



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS**

MARCELO AGUIAR TÁVORA

**ÍNDICE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL DE LAGOAS COSTEIRAS DO
DISTRITO DA BALEIA, ITAPIPOCA-CEARÁ**

FORTALEZA

2025

MARCELO AGUIAR TÁVORA

ÍNDICE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL DE LAGOAS COSTEIRAS DO
DISTRITO DA BALEIA, ITAPIPOCA-CEARÁ

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências Marinhas Tropicais. Área de concentração: Ciência, Tecnologia e Gestão Costeira e Oceânica.

Orientador: Prof. Dr. Fábio de Oliveira Matos

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- T237Í Távora, Marcelo Aguiar.
Índice de vulnerabilidade ambiental de lagoas costeiras do distrito da Baleia, Itapipoca-Ceará /
Marcelo Aguiar Távora. – 2025.
104 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Programa de Pós-
Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza, 2025.
Orientação: Prof. Dr. Fábio de Oliveira Matos.
1. Gestão ambiental. 2. Conservação. 3. Impactos antrópicos. 4. Serviços ecossistêmicos. 5.
Sustentabilidade. I. Título.

CDD 551.46

MARCELO AGUIAR TÁVORA

ÍNDICE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL DE LAGOAS COSTEIRAS DO
DISTRITO DA BALEIA, ITAPIPOCA-CEARÁ

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhais Tropicais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências Marinhais Tropicais. Área de concentração: Ciência, Tecnologia e Gestão Costeira e Oceânica.

Aprovada em: xx/xx/xxxx.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fábio de Oliveira Matos (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Paulo Henrique Gomes de Oliveira Sousa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Mailton Nogueira da Rocha
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof. Dr. Otávio Augusto de Oliveira Lima Barra (UECE)
Universidade Estadual do Ceará

Profa. Dra. Janaina Melo Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais Marilda e Edson (*in memoriam*),
minha esposa Ítala e meus filhos Pedro, Sofia e
Mateus.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Fábio de Oliveira Matos, pela segurança que me passou, pelo rigor acadêmico, pela confiança em meu trabalho e pelos importantes ensinamentos ao longo desse processo. Obrigado por cada reunião, cada reflexão, conselho e por todo o apoio.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), ao Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhais Tropicais (PPGCMT) pela oportunidade e estrutura oferecidas.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFCE), instituição que me acolhe como servidor e que, por meio do Doutorado Interinstitucional (DINTER), me proporcionou a oportunidade de realizar esse sonho. Agradeço aos colegas do Campus Itapipoca pelo apoio e incentivo constantes.

Aos membros da banca examinadora, meus sinceros agradecimentos por aceitarem o convite de avaliarem esta tese e contribuir para o aprimoramento e qualidade do trabalho.

Ao IFCE Campus Acaraú, na pessoa do Prof. Davi de Holanda, pela disponibilização da estrutura do Laboratório de Aquicultura para as análises de qualidade da água. À comunidade do distrito da Baleia, em Itapipoca. Aos pescadores, bugueiros e moradores locais que compartilharam seu tempo, seu conhecimento e suas histórias, muito obrigado. Ao Instituto do Meio Ambiente do Município de Itapipoca (IMMI), em especial à Rita Caroline de Oliveira (Carol), pelo apoio e incentivo durante todo o processo.

Este doutorado foi atravessado por um dos maiores desafios sanitários da nossa geração, a pandemia de COVID-19. Em um período de incertezas e isolamento, que impôs inúmeras dificuldades ao desenvolvimento da pesquisa, foi na ciência que encontrei a esperança e a resposta. Agradeço e reverencio o trabalho de cientistas e profissionais da saúde em todo o mundo, cuja dedicação nos permitiu superar os momentos mais difíceis e seguir em frente. Que este trabalho, em sua pequena escala, reforce a importância do conhecimento científico para a sociedade.

Finalmente, meu mais profundo e sincero amor e gratidão à minha família. Aos meus pais, Marilda e Edson (*in memoriam*), por serem a base de tudo e por nunca me deixarem duvidar do meu potencial. À minha amada esposa, Ítala Araújo, companheira de todas as horas, agradeço por todo o amor, paciência, renúncia e por segurar as pontas nos momentos de ausência. Aos meus filhos, Pedro, Sofia e Mateus, fontes inesgotáveis de alegria e inspiração, que me lembravam diariamente o motivo de todo este esforço. Esta conquista não é só minha, é nossa!

“Eu sou uma árvore bonita que precisa ter os teus cuidados.” (Edson Gomes).

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo desenvolver um Índice de Vulnerabilidade Ambiental para Lagoas Costeiras (IVA-LC) no Distrito da Baleia, Itapipoca-Ceará, visando avaliar e monitorar a condição ambiental desses corpos hídricos, subsidiando políticas públicas e estratégias integradas de gestão. A pesquisa foi estruturada em etapas metodológicas sequenciais, iniciando-se com a identificação das interações socioambientais da comunidade local com as lagoas, seguida por análises limnológicas da qualidade da água e, finalmente, pela seleção e valoração dos indicadores que compõem o índice proposto. Dez indicadores foram selecionados, abrangendo dimensões sociais, hídricas e ambientais, classificados conforme níveis observados de impacto ambiental (baixo, médio e alto) e associados a valores numéricos (0, 5 e 10 pontos, respectivamente). Para aplicação prática do índice, elaborou-se um formulário simplificado, possibilitando aos gestores locais uma avaliação rápida e eficaz. A aplicação do IVA-LC revelou que a vulnerabilidade das lagoas estudadas é norteada por fatores distintos. As lagoas interdunares apresentaram vulnerabilidade moderada (IVA-LC entre 30% e 45%), determinada primariamente por características naturais intrínsecas, como o hidroperíodo intermitente, a ausência de vegetação ciliar protetora e dependência exclusiva das chuvas. Em contrapartida, a Lagoa do Mato apresentou alta vulnerabilidade (IVA-LC de 60%), resultado de intensas atividades antrópicas, como o lançamento contínuo de águas residuais e a presença frequente de resíduos sólidos. A vulnerabilidade encontrada demanda estratégias diferenciadas de manejo, incluindo ações preventivas e de recuperação ambiental específicas para cada corpo hídrico estudado. Conclui-se que o IVA-LC constitui uma ferramenta prática e acessível, capaz de orientar gestores e tomadores de decisão em intervenções socioambientais eficientes e sustentáveis nas lagoas costeiras, contribuindo para a conservação dos serviços ecossistêmicos essenciais desses ambientes.

