urbana ligada ao turismo, no entorno da lagoa. Ao final do estudo, o estado trófico médio foi classificado como

supereutrófico para a lagoa do Portinho e hipereutrófico para as lagoas do Sobradinho e da Santana.

A compreensão da dinâmica ambiental das lagoas costeiras do Piauí é uma ferramenta importante para avaliação da qualidade da água, bem como para subsidiar ações de conservação desses ambientes, ficando claro que no presente estudo a sazonalidade e as ações antrópicas foram as principais interferências em sua dinâmica. Sugere-se o monitoramento e a intensificação de estudos na região, para registro e planejamento do manejo desses ecossistemas ao longo do tempo, visando a manutenção de seus múltiplos usos.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida à primeira autora, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa produtividade em pesquisa concedida a segunda autora.

REFERÊNCIAS

ANA. **Estatísticas de Chuvas e Vazões**. Brasília, 2025. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/3ec95f52-d294-4102-807f-e71c56959fde. Acesso em: 20 dez. 2025.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 24th. ed. Washington DC: American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, 2023.

ARAUJO, K. M. de *et al.* Lagoa do Portinho in Parnaíba, Piauí, Brazil: evaluation of the infraestructure and tourist attractions. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [*s. l.*], v. 18, n. 2, p. 769–776, 2014. Disponível em: https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/13420. Acesso em: 13 jan. 2026.

BECKER, E. **December 2024 ENSO update:** party time, excellent. [*s. l.*], 2024. Disponível em: https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/december-2024-enso-update-party-time-excellent. Acesso em: 20 dez. 2025.

BERTHOLD, M. *et al.* Potential export of soluble reactive phosphorus from a coastal wetland in a cold-temperate lagoon system: Buffer capacities of macrophytes and impact on phytoplankton. **Science of The Total Environment**, [*s. l.*], v. 616–617, p. 46–54, 2018. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969717329662. Acesso em: 5 dez. 2025.

BORGES, G. K. L. Lazer, turismo e produção imobiliária no litoral do Piauí. **Pensar Geografia**, [*s. l.*], v. 6, n. 2, p. 46–65, 2022. Disponível em: https://periodicos.apps.uern.br/index.php/PGEO/article/view/3731/3526. Acesso em: 26 out. 2025.

BRAGA, S. de S.; GUZZI, A. Organização espacial da atividade turística no litoral piauiense. **Mercator** (Fortaleza), [*s. l.*], v. 20, p. e20024, 2021. Disponível em: https://www.scielo.br/j/mercator/a/CGKhQCZByqKxnFqTvSrYnZg/?lang=pt#. Acesso em: 26 dez. 2025.

BRASIL. **Portaria MMA Nº 34, de 2 de fevereiro de 2021**. Listagem atualizada dos municípios abrangidos pela faixa terrestre da zona costeira brasileira. Ministério do Meio Ambiente: 34, p. 53, 2 fev. 2021. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/. Acesso em: 21 jan. 2026.

BULGER, A. J. *et al.* Biologically-Based Estuarine Salinity Zones Derived from a Multivariate Analysis. **Estuaries**, [*s. l.*], v. 16, n. 2, p. 311–322, 1993.

BURFORD, M. A.; LU, J. The Nitrogen Cycle. *In*: JONES, I. D.; SMOL, J. P. (eds). **Wetzel's Limnology**. 4th. ed. [*s. l.*]: Elsevier, 2024. p. 325–357.

CEMADEN. **Estações pluviométricas**. [*s. l.*], 2025. Disponível em: https://resources.cemaden.gov.br/graficos/interativo/grafico_CEMADEN.php?idpcd=8061&uf=PI. Acesso em: 17 jan. 2026.

COLE, G. A. **Textbook of Limnology**. [*s. l.*]: Waveland Press, 1994. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=9ylRCwAAQBAJ. Acesso em: 17 jan. 2026.

CONAMA. **Resolução n. 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. 2005. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450. Acesso em: 2 fev. 2026.

CPTEC. **Boletim mensal No. 08 - Painel El Niño 2023-2024**. [*s. l.*]: [*s. d.*], 2024. Disponível em: https://dataserver.cptec.inpe.br/dataserver_diptc/web/Painel-Elnino/2023-2024/painel_el_nino_boletim_mensal_no_08.pdf. Acesso em: 20 jan. 2026.

CUTRIM, M. V. J. *et al.* Trophic state of an urban coastal lagoon (northern Brazil), seasonal variation of the phytoplankton community and environmental variables. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, [*s. l.*], v. 216, p. 98–109, 2019. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0272771417308776. Acesso em: 5 dez. 2025.

D'ALELIO, D. *et al.* Plankton under Pressure: How Water Conditions Alter the Phytoplankton—Zooplankton Link in Coastal Lagoons. **Water** (Switzerland), [*s. l.*], v. 14, n. 6, 2022. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4441/14/6/974. Acesso em: 21 jan. 2026.

ESTEVES, F. de A. **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FERREIRA, L. G. C.; KEMENES, A. A influência dos eventos climáticos extremos na climatologia da planície litorânea piauiense. **Revista Brasileira de Climatologia**, [*s. l.*], v. 32, p. 636–657, 2023. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/16349/9418. Acesso em: 13 jan. 2026.

GONÇALVES, M. M. *et al.* Análise da variação sazonal do estado trófico da água da Laguna da Jansen e sua relação com componentes ambientais em São Luís, MA. **Caderno Pedagógico**, [*s. l.*], v. 21, n. 11, p. e9259–e9259, 2024. Disponível em: https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/9259. Acesso em: 1 fev. 2026.

HILLEBRAND, H. *et al.* Biovolume Calculation for Pelagic and Benthic Microalgae. **Journal of Phycology**, [*s. l.*], v. 35, nº 2, p. 403–424, 1999. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1529-8817.1999.3520403.x. Acesso em: 19 dez. 2025.

IBGE. **Estimativas da população residente no Brasil e Unidades da Federação com data de referência em 1º de julho de 2025**. [*s. l.*]: [*s. d.*], 2025. Disponível em: https://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2025/POP2025_20251031.pdf. Acesso em: 9 nov. 2025.

IBGE. **Malha Municipal**. [*s. l.*], 2026. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html. Acesso em: 2 fev. 2026.

ICMBIO. **Plano de manejo da área de proteção ambiental Delta do Parnaíba**. Brasília, DF: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinho/lista-de-ucs/apa-delta-do-parnaiba/arquivos/plano_de_manejo_da_apa_delta_do_parnaiba.pdf. Acesso em: 2 out. 2025.

INMET. **Banco de Dados Meteorológicos**. [*s. l.*]: Instituto Nacional de Meteorologia, 2025. Disponível em: https://bdmep.inmet.gov.br/. Acesso em: 30 dez. 2025.

INMET. **Fenômeno La Niña chega ao fim após três anos de duração**. [*s. l.*], 2023. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/noticias/fen%C3%B4meno-la-ni%C3%B1a-chega-ao-fim-ap%C3%B3s-tr%C3%AAs-anos-de-dura%C3%A7%C3%A3o. Acesso em: 29 out. 2025.

JEPPESEN, E.; BEKLIOĞLU, M.; ZADEREEV, E. The Effects of Global Climate Change on Water Level and Salinity: Causes and Effects. **Water**, [*s. l.*], v. 15, n. 15, p. 2853, 2023. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4441/15/15/2853/htm. Acesso em: 21 nov. 2025.

JESPERSEN, A.M.; CHRISTOFFERSEN, K. Measurements of chlorophyll a from phytoplankton using ethanol as extraction solvent.**Archiv für Hydrobiologie**, [*s. l.*], v. 109, n. 3, p. 445–454, 1987. Disponível em: http://www.schweizerbart.de/papers/fal/detail/109/102369/Measurements_of_chlorophyll_a_from_phytoplankton_u?af=crossref. Acesso em: 11 nov. 2025.

KJERFVE, B. Chapter 1 Coastal Lagoons. **Elsevier Oceanography Series**, [*s. l.*], v. 60, n. C, p. 1–8, 1994. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/chapter/bookseries/abs/pii/S0422989408700060?via%3Dihub. Acesso em: 2 fev. 2026.

KOCHEM, L. H.; CROSSETTI, L. O.; BARROS, C. A. P. de. Compreendendo a eutrofização de uma lagoa costeira rasa subtropical pelo monitoramento de parâmetros hídricos. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, [*s. l.*], v. 13, n. 1, p. 26–46, 2025. Disponível em: https://www.revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/1764/440. Acesso em: 6 jan. 2026.

LAMPARELLI, M. C. **Graus de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. Doutorado em Ecologia: Ecossistemas Terrestres e Aquáticos - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LIGORINI, V. *et al.* Response of Phytoplankton Communities to Variation in Salinity in a Small Mediterranean Coastal Lagoon: Future Management and Foreseen Climate Change Consequences. **Water**, [*s. l.*], v. 15, n. 18, p. 3214, 2023. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4441/15/18/3214. Acesso em: 21 nov. 2025.

LITCHMAN, E.; KLAUSMEIER, C. A. Trait-Based Community Ecology of Phytoplankton. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, [*s. l.*], v. 39, n. 1, p. 615–639, 2008. Disponível em: https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173549. Acesso em: 21 jan. 2026.

MACINTYRE, S.; HAMILTON, D. P. Fate of Heat. *In*: JONES, I. D.; SMOL, J. P. (eds). **Wetzel's Limnology**. [*S. l.*]: Elsevier, 2024. p. 95–153.

MARGALEF, R. **Limnología.** Barcelona: Omega, 1984.

MEDEIROS, R. M. de *et al.* A Lagoa do Portinho - Piauí, Brasil e suas contribuições ao turismo e meio ambiente. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, [*s. l.*], v. 3, n. 2, p. e321177, 2022. Disponível em:https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/1177. Acesso em: 3 jan. 2026.

MEERHOFF, M.; BEKLIOĞLU, M. Shallow Lakes and Ponds. *In*: JONES, I. D.; SMOL, J. P. (eds). **Wetzel's Limnology**. [*s. l.*]: Elsevier, 2024. p. 859–892. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128227015000264. Acesso em: 30 dez. 2025.

MESQUITA, T. K. da S.; LIMA, I. M. de M. F.; SANTOS FILHO, F. S. Lagoa fluvial do rio Portinho, Piauí: impactos socioambientais recentes. *In*: BARBOSA, L. N. *et al.* (orgs.). **Análise de impactos e riscos ambientais em bacias hidrográficas**. Mossoró – RN: EDUERN, 2018. p. 91–102. Disponível em: http://www.ppggeografia.ufc.br/images/documentos/C7T3_compressed.pdf#page=91. Acesso em: 30 out. 2025.

MESQUITA, T. K. da S.; LIMA, I. M. de M. F.; SANTOS FILHO, F. S. Cadê a lagoa que estava aqui? Estudo de caso da Lagoa do Portinho, litoral do Piauí (Brasil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [*s. l.*], v. 11, n. 1, p. 346–356, 2018. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234206. Acesso em: 30 out. 2025.

MONTEIRO, J. B. A influência de teleconexões e sistemas meteorológicos produtores de precipitação no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [*s. l.*], v. 15, n. 1, p. 312–332, 2022. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe. Acesso em: 2 fev. 2026.

MORRIS, D. P.; LEWIS, W. M. Phytoplankton nutrient limitation in Colorado mountain lakes. **Freshwater Biology**, [*s. l.*], v. 20, n. 3, p. 315–327, 1988.

NUSCH, E. A. Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. **Arch Hydrobiol Beih Ergebn Limnol**, v. 14, p. 14-36, 1980.

PEREIRA, M. E. G. de S. *et al.* Influência das variáveis ambientais na qualidade da água de uma lagoa costeira tropical no norte do Brasil. **Arquivos de Ciências do Mar**, [*s. l.*], v. 50, n. 1, p. 81–93, 2017. Disponível em: https://periodicos.ufc.br/arquivosdecienciadomar/article/view/18824. Acesso em: 22 dez. 2025.

RAKHECHA, P. R., SINGH, V. P. **Applied Hydrometeorology**. New Delhi, Springer, 2009.
REYNOLDS, C. S. Non-determinism to Probability, or N:P in the community ecology of phytoplankton. **Fundamental and Applied Limnology**, [*s. l.*], v. 146, n. 1, p. 23–35, 1999. Disponível em: http://www.schweizerbart.de/papers/fal/detail/146/86125/Non_determinism_to_Probability_or_N__P_in_the_comm?af=crossref. Acesso em: 22 dez. 2025.

RODIER, J. **L'analyse de l'eau: eaux naturelles, euax résiduales, eaux de mer**. 5. ed. Paris: Dunod., v. 1, 1975.

SANTOS, I. T. dos; FERMINO, F. S. Análise de vinte anos de dados limnológicos e bacteriológicos nas lagoas costeiras do litoral norte do Rio Grande do Sul - Marcelino Ramos, Peixoto e Pinguela (Osório/RS). **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, [*s. l.*], v. 5, n. 1, p. 57–74, 2019. Disponível em: http://revista.uergs.edu.br/index.php/revuergs/article/view/1664. Acesso em: 21 nov. 2025.

SANTOS FILHO, F. S. **Composição florística e estrutural da vegetação de restinga do Estado do Piauí**. 2009. Tese - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

SEMARH. **Plano de Manejo da Área de Relevante Interesse Ecológico da Lagoa do Portinho.** Teresina, 2025.

SENA, N. A.; SILVA, M. P. da. Monitoramento de recursos hídricos: estudo da Lagoa do Sobradinho em Luís Correia - PI. 2020, Vitória - ES. **XI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. Vitória - ES: [*s. d.*], 2020. Disponível em: http://earthexplorer.usgs.gov/. Acesso em: 2 dez. 2025.

SEPLAN. **Lei Complementar nº 87, de 22 de agosto de 2007**. Estabelece o Planejamento Participativo Territorial para o Desenvolvimento Sustentável do Estado do Piauí. 2007. Disponível em: http://antigo.seplan.pi.gov.br/ppt.php. Acesso em: 22 nov. 2025.

SEPLAN. **Lei Complementar nº 264, de 27 de abril de 2022**. Institui a Região Metropolitana de Parnaíba e cria o Conselho de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Parnaíba, no estado do Piauí. 2022. Disponível em: https://sapl.al.pi.leg.br/media/sapl/public/materialegislativa/2022/17361/msg26.pdf. Acesso em: 22 nov. 2025.

SILVA, B.; BAPTISTA, E.; MOURA, L. Elementos da geodiversidade para a geoconservação do litoral do Piauí. **Revista da Academia de Ciências do Piauí**, [*s. l.*], v. 3, n. 3, 2022. Disponível em: https://periodicos.ufpi.br/index.php/acipi/article/view/1022/1570. Acesso em: 22 nov. 2025.

SILVA, A. L. L. da; HENNEMANN, M. C.; PETRUCIO, M. M. Phosphorus dynamics in a subtropical coastal lake in Southern Brazil. **Journal of Limnology**, [*s. l.*], v. 79, n. 1, 2019. Disponível em: https://jlimnol.it/index.php/jlimnol/article/view/jlimnol.2019.1894. Acesso em:22 jan. 2026.

SOUSA, R. dos S. Avaliação da cobertura vegetal e uso da terra da bacia hidrográfica costeira do rio Portinho, Piauí. **REGNE**, [*s. l.*], v. 2, n. Especial, p. 1141–1150, 2016. Disponível em: https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/10577/7493. Acesso em: 3 nov. 2025.

SOUSA, R. D. S. **Zoneamento geoecológico do complexo fluviomarinho dos rios Cardoso/Camurupim e porção costeira adjacente, litoral leste piauiense**. 2019. 154 f. Fortaleza/CE, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/49257/3/2019_tese_rssousa.pdf. Acesso em: 13 nov. 2025.

SOUSA, A. M.; BACELAR, F. K. R.; SOUSA, R. dos S. Dynamics of land use and coverage of the Portinho river water basin, coast of Piauí. **International Journal Semiarid**, [*s. l.*], v. 7, n. 7, 2024. Disponível em: https://journalsemiarid.com/index.php/ijsa/article/view/223. Acesso em: 23 nov. 2025.

SOUSA, R. dos S.; VALLADARES, G. S.; ESPÍNDOLA, G. M. de. Análise do índice de vegetação (NDVI) e vulnerabilidade ambiental da planície costeira do estado do Piauí. **Revista Casa da Geografia**, [*s. l.*], v. 18, n. 2, p. 82–99, 2016. Disponível em: https://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/304/297. Acesso em: 3 nov. 2025.

SOUZA, G. S. de. *et al.* Análise da dinâmica espaço-temporal dos espelhos d'água de lagoas costeiras do Piauí por Sensoriamento Remoto. **Geoconexões**, [*s. l.*], n. 21, p. e1830411, 2025. Disponível em: https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/geoconexoes/article/view/18304. Acesso em: 3 dez. 2025.

STREIT, N. M. *et al.* As clorofilas. **Ciência Rural**, [*s. l.*], v. 35, n. 3, p. 748–755, 2005. Disponível em: https://www.scielo.br/j/cr/a/dWwJymDzZRFwHhchRTpvbqK/?format=html&lang=pt. Acesso em: 2 fev. 2026.

SUN, J.; LIU, D. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. **Journal of Plankton Research**, [*s. l.*], v. 25, n. 11, p. 1331–1346, 2003. Disponível em: https://doi.org/10.1093/plankt/fbg096. Acesso em: 12 dez. 2025.

TARAFDAR, L. *et al.* Responses of phytoplankton community structure and association to variability in environmental drivers in a tropical coastal lagoon. **Science of The Total Environment**, [*s.l.*], v. 783, p. 146873, 2021. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969721019434. Acesso em: 5 dez. 2025.

TORRES-ALVARADO, M. del R. *et al.* Microbiota in Brackish Ecosystems: From Water Quality to Ecological Processes. *In*: IBÁÑEZ, A. (ed.) **Mexican Aquatic Environments**. Springer, Cham., p. 93–118, 2019. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-11126-7_4. Acesso em: 15 dez. 2025.

UTERMÖHL, H. **Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik**. Stuttgart: Schweizerbart, 1958.

VALLADARES, G. S. *et al.* Análise espectral de solos do litoral piauiense. **Acta Geográfica**, [*s. l.*], v. 16, n. 42, p. 120–138, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/368427697_Analise_espectral_de_solos_do_litoral_piauiense. Acesso em: 27 out. 2025.

VASISTHA, P.; GANGULY, R. Water quality assessment of natural lakes and its importance: An overview. Materials Today: **Proceedings**, [*s. l.*], v. 32, p. 544–552, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/339531564_Water_quality_assessment_of_natural_lakes_and_its_importance_An_overview. Acesso em: 20 out. 2025.

VERAS, H. do N. *et al*. Monitoramento da qualidade microbiológica da água de ponto turístico em Parnaíba, Piauí. **SaBios-Revista de Saúde e Biologia**, [*s. l*.], v. 12, n. 1, p. 42–49, 2018. Disponível em: https://periodicos.grupointegrado.br/revista/index.php/sabios/article/view/2017. Acesso em: 22 fev. 2026.

WEBER, J. Relationship between cytoagglutination and saturation density of cell growth. **Journal of Cellular Physiology**, [*s. l.*], v. 81, n. 1, p. 49–53, 1973. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jcp.1040810106. Acesso em: 22 out. 2025.

WETZEL, R. G.; LIKENS, G. **Limnological Analyses**. [*s. l.*]: Springer Science & Business Media, 2000.

WOOLWAY, R. I.; SHARMA, S.; SMOL, J. P. Lakes in hot water: the impacts of a changing climate on aquatic ecosystems. **BioScience**, [*s. l.*], v. 72, n. 11, p. 1050–1061, 2022. Disponível em: https://dx.doi.org/10.1093/biosci/biac052. Acesso em: 22 out. 2025.

ARTIGO IV

DIVERSIDADE E DINÂMICA DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA DE LAGOAS COSTEIRAS DO PIAUÍ, BRASIL

RESUMO

A comunidade fitoplanctônica apresenta variações em sua commposição e dinâmica em resposta a fatores bióticos, abióticos e sazonais, de acordo com as exigências ecológicas de seus diferentes grupos taxonômicos. Com este estudo objetivou-se analisar a diversidade, a composição e a dinâmica espaço-temporal da comunidade fitoplanctônica em lagoas costeiras do Piauí, visando fornecer subsídios para estratégias de monitoramento e gestão ambiental. As amostragens foram realizadas nos anos de 2023 e 2024, nas lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, considerando variáveis físico-químicas da água, nutrientes dissolvidos e biomassa fitoplanctônica (biovolume, mm^3), além da diversidade taxonômica. Os dados foram analisados por meio do teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) e diagrama de Venn. Os resultados indicaram que a dinâmica limnológica esteve associada à sazonalidade pluviométrica e à ação dos ventos. desses ambientes. Em 2024, o aumento das chuvas esteve reloacionado ao aporte e à ressuspensão de nutrientes e compostos inorgânicos, resultando na redução da transparâencia da água. A comunidade fitoplanctônica foi representada pelas classes Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Coscinodiscophyceae, Cryptophyceae, Cyanophyceae, Dinophyceae, Euglenophyceae, Mediophyceae, Trebouxiophyceae e Zygnematophyceae. Observou-se maior diversidade de clorofíceas na Lagoa do Portinho, de cianofíceas no Sobradinho e de diatomáceas na lagoa de Santana. Os valores de biovolume mostraram a dominância de cianobactérias em todas as lagoas, especialmente no ano de 2024, indicando possível resposta às condições ambientais mais eutrofizadas. Conclui-se que, os padrões de composição e estrutura da comunidade fitoplanctônica foram influenciados principalmente pelas características limnológicas e pela variabilidade sazonal de chuva e ventos. Estes resultados ampliam o conhecimento sobre a dinâmica em lagoas costeiras e podem subsidiar ações de monitoramento, manejo e conservação desses ecossistemas.

Palavras-chave: cianobactérias, sazonalidade; variáveis limnológicas.

DIVERSITY AND DYNAMICS OF THE PHYTOPLANKTON COMMUNITY IN THE COASTAL LAGOONS OF PIAUÍ, BRAZIL

ABSTRACT

The phytoplankton community exhibits variations in its composition and dynamics in response to biotic, abiotic, and seasonal factors, in accordance with the ecological requirements of its different taxonomic groups. The objective of this study was to analyze the diversity, composition, and spatiotemporal dynamics of the phytoplankton community in coastal lagoons of Piauí, with the aim of providing input for environmental monitoring and management strategies. Sampling was conducted in 2023 and 2024 in the Portinho, Sobradinho, and Santana lagoons, considering physicochemical water variables, dissolved nutrients, and phytoplankton biomass (biovolume, mm^3), in addition to taxonomic diversity. The data were analyzed using the Kruskal-Wallis test ($p < 0.05$) and Venn diagrams. The results indicated that limnological dynamics were associated with rainfall seasonality and wind patterns in these environments. In 2024, increased rainfall was linked to the input and resuspension of nutrients and inorganic compounds, resulting in reduced water transparency. The phytoplankton community was represented by the classes Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Coscinodiscophyceae, Cryptophyceae, Cyanophyceae, Dinophyceae, Euglenophyceae, Mediophyceae, Trebouxiophyceae, and Zygnematophyceae. Greater diversity of chlorophytes was observed in Lagoa do Portinho, of cyanophytes in Sobradinho, and of diatoms in Lagoa de Santana. Biovolume values showed the dominance of cyanobacteria in all lagoons, especially in the year 2024, indicating a possible response to more eutrophicated environmental conditions. It is concluded that the composition and structural patterns of the phytoplankton community were primarily influenced by limnological characteristics and the seasonal variability of rainfall and winds. These results expand our understanding of the dynamics of coastal lagoons and may inform monitoring, management, and conservation efforts for these ecosystems.

Keywords: cyanobacteria, seasonality, limnological variables.

INTRODUÇÃO

A comunidade fitoplanctônica constitui a base da cadeia trófica em ecossistemas aquáticos, como rios, lagos e lagoas, desempenhando papel fundamental nos fluxos de energia e nos ciclos biogeoquímicos. Sua biomassa e composição taxonômica respondem rapidamente as condições ambientais, influenciando diretamente os níveis tróficos superiores, a qualidade da água e o funcionamento dos ecossistemas (Wehr; Van Vuuren, 2024).

O desenvolvimento do fitoplâncton é fortemente dependente da disponibilidade de luz e de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, cujas concentrações variam de acordo com as condições ambientais e as exigências ecológicas dos diferentes grupos taxonômicos (Al-Mur, 2021). Nesse contexto, a estrutura e a dinâmica da comunidade fitoplanctônica são reguladas por múltiplos fatores interativos, incluindo aqueles que estão mudando rapidamente devido às mudanças ambientais globais antropogênicas (Wehr; Van Vuuren, 2024).

Em ambientes aquáticos continentais, fatores climáticos, como como a sazonalidade pluviométrica e a ação dos ventos, influenciam diretamente a disponibilidade de nutrientes, a transparência da água e a ressuspensão de sedimentos. Além disso, interferências antrópicas, especialmente relacionadas à expansão urbana, podem intensificar o aporte de nutrientes, promovendo alterações no estado trófico dos ecossistemas e favorecendo mudanças na estrutura da comunidade fitoplanctônica (Ligorini *et al.*, 2023).

Na planície litorânea do Piauí existem importantes lagoas costeiras de grande relevância ecológica, social e econômica, amplamente utilizadas para atividades turísticas, recreativas e imobiliárias (Borges, 2022; Putrick; Cury, 2012). Entre elas, as lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana apresentam diferentes regimes hídricos, níveis de interferências antrópicas e formas de uso pelas populações locais, o que pode influenciar sua dinâmica ecológica.

Os estudos sobre as lagoas costeiras do Piauí têm sido direcionados a políticas públicas e ações de conservação (Mesquita; Lima; Santos Filho, 2018; Sousa, 2015), uso e ocupação de áreas no entorno (Andrade; Gomes; Cruz, 2019; Sousa; Bacelar; Sousa, 2024), dinâmica dos espelhos d´água (Sena; Silva, 2020; Souza *et al.*, 2025). No entanto, embora existam estudos voltados ao uso e ocupação do solo, à dinâmica hidrológica e a aspectos de gestão dessas lagoas, ainda são escassas as pesquisas que integrem variáveis ambientais da água com a estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica nesses ambientes. Essa lacuna limita a compreensão dos processos ecológicos que regulam esses ecossistemas e dificulta a implementação de estratégias eficazes de monitoramento e manejo.

Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar a diversidade, a composição e a dinâmica espaço-temporal da comunidade fitoplanctônica em lagoas costeiras do Piauí, visando contribuir para o entendimento de sua variabilidade ecológica e subsidiar ações de monitoramento, manejo e conservação.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O litoral do estado do Piauí possui aproximadamente 66 km de extensão, abrangendo os municípios de Cajueiro da Praia, Ilha Grande, Luís Correia e Parnaíba. Essa região está inserida na Planície Litorânea da Macrorregião Litoral (SEPLAN, 2007), e na Área de Expansão Metropolitana de Parnaíba (SEPLAN, 2022), componto, juntamente com o município de Bom Princípio do Piauí, a zona costeira do estado (Brasil, 2021).

O clima na região é classificado como“Aw”, segundo Köppen, caracterizado como tropical megatérmico, com estação chuvosa no verão e seca no inverno, apresentando temperatura média anual de aproximadamente 27,5 °C. A precipitação pluviométrica concentra-se entre os meses de janeiro e maio, enquanto o período seco entre junho e dezembro. A dinâmica dos ventos apresenta comportamento inverso, com menor intensidade no período chuvoso e maior intensidade no período seco (Ferreira; Kemenes, 2023; Souza *et al.*, 2025).

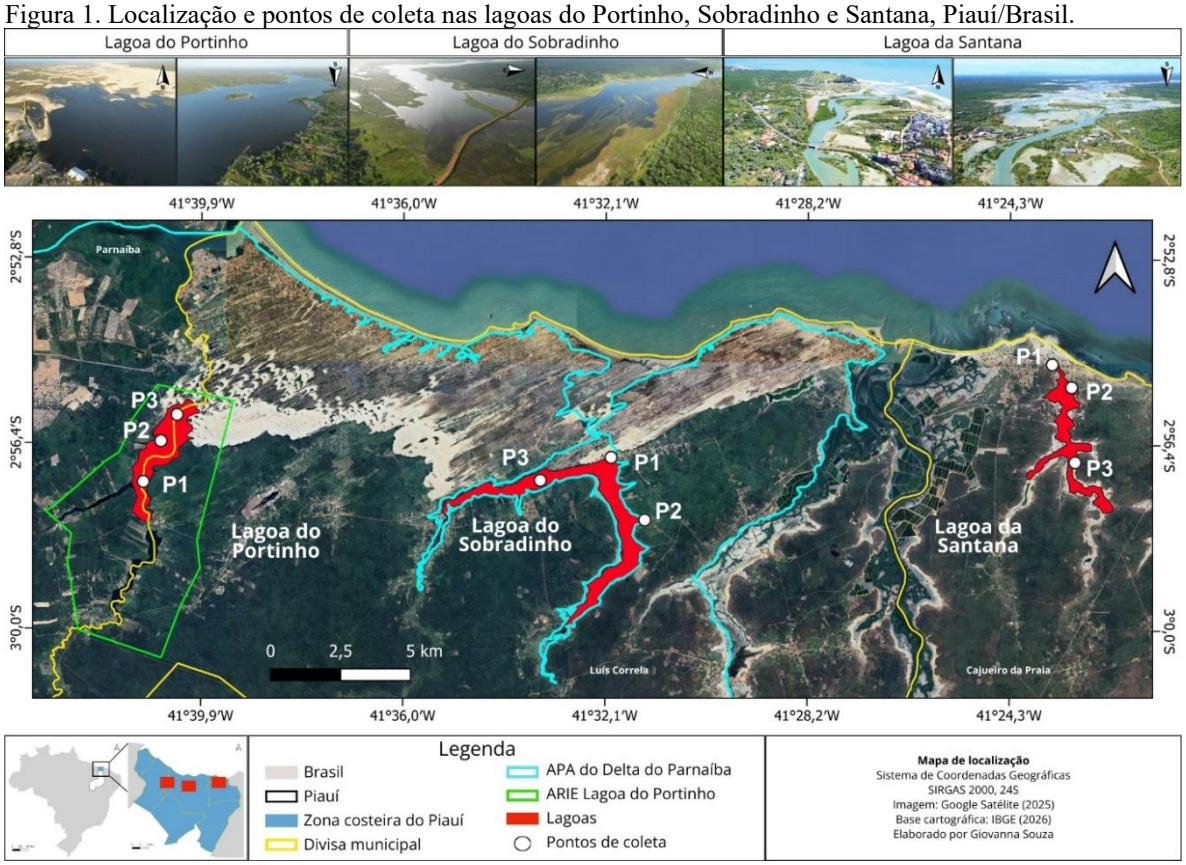
A região apresenta duas feições geomorfológicas típicas de ambientes costeiros, incluindo planícies fluviais, sistemas lacustres, ambientes estuarinos, praias e campos de dunas móveis, além dos Tabuleiros Litorâneos (Silva; Baptista; Moura, 2022). Diferentes formações da cobertura vegetal ocorrem na região, como vegetação pioneira psamófila, vegetação subperenifólia de dunas; vegetação perenifólia de mangue; vegetação de várzea; vegetação do Delta dos rios Parnaíba/Longá; vegetação estacional de tabuleiros e vegetação estacional secundária de cerradão (Santos Filho, 2009).

A área apresenta intensa pressão antrópica, especialmente associada ao turismo e à expansão imobiliária, com destaque para empreendimentos voltados ao lazer e à ocupação de segunda residência (Braga; Guzzi, 2021; Borges, 2022). Em Parnaíba, que possui a segunda maior população do estado, as atividades estão ligadas aos segmentos de negócios, saúde e educação (IBGE, 2025). Luís Correia se destaca com o turismo de massa e de segunda residência, enquanto em Cajueiro da Praia o perfil de turistas está mais direcionado à aventura, esporte e ecoturismo, especialmente nas localidades de Barra Grande e Barrinha (Borges, 2022;

Braga; Guzzi, 2021). Essas atividades podem influenciar diretamente as condições ambientais dos ecossistemas aquáticos locais.

Parte da região está inserida em unidades de conservação, como a Área de Proteção Ambiental (APA) do Delta do Rio Parnaíba, criada pelo Decreto de 28 de agosto de 1996, que abrange, entre outros ambientes, as lagoas do Sobradinho e Santana. Além disso, a Lagoa do Portinho está inserida na Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE), criada pelo Decreto nº 18.346/2019 (ICMBio, 2020; SEMARH, 2025). Essas lagoas representam os principais sistemas lacustres costeiros da região em termos de extensão e relevância ecológica (Figura 1).

Figura 1. Localização e pontos de coleta nas lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí/Brasil.



Fonte: Adaptado de IBGE (2026).

A lagoa do Portinho possui aproximadamente 5 km² de área, estendendo-se por 9 km no sentido norte-sul. É abastecida pelos riachos do Portinho, Brandão e outros cursos d´água, e possui conexão sazonal com o rio Igaraçu, braço do rio Parnaíba (Piauí, 2022). A área abriga sítios arqueológicos e apresenta usos múltiplos, incluindo atividades de mineração, pesca, turismo e lazer (Mesquita; Lima; Santos Filho, 2018a).

A lagoa do Sobradinho, com aproximadamente 16 km² de área, é abastecida principalmente por águas pluviais, estando situada em regiões adjacente a campo de dunas

(Lima, 2018). No povoado Sobradinho destacam-se atividades aquícolas, como o cultivo de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus* L.) e camarões (*Litopenaeus vannamei* Boone) (Sena; Silva, 2020).

A lagoa da Santana, por sua vez, com aproximadamente 7 km², localiza-se no município de Cajueiro da Praia. Esse ssitema mantém conexão com o oceano por meio de um canal, estando sob a influência das marés, especialmente durante períodos de sizígia (Sousa, 2019). Além da pesca artesanal, ocorrem atividades aquícolas, como o cultivo de ostras, bem como atividades turísticas, incluindo passeios de caiaque e trilhas. Obserava-se também a presença de empreendimentos hoteleiros e residências de veraneio ao longo de suas margens (Borges, 2022).

Aspectos legais

O estudo foi realizado sob autorização do Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBIO), sob o número 86013-1. O cadastro de acesso ao Patrimônio Genético/CTA recebeu o nº A7F3E5A no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen).

Sazonalidade climática

Os dados de precipitação pluviométrica, referentes ao período de estudo e à série histórica de 50 anos (1973 a 2022), bem como os dados de velocidade dos ventos, foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2025), coletados das estações pluviométricas 82287 (convencional) e A308 (automática). Informações complementares foram obtidas junto à Agência Nacional de Águas (ANA, 2025) e ao Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN, 2025), todas localizadas no município de Parnaíba, Piauí, Brasil, estações convencionais 241001 e 241002, e estação automática 220770201.

Coleta e análise da água

Foram estabelecidos três pontos amostrais em cada lagoa (Figura 1): Portinho - P1 (02°55'47.1"S, 41°40'32.1"W), P2 (02°56'21.6"S, 41°40'40.8"W) e P3 (02°57'09.0"S, 41°41'01.1"W); Sobradinho - P1 (02°56'39.5"S, 41°31'59.6"W), P2 (02°57'52.2"S, 41°31'20.5"W) e P3 (02°57'06.4"S, 41°33'21.5"W); Santana - P1 (02º54'50.148"S, 41º23'29.216"W), P2 (02º55'16.687"S, 41º23'6.799"W) e P3 (02º56'44.016"S, 41º23'2.548"W).

As campanhas de coleta ocorreram em 2023 (fevereiro, junho, agosto e novembro) e em 2024 (fevereiro, maio, setembro e novembro), abrangendo os períodos chuvoso e seco, de modo a contemplar a variabilidade temporal e espacial, incluindo áreas próximas e distantes de interferências antrópicas.

As amostras de água foram coletadas na subsuperfície, acondicionadas em frascos de polietileno (500 ml), mantidas sob refrigeração e transportadas ao Laboratório de Ecologia Aquática (LEA) da Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPar), para processamento.

As variáveis físico-químicas da água (ºC), pH, salinidade (‰) e condutividade elétrica (mS cm^{-1}), foram medidas *in situ* com medidor multiparâmetro portátil EZ-9909. A turbidez (NTU) foi medida com turbidímetro portátil HI98703, e a transparência da água (m) estimada por meio da média de duas medições com disco de Secchi. A profundidade da zona eufótica (Zeu) foi calculada utilizando o fator 3 (Cole, 1994). A classificação de salinidade seguiu o Sistema de Veneza (Bulger *et al.*, 1993).

As concentrações de sólidos totais (método 2540 B em $mg.L^{-1}$), oxigênio dissolvido (método 4500-O C em $mg.L^{-1}$), N-NH_4 (método 4500-NH_3-F em $\mu g.L^{-1}$), N-NO_2 (método 4500-NO_2^- em $\mu g.L^{-1}$), fósforo solúvel reativo (PSR) (método 4500-P^-E em $\mu g.L^{-1}$), fósforo total (método 4500-P^-E em $\mu g.L^{-1}$), coliformes termotolerantes (método 9221E em NMP/100mL), foram determinados conforme os *Standard Methods of Water and Wastewater* (APHA, 2023). O nitrato (N-$NO_{3)}$ foi analisado conforme Rodier (1975). A clorofila-a ($\mu g.L^{-1}$) seguiu Nusch (1980) e Jespersen e Christoffersen (1987).

Comunidade fitoplanctônica

A amostragem da comunidade fitoplanctônica foi realizada com auxílio de uma rede de plâncton (20 μm), por meio de arrastos horizontais, em que a rede foi arremessada por três vezes e o material coletado foi armazenado em garrafa de polietileno, com capacidade para 500 mL. Em seguida o volume amostrado foi filtrado novamente na rede, para maior concentração da amostra, e fixado com solução de formaldeído a 4%.

A identificação taxonômica foi feita utilizando microscópio óptico Zeiss Primo Star, com câmera Axio can 105 acoplada para a captura de imagens, chaves de identificação e literatura especializada clássica e recente (Bicudo; Menezes, 2017; Tomas, 1997; Wood, 1968), além de publicações para alguns táxons específicos, bem como catálogos online de nomes válidos (Flora, 2025; Guiry; Guiry, 2025), até o menor nível taxonômico possível. A nomenclatura das espécies seguiu o Código Internacional de Nomenclatura para algas, fungos

e plantas (Bicudo; Prado; Hirai, 2018). Os táxons foram organizados e apresentados em ordem alfabética de classe e espécie.

A frequência de ocorrência foi calculada segundo Matteucci e Colma (1982), considerando a porcentagem da somatória das presenças nos períodos chuvoso e seco em relação ao número total de pontos de coleta. Cada período foi composto por dois meses, com o total de seis amostras, com exceção do período chuvoso de 2023, na lagoa do Portinho, que teve apenas uma coleta, composta por três amostras. A partir disso, os táxons foram classificados da seguinte forma: muito frequente (≥83%), frequente (<83% e ≥50%), e pouco frequente (<50%).