Palavras-chave: gestão ambiental; conservação; impactos antrópicos; serviços ecossistêmicos; sustentabilidade.

ABSTRACT

This research aimed to develop an Environmental Vulnerability Index for Coastal Lagoons (IVA-LC) in the Baleia District, Itapipoca-Ceará, with a view to assessing and monitoring the environmental condition of these water bodies, supporting public policies and integrated management strategies. The research was structured in sequential methodological stages, beginning with the identification of the socio-environmental interactions of the local community with the lagoons, followed by limnological analyses of water quality and, finally, the selection and valuation of the indicators that make up the proposed index. Ten indicators were selected, covering social, water, and environmental dimensions, classified according to observed levels of environmental impact (low, medium, and high) and associated with numerical values (0, 5, and 10 points, respectively). For practical application of the index, a simplified form was developed, enabling local managers to perform a quick and effective assessment. The application of the IVA-LC revealed that the vulnerability of the studied lagoons is guided by distinct factors. The interdune lagoons presented moderate vulnerability (IVA-LC between 30% and 45%), determined primarily by intrinsic natural characteristics, such as intermittent hydroperiod, absence of protective riparian vegetation, and exclusive dependence on rainfall. In contrast, Lagoa do Mato showed high vulnerability (IVA-LC of 60%), resulting from intense anthropogenic activities, such as the continuous discharge of wastewater and the frequent presence of solid waste. The vulnerability found requires differentiated management strategies, including preventive and environmental recovery actions specific to each water body studied. It is concluded that IVA-LC is a practical and accessible tool, capable of guiding managers and decision-makers in efficient and sustainable socio-environmental interventions in coastal lagoons, contributing to the conservation of the essential ecosystem services of these environments.

Keywords: environmental management; conservation; anthropogenic impacts; ecosystem services; sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Itapipoca (sede urbana) e Distritos.....	17
Figura 2	– Mapa de localização da área de estudo com destaque para as lagoas costeiras.....	19
Figura 3	– Área de estudo e pontos de coleta.....	28
Figura 4	– Placa indicando venda de lotes e casas com acesso à lagoa costeira.....	32
Figura 5	– Usos dos ambientes lagunares para banho/recreação e pesca.....	32
Figura 6	– Resíduo plástico, rastros de veículos e pegadas em margem da lagoa costeira interdunar.....	33
Figura 7	– Restos de carvão vegetal queimado no entorno de lagoas costeiras.....	34
Figura 8	– Resíduos plásticos em margem da lagoa costeira interdunar.....	35
Figura 9	– Aglomerado de resíduos em campo de dunas que margeia lagoas costeiras.....	35
Figura 10	– Embalagem plástica de material de limpeza na margem de lagoa costeira.....	37
Figura 11	– Veículo transportando aves estacionado à margem de lagoa costeira para limpeza das gaiolas.....	38
Figura 12	– Espuma observada na Lagoa do Mato.....	39
Figura 13	– Presença de material flutuante em lagoa interdunar (a, b) e na Lagoa do Mato (c).....	51
Figura 14	– Resíduos sólidos objetáveis observados nas lagoas costeiras: garrafas de vidro (a) e recipientes plásticos de produtos de limpeza (b,c).....	52
Figura 15	– Vista da lagoa interdunar 1.....	69
Figura 16	– Vista da lagoa interdunar 2.....	70
Figura 17	– Vista da lagoa interdunar 3.....	72
Figura 18	– Vista da lagoa do mato.....	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Consequências dos impactos ambientais para os serviços ecossistêmicos em lagoas costeiras.....	25
Quadro 2 – Dimensões e indicadores do Índice de Vulnerabilidade Ambiental de Lagoas Costeiras.....	58
Quadro 3 – Indicadores e níveis de impacto/vulnerabilidade ambiental para lagoas costeiras.....	64

LISTA DE TABELA

Tabela 1	– Resultados da qualidade da água na lagoa interdunar (ponto P1).....	42
Tabela 2	– Resultados da qualidade da água na lagoa interdunar (ponto P2).....	42
Tabela 3	– Resultados da qualidade da água na lagoa interdunar (ponto P3).....	43
Tabela 4	– Resultados da qualidade da água na lagoa do mato (ponto P4).....	43
Tabela 5	– Concentração de ferro nas lagoas.....	45
Tabela 6	– pH nas lagoas.....	46
Tabela 7	– Alcalinidade nas lagoas.....	46
Tabela 8	– Dureza total nas lagoas.....	47
Tabela 9	– limites máximos de nitrogênio amoniacal (N.amoniacal) para as classes 1, 2 e 3 de acordo com o pH da água.....	47
Tabela 10	– Nitrogênio amoniacal nas lagoas.....	48
Tabela 11	– Nitrito nas lagoas.....	49
Tabela 12	– Transparência da água nas lagoas.....	52
Tabela 13	– Classificação do Estado Trófico com base na transparência da água (Disco de Secchi).....	62
Tabela 14	– Quadro-síntese dos resultados do Índice de Vulnerabilidade Ambiental das Lagoas Costeiras (IVA-LC).....	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará
FUNCENE	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
IMMI	Instituto de Meio Ambiente do Município de Itapipoca
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
IVA-LC	Índice de Vulnerabilidade Ambiental de Lagoas Costeiras

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS.....	17
2.1	Objetivo Geral.....	17
2.2	Objetivos Específicos.....	17
3	ÁREA DE ESTUDO.....	18
4	REFERENCIAL TEÓRICO.....	22
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
5.1	Estudo da dinâmica socioambiental.....	27
5.2	Caracterização da qualidade da água.....	28
5.3	Elaboração e aplicação do Índice de Vulnerabilidade Ambiental.....	29
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
6.1	Dinâmica socioambiental.....	31
6.2	Caracterização da qualidade da água das lagoas costeiras.....	41
6.2.1	<i>Fósforo</i>.....	44
6.2.2	<i>Sulfeto</i>.....	45
6.2.3	<i>Ferro</i>.....	45
6.2.4	<i>pH</i>.....	46
6.2.5	<i>Alcalinidade</i>.....	47
6.2.6	<i>Dureza Total</i>.....	47
6.2.7	<i>Nitrogênio Amoniacal</i>.....	48
6.2.8	<i>Nitrito</i>.....	49
6.2.9	<i>Materiais Flutuantes</i>.....	50
6.2.10	<i>Resíduos Sólidos Objetáveis</i>.....	51
6.2.11	<i>Transparência de Secchi</i>.....	52
6.3	Índice de vulnerabilidade ambiental de lagoas costeiras.....	53
6.3.1	<i>Elencando indicadores</i>.....	58
6.3.2	<i>Valorando indicadores</i>.....	59
6.3.2.1	<i>Atividades de banho/lazer e recreação</i>.....	59
6.3.2.2	<i>Atividade de pesca</i>.....	59
6.3.2.3	<i>Lançamento de águas residuais ou efluentes</i>.....	60
6.3.2.4	<i>Lavagem de roupas ou animais</i>.....	61

6.3.2.5	<i>Vegetação ciliar</i>	61
6.3.2.6	<i>Transparéncia de Secchi</i>	62
6.3.2.7	<i>Materiais flutuantes</i>	63
6.3.2.8	<i>Resíduos sólidos</i>	63
6.3.2.9	<i>Hidroperíodo (regime hídrico)</i>	63
6.3.2.10	<i>Fonte de abastecimento (origem e estabilidade hídrica)</i>	64
6.3.3	<i>Calculando o Índice de Vulnerabilidade Ambiental e classificando o corpo hídrico conforme estado de vulnerabilidade</i>	67
6.3.4	<i>Vulnerabilidade ambiental das lagoas costeiras do distrito da Baleia, Itapipoca-CE</i>	68
7	CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
7.1	Sugestões para trabalhos futuros	81
	REFERÊNCIAS	83
	APÊNDICE A – ROTEIRO DE ENTREVISTA NÃO ESTRUTURADA	99
	APÊNDICE B – FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL EM LAGOAS COSTEIRAS	101

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos a crescente ocupação do litoral tem se tornado um aspecto desafiador para o planejamento e execução de políticas públicas com premissas na sustentabilidade. Estima-se que mais de um quarto da população brasileira reside em áreas próximas ao litoral (IBGE, 2011) e essa rápida e crescente ocupação tem se refletido em relações diversas com o ambiente.

Os usos e ocupações ilegais do solo e a exploração turística desenfreada são alguns exemplos que provocam danos ecológico-ambientais intensos e que prejudicam o equilíbrio ambiental, trazendo consequências para o equilíbrio do ecossistema.

O litoral de Itapipoca-CE, município localizado na região norte do estado do Ceará e distante 130km de Fortaleza, apresenta 25 quilômetros de extensão (IMMI, 2020) e tem passado por uma intensa ocupação humana nos últimos anos, principalmente no distrito da Baleia. Os residentes da sede urbana de Itapipoca tendem a construir suas casas de veraneio no distrito, bem como, há o perceptível aumento de pousadas e hotéis na região de maneira desenfreada e o plano diretor do município não indica orientações para uso e ocupação do solo na região.

Logo, a especulação imobiliária e a exploração turística sem planejamento no distrito da Baleia têm imposto pressões de exploração aos ecossistemas costeiros locais, dentre eles, as lagoas costeiras, que possuem beleza cênica e são atrativas para o desenvolvimento de atividades humanas.

As lagoas costeiras são corpos d'água rasos e estagnados de origem fluvial ou freática com regime hidrológico permanente ou sazonal (Ceará, 2025), apresentam importantes funções ecológicas e serviços ecossistêmicos para a região litorânea, como por exemplo, a produção pesqueira, a regulação climática, recreação e proteção contra eventos de inundação. Fornecem, portanto, um amplo espectro de serviços ecossistêmicos valiosos para o bem-estar humano (Russi *et al.*, 2013; Pérez-Ruzafa *et al.*, 2019b). São ambientes que estão entre os habitats marinhos de maior produtividade biológica (Esteves, 2011; Araujo *et al.*, 2015), desempenhando um importante papel ecológico (Newton *et al.* 2018; Velasco *et al.*, 2018). Parte importante da biodiversidade global é encontrada nesses ambientes (De Wit, 2011) composto de uma variedade de habitats para as espécies, que funcionam como refúgio, berçário e alimentação (Vasconcelos *et al.*, 2011).

Contudo, inúmeras ações antrópicas insustentáveis passaram a alterar os ecossistemas e impactar na manutenção da biodiversidade, comprometendo assim, os serviços

ecossistêmicos que esses ambientes oferecem (Contanza *et al.*, 1997; Mea, 2005; Boyd; Banzhaf, 2007; Bensusan, 2008; De Wit, 2011; Pérez-Ruzafa *et al.* 2019b). A pressão exercida pela atividade humana nesses corpos hídricos, como a crescente poluição e urbanização, pode comprometer a sua qualidade e disponibilidade tornando-os vulneráveis ambientalmente, principalmente no comprometimento dos serviços ecossistêmicos.

Conforme o *Millenium Ecosystem Assessment* (2005), um relatório conduzido pelas Nações Unidas que apresentou um diagnóstico à respeito dos principais ecossistemas do mundo, as principais pressões antrópicas que impactam esses ecossistemas e a biodiversidade, são: degradação de habitats, mudanças climáticas, introdução de espécies exóticas, exploração excessiva de recursos e a poluição. São impactos, em sua maioria, relacionados a centros urbanos que, quando se estabelecem em regiões anteriormente desocupadas, desequilibram o meio com suas demandas e atividades.