Para a análise quantitativa da comunidade fitoplanctônica, as amostras foram analisadas pelo método de Utermöhl (1958), com câmaras de sedimentação de 5 mL e 10 mL, em microscópio invertido Zeiss, com tempo de sedimentação conforme Margalef (1984). A contagem dos indivíduos (células, colônias e filamentos) foi realizada em campos aleatórios em transeções horizontais e verticais, com o número mínimo de campos contados por câmara de sedimentação, seguindo três critérios: a) quando atingidos 100 indivíduos de uma espécie dominante no primeiro campo da câmara de sedimentação, b) pelo menos 450 indivíduos da espécie dominante, ou c) contagem total da câmara na ausência de dominância.

O cálculo da densidade (indivíduos.mL^{-1}) seguiu Weber (1973). O biovolume foi estimado a partir de fórmulas geométricas (Hillebrand *et al.*, 1999; Sun; Liu, 2003), utilizando-se os valores médios das medidas de 20 a 30 indivíduos. O biovolume expresso em $\mu m^3\ mL^{-1}$ foi convertido para $mm^3.L^{-1}$ dividindo-se esse valor por 10^6, onde 1 $mm^3.L^{-1}$=1 $mg.L^{-1}$ (Wetzel; Likens, 2000).

Para determinação da Riqueza (R), foi considerado o número total de táxons encontrados por amostra. Os táxons dominantes foram definidos quando o seu biovolume esteve acima de 30% do biovolume total do período amostrado (Lobo; Leighton, 1986).

Análise estatística descritiva

Os dados foram organizados no *software* Microsoft Excel® 2019 e analisados no *software* R 4.4.2. A média aritmética das variáveis ambientais foi adotada como medida de tendência central, e o desvio padrão como medida de dispersão absoluta.

Um diagrama de Venn foi realizado para verificar o número de espécies únicas de cada lagoa e a quantidade que é compartilhada entre elas, utilizando o pacote “ggVennDiagram” (Gao; Dusa, 2026).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A sazonalidade da chuva e do vento influenciou nas variáveis ambientais das lagoas. A precipitação pluviométrica e o vento apresentaram médias maiores em 2024 e diferenças estatísticas significativas (p=0,003) apenas para o vento entre os dois anos (Tabela 1). Dos fenômenos que regem as chuvas no litoral do Piauí, o *El Niño* apresentou condições de neutralidade a partir do início de 2024, contribuindo para maiores valores de precipitação (CPTEC, 2024).

Na lagoa do Portinho, em 2023, os valores de temperatura, turbidez, amônia, nitrito e clorofila foram maiores, enquanto em 2024 as demais variáveis tiveram valores médios maiores, o que pode estar relacionado com o aporte do período chuvoso e a ressuspensão causada pelo vento. Comportamento semelhando foi observado nas lagoas do Sobradinho e Santana, apesar dos diferentes tipos de abastecimento das lagoas.

As diferenças estatísticas significativas entre os anos de estudo dos valores de pH, condutividade, sólidos totais, turbidez e nutrientes, pode estar relacionadas ao aporte da chuva e afetado outras variáveis como a clorofila-a, principal pigmento fotossintético, que em condições de limitação luminosa, aumentam sua concentração nas células do fitoplâncton (Litchman; Klausmeier, 2008).

A comunidade fitoplanctônica identificada esteve representada por 115 táxons (Tabela 2), distribuídos nas classes Cyanophyceae (29 táxons), Bacillariophyceae (27), Chlorophyceae (27), Mediophyceae (9), Coscinophyceae (7), Dinophyceae (5), Zygnematophyceae (5), Cryptophyceae (2), Euglenophyceae (2) e Trebouxiophyceae (2) (Figura 2).

Tabela 1. Média e desvio padrão dos das variáveis ambientais das Lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, em 2023 e 2024. *Diferenças estatísticas significativas (p<0,05), entre os anos de 2023 e 2024.

Variáveis	Portinho				Sobradinho				Santana			
	2023		2024		2023		2024		2023		2024	
	MÉD	DP	MÉD	DP	MÉD	DP	MÉD	DP	MÉD	DP	MÉD	DP
PP	56,60	57,38	119,47	179,20	56,60	57,38	119,47	179,20	56,60	57,38	119,47	179,20
VENTO*	2,73	0,94	4,09	0,22	2,73	0,94	4,09	0,22	2,73	0,94	4,09	0,22
TEMP	28,92	1,01	27,94	0,80	29,83	1,99	29,23	0,87	30,35	1,93	29,19	1,40
PROF	3,56	1,23	3,59	0,63	0,50	0,00	0,45	0,09	0,37	0,10	0,32	0,06
TRANSP	1,02	0,17	1,18	0,36	0,50	0,00	0,45	0,09	0,37	0,10	0,32	0,06
ZEU	3,06	0,51	3,55	1,08	0,50	0,00	0,45	0,09	0,37	0,10	0,32	0,06
PH	7,49*	0,79	8,39*	0,16	7,09*	0,91	8,00*	0,54	7,10	0,59	7,41	1,05
COND	21,50	17,52	32,86	4,59	23,48*	10,07	33,02*	9,87	41,82	15,59	49,98	21,07
TUR	4,39	1,69	2,70	1,12	7,90	5,11	9,61	5,25	10,17	8,88	5,94	4,52
SAL	2,14	0,02	2,15	0,01	22,04	13,70	16,52	11,06	54,23	21,44	38,43	12,34
OD	5,41	2,04	6,80	0,78	5,06*	1,19	6,58*	1,98	5,61	2,05	4,90	2,27
SOL	2077	774	2497	684	14168	13813	17754	11988	54205	31629	39429	17371
NH4	1,72*	0,42	1,32*	0,04	2,00*	0,87	1,38*	0,13	1,55	0,43	1,36	0,10
NO2	0,48	0,07	0,44	0,02	0,41	0,18	0,45	0,03	0,46*	0,18	0,44*	0,02
NO3	116,50	250,17	310,11	218,05	305,75	291,70	292,83	205,73	269,36	584,77	337,92	205,96
PT	7,50*	2,52	20,33*	16,08	12,16	5,47	22,64	13,14	9,27*	2,95	18,83*	8,68
PRS	6,32*	0,42	10,22*	1,63	6,25*	0,57	10,45*	1,57	5,64*	1,91	10,66*	1,72
CLA	17,79	22,40	14,56	8,81	26,19	23,64	27,84	27,04	6,34	11,79	19,47	39,91

Legenda: CLA= clorofila-a ($\mu g.L^{-1}$); COND= condutividade ($mS.cm^{-1}$); NH4= amônia ($mg.L^{-1}$); NO2= nitrito ($mg.L^{-1}$); NO3= nitrato ($mg.L^{-1}$); OD= oxigênio dissolvido ($mg.L^{-1}$); PP= precipitação pluviométrica (mm); PROF= profundidade (m); PRS= fósforo reativo solúvel ($mg.L^{-1}$); PT= fósforo total ($mg.L^{-1}$); SAL= salinidade (‰); SOL= sólidos totais ($mg.L^{-1}$); TEMP= temperatura (C^{o}); TRANSP= transparência (m); TUR= turbidez (NTU) e ZEU= zona eufótica (m).

Tabela 2. Lista de classes e táxons e sua frequência de ocorrência (F.O.) nas lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí, no período chuvoso (C) e seco (S) de 2023 e 2024. Legenda: Rara (RA)= <30%; Pouco frequente (PF)= ≥30%; Frequente (FR)= ≥50% e Muito frequente (MF)= ≥80%. *Táxons que não contribuiram para o biovolume total.

CLASSES/ESPÉCIES	Portinho				Sobradinho				Santana			
	2023		2024		2023		2024		2023		2024	
	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S
Bacillariophyceae												
Amphora sp1.	-	-	-	-	-	RA	PF	RA	RA	-	FR	PF
Amphora sp2*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	PF	-	-
Asterionellopsis tropicalis A.O.R.Franco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	RA	PF
Bacillaria sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	RA	PF	RA	-
Caloneis sp.	-	-	-	-	-	-	-	PF	RA	-	PF	PF
Campylodiscus clypeus (Ehrenberg) Ehrenberg ex Kützing	RA	FR	PF	RA	-	PF	-	FR	-	-	-	PF
Cocconeis sp.*	-	-	-	-	-	-	-	-	RA	-	RA	FR
Corethron hystrix Hensen*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	RA
Coscinodiscus radiatus Ehrenberg	FR	-	PF	-	FR	-	-	-	PF	-	PF	RA
Cylindrotheca sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	MF	FR	FR	MF
Diatoma vulgaris Bory	-	-	-	RA	-	-	-	-	-	-	RA	-
Diploneis sp.	-	-	-	-	-	PF	PF	PF	-	FR	PF	FR
Diploneis weissflogii (A.W.F.Schmidt) Cleve	-	-	-	-	-	-	-	-	-	PF	FR	-
Entomoneis alata (Ehrenberg) Ehrenberg	-	-	-	PF	-	-	RA	-	-	RA	PF	RA
Entomoneis paludosa (W.Smith) Reimer	FR	MF	MF	MF	PF	FR	MF	RA	-	-	RA	PF
Halamphora sp.	RA	-	-	-	FR	PF	-	-	PF	-	-	-
Mastogloia sp.	PF	RA	FR	MF	MF	MF	MF	MF	PF	RA	-	RA
Nitzschia sp.	FR	FR	-	PF	RA	-	-	-	PF	-	RA	FR
Petroneis sp.	RA	-	-	RA	-	-	-	RA	-	FR	RA	PF
Plagiogramma sp.*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	PF	-	-
Pleurosigma sp.	RA	PF	-	-	MF	FR	FR	MF	FR	MF	FR	MF
Pseudo-nitzschia sp.	-	-	-	-	MF	MF	FR	FR	PF	-	FR	PF
Stenopterobia sp.*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	PF	-
Surirella robusta Ehrenberg	MF	FR	PF	RA	-	-	-	-	-	-	-	-
Thalassionema nitzschioides (Grunow) Mereschkowsky*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	PF	-
Tryblionella scalaris (Ehrenberg) Siver & P.B.Hamilton	PF	MF	FR	MF	-	FR	-	-	-	-	-	-
Ulnaria sp.*	-	-	-	-	-	-	RA	PF	-	-	-	-

Chlorophyceae												
Ankistrodesmus fusiformis Corda	-	-	-	RA	-	PF	RA	PF	-	-	-	-
Ankistrodesmus stipitatus Komárková-Legnerová	PF	MF	MF	MF	-	PF	RA	PF	-	-	-	-
Coelastrum astroideum De Notaris	RA	-	FR	MF	-	-	-	-	-	-	-	RA
Comasiella arcuata var. platydisca (G.M.Smith) E.Hegewald & M.Wolf	-	-	-	-	-	-	RA	-	-	-	-	RA
Desmodesmus communis (E.Hegewald) E.Hegewald	MF	MF	MF	MF	-	-	PF	RA	-	-	-	-
Golenkinia radiata Chodat	-	-	PF	FR	-	PF	-	FR	-	-	-	-
Kirchneriella dianae (Bohlin) Comas	-	-	-	RA	-	-	-	-	RA	-	RA	-
Monactinus simplex (Meyen) Corda*	-	-	-	-	RA	RA	FR	RA	FR	-	-	-
Monoraphidium circinale (Nygaard) Nygaard	FR	FR	MF	MF	RA	RA	PF	RA	RA	-	PF	RA
Monoraphidium contortum (Thuret) Komárková-Legnerová	FR	FR	MF	PF	RA	FR	PF	-	-	-	-	RA
Monoraphidium griffithii (Berkeley) Komárková-Legnerová	-	-	PF	MF	-	FR	PF	PF	-	-	-	-
Monoraphidium irregulare (G.M.Smith) Komárková-Legnerová	RA	RA	MF	FR	-	PF	FR	PF	-	-	-	-
Monoraphidium minutum (Nägeli) Komárková-Legnerová*	-	RA	FR	FR	-	-	-	-	-	-	-	-
Scenedesmus obtusus Meyen	FR	PF	PF	-	-	RA	-	RA	-	-	-	-
Scenedesmus acunae Comas Gonzáles	-	-	PF	RA	-	-	RA	PF	-	-	-	-
Scenedesmus naegelii Brébisson	-	-	-	-	-	-	RA	-	-	RA	-	RA
Scenedesmus obtusus f. *disciformis* (Chodat) Compère	-	RA	-	-	-	-	RA	-	-	-	-	-
Stauridium privum (Printz) Hegewald	RA	PF	FR	-	-	-	RA	-	-	RA	-	-
Stauridium tetras (Ehrenberg) E.Hegewald	-	MF	FR	FR	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetradesmus lancea H.S.Cho & J.M.Lee*	-	RA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetradesmus lagerheimii M.J.Wynne & Guiry	PF	MF	MF	FR	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetraëdron caudatum (Corda) Hansgirg	PF	MF	MF	MF	RA	-	RA	-	-	-	-	-
Tetraëdron gracile (Reinsch) Hansgirg*	-	-	-	FR	-	-	-	-	-	PF	-	RA
Tetraëdron minimum (A.Braun) Hansgirg	FR	MF	MF	MF	RA	PF	RA	PF	-	FR	-	-
Tetraëdron triangulare Korshikov	RA	-	FR	FR	-	RA	RA	RA	-	-	-	-
Tetraëdron trigonum (Nägeli) Hansgirg*	-	-	-	RA	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetraspora gelatinosa (Vaucher) Desvaux	-	-	MF	MF	-	-	RA	-	-	-	-	-
Coscinodiscophyceae												
Actinoptychus maculatus A.W.F.Schmidt*	RA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Actinoptychus splendens (Shadbolt) Ralfs*	-	-	-	-	-	-	-	-	RA	FR	PF	FR
Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsen*	RA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Melosira nummuloides C.Agardh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	RA	PF	RA
Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve	-	-	-	-	-	-	-	RA	-	PF	FR	FR

Triceratium favus Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	PF	MF	PF
Urosolenia sp.*	RA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cryptophyceae												
Criptofíceas (<5 µm)	MF	MF	MF	FR	MF	FR	MF	FR	MF	MF	FR	FR
Cryptomonas sp.	-	-	-	-	RA	-	-	PF	-	-	-	-
Cyanophyceae												
Anabaenopsis elenkinii V.V.Miller	-	-	-	-	-	PF	-	-	-	-	-	-
Aphanizomenon gracile Lemmermann	-	PF	MF	FR	-	RA	FR	PF	-	-	-	-
Aphanocapsa delicatissima West & G.S.West	FR	PF	MF	FR	-	-	RA	-	-	-	-	-
Aphanocapsa annulata G.B.McGregor	-	-	-	-	PF	PF	FR	RA	-	FR	-	PF
Asterocapsa sp.	MF	MF	MF	MF	PF	FR	FR	FR	RA	MF	MF	FR
Chroococcus sp1	RA	PF	MF	FR	RA	FR	FR	PF	-	-	RA	RA
Chroococcus sp2	-	-	-	-	FR	RA	FR	FR	-	-	RA	-
Coelosphaerium lacustre (Chodat) Ostenfeld	-	-	MF	MF	-	RA	PF	PF	-	RA	RA	-
Dolichospermum solitarium (Klebahn) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek	FR	MF	MF	FR	PF	FR	MF	FR	FR	FR	FR	RA
Gloeocapsa sp.	-	MF	FR	RA	RA	FR	-	FR	-	-	-	-
Gomphosphaeria salina Komárek & Hindák	-	-	-	-	MF	PF	-	FR	RA	PF	RA	RA
Gomphosphaeria aponina Kützing*	-	-	-	-	-	MF	FR	PF	RA	PF	-	RA
Johannesbaptistia pellucida (Dickie) WRTaylor & Drouet	-	-	-	-	FR	FR	PF	PF	-	MF	RA	RA
Leptolyngbya lagerheimii (Gomont) Anagnostidis & Komárek	-	MF	FR	-	FR	FR	RA	-	RA	RA	-	-
Limnothrix planctonica (Wołoszyńska) Meffert	-	MF	MF	MF	FR	MF	MF	MF	FR	MF	FR	RA
Lyngbya major Meneghini ex Gomont*	-	-	-	-	-	FR	FR	FR	-	PF	RA	-
Merismopedia tenuissima Lemmermann	MF	MF	MF	MF	FR	FR	FR	-	FR	-	-	-
Merismopedia tranquilla (Ehrenberg) Trevisan*	-	PF	FR	RA	-	FR	FR	PF	-	FR	-	-
Microcystis aeruginosa (Kützing) Kützing	MF	MF	MF	FR	-	-	FR	-	-	-	-	-
Oscillatoria limosa C.Agardh ex Gomont	-	-	-	PF	-	-	PF	-	-	RA	PF	RA
Phormidium formosum (Bory ex Gomont) Anagnostidis & Komárek*	-	-	PF	FR	RA	FR	PF	PF	-	RA	-	-
Phormidium sp.	-	-	-	-	PF	-	-	-	-	RA	PF	PF
Planktolyngbya limnetica (Lemmermann) Komárková-Legnerová & Cronberg*	-	-	-	-	RA	RA	-	-	-	-	-	-
Planktonlyngya sp.	MF	MF	MF	MF	MF	FR	FR	FR	FR	FR	FR	MF
Planktothrix agardhii (Gomont) Anagnostidis & Komárek*	-	-	-	-	RA	RA	-	-	-	-	-	-
Pseudanabaena catenata Lauterborn	MF	MF	MF	MF	MF	MF	FR	MF	FR	MF	MF	MF
Spirulina princeps West & G.S.West*	-	-	-	-	RA	-	-	RA	-	-	-	-
Spirulina subsalsa Oersted ex Gomont	-	-	-	-	-	PF	RA	-	RA	-	PF	-

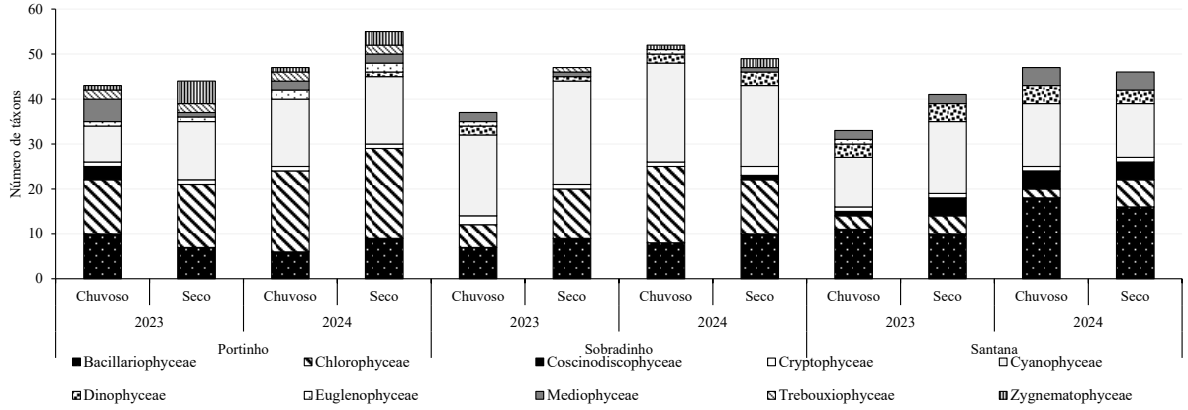
Tenebriella curviceps (C.Agardh ex Gomont) Hauerová, Hauer & Kaštovský*	-	-	-	-	-	-	PF	-	RA	-	-	-
Dinophyceae												
Ceratium sp.*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	RA	-
Peridinium sp.	-	-	-	RA	FR	FR	MF	MF	FR	FR	RA	RA
Prorocentrum micans Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	-	RA	-	RA	-	PF
Protoperidinium pyriforme (Paulsen) Balech	-	-	-	-	-	-	-	-	PF	RA	RA	-
Protoperidinium sp.	-	-	-	-	RA	-	PF	RA	RA	RA	RA	PF
Euglenophyceae												
Euglena caudata E.F.W.Hübner	FR	-	PF	RA	RA	-	PF	-	RA	-	-	-
Strombomonas sp.	-	PF	PF	FR	-	-	-	-	-	-	-	-
Mediophyceae												
Bacteriastrum hyalinum Lauder*	RA	-	-	PF	-	-	-	-	-	-	-	-
Chaetoceros decipiens Cleve*	FR	-	PF	-	-	-	-	-	-	-	RA	-
Cyclotella sp.	-	-	-	-	RA	-	-	-	RA	-	-	-
Discostella stelligera (Cleve & Grunow) Houk & Klee	PF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Skeletonema costatum (Greville) Cleve*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	RA
Stephanocyclus meneghinianus (Kützing) Kulikovskiy, Genkal & Kociolek	FR	FR	MF	MF	FR	FR	-	PF	RA	RA	-	-
Trieres mobiliensis (Bailey) Ashworth & E.C.Theriot*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	RA	RA
Trieres regia (M.Schultze) Ashworth & E.C.Theriot*	RA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	PF	PF
Zygoceros atlanticus (Frenguelli) Sar*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	RA	RA	RA
Trebouxiophyceae												
Botryococcus braunii Kützing	MF	MF	MF	MF	-	RA	-	-	-	-	-	-
Botryococcus neglectus (West & G.S.West) J.Komárek & P.Marvan*	MF	FR	MF	FR	-	-	-	-	-	-	-	-
Zygnematophyceae												
Mougeotia delicata Beck	FR	FR	FR	FR	-	-	-	PF	-	-	-	-
Spirogyra sp. Link*	-	PF	-	RA	-	-	-	-	-	-	-	-
Staurastrum leptocladum Nordstedt*	-	PF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Staurastrum muticum Brébisson ex Ralfs*	-	RA	-	RA	-	-	-	-	-	-	-	-
Staurastrum tetracerum Ralfs ex Ralfs*	-	RA	-	-	-	-	RA	RA	-	-	-	-

Fonte: Autores (2026).