Há uma lacuna, na literatura acadêmica, de estudos que envolvam a vulnerabilidade ambiental de lagoas costeiras, levando-se em consideração aspectos intrínsecos de um corpo d'água e o comprometimento dos serviços ecossistêmicos frente às pressões antrópicas. A ênfase em características próprias do ecossistema aquático pode oferecer indicativos mais diretos e precoces de vulnerabilidade. Não obstante, os serviços ecossistêmicos, que ligam as funções ecossistêmicas e o bem-estar humano, podem ser usados para melhor caracterizar as dependências mútuas entre a sociedade e o meio ambiente dentro de estruturas de avaliação de risco (Peng; Welden; Renaud, 2023).

É comum os estudos de vulnerabilidade costeira focarem em escalas mais amplas, avaliando grandes extensões do litoral e, por vezes, ignorando as particularidades de ecossistemas menores, dinâmicos e importantes como as lagoas costeiras.

Diante disso torna-se importante a elaboração de uma ferramenta que possa aferir o nível de vulnerabilidade dessas lagoas considerando aspectos intrínsecos do ambiente, a partir da compreensão e risco de comprometimento de seus serviços ecossistêmicos para, dessa forma, nortear políticas públicas de uso e ocupação na região a fim de que se possa preservar as características e serviços ambientais que esses ambientes proporcionam.

Para guiar esta investigação, a pesquisa foi orientada pela seguinte questão norteadora principal: até que ponto a interação entre a pressão antrópica e as condições ambientais intrínsecas impacta na vulnerabilidade das lagoas costeiras, comprometendo seus serviços ecossistêmicos?

Diante do exposto, esta tese parte da seguinte hipótese central: a pressão antrópica e as condições ambientais resultam em níveis elevados de vulnerabilidade ambiental nas lagoas

costeiras do distrito da Baleia (Itapipoca, Ceará), com risco de comprometimento dos serviços ecossistêmicos por elas prestados.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver o Índice de Vulnerabilidade Ambiental de Lagoas Costeiras (IVA-LC) a partir da análise integrada de fatores ambientais, hídricos e sociais, tendo como recorte espacial o distrito da Baleia, situado no município de Itapipoca (Ceará).

2.2 Objetivos Específicos

-Identificar as diferentes formas de uso das lagoas costeiras, especialmente àqueles que possam vulnerabilizar os serviços ecossistêmicos, sugerindo indicadores dessa vulnerabilidade;

-Analizar parâmetros físico-químicos da água de lagoas costeiras com intuito de avaliar as condições de qualidade da água em decorrência do uso das lagoas, apontando para as variáveis/indicadores que melhor refletem suas condições ambientais;

-Elencar e valorar indicadores ambientais que irão compor o índice proposto.

3 ÁREA DE ESTUDO

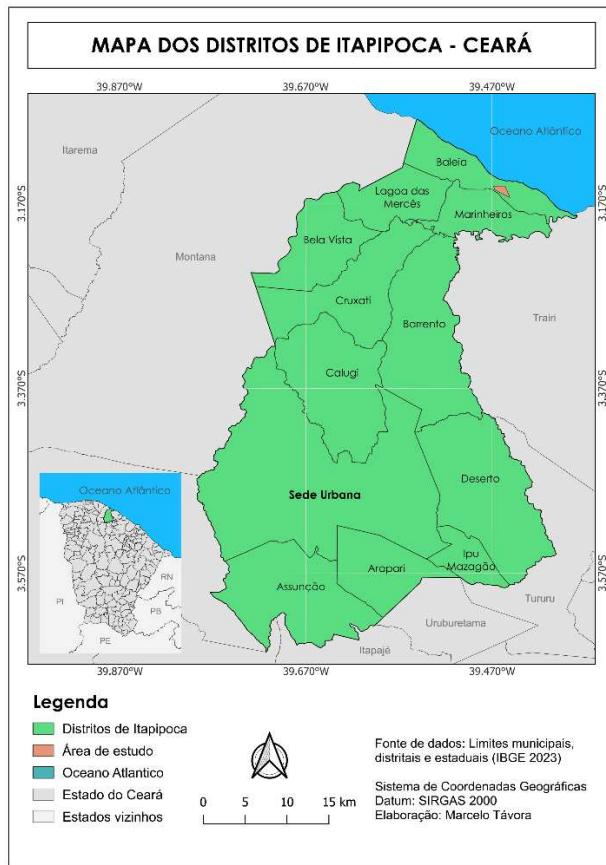
O município de Itapipoca localiza-se na região norte do Estado do Ceará, pertencente a mesorregião norte cearense, há uma distância de aproximadamente 130km da capital do estado, Fortaleza.

De acordo com dados do Censo Demográfico de 2022 o município possui 131.123 habitantes (IBGE, 2023), apresenta uma área de 1.614 km² e uma faixa litorânea de 25 km de extensão, possuindo limitação ao norte com o Oceano Atlântico; ao sul com os municípios de Miraíma, Irauçuba, Itapajé, Uruburetama e Tururu; ao leste com os municípios de Trairi e do Tururu e a oeste com o município de Amontada (IPECE, 2017).

O município apresenta clima tropical quente semiárido na região mais distante do litoral e, tropical quente semiárido brando na região litorânea. A pluviosidade média é de 1.130 mm ao ano, com concentração maior de chuvas nos meses de janeiro a maio (IPECE, 2017).

O território do município é dividido em 12 distritos (figura 1): Arapari, Assunção, Baleia, Barrento, Bela Vista, Calugi, Cruxati, Deserto, Ipu Mazagão, Lagoa das Mercês, Marinheiros e Sede Urbana (IPECE, 2017).

Figura 1 –Itapipoca (sede urbana) e Distritos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Devido sua grande extensão territorial, o município de Itapipoca apresenta cenários diversos nas paisagens que compõem a serra, o sertão e o litoral sendo popularmente conhecida como “a cidade dos três climas”.