As classes Bacillariophyceae, Coscinophyceae e Mediophyceae pertencem ao grupo das diatomáceas, que tende a ser mais diverso em lagoas costeiras (Tarafdar *et al.*, 2021), assim como a presença da classe Cyanophyceae, que merece atenção especial devido a seu potencial de toxicidade (Esteves, 2011). As clorofíceas, representadas pelas classes Chlorophyceae, Trebouxiophyceae e Zygnematophyceae, constituem um grupo cosmopolita, com alta abundância em águas tropicais e ocorrência preferencial em lagos mesotróficos a eutróficos, principalmente relacionadas às condições de temperatura, luz e disponibilidade de nutrientes (Martins *et al.*, 2024).

Todas as lagoas estudadas demonstraram maior riqueza no ano de 2024, apresentando maior diversidade de clorofíceas na Lagoa do Portinho, cianofíceas no Sobradinho e diatomáceas em Santana. Essa diferença expressa as características de cada lagoa, com ênfase no seu tipo de abastecimento e dinâmica físico-química e gradientes de salinidade, onde a Lagoa do Portinho possui águas oligohalinas, no Sobradinho águas de meso a polihalinas e na da Santana, águas de euhalinas a hiperhalinas (Tabela 1). Para Tarafdar *et al*. (2021), o gradiente de salinidade desempenha um papel fundamental na estruturação de padrões espaciais e temporais nas variáveis ambientais e na comunidade fitoplanctônica.

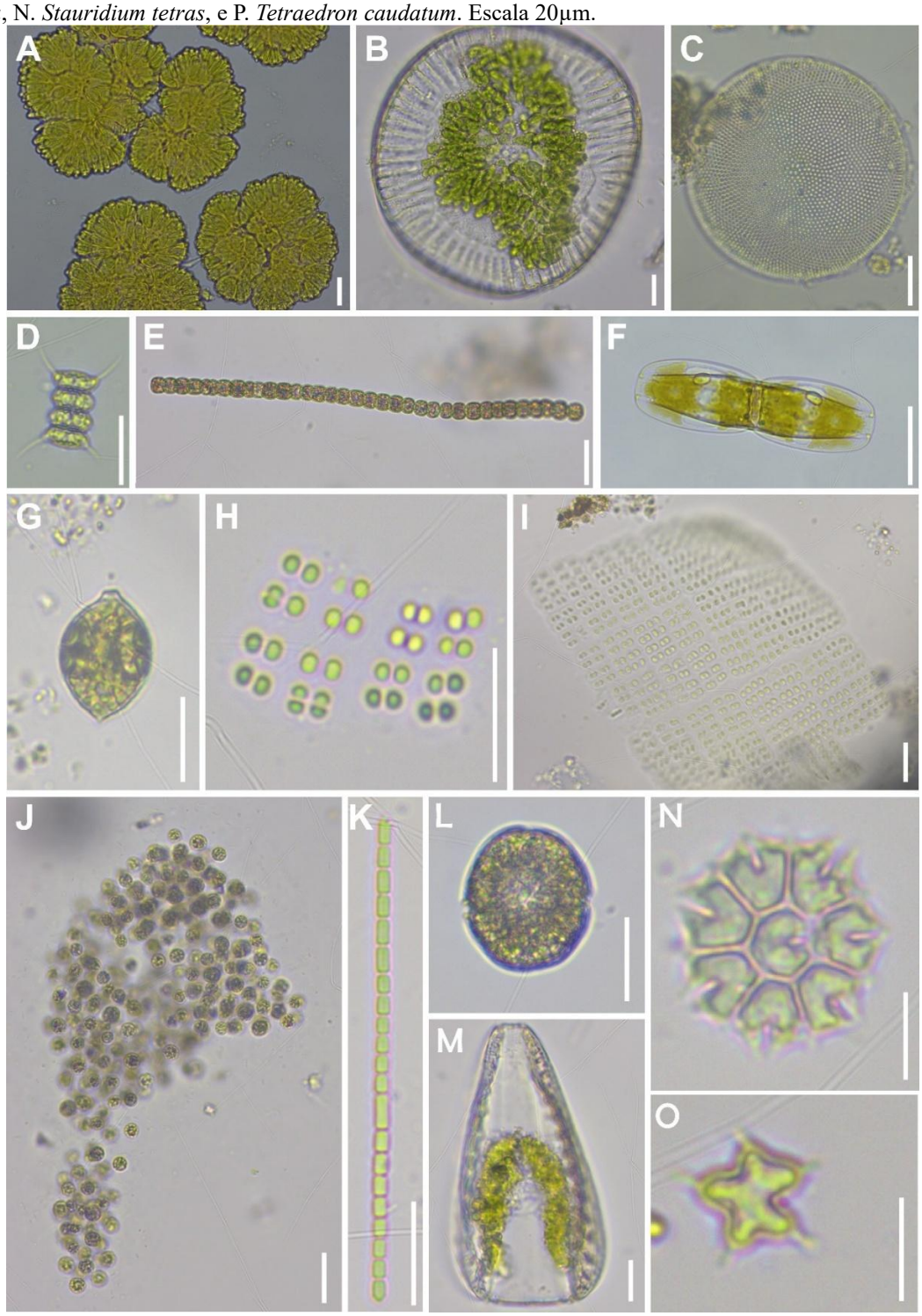
Figura 2. Riqueza de táxons por classes nos períodos chuvoso e seco, dos anos de 2023 e 2024, nas Lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí.



Fonte: Autores (2026).

Na lagoa do Sobradinho ocorreram 75 táxons, destes, 56 táxons estiveram presente em 2023 e 65 táxons em 2024, com a classe Cyanophyceae contribuindo com 44,64% e 38,46%, respectivamente, com o P3 em maio/2024 contando com 35 táxons, sendo 40% cianobactérias.

Figura 3. Táxons muito frequentes nas lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí, no período de 2023 a 2024. A. *Botryococcus neglectus*, B. *Campylodiscus clypeus*, C. *Coscinodiscus radiatus*, D. *Desmodesmus communis*, E. *Dolichospermum solitarium*, F. *Entomoneis paludosa*, G. *Euglena caudata*, H. *Merismopedia tenuissima*, I. *M. tranquila*, J. *Microcystis aeruginosa*, K. *Pseudanabaena catenata*, L. *Peridinium* sp., M. *Surirella robusta*, N. *Stauridium tetras*, e P. *Tetraedron caudatum*. Escala 20µm.



Fonte: Autores (2026).

A lagoa da Santana teve 73 táxons no total, com 56 táxons em 2023, e 59 táxons em 2024, onde a classe Bacillariophyceae contribuiu na riqueza com 33,93% e 35,59%, respectivamente, contabilizando 27 táxons no P1 em maio de 2024, com 51,84% de diatomáceas. Já a lagoa do Portinho apresentou 71 táxons, onde ocorreram 57 táxons em 2023, e 60 táxons em 2024, onde a classe Chlorophyceae, representou 28,07% e 36,67%, respectivamente. O ponto com maior número de táxons foi P2, em fevereiro/2024, com 60, onde 39,02% foram compostos por clorofíceas.

Em relação aos táxons considerados muito frequentes durante todo o estudo (Figura 3), na lagoa do Portinho citam-se *Asterocapsa* sp., *Botryococcus braunii, B. neglectus, Desmodesmus communis, Entomoneis alata, Merismopedia tenuissima, Microcystis aeruginosa, Monoraphidium circinale, Planktonlyngya* sp., *Pseudanabaena catenata, Surirella robusta, Tetraëdron minimum.*

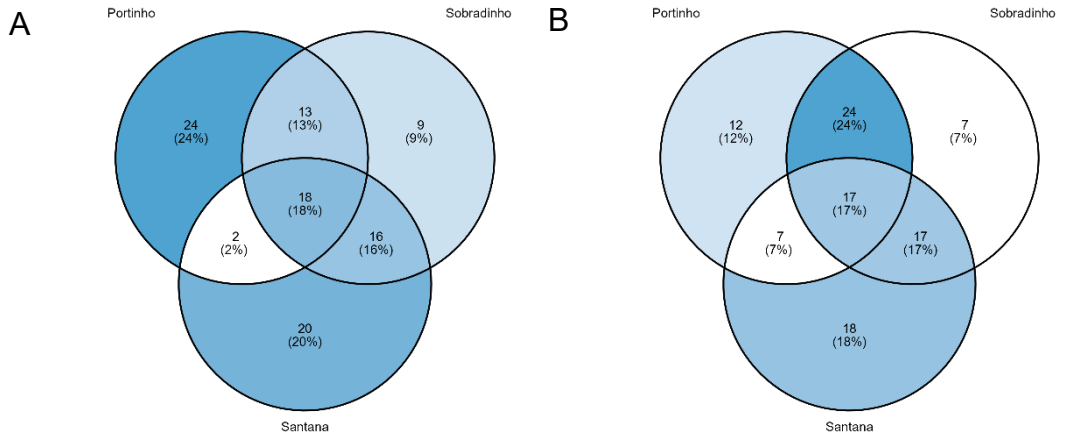
Na Lagoa do Sobradinho destacaram-se os táxons *Dolichospermum solitarium*, *Gomphosphaeria salina, Limnothrix planctonica, Mastogloia* sp., *Peridinium sp., Planktonlyngya* sp., *Pleurosigma* sp., *Pseudo-nitzschia* sp. Já na Lagoa da Santana os táxons com maior frequência foram *Cylindrotheca* sp., Criptofíceas (<5 μm), *Asterocapsa sp*. e *Pseudanabaena catenata*.

Ao analisar o número de espécies exclusivas de cada lagoa, em 2023 a Lagoa do Portinho foi a que apresentou maior número de espécies exclusivas dos 115 táxons registrados, totalizando 24 (20,87%) registros. A Lagoa da Santana apresentou 20 espécies (17,39%), enquanto Lagoa do Sobradinho registrou apenas nove espécies exclusivas (7,83%) (Figura 4).

Em comum, as lagoas do Portinho e Sobradinho tiveram 11,30% dos táxons, entre Sobradinho e Santana 13,91% e entre Portinho e Santana, apenas 1,74%. As lagoas compartilharam 15,65% dos táxons registrados: *Asterocapsa* sp., *Coscinodiscus radiatus*, Criptofíceas (<5 μm), *Dolichospermum solitarium*, *Euglena caudata*, *Halamphora* sp., *Leptolyngbya lagerheimii*, *Limnothrix planctonica*, *Mastogloia* sp., *Merismopedia tenuissima*, *M. tranquilla*, *Monoraphidium circinale*, *Nitzschia* sp., *Planktonlyngya* sp., *Pleurosigma* sp., *Pseudanabaena catenata*, *Stephanocyclus meneghinianus* e *Tetraëdron minimum*.

Já em 2024 a Lagoa da Santana foi a que apresentou maior número de espécies exclusivas, totalizando 18 (15,65%) registros. A Lagoa do Portinho apresentou 12 espécies (10,43%), enquanto Lagoa do Sobradinho registrou apenas sete espécies exclusivas (6,09%) (Figura 4). Em comum, as lagoas do Portinho e Sobradinho tiveram 20,87% dos táxons, entre Sobradinho e Santana 14,78% e entre Portinho e Santana apenas 6,09% (Figura 4).

Figura 4. Diagrama de Venn com o número de espécies exclusivas e compartilhas entre as Lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, no Piauí, em 2023 (A) e 2024 (B).



Fonte: Autores (2026).

As lagoas compartilharam 14,78% dos 115 táxons registrados: *Asterocapsa* sp., *Campylodiscus clypeus*, *Chroococcus* sp1, *Coelosphaerium lacustre*, Criptofíceas (<5 µm), *Dolichospermum solitarium*, *Entomoneis alata*, *Entomoneis paludosa*, *Limnothrix planctonica*, *Mastogloia* sp., *Monoraphidium circinale*, *Monoraphidium contortum*, *Oscillatoria limosa*, *Peridinium* sp., *Petroneis* sp., *Planktonlyngya* sp. e *Pseudanabaena catenata*.

Dessa forma, as lagoas do Portinho e Sobradinho apresentaram maior similaridade, enquanto a Lagoa da Santana, demonstrou ser a mais distinta. O padrão observado no diagrama sugere a existência de um gradiente de espécies, entre as lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, com esses ambientes caracterizados por uma conectividade parcial, mas ainda com elevada heterogeneidade espacial.

As lagoas apresentaram biovolume médio de 1387,72 $mm^3.L^{-1}$ e 1545,82 $mm^3.L^{-1}$ na Lagoa do Sobradinho, 1302,58 $mm^3.L^{-1}$ e 624,68 $mm^3.L^{-1}$ na Lagoa do Portinho e 55,60 $mm^3.L^{-1}$ e 38,57 $mm^3.L^{-1}$ na Lagoa da Santana, em 2023 e 2024, respectivamente. Em relação à sazonalidade, no período seco de 2023 todas as lagoas apresentaram médias maiores, com destaque para o mês de novembro. Em 2024 o mesmo padrão de repetiu para a Lagoa do Portinho, enquanto nas Lagoas do Sobradinho e Santana, tiveram média maior no período chuvoso.

Observou-se a dominância de cianobactérias em todas as lagoas em 2023 e 2024, com exceção da Lagoa da Santana que teve valor médio maior de dinoflagelados em 2023 (Figura 5). As espécies com maior biovolume em 2023 na Lagoa do Portinho foram *Microcystis*

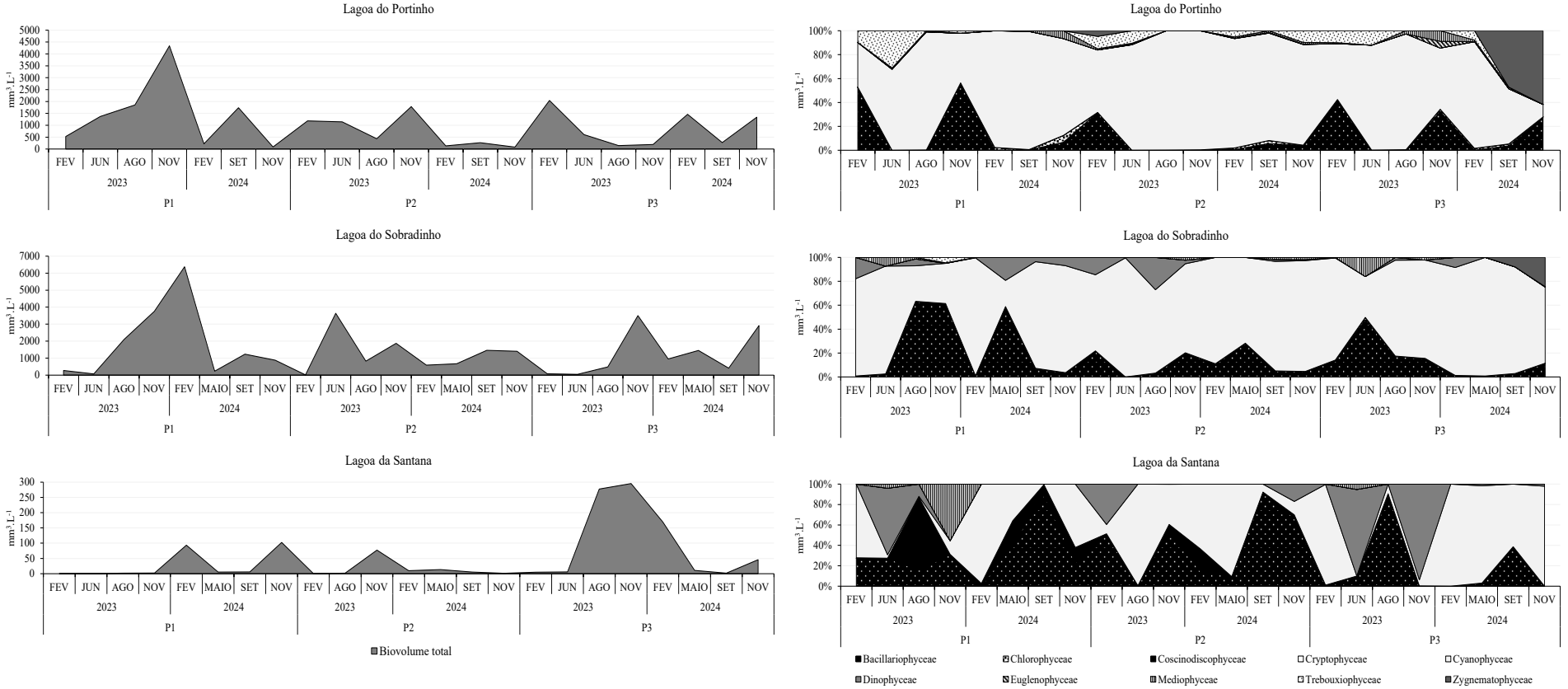
aeruginosa, *Pseudanabaena catenata* e *Surirella robusta*, na Lagoa do Sobradinho foram *Aphanocapsa annulata*, *Campylodiscus clypeus*, *Mastogloia* sp., *Phormidium* sp. e *Pseudanabaena catenata* e na Lagoa da Santana foram *Asterocapsa* sp., Campylodi*scus clypeus*, *Nitzchia* sp., *Paralia sulcata*, *Peridinium* sp., *Pleurosigma* sp., *Protoperidinium pyriforme*, *Pseudanabaena catenata* e *Stephanocyclus meneghinianus*.

Para Melese e Debella (2024), cianobactérias dominam em lagos devido suas adaptações fisiológicas especiais às variações nos níveis de pH, salinidade, limitação de luz e concentrações de nutrientes. Já as diatomáceas e clorofíceas têm maior dificuldade para se desenvolver na fase aquosa turva, durante as chuvas, o que favorece a dominância de cianobactérias, principalmente com maior disponibilidade de nutrientes e intensidades luminosas mais baixas (Batina; Krtalić, 2024).

A ressuspensão e recirculação do ambiente aquático, causadas pela hidrodinâmica local, são importantes para determinar a diversidade e biovolume do fitoplâncton. Fatores como a intensidade da mistura da coluna d'água devido à baixa profundidade e sua influência na transparência da água e nas variações espaço-temporais podem interferir diretamente na estrutura e composição da comunidade fitoplanctônica (Cutrim *et al.*, 2019).

De modo geral, foi possível observar que as variações espaciais e sazonais influenciaram a diversidade e dinâmica da comunidade fitoplanctônica das lagoas estudadas. As análises indicaram padrões distintos de composição fitoplanctônica principalmente pelas características das lagoas, em relação ao seu abastecimento, grau de salinidade e disponibilidade de nutrientes, bem como pela perturbação da chuva e do vento em suas variáveis. Os resultados apresentados fornecem subsídios para a compreensão do funcionamento ecológico das lagoas e servem de base para a discussão dos processos que regulam sua dinâmica, bem como para a gestão ambiental e de conservação desses ambientes.

Figura 5. Biovolume total (A) e percentual por classe (B) da comunidade fitoplanctônica das lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí, em 2023 e 2024.



Fonte: Autores (2025).

CONCLUSÃO

Este estudo permitiu registrar os padrões de composição e dinâmica fitoplanctônica de lagoas costeiras do Piauí. A sazonalidade da chuva e do vento influenciou nas variáveis ambientais das lagoas, bem como as características limnológicas das lagoas, que incluem seu tipo de abastecimento e grau de salinidade, moldaram a comunidade fitoplanctônica de cada uma.

A lagoa do Sobradinho apresentou maior número de táxons, seguida das Lagoas da Santana e Portinho. Observou-se maior riqueza em 2024 em todas as lagoas, e maior diversidade de clorofíceas na Lagoa do Portinho, cianofíceas no Sobradinho e diatomáceas em Santana. A Lagoa do Portinho foi a que apresentou maior número de espécies exclusivas e aumento de compartilhamento de espécies em 2024. As lagoas do Portinho e Sobradinho apresentaram maior similaridade de espécies, enquanto a Lagoa da Santana, demonstrou ser a mais distinta, sugerindo a existência de um gradiente, com conectividade parcial e elevada heterogeneidade espacial.

O biovolume das classes foi maior no período seco de 2023 todas as lagoas, com destaque para o mês de novembro. Em 2024 o mesmo padrão de repetiu para a Lagoa do Portinho, enquanto nas Lagoas do Sobradinho e Santana, tiveram média maior no período chuvoso. Houve dominância de cianobactérias em todas as lagoas em 2023 e 2024, com exceção da Lagoa da Santana, que teve maior valor médio de dinoflagelados em 2023.

As características das lagoas e a sazonalidade foram os fatores determinantes para a composição e dinâmica do fitoplâncton e estes dados contribuem não apenas para o registro de táxons, mas podem subsidiar ações de gestão ambiental das lagoas costeiras do Piauí.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida à primeira autora, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa produtividade em pesquisa concedida a segunda autora.

REFERÊNCIAS

AL-MUR, B. A. Environmental Assessment Using Phytoplankton Diversity, Nutrients, Chlorophyll-a, and Trophic Status Along Southern Coast of Jeddah, **Red Sea**. [*s. l.*], 2021. Disponível em: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/. Acesso em: 5 abr. 2025.

ANDRADE, A. L. M.; GOMES, A. C. A.; CRUZ, M. L. B. da. A importância do geoprocessamento na análise do uso e ocupação da Lagoa do Portinho localizada entre os municípios de Luís Correia e Parnaíba-PI. **Revista Cadernos de Ensino, Ciências & Tecnologia**, [*s. l.*], v. 1, p. 144–158, 2019. Disponível em: https://revistas.uece.br/index.php/CECiT/article/view/799/8606. Acesso em: 1 nov. 2023.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 24th. ed. Washington DC: American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, 2023.

BATINA, A.; KRTALIĆ, A. **Integrating Remote Sensing Methods for Monitoring Lake Water Quality: A Comprehensive Review**. [*S. l.*]: Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 2024. Disponível em: https://www.mdpi.com/2306-5338/11/7/92. Acesso em: 30 out. 2024.

BICUDO, C. E. de M.; MENEZES, M. **Gêneros de Algas de Águas Continentais no Brasil – Terceira Edição – RiMa Editora**. [*S. l.*]: RIMA, 2017. Disponível em: files/319/editorarima.com.br.html. Acesso em: 20 out. 2024.

BICUDO, C. E. de M.; PRADO, J.; HIRAI, R. Y. **Código Internacional de Nomenclatura para algas, fungos e plantas (Código de Shenzhen)**. [*S. l.*]: RIMA, 2018. Disponível em: files/324/editorarima.com.br.html. Acesso em: 25 out. 2024.

BORGES, G. K. L. Lazer, turismo e produção imobiliária no litoral do Piauí. **Pensar Geografia**, [*s. l.*], v. 6, n. 2, p. 46–65, 2022. Disponível em: https://periodicos.apps.uern.br/index.php/PGEO/article/view/3731/3526. Acesso em: 26 out. 2024.

BRAGA, S. de S.; GUZZI, A. Organização espacial da atividade turística no litoral piauiense. **Mercator (Fortaleza)**, [*s. l.*], v. 20, p. e20024, 2021. Disponível em: https://www.scielo.br/j/mercator/a/CGKhQCZByqKxnFqTvSrYnZg/?lang=pt#. Acesso em: 26 out. 2024.

BRASIL. Portaria MMA Nº 34, de 2 de fevereiro de 2021. Listagem atualizada dos municípios abrangidos pela faixa terrestre da zona costeira brasileira. **Ministério do Meio Ambiente**: 34, p. 53, 2 fev. 2021. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/. Acesso em: 21 out. 2024.

BULGER, A. J. *et al.* Biologically-Based Estuarine Salinity Zones Derived from a Multivariate Analysis. **Estuaries**, [*s. l.*], v. 16, n. 2, p. 311–322, 1993.

CEMADEN. **Estações pluviométricas**. [*S. l.*], 2025. Disponível em: https://resources.cemaden.gov.br/graficos/interativo/grafico_CEMADEN.php?idpcd=8061&uf=PI. Acesso em: 17 jun. 2025.

COLE, G. A. **Textbook of Limnology**. [*S. l.*]: Waveland Press, 1994. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=9ylRCwAAQBAJ.

CPTEC. **Boletim mensal No. 08 - Painel El Niño 2023-2024**. [*S. l.*]: [*s. d.*], 2024. Disponível em: https://dataserver.cptec.inpe.br/dataserver_diptc/web/Painel-Elnino/2023-2024/painel_el_nino_boletim_mensal_no_08.pdf. Acesso em: 20 jun. 2025.

CUTRIM, M. V. J. *et al.* Trophic state of an urban coastal lagoon (northern Brazil), seasonal variation of the phytoplankton community and environmental variables. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, [*s. l.*], v. 216, p. 98–109, 2019. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0272771417308776. Acesso em: 5 dez. 2023.

FERREIRA, L. G. C.; KEMENES, A. A influência dos eventos climáticos extremos na climatologia da planície litorânea piauiense. **Revista Brasileira de Climatologia**, [*s. l.*], v. 32, p. 636–657, 2023. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/16349/9418. Acesso em: 13 out. 2024.

FLORA. **Flora e Funga do Brasil**. [*S. l.*], 2025. Disponível em: https://floradobrasil.jbrj.gov.br/. Acesso em: 19 jun. 2025.

GAO, C.-H.; DUSA, A. ggVennDiagram: a ‘ggplot2’implement of venn diagram. **R package version**, [*s. l.*], v. 1, n. 2, p. 0, 2026.

GUIRY, M. D.; GUIRY, G. M. **AlgaeBase**. [*S. l.*], 2025. Disponível em: https://www.algaebase.org. Acesso em: 19 jun. 2025.

HILLEBRAND, H. *et al.* Biovolume Calculation for Pelagic and Benthic Microalgae. **Journal of Phycology**, [*s. l.*], v. 35, n. 2, p. 403–424, 1999. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1529-8817.1999.3520403.x. Acesso em: 20 out. 2024.

IBGE. **Estimativas da população residente no Brasil e Unidades da Federação com data de referência em 1º de julho de 2025**. [*S. l.*]: [*s. d.*], 2025. Disponível em: https://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2025/POP2025_20251031.pdf. Acesso em: 9 nov. 2025.

IBGE. **Malha Municipal**. [*S. l.*], 2026. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html. Acesso em: 2 fev. 2026.

ICMBIO. **Plano de manejo da área de proteção ambiental Delta do Parnaíba**. Brasília, DF: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinho/lista-de-ucs/apa-delta-do-parnaiba/arquivos/plano_de_manejo_da_apa_delta_do_parnaiba.pdf. Acesso em: 2 out. 2023.

INMET. **Banco de Dados Meteorológicos**. [*S. l.*]: Instituto Nacional de Meteorologia, 2025. Disponível em: https://bdmep.inmet.gov.br/. Acesso em: 30 out. 2024.

JESPERSEN, A.-M.; CHRISTOFFERSEN, K. Measurements of chlorophyll-a from phytoplankton using ethanol as extraction solvent. **Archiv für Hydrobiologie**, [*s. l.*], v. 109, n. 3, p. 445–454, 1987. Disponível em: http://www.schweizerbart.de/papers/fal/detail/109/102369/Measurements_of_chlorophyll_a_from_phytoplankton_u?af=crossref. Acesso em: 20 out. 2024.

LIGORINI, V. *et al.* Response of Phytoplankton Communities to Variation in Salinity in a Small Mediterranean Coastal Lagoon: Future Management and Foreseen Climate Change Consequences. **Water**, [*s. l.*], v. 15, n. 18, p. 3214, 2023. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4441/15/18/3214. Acesso em: 21 nov. 2023.

LIMA, I. Hidrografia do estado do Piauí, disponibilidades e usos da água. *In*: AQUINO, C. M. S. A.; SANTOS, F. A. (orgs.). **Recursos Hídricos do Estado do Piauí: fundamentos de gestão e estudos de casos em bacias hidrográficas do centro-norte piauiense**. Teresina: EDUFPI, 2018. p. 43–68. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Iracilde-Lima/publication/324574363_HIDROGRAFIA_DO_ESTADO_DO_PIAUI_DISPONIBIDADES_E_USOS_DA_AGUA/links/5afd0602aca272b5d8707d5d/HIDROGRAFIA-DO-ESTADO-DO-PIAUI-DISPONIBIDADES-E-USOS-DA-AGUA.pdf. Acesso em: 20 out. 2024.

LITCHMAN, E.; KLAUSMEIER, C. A. Trait-Based Community Ecology of Phytoplankton. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, [*s. l.*], v. 39, n. 1, p. 615–639, 2008. Disponível em: https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173549. Acesso em: 20 out. 2024.

LOBO, E.; LEIGHTON, G. Estructuras comunitarias de las fitocenosis planctonicas de los sistemas de desembocaduras de rios y esteros de la zona central de Chile. **Rev. Biol. Mar**, [*s. l.*], vol. 22, n. 1, p. 1–29, 1986.

MARGALEF, R. **Limnología**. Barcelona: Omega, 1984.

MARTINS, M. P. M. *et al.* Phytoplankton community diversity, dominance, and rarity: a case study of tropical urban lakes. **Acta Limnologica Brasiliensia**, [*s. l.*], v. 36, 2024. Disponível em: Acesso em: 12 jun. 2024.

MATTEUCCI, S. D.; COLMA, A. **Metodología para el estudio de la vegetación**. [*S. l.*]: Secretaría general de la organización de los estados americanos Washington, DC, 1982.

MELESE, H.; DEBELLA, H. J. Temporal phytoplankton dynamics and environmental variables in four Ethiopian soda lakes. **Environmental Systems Research**, [*s. l.*], v. 13, n. 1, p. 1–15, 2024. Disponível em: https://environmentalsystemsresearch.springeropen.com/articles/10.1186/s40068-023-00329-0. Acesso em: 5 abr. 2025.

MESQUITA, T. K. da S.; LIMA, I. M. de M. F.; SANTOS FILHO, F. S. Cadê a lagoa que estava aqui? Estudo de caso da Lagoa do Portinho, litoral do Piauí (Brasil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [*s. l.*], v. 11, n. 1, p. 346–356, 2018a. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234206. Acesso em: 30 out. 2024.

MESQUITA, T. K. da S.; LIMA, I. M. de M. F.; SANTOS FILHO, F. S. Lagoa fluvial do rio Portinho, Piauí: impactos socioambientais recentes. *In*: BARBOSA, L. N. *et al.* (orgs.). **Análise de impactos e riscos ambientais em bacias hidrográficas**. Mossoró – RN: EDUERN, 2018b. ("PLANEJAMENTO URBANO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS"). p. 91–102. Disponível em: http://www.ppggeografia.ufc.br/images/documentos/C7T3_compressed.pdf#page=91. Acesso em: 30 out. 2024.

NUSCH, E. A. Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. [*s. l.*], v. 14, p. 4–36, 1980.

PIAUÍ. **Diagnóstico Rápido Participativo (DRP) da cadeia do turismo náutico, Da cadeia da pesca estuarina e marinha no litoral do Piauí e Da comunidade que vive na área de influência direta do Complexo Industrial Pesqueiro e marina em Luís Correia**. [*S. l.*]: [*s. d.*], 2022. Disponível em: https://investepiaui.com/wp-content/uploads/2022/05/Diagnostico-Rapido-Participativo.pdf. Acesso em: 6 jan. 2026.

PUTRICK, S. C.; CURY, M. J. F. As trilhas do Cavalo Marinho e do Peixe-Boi na Rota das Emoções: uma alternativa de turismo educativo na Área de Proteção Ambiental (APA) Delta do Parnaíba, Piauí, Brasil. **Revista Turismo & Desenvolvimento**, [*s. l.*], vol. 3, n. 17/18, p. 1299–1308, 2012. Disponível em: https://proa.ua.pt/index.php/rtd/article/view/13171/8781. Acesso em: 15 jun. 2025.

RODIER, J. **L'analyse de l'eau: eaux naturelles, euax résiduales, eaux de mer**. 5. ed. Paris: Dunod., 1975.

SANTOS FILHO, F. S. **Composição florística e estrutural da vegetação de restinga do Estado do Piauí**. 2009. Tese - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

SEMARH. **Plano de Manejo da Área de Relevante Interesse Ecológico da Lagoa do Portinho**. Teresina: [*s. d.*], 2025.

SENA, N. A.; SILVA, M. P. da. Monitoramento de recursos hídricos: estudo da Lagoa do Sobradinho em Luís Correia - PI. 2020, Vitória - ES. **XI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. Vitória - ES: [*s. d.*], 2020. Disponível em: http://earthexplorer.usgs.gov/. Acesso em: 2 mar. 2023.

SEPLAN. **Lei Complementar nº 87, de 22 de agosto de 2007**. Estabelece o Planejamento Participativo Territorial para o Desenvolvimento Sustentável do Estado do Piauí. 2007. Disponível em: http://antigo.seplan.pi.gov.br/ppt.php. Acesso em: 22 jun. 2025.

SEPLAN. **Lei Complementar nº 264, de 27 de abril de 2022**. Institui a Região Metropolitana de Parnaíba e cria o Conselho de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Parnaíba, no estado do Piauí. 2022. Disponível em: https://sapl.al.pi.leg.br/media/sapl/public/materialegislativa/2022/17361/msg26.pdf. Acesso em: 22 jun. 2025.

SILVA, B.; BAPTISTA, E.; MOURA, L. Elementos da geodiversidade para a geoconservação do litoral do Piauí. **Revista da Academia de Ciências do Piauí**, [*s. l.*], v. 3,

n. 3, 2022. Disponível em: https://periodicos.ufpi.br/index.php/acipi/article/view/1022/1570. Acesso em: 20 out. 2024.

SOUSA, R. dos S. **Planície costeira do estado do Piauí: mapeamento das unidades de paisagem, uso e cobertura da terra e vulnerabilidade ambiental**. 2015. 138 f. Dissertação - Universidade Federal do Piauí, Teresina - PI, 2015. Disponível em: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=2400163. Acesso em: 3 nov. 2023.

SOUSA, R. D. S. **Zoneamento geoecológico do complexo fluviomarinho dos rios Cardoso/Camurupim e porção costeira adjacente, litoral leste piauiense**. 2019. 154 f. Fortaleza/CE, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/49257/3/2019_tese_rssousa.pdf. Acesso em: 20 out. 2024.

SOUSA, A. M.; BACELAR, F. K. R.; SOUSA, R. dos S. Dynamics of land use and coverage of the Portinho River water basin, Coast of Piauí. **International Journal Semiarid**, [*s. l.*], vol. 7, n. 7, 2024. Disponível em: https://journalsemiarid.com/index.php/ijsa/article/view/223. Acesso em: 27 jul. 2025.

SOUZA, G. S. de *et al.* Análise da dinâmica espaço-temporal dos espelhos d'água de lagoas costeiras do Piauí por Sensoriamento Remoto. **Geoconexões**, [*s. l.*], n. 21, p. e1830411, 2025. Disponível em: https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/geoconexoes/article/view/18304.

SUN, J.; LIU, D. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. **Journal of Plankton Research**, [*s. l.*], v. 25, n. 11, p. 1331–1346, 2003. Disponível em: https://doi.org/10.1093/plankt/fbg096.

TARAFDAR, L. *et al.* Responses of phytoplankton community structure and association to variability in environmental drivers in a tropical coastal lagoon. **Science of The Total Environment**, [*s. l.*], v. 783, p. 146873, 2021. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969721019434. Acesso em: 5 dez. 2023.

TOMAS, C. **Identifying Marine Phytoplankton - 1st Edition**. 1. ed. [*S. l.*]: Academic Press, 1997. Disponível em: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-693018-4.X5000-9.

UTERMÖHL, H. **Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik**. Stuttgart: Schweizerbart, 1958.

VASISTHA, P.; GANGULY, R. Water quality assessment of natural lakes and its importance: An overview. **Materials Today: Proceedings**, [*s. l.*], v. 32, p. 544–552, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/339531564_Water_quality_assessment_of_natural_lakes_and_its_importance_An_overview. Acesso em: 20 out. 2024.

WEBER, J. Relationship between cytoagglutination and saturation density of cell growth. **Journal of Cellular Physiology**, [*s. l.*], v. 81, n. 1, p. 49–53, 1973. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jcp.1040810106. Acesso em: 20 out. 2024.

WEHR, J.; VAN VUUREN, S. J. Algae and Cyanobacteria Communities. *In*: **WETZEL'S LIMNOLOGY**. [*S. l.*]: Elsevier, 2024. p. 463–510. Acesso em: 20 out. 2024.

WETZEL, R. G.; LIKENS, G. **Limnological Analyses**. [*S. l.*]: Springer Science & Business Media, 2000. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=XzjC8nNoSmQC. Acesso em: 20 out. 2024.

WOOD, E. J. F. **Dinoflagellates of the Caribbean Sea and Adjacent Areas**. [*s. l.*]: University of Miami Press, 1968. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=I0FCAAAAIAAJ. Acesso em: 20 out. 2024.