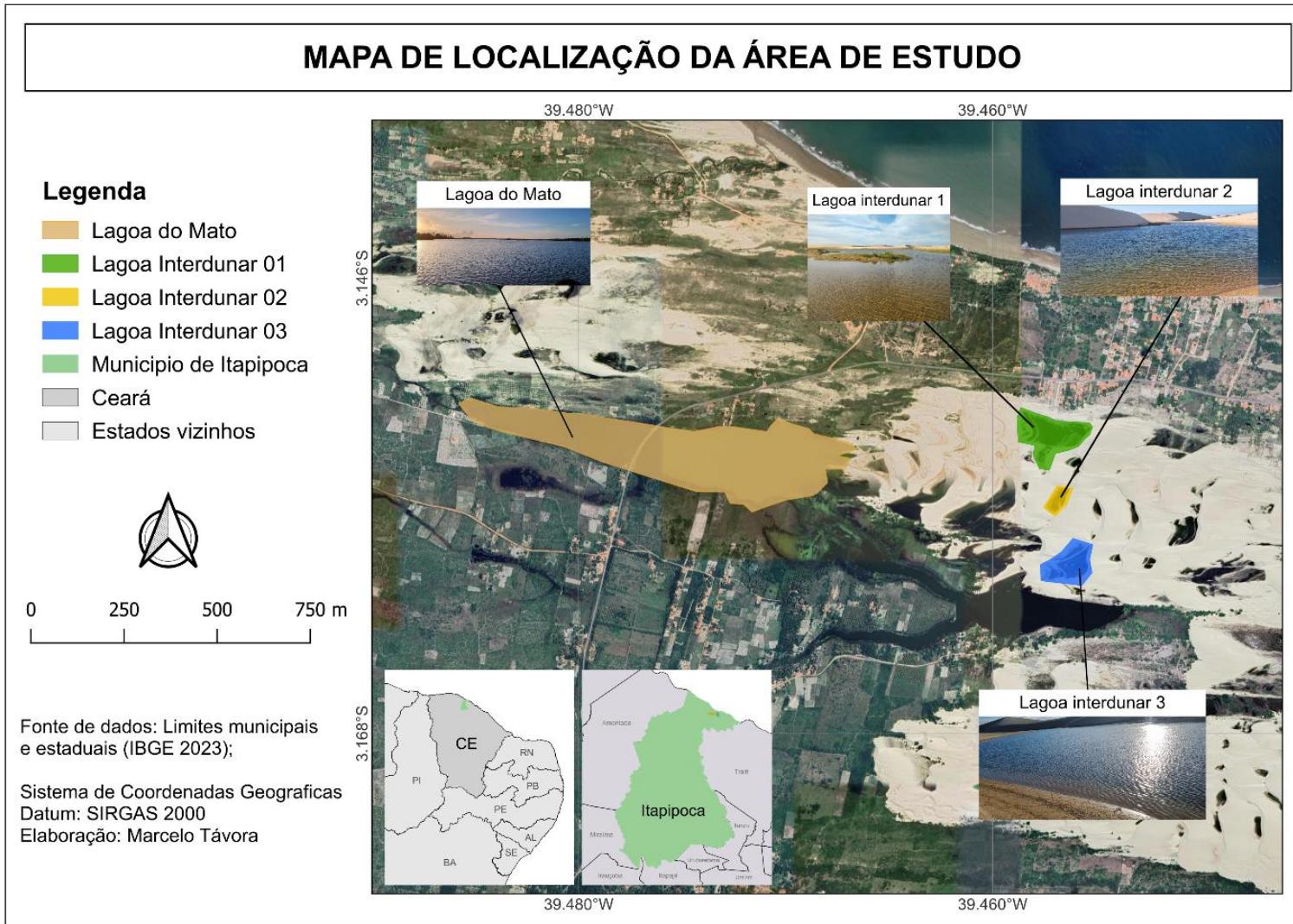
O distrito da Baleia ($03^{\circ}08'59.99"S$ e $39^{\circ}26'37.87"W$) localiza-se no litoral Itapipoquense, distante aproximadamente 50km da sede urbana municipal, e apresenta 25km de extensão litorânea entre a foz do rio Mundaú (Trairi-CE) e o litoral do município de Amontada-CE. A praia da Baleia recebe essa denominação, segundo moradores locais, devido a um encalhe de baleia na região há muitos anos atrás. A ossada desse animal encontra-se em exposição em um museu que fica na sede da colônia de pescadores.

A comunidade do distrito é composta basicamente por pescadores e possui como atividades econômicas principais a pesca artesanal e extração de algas. Ademais, o turismo tem despontado como uma crescente atividade econômica na região, proporcionando o perceptível aumento do número de pousadas/hotéis e aumento do fluxo de turistas.

A praia da Baleia é composta, em termos de feições morfológicas, por faixa praial, campo de dunas móveis e fixas e paleodunas. As dunas móveis são orientadas no sentido leste-oeste, caracterizadas pela ausência de vegetação e, algumas delas, com afloramento de lagoas costeiras interdunares.

Esse sistema de dunas móveis é diretamente responsável pelo abastecimento de água de uma importante lagoa do distrito, a Lagoa do Mato. A área de estudo compreende, portanto, o sistema de lagoas costeiras interdunares próximas da sede distrital e a Lagoa do Mato. (figura 2)

Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo com destaque para as lagoas costeiras



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o desenvolvimento da pesquisa foram selecionados corpos d'água representativos desse sistema ambiental e utilizadas pela comunidade. A escolha também se deu norteada pelos seguintes critérios: 1) inseridas no distrito da Baleia; 2) próximas da sede distrital, local de maior adensamento urbano e, consequentemente, mais sujeitas à exploração/utilização antrópica; 3) com acesso menos difícil (característica facilitadora para estreitamento da interação homem-natureza) e 4) dispostas em ambientes com feições ambientais heterogêneas.