ARTIGO V

"TEM ALGO NESSA ÁGUA?": A CONSTRUÇÃO DE UM MATERIAL PARADIDÁTICO COMO SUBSÍDIO AO ENSINO DE CIÊNCIAS E À DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA

"Tem algo nessa água?": a construção de uma cartilha educativa como subsídio ao ensino de ciências e à divulgação científica

RESUMO

O uso de materiais paradidáticos contribui de maneira lúdica para o processo de aprendizagem, especialmente quando aborda temáticas relacionadas ao meio ambiente. Assim, objetivou-se com este estudo apresentar e refletir sobre a construção um material paradidático de divulgação científica intitulado "Tem algo nessa água?", elaborado como subsídio ao ensino de Ciências e como instrumento de promoção e disseminação de informações científicas de forma clara, lúdica e envolvente para diversos públicos. Na metodologia empregada, o material paradidático foi desenvolvido a partir de reuniões, oficinas, revisão bibliográfica, análise de trabalhos científicos e de dados obtidos em pesquisas de campo e laboratoriais sobre a estrutura e a dinâmica das lagoas costeiras, com foco nas lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, localizadas no litoral do estado do Piauí, Brasil. Foram criados e adaptados diferentes tipos de atividades, tais como ilustrações para colorir, caça-palavras, palavras-cruzadas, criptogramas e labirinto, entre outras, fundamentais em informações científicas, histórias e lendas locais. Fotografias, ilustrações e a personagem "Léia" foram utilizadas para auxiliar na visualização, no direcionamento e na execução das atividades propostas. O livro apresenta ainda elementos estruturados com propósito de divulgar a necessidade de conhecer, proteger e utilizar de forma sustentável os recursos naturais, especialmente os recursos hídricos, valorizando informações regionais e culturais típicas do norte do estado do Piauí, muitas das quais não contempladas nos livros didáticos adotados nas escolas de educação básica das redes estadual e municipal. Os conteúdos abordados são diversificados e complementares, respeitando as orientações previstas na Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Conclui-se que o material possui potencial educativo e informativo, configurando-se como um relevante instrumento de divulgação cientifica. Ressalta-se, ainda, a necessidade da produção de materiais dessa natureza, que contribuam para a ampliação do conhecimento com vistas a sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: educação ambiental; lagoas costeiras; livro paradidático.

“TEM ALGO NESSA ÁGUA?”: THE CREATION OF AN EDUCATIONAL BOOKLET TO SUPPORT SCIENCE TEACHING AND SCIENTIFIC DISSEMINATION

ABSTRACT

The use of supplementary teaching materials contributes to the learning process in a playful way, especially when addressing topics related to the environment. Thus, the objective of this study was to present and reflect on the creation of an educational booklet entitled “Is there something in that water?”, designed as a resource for science teaching and as a tool for promoting and disseminating scientific information in a clear, playful, and engaging way for different audiences. In the methodology employed, the booklet was developed based on meetings, workshops, bibliographic review, analysis of scientific works, and data obtained from field and laboratory research on the structure and dynamics of coastal lagoons, focusing on the Portinho, Sobradinho, and Santana lagoons, located on the coast of the state of Piauí, Brazil. Different types of activities were created and adapted, such as coloring illustrations, word searches, crossword puzzles, cryptograms, and mazes, among others, based on scientific information, local stories, and legends. Photographs, illustrations, and the character “Léia” were used to aid in the visualization, direction, and execution of the proposed activities. The booklet also presents structured elements with the purpose of disseminating the need to know, protect, and use natural resources sustainably, especially water resources, valuing regional and cultural information typical of the northern state of Piauí, much of which is not covered in the textbooks adopted in state and municipal elementary schools. The content covered is diverse and complementary, respecting the guidelines set out in the National Common Core Curriculum (BNCC). It can be concluded that the booklet has high educational and informative potential, constituting a relevant instrument for scientific dissemination. It is also worth emphasizing the need to produce materials of this nature, which contribute to the expansion of knowledge with a view to environmental sustainability.

Keywords: environmental education; coastal lagoons; teaching aids.

INTRODUÇÃO

A água constitui um elemento essencial para a manutenção da vida, o equilíbrio dos ecossistemas e o desenvolvimento das sociedades humanas. Além de suas propriedades biológicas e físico-químicas, o uso da água envolve questões sociais, ambientais, econômicas e de saúde pública, o que a torna um tema propício para discussões de problemáticas contemporâneas (Esteves, 2011).

A preocupação com os ecossistemas aquáticos tem se intensificado nos últimos anos, sobretudo em razão da aceleração do processo de eutrofização, que ocorre com o aporte excessivo de nutrientes oriundos de fontes de poluição de origem antrópica. Esse processo compromete o funcionamento de corpos hídricos, afetando a composição das comunidades biológicas e os múltiplos usos, desses ambientes pela sociedade (Dias, 2024).

Uma das formas de minimizar tais impactos consiste na abordagem, em termos educacionais, de tópicos relacionados à água, à sua dinâmica de uso e à poluição, considerando que essa temática é de caráter transversal, compondo os conteúdos programáticos de diferentes disciplinas, além de estar prevista nas diretrizes da Política Nacional de Educação Ambiental e Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Básica (Brasil, 2018).

No contexto escolar, a temática “água” é frequentemente tratada de maneira expositiva, por meio de aulas tradicionais, o que pode torná-la excessivamente complexa, acadêmica e distante das realidades sociais, econômicas e ambientais vivenciadas pelo público-alvo (Lanes; Andrade; Miranda, 2022). O uso exclusivo de atividades teóricas, fundamentadas nos conteúdos obrigatórios apresentados nos livros didáticos, restringe as possibilidades de uma aprendizagem significativa, principalmente quando se utiliza uma linguagem pouco atrativa e se observa a ausência de abordagens práticas que estimulem a criatividade, com base em conceitos fundamentais, básicos e necessários (Caimi, 2017).

Diante desse cenário, a adoção de novas estratégias metodológicas que ampliem a motivação dos estudantes e subsidiem a prática docente torna-se imprescindível. Nesse sentido, destaca-se o uso de materiais paradidáticos que, segundo Gonçalves, Monteiro-Alves e Pereira (2023), contribuem de forma lúdica para o processo de ensino e aprendizagem sobre o meio ambiente.

Entre esses materiais, as cartilhas configuram-se como importantes recursos pedagógicos, uma vez que podem ser elaboradas a partir de realidades previamente estudadas, articulando elementos verbais e não verbais, como textos, imagens e esquemas, de modo a facilitar a socialização e a compreensão das informações a serem compartilhadas (Souza; Jesus; Santos, 2021). Além disso, esses instrumentos didáticos podem ser utilizados como

instrumentos de sensibilização ambiental, tanto em espaços formais quanto não formais de ensino. Neste sentido, objetiva-se apresentar e refletir sobre a construção de uma cartilha educativa intitulada *"Tem algo nessa água?"*, elaborada como subsídio ao ensino de Ciências, bem como à promoção e à disseminação de informações científicas de forma clara e envolvente.

A proposta fundamenta-se na problematização do tema água como eixo articulador de práticas pedagógicas que buscam integrar conhecimentos científicos, contextos cotidianos e reflexões socioambientais, contribuindo para a formação de sujeitos críticos, reflexivos e conscientes. Ressalta-se ainda. que o material aqui apresentado visa divulgar, de forma lúdica e interativa, resultados científicos obtidos por meio de pesquisas limnológicas desenvolvidas em ecossistemas aquáticos da região Norte do estado do Piauí, Brasil, cujas informações ainda são consideradas escassas na literatura científica. Todo esse processo foi conduzido de modo a respeitar e valorizar os saberes locais.

METODOLOGIA

Para a elaboração da cartilha, utilizou-se como base a pesquisa exploratória, por meio do levantamento bibliográfico de informações sobre o tema abordado, nesse caso, a água. Os textos foram baseados em estudos de diversos autores, citados nas referências deste trabalho e na própria cartilha. As buscas foram realizadas por meio do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD). Conforme Marconi e Lakatos (2003):

> A pesquisa bibliográfica é um apanhado geral sobre os principais trabalhos já realizados, revestidos de importância, por serem capazes de fornecer dados atuais e relevantes relacionados com o tema. O estudo da literatura pertinente pode ajudar a planificação do trabalho, evitar publicações e certos erros, e representa uma fonte indispensável de informações, podendo até orientar as indagações (Marconi; Lakatos, 2003, p.158).

O presente trabalho também possui um cunho descritivo e documental, contemplando pesquisas relacionadas às políticas públicas e aos recursos hídricos. Além disso, o instrumento didático aqui apresentado buscou compartilhar, de forma lúdica e interativa, alguns resultados obtidos por meio de coletas de campo realizadas em ecossistemas aquáticos localizados na região costeira do estado do Piauí, Brasil, especificamente: a lagoa do Portinho, localizada na divisa do município de Parnaíba e Luís Correia, a lagoa do Sobradinho, no município de Luís Correia, e a lagoa da Santana, no município de Cajueiro da Praia. Esses resultados estão vinculados às pesquisas laboratoriais desenvolvidas por estudantes e pesquisadores do

Laboratório de Ecologia Aquática (LEA) e do Herbário Delta do Parnaíba (HDELTA), ambos pertencentes à Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPar).

A metodologia empregada priorizou o trabalho colaborativo e a articulação entre os saberes científicos e populares, bem como as práticas pedagógicas, culminando na elaboração de uma ferramenta voltada a um público diversificado, que contempla estudantes da educação básica, pescadores, moradores locais e demais sujeitos interessados em compreender a estrutura e a dinâmica das lagoas costeiras, considerando os contextos ambiental, social e econômico.

Para a estruturação da cartilha, adotaram-se os procedimentos propostos por Alves, Gutjahr e Pontes (2019), seguindo as seguintes instruções: 1) domínio do assunto abordado, 2) embasamento teórico a uma linguagem simples e acessível aos diversos públicos, e 3) elaboração de materiais paradidáticos com caráter criativo e lúdico, especialmente no uso de imagens e ilustrações. Também foram consideradas recomendações para a concepção e a eficácia de materiais educativos, contemplando aspectos como conteúdo, linguagem, organização, *layout*, ilustrações, aprendizagem e motivação (Hoffmann; Warrall, 2004; Carvalho, 2024).

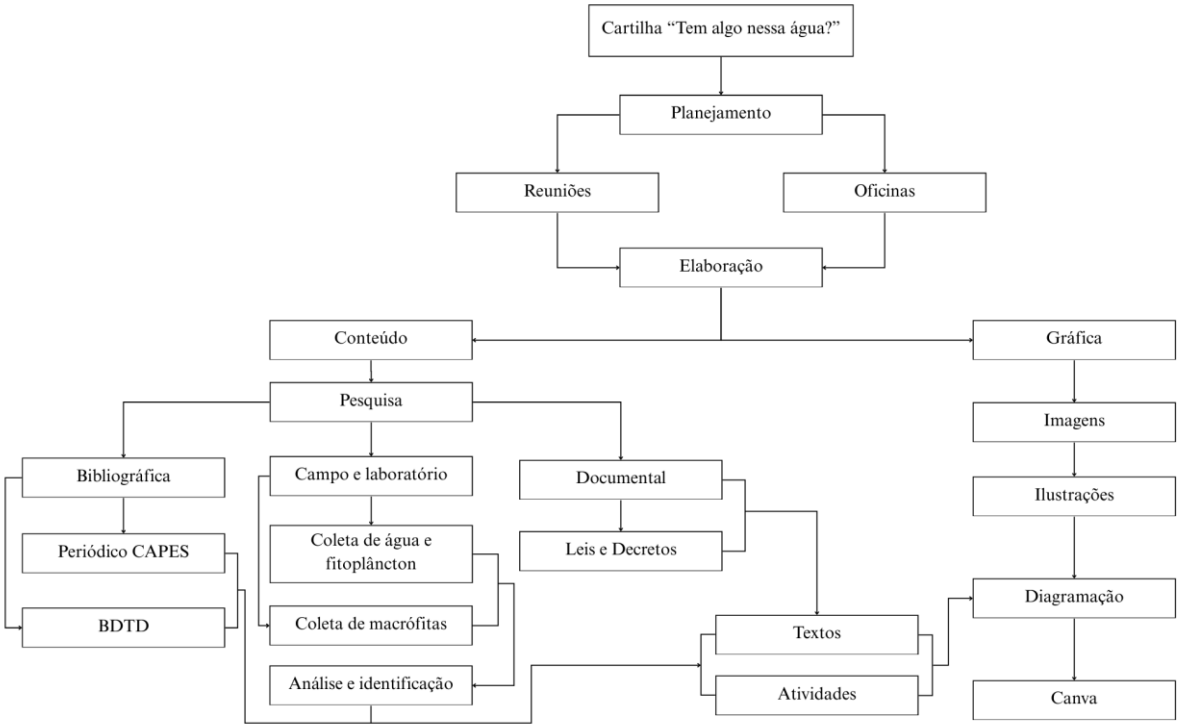
Considerando o escopo interativo e informativo do material, foram criados e adaptados atividades, jogos, histórias e lendas locais. Os passatempos da cartilha foram desenvolvidos com a finalidade de retomar, de maneira lúdica, os conteúdos previamente abordados. Nesse sentido, propuseram-se diferentes tipos de atividades, como ilustrações para colorir, caça-palavras (em níveis fácil e difícil), palavras-cruzadas, criptogramas, labirinto, entre outras.

No que concerne às atividades e ilustrações, considerou-se os aspectos pedagógicos (objetivo didático claro e adequação à faixa etária), cognitivos e motores (desenvolvimento da coordenação motora, clareza visual e à criatividade), bem como aspectos técnicos (qualidade do traço e dimensionamento adequado). Parte das fotografias foi obtida por meio de câmeras digitais de celulares e equipamentos convencionais, enquanto outras foram adaptadas a partir de microscópios ópticos e drones. Para a criação das ilustrações, utilizaram-se os *softwares* Adobe Illustrator 2021 e ibisPaint, enquanto a edição das imagens autorais foi realizada no *software* Adobe Photoshop 2021. A formatação e a diagramação da cartilha foram feitas por meio da plataforma *online* de *design* e comunicação visual Canva, disponível em: https://www.canva.com/.

Ressalta-se que este estudo contempla as duas primeiras fases do processo de construção da cartilha: a fase de planejamento e a fase de elaboração. Essas etapas ocorreram por meio de reuniões e oficinas realizadas pelos autores, no período de setembro de 2024 a dezembro de 2025, com frequência quinzenal. A fase de validação do material produzido será desenvolvida

posteriormente e, por esse motivo, sua efetividade será discutida com base em estudos semelhantes ao aqui apresentado. Por fim, a fim de sintetizar os processos de elaboração do presente material didático, foi desenvolvido um fluxograma que representa as etapas de criação, conforme ilustrado na figura 1.

Figura 1: Fluxograma de criação da cartilha "Tem algo nessa água?".



Fonte: Elaborado pelos autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto à diagramação, a cartilha foi finalizada no formato A5 (148 x 210mm), utilizando-se a fonte *Balsamiq Sans*, tamanho 22 nos títulos das seções, e *Poppins*, nos tamanhos 14 e 12, no corpo do texto, totalizando 83 páginas. A integração entre o design gráfico e o levantamento bibliográfico possibilitou a elaboração de um material visualmente atrativo, com uso abundante de cores, diversas ilustrações e leitura fluida. A cartilha foi publicada em formato digital, com acesso disponível por meio do link: https://1drv.ms/f/c/aab7f58f43b92a51/IgAg2UgQXsnsTZt9l5j7Q1usAYKG12RUtRIZpXOGCHbOF4o?e=WN5Ddy, ou pelo QR Code apresentado na Figura 2.

Figura 2: *QR Code* para acesso à Cartilha intitulada "Tem algo nessa água?"



Fonte: Elaborado pelos autores.

A revisão bibliográfica, a análise dos trabalhos científicos, as informações obtidas por meio de pesquisas de campo e laboratoriais, bem como as reuniões de planejamento e as oficinas voltadas à produção do material, subsidiaram a organização da cartilha contemplando os temas: Lagoas costeiras; Precipitação; Nutrientes; Fitoplâncton; Macrófitas aquáticas; Relações tróficas. Na tabela 1 são descritos de forma resumida, os conteúdos e as atividades que compõem cada um dos capítulos, assim como outros pontos que foram inseridos no material.

Tabela 1. Apresentação dos conteúdos, atividades e demais elementos da cartilha intitulada "Tem algo nessa água?".

Capítulos	*Conteúdos*	*Atividades*	*Outros*
I - Lagoas costeiras	✓ Conceito de lagoas costeiras; ✓ Informações regionais sobre a região litorânea do estado do Piauí em especial sobre as três principais lagoas costeiras do referido estado (Lagoa do Portinho, Sobradinho e Santana), com foco nos seguintes aspectos: localização, tipo de formação, principais usos, bem como curiosidades relacionadas aos ambientes; ✓ Tutorial para elaboração de um cordel.	✓ Caça-palavras; ✓ Imagens para colorir; ✓ Jogo dos sete erros; ✓ Espaço destinado a ilustração e construção de um cordel.	✓ A Lenda da Macyrajara; ✓ Fotos das lagoas.
II - Precipitação	✓ Abordagem integrada e acessível sobre os caminhos da água na natureza, com foco nos processos que compõem o ciclo hidrológico e os tipos de precipitação; ✓ Apresentação sobre a dinâmica temporal da chuva no estado do Piauí/Brasil.	✓ Imagens para colorir; ✓ Espaço para desenhar.	✓ Sugestão de vídeo de esportes praticados na lagoa.
III - Nutrientes	✓ Conceito de nutrientes e sua importância para os seres vivos, em especial para os organismos aquáticos, com breve apresentação acerca dos principais nutrientes dissolvidos na água.	✓ Imagens para colorir; ✓ Cruzadinha.	✓ Apresentação indireta da representação dos elementos e fórmulas químicas.
IV - Fitoplâncton	✓ Abordagem conceitual sobre fitoplâncton, enfatizando também aspectos como: formas de vida, diversidade, estratégias ecológicas e importância ambiental; ✓ Apresentação resumida sobre coleta e análise dos organismos que compõem o fitoplâncton; ✓ Apresentação das principais espécies de macrófitas aquáticas encontradas nas lagoas costeiras do Portinho, Sobradinho e Santana.	✓ Ligar pontos por meio de uma sequência numérica; ✓ Caça - palavras; ✓ Identificar a sombra;	✓ Desenho esquemático acerca da metodologia para análise do fitoplâncton; ✓ Fotos diversas de grupos de microalgas e das cianobactérias, bem como ocorre a coleta desses microrganismos.
V - Macrófitas aquáticas	✓ Conceito de macrófitas aquáticas, enfatizando também aspectos como forma de vida e importância para os ecossistemas aquáticos; ✓ Apresentação das principais espécies de macrófitas aquáticas encontradas nas três lagoas costeiras (Portinho, Sobradinho e Santana); ✓ Exposição sobre Herborização: importância e processos relacionados.	✓ Imagens para colorir; ✓ Criptograma.	✓ Desenho focado nas diversas formas de vida das macrófitas; ✓ Fotos de diversos grupos de macrófitas encontradas na região norte do estado do Piauí, bem como sobre etapas relacionadas à herborização.