Diante do exposto, quatro corpos d'água foram escolhidos para o estudo: a lagoa do mato e três lagoas interdunares. Os corpos d'água estão inseridos na bacia do Rio Mundaú. A Lagoa do Mato, de maior extensão, é localizada na retaguarda de campo de dunas e possui regime hídrico perene, abastecida pela água de infiltração das dunas do entorno. As lagoas interdunares, dispostas entre os campos de dunas, possuem regime hídrico intermitente associado fortemente a estação chuvosa na região. Umas das lagoas interdunares está localizada em dunas semifixas.

Diante do exposto, o contexto a ser pesquisado nesta tese, com objetivo de desenvolvimento de um índice de vulnerabilidade ambiental, é compreendido por um sistema hídrico composto de lagoas costeiras representativas do território do distrito da Baleia, em Itapipoca, Ceará.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

A vulnerabilidade ambiental é um conceito presente nas discussões contemporâneas sobre sustentabilidade e planejamento territorial especialmente diante do aumento da preocupação dos efeitos das mudanças climáticas. Trata-se de uma abordagem de natureza multidisciplinar, aplicável a distintos contextos ambientais e útil para a análise integrada de riscos e fragilidades dos sistemas naturais diante das pressões antrópicas.

Entende-se por vulnerabilidade ambiental o estado de susceptibilidade no qual um componente do ambiente se encontra diante de potenciais usos antrópicos. Logo, é a propensão de um sistema a sofrer dano em decorrência de sua exposição a um estresse ambiental (IPCC, 2014), combinada com sua capacidade de se adaptar a esse estresse e se recuperar dele (Mazhar *et al.*, 2024; Zhai; Lee, 2024).

Essas definições destacam aspectos importantes a serem considerados na vulnerabilidade ambiental: o estresse ambiental provocado pela atividade humana e a capacidade de adaptação e resiliência a esse estresse.

O estresse ambiental pode ser entendido como a ocorrência de eventos como mudanças climáticas, poluição ou degradação dos ecossistemas. A capacidade de adaptação e resiliência, por sua vez, está relacionada ao potencial que um sistema ambiental possui para resistir a impactos ambientais provocados pelo homem e recuperar sua funcionalidade. Enquanto a resiliência refere-se à capacidade do sistema de absorver e restaurar-se após distúrbios, a adaptação diz respeito ao processo contínuo de ajuste às novas condições ambientais, com o intuito de reduzir os níveis de vulnerabilidade (Mazhar *et al.*, 2024; Zhai; Lee, 2024).

A vulnerabilidade de sistemas ambientais é influenciada por um conjunto de fatores, geralmente organizados nas dimensões ambiental, social e econômica. A dimensão ambiental abrange tanto riscos naturais — como inundações, secas e eventos climáticos extremos — quanto alterações ambientais provocadas por atividades humanas, incluindo desmatamento, poluição e mudanças climáticas (Chien; Li; Hsu, 2024). A dimensão social envolve aspectos como densidade populacional, características demográficas e o nível de conscientização da comunidade, os quais afetam a exposição, a sensibilidade e a capacidade de resposta dos sistemas aos impactos (Gonçalves *et al.*, 2022). Já a dimensão econômica refere-se, principalmente, à limitação no acesso a recursos financeiros, tecnológicos e institucionais, o

que pode ampliar a vulnerabilidade ambiental e dificultar os processos de adaptação das comunidades afetadas (Weisshuhn; Müller; Wiggering, 2018).

Portanto, a vulnerabilidade ambiental é um retrato das condições do ambiente obtido através do estudo da interrelação de fatores socioambientais e socioeconômicos. Para se obter o panorama dessa vulnerabilidade ambiental é necessário, segundo Ross (2011), realizar um estudo integrado dos elementos componentes do estrato geográfico que dão suporte à vida animal e ao homem, os quais analisados e interrelacionados geram um produto analítico-sintético que retrata a situação da área de estudo. Essa análise integrada permite obter um diagnóstico relativo as classificações hierárquicas da fragilidade inerente aos ambientes naturais, resultando numa síntese de fragilidade/vulnerabilidade ambiental.

Compreender a vulnerabilidade ambiental é fundamental para analisar a dinâmica dos sistemas naturais e as transformações resultantes de sua interação com as atividades antrópicas. Esse entendimento permite a formulação de estratégias de intervenção voltadas à mitigação dos impactos ambientais, com o objetivo de assegurar a qualidade ambiental e garantir a continuidade dos serviços ecossistêmicos.

São variados os contextos em que se estuda a vulnerabilidade ambiental: no meio agrícola (Adger *et al.*, 2003), no contexto urbano (Brikkmann *et al.*, 2010), em ambientes lacustres (Lopes *et al.*, 2016), unidades de conservação (Lopes, 2014) e ambientes costeiros (Nascimento; Dominguez, 2009, Tagliani, 2003;) para citar alguns exemplos.

Os ecossistemas costeiros sofrem pressões crescentes decorrentes do processo de urbanização, o que contribui para o aumento da vulnerabilidade ambiental. Dentre alguns fatores estão a construção de infraestruturas e a superexploração dos recursos naturais, que resultam na degradação de habitats e no aumento da poluição (Jawale, 2024).

Ainda no contexto dos ecossistemas costeiros, as lagoas costeiras estão presentes na paisagem e também são impactadas pelas ações antrópicas. Esses ecossistemas são de transição entre os sistemas terrestres continentais e os sistemas aquáticos marinhos, são rasos e ocupam cerca de 12% a 13% das linhas costeiras no mundo (Newton *et al.*, 2018; Velasco *et al.*, 2018; Hamza El Behja *et al.*, 2024).

Apresentam grande importância ecológica e socioambiental e sob o ponto de vista ecológico é considerada um dos ecossistemas mais produtivos do mundo, com importância para a biodiversidade e utilizada por animais como refúgio e berçário de algumas espécies (De Wit, 2011; Alvarado-Zambrano *et al.*, 2024; Pérez-Ruzafa *et al.* 2019b; Pérez-Ruzafa *et al.*, 2024).

Sob uma perspectiva socioambiental, as lagoas costeiras fornecem serviços ecossistêmicos importantes para o bem-estar humano e economia (Newton *et al.*, 2018). De acordo com um estudo realizado por Rodrigues-Filho *et al.* (2023) as lagoas costeiras provêm 26 serviços ecossistêmicos classificados em quatro categorias: serviços de suporte, regulação, provisão e culturais.

Os serviços ecossistêmicos são bens e serviços, tangíveis e intangíveis, que os ecossistemas promovem para o bem-estar das comunidades humanas. Eles resultam das funções e processos que ocorrem nos ecossistemas e sustentam a vida humana através da regulação, provisão e aspectos culturais (Newton *et al.*, 2018; Saldanha; Costa, 2019; Silva, 2019)

Uma das classificações mais utilizadas para os serviços ecossistêmicos é a proposta pela *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA, 2005), que os organiza em quatro categorias: serviços de provisão, de regulação, de suporte e culturais. Não obstante, a *Common International Classification of Ecosystem Services* (CICES, 2011) propõe uma estrutura alternativa, dividindo-os em três categorias: serviços de provisão, serviços de regulação e manutenção, e serviços culturais. Já a TEEB (2010) classifica em: provisão, regulação, habitat/suporte e culturais. Enquanto que De Groot *et al.* (2002) os categoriza em: provisão, regulação, habitat e informação.

Todas as classificações são amplamente aceitas na literatura científica e contemplam os diferentes tipos de serviços fornecidos pelos ecossistemas, sendo aplicadas em diversos contextos de pesquisa. Contudo, a categorização que costuma ser a mais utilizada na pesquisa acadêmica é a proposta por MEA (2005) com os serviços assim conceituados:

Serviços de provisão: produtos obtidos dos ecossistemas como: comida, água, energia, medicamentos, entre outros;

Serviços de regulação: benefícios obtidos a partir da regulação dos processos dos ecossistemas como qualidade do ar, regulação climática, hídrica e erosiva, purificação da água, entre outros;

Serviços de suporte: serviços necessários para a existência de todos os outros serviços, como produção primária, fotossíntese, ciclo hidrológico, formação do solo, entre outros; e

Serviços culturais: benefícios não naturais obtidos dos ecossistemas, como diversidade cultural, valores espirituais e religiosos, valores estéticos, recreação e ecoturismo, entre outros.

Em um estudo de revisão, Rodrigues-Filho *et al.* (2023) categorizaram 26 serviços ecossistêmicos associados a lagoas costeiras em diferentes regiões do mundo, distribuídos nas seguintes tipologias:

Serviços de provisão: sete tipos foram identificados, incluindo a oferta de alimentos por meio da pesca, recursos genéticos, matéria-prima para produtos e medicamentos.

Serviços de regulação: foram apontados quatro, com destaque para a atuação de microrganismos na purificação da água e na regulação climática, bem como o papel de peixes e aves no controle biológico.

Serviços de suporte: englobaram cinco categorias, entre elas, a contribuição de microrganismos, zooplâncton, poliquetas, moluscos, macrocrustáceos, peixes e mamíferos aquáticos para a ciclagem de nutrientes e/ou produção primária. A formação de solo ou sedimento e a provisão de habitat também foram listadas como funções ecossistêmicas de suporte, associadas à presença e atuação da fauna.

Serviços culturais: dez foram identificados, abrangendo valores educacionais, espirituais e religiosos, além de atributos estéticos, patrimônio cultural e atividades de recreação e ecoturismo.

Portanto, a categorização dos 26 serviços ecossistêmicos identificados pelo estudo evidencia a complexidade e a funcionalidade múltipla das lagoas costeiras, reforçando sua importância ecológica, econômica e sociocultural.

Ao englobarem desde funções biogeoquímicas vitais, como a ciclagem de nutrientes, até valores culturais e de subsistência, esses ambientes demonstram ser importantes para o bem-estar humano e para a manutenção da biodiversidade.

Compreender a valorizar essa diversidade de serviços é essencial para subsidiar estratégias de gestão e orientar ações de conservação que considerem as especificidades locais e a interação sociedade-natureza.

As atividades antrópicas como agricultura, aquicultura e o desenvolvimento humano e suas consequências (ex: despejo de efluentes) contribuem para a degradação das lagoas costeiras e comprometem os serviços ecossistêmicos. Por exemplo, o escoamento superficial de excedentes dessas atividades impacta o corpo d'água podendo levar à eutrofização, o que causa a proliferação de algas, escurecimento da água com redução de sua qualidade, reduzindo os níveis de oxigênio na água, afetando a biodiversidade, a saúde geral do ecossistema e o valor recreativo da lagoa (Ligorini *et al.*, 2023; Newton *et al.*, 2020).

Da mesma forma, a urbanização e o desenvolvimento do turismo por vezes podem resultar na destruição de habitats naturais que são importantes para a proteção costeira e a biodiversidade (Mahrad *et al.*, 2020).

A sobrepesca, a destruição do habitat e a poluição podem levar a um declínio na comunidade de peixes e a uma redução na disponibilidade de água limpa (Esteves *et al.*, 2008; Suwandhahannadi *et al.*, 2024). Por exemplo, na lagoa de Veneza, o aumento da pressão antropogênica levou a um declínio nos estoques de peixes e a uma redução na qualidade dos serviços ecossistêmicos (D'alpaos *et al.*, 2023).

A seguir um resumo das consequências dos impactos ambientais em serviços ecossistêmicos de lagoas costeiras (Quadro 1)

Quadro 1- Consequências dos impactos ambientais para os serviços ecossistêmicos em lagoas costeiras.