VI - Relações tróficas	✓ Conceitos sobre níveis tróficos, cadeia alimentar e fluxo de energia na natureza;	✓ Cruzadinha; ✓ Imagens para colorir; ✓ Jogo de associação entre as palavras e seus respectivos conceitos.	✓ Desenho esquemático focado nos níveis tróficos existes na natureza; ✓ Desenho relacionado a pirâmide de energia.
VII - Ações antrópicas e de conservação	✓ Conceito de ações humanas; ✓ Tipos de ações antrópicas mais comumente encontradas no litoral do Piauí e suas consequências para natureza; ✓ Relação entre a urbanização e o processo de eutrofização; ✓ Apresentação sobre os principais objetivos de desenvolvimento sustentável propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU), ligados à temática Água. ✓ Conceito de unidades de conservação e suas denominações. ✓ Conhecer as unidades de conservação de uso sustentável no litoral do Piauí.	✓ Identificar os tipos de ações antrópicas; ✓ Caça – palavras; ✓ Elencar Top 10 hábitos de minhas ações para conservação.	✓ Fotos enfatizando a urbanização nos ecossistemas aquáticos. ✓ Fotos enfatizando a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos oferecidos dos ecossistemas aquáticos.
VIII – Comunidades tradicionais	✓ Conceito de comunidades tradicionais; ✓ Comunidades e suas respectivas atividades econômicas desenvolvidas no litoral do Piauí.	✓ Imagens para colorir;	✓ Vídeos produzidos com comunidades do litoral do Piauí.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A partir dos dados apresentados na Tabela 1, observa-se que a cartilha contempla conteúdos diversos e complementares, alinhados às unidades temáticas “Vida e Evolução”, da área de Ciências da Natureza (Ensino fundamental), e “Vida, Terra e Cosmos”, da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, (Ensino Médio), conforme proposto pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (Brasil, 2018). Tal alinhamento é relevante, considerando que o material tem como público-alvo estudantes da educação básica, cujo percurso formativo deve ser alicerçado nas diretrizes estabelecidas por esse documento normativo.’

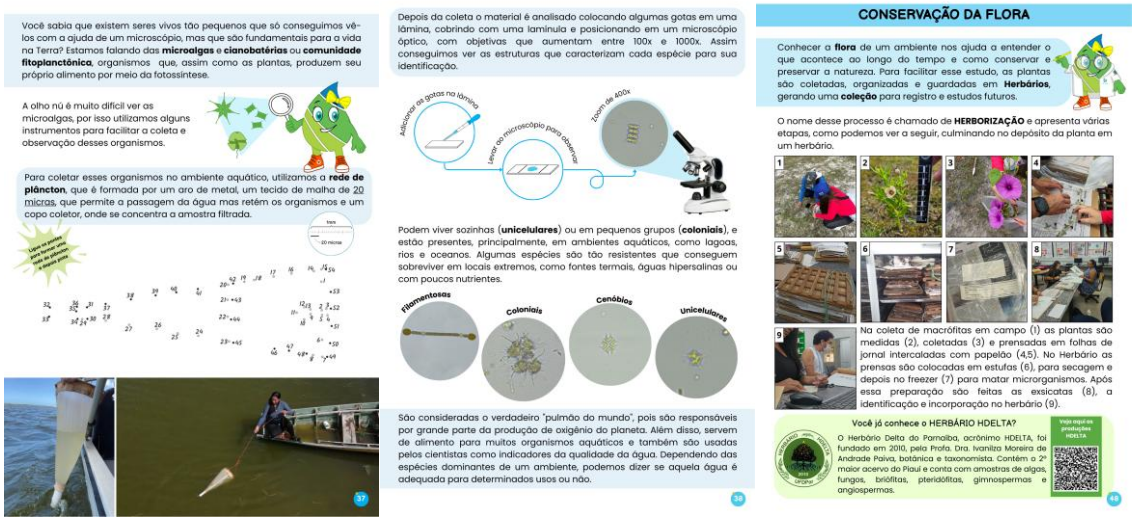
De acordo com a Resolução nº 2 do Conselho Nacional de Educação CNE/CP de 15 de junho de 2012, as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Básica reconheceram a relevância e a obrigatoriedade da Educação Ambiental em todas as etapas e modalidades de ensino. Entretanto, Oliveira e Neiman (2020) afirmam que a BNCC carece de estratégias e tópicos norteadores voltados à educação ambiental.

Nesse sentido, a cartilha “Tem algo nessa água?” foi construída com base em temáticas transversais, como a formação de valores sociais sob a ótica ambiental, práticas de preservação do meio ambiente e estímulo a ações sustentáveis, podendo ser utilizada como instrumento de fortalecimento de atividades de educação ambiental em diferentes contextos educativos.

A inserção de dados e informações científicas oriundas de pesquisas de campo e laboratoriais incluiu, neste estudo, conteúdos relacionados aos métodos e técnicas de coleta e identificação do fitoplâncton e das macrófitas aquáticas (Figura 3). A contribuição dessas informações reside no potencial de despertar, especialmente nos estudantes da educação básica, o interesse em conhecer e “dominar processos, práticas e procedimentos da investigação científica, de modo a sentir segurança no debate de questões científicas, tecnológicas, socioambientais e do mundo do trabalho[...].” (Brasil, 2018, p. 324).

Segundo Guimarães (2009), o conhecimento científico circula por duas vias principais: a primeira ocorre no âmbito da comunidade científica, de especialistas para especialistas; a segunda busca alcançar a sociedade em geral, contemplando o público que aguarda os resultados da ciência. Nessa perspectiva, a divulgação científica pode ocorrer por diferentes meios, entre os quais se destacam as cartilhas temáticas, que assumem um papel relevante ao articular informação científica e linguagem acessível, com viés educativo e formativo.

Figura 3. Procedimento de coleta do fitoplâncton e de macrófitas aquáticas, desde as etapas iniciais até a identificação das espécies.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Alves, Gutjahr e Pontes (2019) consideram que as cartilhas podem ser importantes ferramentas de popularização científica quando elaboradas de forma acessível a diferentes públicos. Diante de suas múltiplas possibilidades de aplicação, esses materiais também podem contribuir para a sensibilização dos sujeitos leitores em distintos contextos educativos, tanto formais quanto não formais, acerca de problemáticas locais, como o desmatamento, o descarte inadequado de resíduos sólidos e de outros materiais nas lagoas, entre outros impactos socioambientais.

Outro aspecto relevante refere-se à inserção, na cartilha “Tem algo nessa água?” de informações de cunho regional, especificamente aquelas relacionadas às lagoas costeiras do Portinho, Sobradinho e Santana (Figura 4). Destacam-se, ainda, os dados sobre espécies fitoplanctônicas e de macrófitas aquáticas encontradas nesses ambientes (Figura 3), os quais ainda são considerando na literatura científica (Souza, *et al*., 2025).

A elaboração de cartilhas que abordem realidades específicas de determinados ambientes e/ou regiões mostra-se especialmente relevante, sobretudo quando se propõe a tratar de temas que subsidiam ações de educação ambiental voltadas à conservação e/ou preservação desses ecossistemas. Isto ocorre porque as informações divulgadas tendem a apresentar, com maior profundidade, as particularidades e singularidades dos locais estudados.

Nesse sentido, Alves, Gutjahr e Pontes (2019), e Gonçalves, Monteiro-Alves e Pereira (2023) reforçam que as cartilhas se configuram como ferramentas capazes de ampliar o acervo científico e bibliográfico de um determinado contexto, a partir de estudos interdisciplinares desenvolvidos *in loco*. Esses materiais possibilitam não apenas o (re)conhecimento da realidade pelos próprios moradores, mas também por outros atores sociais, como representantes do poder ´público, favorecendo a atuação conjunta em prol do bem-estar socioambiental.

Figura 4. Informações das lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, localizadas no estado do Piauí, Brasil.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Quando se considera o contexto da educação básica, especialmente no que concerne aos desafios enfrentados na prática docente, observa-se, conforme Vieira e Costa (2022), que entre as inúmeras dificuldades enfrentadas pelos professores, sobretudo da rede pública, destaca-se a escassez de materiais didáticos adequados à realidade dos estudantes, que contemplan sua cultura, crenças e linguagem. Esse aspecto torna-se ainda mais relevante ao se considerar que cada região do Brasil apresenta hábitos e características próprias. Ainda segundo esses autores:

> "o livro didático, por ser um recurso um pouco limitado e muitas vezes o único disponível, nem sempre apresenta uma abordagem adaptada às características regionais. Esse distanciamento da realidade social e cultural do aluno dificulta a aprendizagem de conceitos, muitas vezes abstratos, mas que são essenciais para a formação de um cidadão crítico e consciente." (Vieira; Costa, 2022, p.170).

A desconexão entre o currículo, os conteúdos de Ciências e a realidade dos estudantes compromete o engajamento discente, dificultando a construção de uma aprendizagem significativa. Nesse sentido, torna-se necessário investir em políticas públicas que estimulem a produção de materiais didáticos regionalizados, bem como na formação continuada dos docentes para o trabalho com essas especificidades (Sousa *et al*., 2025).

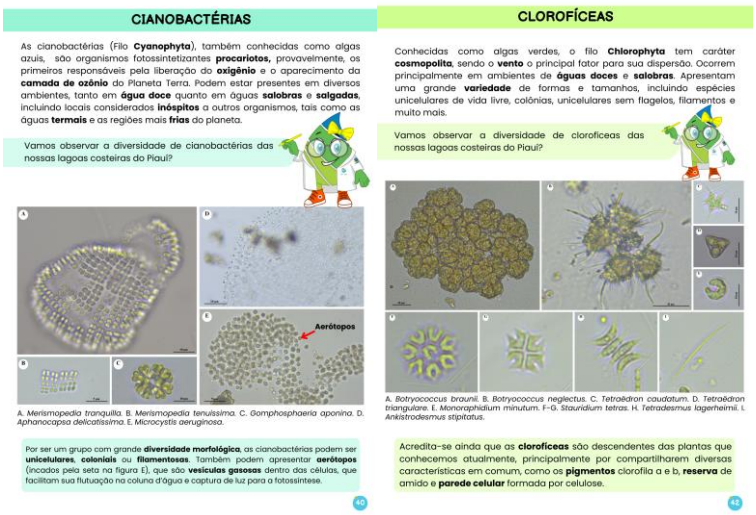
As cartilhas emergem, nesse contexto, como instrumentos aliados ao processo de ensino-aprendizagem. Gomes, Freitas e Figueiredo (2024), ao pesquisar sobre o uso de materiais didáticos como recursos metodológicos para o ensino de educação ambiental, considerou que, dependendo do seu manuseio, a cartilha pode se configurar como uma estratégia metodológica eficaz em sala de aula, desde que respeite o contexto sociocultural em que o estudante está inserido, bem como sua faixa etária.

Autores como Silva e Costa (2021) e Miranda *et al*. (2023), validaram e reconheceram o potencial educativo de cartilhas cujos conteúdos se relacionam à temática água e/ou ao meio ambiente. Vieira e Costa (2022), ao avaliarem o potencial didático de uma cartilha sobre eutrofização elaborada com abordagem contextualizada para a região semiárida, também constataram sua eficácia:

> "...no sentido de sensibilizar os participantes, caracterizando uma prática dinâmica e diferenciada de aprendizagem, por oportunizar aos alunos repensarem as atitudes de respeito e cuidado com o meio ambiente, contando ainda com a oportunidade de aprender os conteúdos disciplinares a partir de sua realidade e vivência ambiental (Vieira; Costa, 2022, p. 182)."

Outro aspecto a ser destacado refere-se à diversidade de atividades propostas na cartilha, concebidas com o intuito de favorecer a interação e o processo de ensino-aprendizagem, bem como à presença expressiva de imagens, incluindo nça expressiva de imagens, incluindo ilustrações de caráter científico (Figura 5), cuidadosamente elaboradas com o propósito de ampliar a compreensão acerca dos conteúdos abordados.

Figura 5. Conceitos e imagens de cianobactérias, microalgas e macrófitas aquáticas encontradas nas lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, Piauí, Brasil.





Fonte: Elaborado pelos autores.

As imagens científicas compreendem diferentes formas de representação, como fotografias, quadros e pinturas artísticas e esquemas, entre outras, relacionadas a aspectos do conhecimento específico (Callegario *et al*., 2017). Para Belz (2017), a fotografia pode contribuir para um trabalho científico da mesma maneira que um gráfico ou uma tabela, com a vantagem de registrar "[...] temas que são muito pequenos, muito distantes, muito rápidos ou muito difíceis de ver a olho nu, registro de aspectos físicos e ecológicos de ambientes naturais e seres vivos e para registros antropológicos" (Belz, 2011).

No contexto educacional, a fotografia surge como um grande potencializador, fato corroborado por Silva e Aoyama (2021), ao analisarem seu uso no processo de ensino-aprendizagem em botânica. Para as autoras, a imagem fotográfica configura-se como uma importante fonte de aprendizagem, não apenas para essa área específica, mas também para diferentes campos do conhecimento, destacando que a concepção de linguagem fotográfica ultrapassa a simples observação de uma imagem estática. Seu uso pode aguçar o olhar de estudantes e professores sobre diversas temáticas, além de favorecer a consolidação de determinados conhecimentos e, inclusive, ser empregada em processos avaliativos.

Sob a perspectiva da educação ambiental, compreende-se que a cartilha aqui apresentada também se configura como um importante instrumento de sensibilização socioambiental, por apresentar não só aspectos relevantes no que concerne à biodiversidade aquática, às relações ecológicas estabelecidas nesses ambientes e às consequências das ações antrópicas sobre elas. Ademais, conforme ilustrado na figura 6, o material convida os leitores a conhecerem alguns dos principais problemas ambientais existentes na região Norte do estado do Piauí, considerando, inclusive, possíveis alternativas para seu enfrentamento.

Além disso, a cartilha faz referência a alguns dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU), o que pode contribuir ainda que de forma pontual, para o fortalecimento da participação social dos sujeitos em ações voltadas à preservação ambiental. Indivíduos informados tendem a ser mais conscientes, quanto ao seu papel como cidadãos e, consequentemente, a atuar de forma mais crítica, engajada e responsável, seja por meio da cobrança por políticas públicas eficazes, seja pela adoção de práticas sustentáveis em seu cotidiano.

Figura 6. Capa do capítulo e conceitos relacionados às ações antrópicas e de conservação, bem como aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) apresentados na cartilha.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Para Guilherme *et al*. (2021), a "formação do sujeito socioambiental é urgente, pois contribuirá para melhoria da relação entre o ser humano e o ambiente, bem como a qualidade de vida dos seres vivos e do planeta". Ainda segundo os autores, as ações ambientais são frequentemente pensadas de forma globalizada, em detrimento do enfrentamento das

problemáticas locais, sendo que apenas a partir da compreensão e da resolução dessas questões em escala local o indivíduo se torna apto a buscar soluções mais amplas para a melhoria ambiental.

Na cartilha, observa-se também que a personagem “Léia” foi utilizada de forma estratégica como representante visual da temática que orienta todo o conteúdo do material, neste caso, a água. Sua identidade visual foi elaborada com base na logomarca do Laboratório de Ecologia Aquática (LEA/UFDPar) (Figura 7). A personagem foi concebida como um recurso pedagógico mediador, com a finalidade de facilitar os processos de interação e comunicação com os leitores, bem como de organizar e orientar a apresentação das informações ao longo da cartilha.

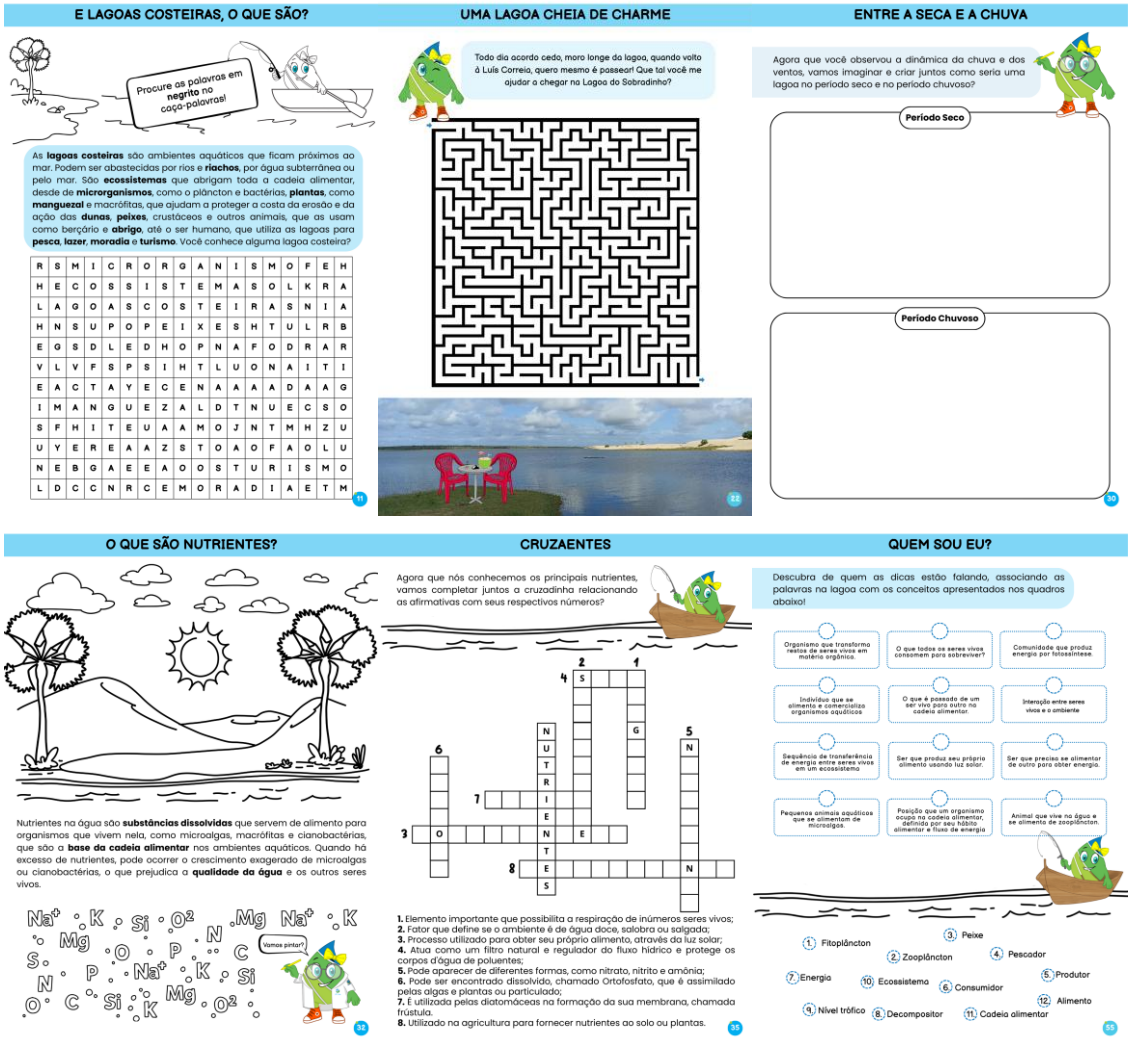
Figura 7. Personagem Léia e algumas de suas expressões representadas na cartilha.



Fonte: Ilustrado por Luan Rodrigues (2026).

Outro aspecto relevante refere-se ao uso da personagem como instrumento de apoio para orientar no desenvolvimento das atividades propostas em cada capítulo, empregando uma linguagem ativa, com o intuito de incentivar atitudes propositivas e facilitar a compreensão das informações (Figura 8). Essa estratégia reforça não apenas o caráter informativo do material, mas também sua dimensão educativa e criativa, uma vez que, em diversas atividades o leitor é convidado a exercitar sua criatividade, respeitando a temática proposta pela cartilha.

Figura 8. Exemplos da Léia dialogando e instruindo o leitor para a realização das atividades.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Considerando-se a relevância cultural e histórica da região, optou-se por inserir, no corpo do material, um cordel idealizado com o propósito de trazer mais ludicidade para à cartilha e estimular a imaginação dos leitores. Para isso, foi selecionada uma lenda popular amplamente conhecida e valorizada na região, relacionada à criação do rio Portinho e, consequentemente, da lagoa que recebe o mesmo nome.

Além disso, o cordel foi compreendido como uma importante ferramenta para o desenvolvimento do letramento literário dos leitores, por se tratar de um gênero textual culturalmente contextualizado com a região onde se localizam as lagoas. Santiago *et al.* (2025) afirmam que, entre as múltiplas possibilidades didáticas, o cordel se destaca como uma ferramenta pedagógica profunda e transformadora, por constituir um repertório de linguagem e símbolos de acesso aberto, enraizado na cultura popular nordestina. Os autores consideram, ainda, que esse gênero literário é capaz de despertar a atenção e a compreensão dos estudantes,

ao proporcionar-lhes a oportunidade de refletir e ressignificar sua própria realidade, valorizando suas experiências culturais.

O material também incentiva o leitor a elaborar seu próprio cordel, por meio de um tutorial que apresenta, em linguagem simples, o passo a passo para sua produção. Com o intuito de enriquecer essa experiência criativa, foi incluído ainda um tutorial sobre a técnica da xilogravura, tradicionalmente associada ao cordel, como se ambas mantivessem uma relação de complementaridade (Rodrigues Filho, 2024). Conforme Miyoshi (2025, p.99), "o Cordel pode servir de mote para a introdução do ensino na gravura e das questões técnicas da xilogravura como meio artístico expressivo, mas se abre a outros desdobramentos".

Figura 9. A lenda da "Macyrajara" em forma de cordel e os tutoriais para a elaboração do cordel e da ilustração em xilogravura.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Assim, a cartilha "Tem algo nessa água?" perpassa temáticas irrelevantes no que se refere à divulgação científica de dados regionais e à construção de um olhar sensível às questões

ambientais. Ao se fundamentar em informações de caráter científico, o material possibilita que os leitores reflitam criticamente sobre suas vivências, atitudes, pensamentos e ações — tanto individuais quanto governamentais — relacionadas ao uso dos recursos naturais e às consequências decorrentes dessas práticas.

CONCLUSÕES

A cartilha "Tem algo nessa água?" incorporou, em sua construção, elementos estruturados com o propósito de divulgar a importância de conhecer, proteger e utilizar de forma sustentável os recursos naturais presentes nas lagoas costeiras, com foco nas lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana, no litoral do Piauí. O planejamento e a elaboração dos conteúdos e das atividades foram definidos a partir de reuniões e oficinas, fundamentados em revisão bibliográfica, análise de trabalhos científicos e em informações obtidas por meio de pesquisas de campo e laboratoriais.

Ao abordar conteúdos diversos, porém complementares e de caráter transversal, a cartilha apresenta alinhamento com as temáticas propostas pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC), ao mesmo tempo em que valoriza informações de cunho regional sobre as lagoas costeiras do Piauí, considerando sua dinâmica sazonal, as espécies fitoplanctônicas e de macrófitas aquáticas associadas a esses ambientes, cujos registros ainda são escassos na literatura científica.

As atividades foram elaboradas com o intuito de favorecer os processos de interação, aprendizagem, desenvolvimento psicomotor e letramento literário dos leitores, dentro da temática "água". Para isso, foram incorporadas imagens, como fotografias de organismos microscópicos, registros de procedimentos metodológicos e paisagens naturais além de informações científicas e tutoriais, voltados à construção do cordel e xilogravura. Todo esse conjunto foi mediado pela personagem Léia, que atuou como elemento orientador das propostas de forma leve e lúdica.

Ressalta-se, por fim, a importância da produção de materiais didáticos de caráter regional que complementem a divulgação do conhecimento em temáticas ambientais, considerando as particularidades sociais, culturais, econômicas e ambientais existentes no território brasileiro. Destaca-se, ainda, a necessidade de incentivo, por meio de políticas públicas, à elaboração desses materiais, bem como à formação continuada de professores, a fim de que possam atuar de maneira contextualizada frente às especificidades locais.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida à primeira autora, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa produtividade em pesquisa concedida a segunda autora, aos ilustradores Luan Rodrigues e Taiane Oliveira, à cordelista Laís Costa e demais colaboradores na construção da cartilha.

REFERÊNCIAS

ALVES, R. J. M.; GUTJAHR, A. L. N.; PONTES, A. N. Processo metodológico de elaboração de uma cartilha educativa socioambiental e suas possíveis aplicações na sociedade. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 69-85, 2019. Disponível em: https://periodicos.unifesp.br/index.php/revbea/article/view/2595/6969. Acesso em: 12 jan. 2026.

BELZ C. E. 2011. **"A Fotografia Científica"**. Site Fotografia Científica. Disponível em: http://www.fotocientifica.com/2011/08/fotografia-cientifica.html. Acesso em: 8 jan. 2026.

BELZ, C. E. A Fotografia como ferramenta de Ensino e Divulgação Científica. **Revista de Fotografia Científica Ambiental**, v. 1, n. 1, p. 26–29, 2017. Disponível em: https://www.e-publicacoes.uerj.br/rfca/article/view/30563/21833. Acesso em: 29 dez. 2025.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br. Acesso em: 27 jan. 2026.

CAIMI, F. E. O livro didático de história e suas imperfeições: repercussões do PNLD após 20 anos. *In*: ROCHA, H. A. B.; REZNIK, L.; MAGALHÃES, M. (org.). **Livros didáticos de História**: entre políticas e narrativas. Rio de Janeiro: Ed. FGV, v. 1, p. 23- 45, 2017. Acesso em: 24 dez. 2025.

CALLEGARIO, L. J. *et al*. As Imagens Científicas como Estratégia para a Integração da História da Ciência no Ensino de Ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 17, n. 3, p. 835–852, 2017. Disponível em: https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4528. Acesso em: 22 jan. 2026.

CARVALHO, L. C. Construção de cartilha educativa: a flora amazônica da reserva São Geraldo Magela. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, São Paulo, v. 19, n. 5, p. 384-395, 2024. Disponível em: https://periodicos.unifesp.br/index.php/revbea/article/view/16140/12792. Acesso em: 14 dez. 2025.

DIAS, R. Impactos climáticos em ecossistemas costeiros. **Revista Sociedade Científica**, [*s. l.*], v. 7, n. 1, p. 426–454, 2024. Disponível em: https://revista.scientificsociety.net/wp-content/uploads/2024/01/Art.27-2024.pdf. Acesso em: 17 jan. 2026.

ESTEVES, F. de A. **Fundamentos de Limnologia**. 3 ed. Interciência, Rio de Janeiro, v. 790, 2011.

GOMES, M. J. P. O.; FREITAS, F. A. M.; FIGUEIREDO; K. S. L. Materiais didáticos como recursos metodológicos para o ensino de educação ambiental: uma revisão sistemática. **Revista Sergipana de Educação Ambiental**, v. 11, p. 1–31, 2024. Disponível em: https://periodicos.ufs.br/revisea/article/view/19108/15707. Acesso em: 19 dez. 2025.

GONÇALVES, J. P.; MONTEIRO-ALVES, R. J.; PEREIRA, J. A. B. Como estão sendo produzidas as cartilhas em Educação Ambiental no Brasil?. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 18, n. 7, p. 269–286, 2023. Disponível em: https://periodicos.unifesp.br/index.php/revbea/article/view/15135/11343. Acesso em: 12 jan. 2026.

GUILHERME, B. C. *et al*. Educação socioambiental na escola: olhares sustentáveis sobre os resíduos oriundos da pesca e mariscagem. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 9, n. 1, 2021. Disponível em: https://zenodo.org/records/4558386. Acesso em: 19 nov. 2025.

GUIMARÃES, E. Linguagem e conhecimento: produção e circulação da ciência. **RUA**, Campinas, SP, v. 15, n. 2, p. 6–14, 2015. Disponível em: https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rua/article/view/8638851. Acesso em: 19 dez. 2025.

HOFFMANN, T.; WARRALL, L. Designing effective written health education materials: considerations for health professionals. **Disabil Rehabil**, v.26, n.9, p.1166-1173, 2004.

LANES, D. M.; ANDRADE, F. M. R.; MIRANDA, J. C. Abordagens educativas da água e bncc: potencialidades pedagógicas de uma cartilha didática. **Revista Ciência Geográfica**, *[s. l.]*, v. 26, n. 3, p. 1675–1704, 2022. Disponível em: https://ppg.revistas.uema.br/index.php/cienciageografica/article/view/3087/2156. Acesso em: 15 nov. 2025.

MARCONI, M. A; LAKATOS, E. M. **Fundamentos da Metodologia Científica**. São Paulo: Editora Atlas, 2003.

MIRANDA, S. B. A. *et al*. O uso da cartilha como Instrumento de Educação Ambiental para a bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 260–285, 2023. Disponível em: https://periodicos.unifesp.br/index.php/revbea/article/view/14708/10482. Acesso em: 22 dez. 2025.

MIYOSHI, E. R. A. Xilogravura e cordel: imaginário poético para práticas multidisciplonares. In: DOMÍNGUEZ-LLORIA, S.; TORO; W. O. D.; VÉREZ, V. M. (org.). **Arte, cultura y creatividad em la transformación interdisciplinaria de lo social y educativo.** Madrid: Dykinson. 1 ed. 2025, p. 94-122. Disponível em: https://www.dykinson.com/libros/arte-cultura-y-creatividad-en-la-transformacion-interdisciplinaria-de-lo-social-y-educativo/9791370062767/. Acesso em: 17 nov. 2025.

OLIVEIRA, L.; NEIMAN, Z. Educação Ambiental no Âmbito Escolar: Análise do Processo de Elaboração e Aprovação da Base Nacional Comum Curricular (BNCC). **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 15, n. 3, p. 36–52, 2020. Disponível em:

https://periodicos.unifesp.br/index.php/revbea/article/view/10474/7735. Acesso em: 22 set. 2025.

RODRIGUES FILHO, J. Detentoras da memória: uma proposta metodológica de análise das imagens no cordel. *In*: RIBEIRO, M. F. B.; MELO, A. D. (org.). **Patrimônio Cultural e Memória no MERCOSUL**. 1ed. Foz do Iguaçu: CLAEC e-Books, 2024, v. 1, p. 84-96. Disponível em: https://publicar.claec.org/editora/pt_BR/catalog/book/131. Acesso em: 12 jan. 2026.

SANTIAGO, I. C. *et al*. O cordel como recurso pedagógico no desenvolvimento da leitura e escrita nas aulas de língua portuguesa do 7º ano do Ensino Fundamental na escola municipal Padre Sampaio em José de Freitas – PI. **Revista Sistemática**, v. 15, n. 12, p. e8680, 2025. Disponível em: https://sevenpubl.com.br/RCS/article/view/8680/14680. Acesso em: 5 jan. 2026.

SILVA, M. G. L.; COSTA, V. S. O. Água, conhecimento e ação local: cartilha como instrumento de aprendizagem. **Revista Sergipana de Educação Ambiental**, v. 8, n. Especial, p. 1–19, 2021. Disponível em: https://periodicos.ufs.br/revisea/article/view/15514/11786. Acesso em: 27 nov. 2025.

SILVA, V. T.; AOYAMA, E. M. Desafio da imagem: uso da fotografia no processo de ensino-aprendizagem de botânica. **Revista de Ensino de Biologia da SBEnBio**, v. 14, n. 1, p. 616–638, 2021. Disponível em: https://renbio.org.br/index.php/sbenbio/article/view/391/176. Acesso em: 17 jan. 2026.

SOUSA, S. B. *et al*. Desafios e estratégias no ensino de ciências na região Norte do Brasil. **Lumen et Virtus**, v. 16, n. 50, p. 7986–8001, 2025. Disponível em: https://periodicos.newsciencepubl.com/LEV/article/view/6302/8817. Acesso em: 17 jan. 2026.

SOUZA, A. S.; JESUS, T. B.; SANTOS, L. T. S. O. Cartilha educativa com propostas de inserção das lagoas de Feira de Santana no ensino de Ciências. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 27–45, 2021. Disponível em: https://periodicos.unifesp.br/index.php/revbea/article/view/11563/8823. Acesso em: 13 dez. 2025.

SOUZA, G. S. *et al*. Análise da dinâmica espaço-temporal dos espelhos d'água de lagoas costeiras do Piauí por sensoriamento remoto. **Geoconexões**, *[s. l.]*, n. 21, p. e1830411, 2025. Disponível em: https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/geoconexoes/article/view/18304/4626. Acesso em: 1 out. 2025.

VIEIRA, P. C. S.; COSTA, I, A, S. Avaliação de cartilha educativa adaptada ao semiárido e divulgação científica para percepção socioambiental. *In*: COSTA, I, A, S; SANTOS, A. de S. **Ensino de Ciências para Cidadania:** contribuições para a formação de professores. Mossoró, RN: Edições UERN, 2022. p. 170-184. Disponível em: https://portal.uern.br/wp-content/uploads/sites/14/2024/10/E-book-Ensino-de-Ciencias-para-Cidadania_-contribuicoes-para-a-formacao-de-professores-.pdf#page=170. Acesso em: 16 nov. 2025.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo evidenciou a influência da sazonalidade, das variáveis ambientais e das ações antrópicas na diversidade e dinâmica ambiental das Lagoas do Portinho, Sobradinho e Santana. O uso de ferramentas de geoprocessamento permitiu a compreensão do impacto de eventos climáticos extremos e sazonais na variação da lâmina d'água, bem como a percepção da redução dos índices pluviométricos ao longo das últimas décadas, mostrando a sensibilidade desses ambientes às mudanças climáticas. Apesar da recuperação de área, os efeitos das ações antrópicas na alteração da paisagem, no barramento de afluentes e crescimento urbano desordenado também desempenharam um papel importante na modificação da dinâmica das lagoas.

A sazonalidade da chuva e do vento foi o maior estruturador das condições físicas, químicas e biológicas das lagoas, influenciando na limitação de luz, na entrada e ressuspensão de compostos orgânicos e inorgânicos, e aumento dos valores de coliformes termotolerantes, devido a proximidade com áreas urbanas em determinados pontos.

Tanto o levantamento florístico de macrófitas quanto o registro de táxons do fitoplâncton demonstraram elevada heterogeneidade entre as lagoas, principalmente por suas diferenças de abastecimento e gradiente de salinidade, apesar de ainda possuírem uma certa conectividade, em relação a composição de espécies. A Lagoa do Sobradinho destacou-se com a maior riqueza de táxons e similaridade, enquanto a Lagoa da Santana apresentou maior diferença florística e menor diversidade, possivelmente assosciada ao nível elevado de salinidade e de impacto urbano em seu entorno. A dominância de cianobactérias e elevado estado trófico das lagoas demonstram um cenário de elevada produtividade e potencial risco de degradação da qualidade da água, principalmente no período chuvoso.

A partir dos dados coletados e interpretados, foi possível uma ampliação do conhecimento sobre a região litorânea do Piauí, dando base para a construção da cartilha "Tem algo nessa água?", contribuindo para a divulgação e formação sobre a importância da conservação e monitoramento das lagoas.

Destaca-se ainda a importância do monitoramento da dinâmica ambiental das lagoas, e recomenda-se a continuidade de estudos integrando abordagens temporais, variáveis limnológicas adicionais e análises ecológicas mais amplas, bem como o fortalecimento de ações de educação ambiental, como a produção de materiais didáticos regionais, capazes de aproximar o conhecimento científico da sociedade e contribuir para a conservação das lagoas costeiras do Piauí.

APÊNDICE A – CARTILHA "TEM ALGO NESSA ÁGUA?"

Link de acesso:
https://1drv.ms/f/c/aab7f58f43b92a51/IgAg2UgQXsnsTZt9l5j7Q1usAYKG12RUtRIZpXOGCHbOF4o?e=WN5Ddy



ANEXO A – PUBLICAÇÃO ARTIGO ANÁLISE DA DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DOS ESPELHOS D'ÁGUA DE LAGOAS COSTEIRAS DO PIAUÍ POR SENSORIAMENTO REMOTO

Geoconexões

ANÁLISE DA DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DOS ESPELHOS D'ÁGUA DE LAGOAS COSTEIRAS DO PIAUÍ POR SENSORIAMENTO REMOTO

ANALYSIS OF THE SPATIAL-TEMPORAL DYNAMICS OF WATER MIRRORS OF COASTAL LAGOONS IN PIAUÍ BY REMOTE SENSING

ANÁLISIS DE LA DINÁMICA ESPACIO-TEMPORAL DE LOS ESPEJOS DE AGUA DE LAS LAGUNAS COSTERAS DE PIAUÍ MEDIANTE TELEDETECCIÓN

Giovanna Santos de Souza
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA)
Universidade Federal do Piauí (UFPI)
gih.ssouza@gmail.com

Vicente de Paula Sousa Junior
Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Goiás
Fundação Getúlio Vargas - Agro
vicentepsj@ufpi.edu.br

Maria Helena Alves
Universidade Federal do Piauí (UFPI)
malves@ufpi.edu.br

Ruceline Paiva Melo Lins
Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPar)
rucelinelins@ufdpar.edu.br

Ivanilza Moreira de Andrade
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA)
Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPar)
ivanilzamoreiraandrade@gmail.com

RESUMO
Os ambientes aquáticos costeiros apresentam dinâmicas que estão sujeitas às interferências decorrentes de fenômenos climáticos e ações antrópicas, passíveis de impactar na variação de espelhos e cursos d'água, bem como na qualidade hídrica desses ecossistemas. Nesse contexto, objetivou-se com o presente estudo analisar, por meio de Sensoriamento Remoto, a dinâmica sazonal dos espelhos d'água de lagoas costeiras localizadas na região norte do estado do Piauí, como subsídio para a gestão e conservação desses ambientes. Foram selecionadas três lagoas, situadas em municípios litorâneos do estado do Piauí, para a aplicação do *Normalized Difference Water Index* (NDWI), visando comparar a variação da área superficial da água das lagoas no período chuvoso e seco, no período de 2013 a 2023. Observou-se que a influência do fenômeno *El Niño* e a redução dos índices de precipitação pluviométrica da região, somados ao barramento de rios tributários das lagoas, ocasionaram a perda de até 43% de área nas lagoas. Após o período de menor pluviosidade, entre 2013 a 2017, houve a recuperação de área das lagoas do Portinho e Sobradinho, com ganhos superiores ao estágio inicial em 2013, enquanto na lagoa da Santana ocorreu diminuição de área. Conclui-se que a variação de área das lagoas esteve relacionada, principalmente, aos eventos climáticos extremos e às ações antrópicas na região. O uso do Sensoriamento Remoto mostrou-se eficiente para compreensão e monitoramento da dinâmica sazonal, gerando dados necessários à gestão para conservação desses ambientes.

PALAVRAS-CHAVE: sazonalidade; eventos climáticos; NDWI.

ABSTRACT
Coastal aquatic environments have dynamics that are subject to interference from climatic phenomena and human activity, which can impact the variation of water mirrors and watercourses, as well as the water quality of these

ANEXO B – COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DO ARTIGO FLORÍSTICA E DIVERSIDADE DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS EM LAGOAS COSTEIRAS DO PIAUÍ, BRASIL

Ecology and Evolution

Home

Author

Review

DO NOT USE YOUR BROWSER BACK BUTTON. TO EXIT THIS PAGE, PLEASE CLOSE YOUR BROWSER WINDOW OR CLICK ON THE RETURN TO DASHBOARD BUTTON, IF AVAILABLE.

Submission Confirmation

Print

Thank you for your submission

Submitted to
Ecology and Evolution

Manuscript ID
ECE-2026-03-00778

Title
Floristic Composition and Spatial Heterogeneity of Aquatic Macrophytes in Coastal Lagoons of Northeastern Brazil

Authors
Souza, Giovanna
Rodrigues, Elton
SILVA, MARIA FRANCILENE
Alves, Maria Helena
Lins, Ruceline
Andrade, Ivanilza

Date Submitted
20-Mar-2026