Tipo de Serviço	Impactos Observados	Referências
Provisão	Redução da pesca; perda de áreas produtivas; contaminação de recursos hídricos.	Fang <i>et al.</i> , 2020 Fanning, 2014 Velasco <i>et al.</i> , 2018 Takyi <i>et al.</i> , 2022
Regulação	Diminuição da capacidade de sequestro de carbono; aumento de eutrofização e poluição.	Fang <i>et al.</i> , 2020 Fanning, 2014 Lacoste <i>et al.</i> , 2023 Newton <i>et al.</i> , 2018
Suporte	Perda de espécies; simplificação de comunidades; menor resiliência ecológica.	Lacoste <i>et al.</i> , 2023 Rodrigues-Filho <i>et al.</i> , 2023 Specchiulli <i>et al.</i> , 2023
Culturais	Queda no valor recreativo e turístico; perda de identidade local.	Rodrigues-Filho <i>et al.</i> , 2023 Velasco <i>et al.</i> , 2018

Fonte: Elaborado pelo autor

5 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa consistiu em frentes de investigação e desenvolvimento que confluíram para o objetivo final desta tese: 1) estudo da dinâmica socioambiental nas lagoas costeiras; 2) a caracterização da qualidade da água das lagoas costeiras e 3) elaboração e aplicação do índice de vulnerabilidade ambiental.

5.1 Estudo da dinâmica socioambiental

Esta etapa da pesquisa foi desenvolvida entre os anos de 2021 a 2023, com campanhas mensais ao ecossistema das lagoas. Para a obtenção de dados sobre a relação de uso das lagoas, optou-se pelo método da observação direta do ecossistema e entrevistas não-estruturadas (Apêndice A) com comunidade do entorno, bugueiros, turistas e operadores do turismo local. Para a realização das entrevistas, foram seguidos os princípios éticos de pesquisa envolvendo seres humanos. Antes de cada conversa, os objetivos do estudo foram devidamente explicados aos participantes, conforme o roteiro introdutório. O consentimento para a participação foi obtido verbalmente, e foi assegurado a todos o direito de não responder a qualquer pergunta e de encerrar a entrevista a qualquer momento. A identidade de todos os entrevistados foi mantida em sigilo e as informações coletadas foram tratadas de forma agregada e totalmente anônima na apresentação dos resultados, garantindo a confidencialidade dos participantes.

O método da observação direta permitiu verificar, através da observação do cotidiano, como se deu a relação do homem com o ambiente natural (Albuquerque *et al.*, 2010), adquirindo os conhecimentos do cotidiano (Gil, 2019) e observando as nuances da interação das atividades antrópicas com ecossistema lacustre. A observação direta também permitiu observar a dinâmica das condições ambientais do sistema lagunar e reconhecer, para compreender, aspectos potencializadores de vulnerabilidades dos serviços ecossistêmicos.

Os resultados dessas observações são também importantes para propor reflexões sobre a relação socioambiental, destacando a necessidade de políticas públicas e sociais eficazes para lidar com os possíveis conflitos e impactos ambientais.

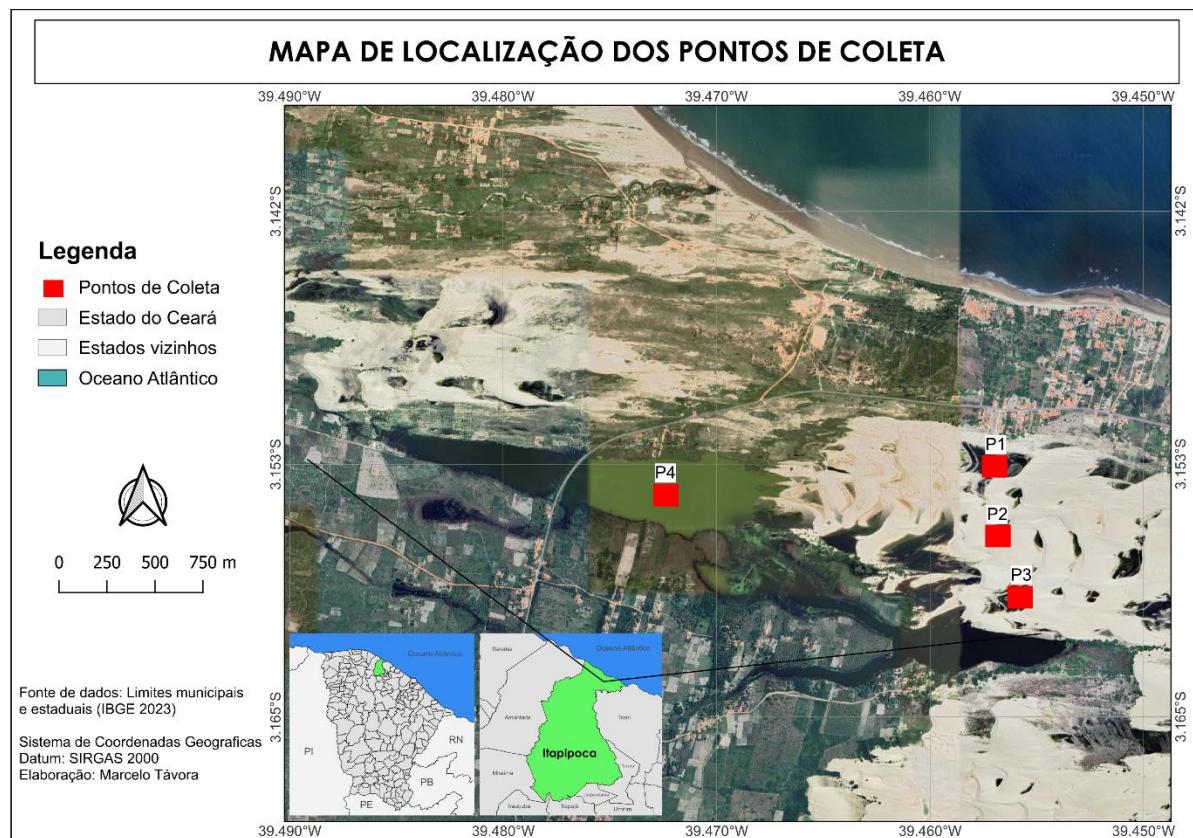
As entrevistas não-estruturadas foram realizadas com intuito de obter mais informações acerca das formas de uso e importâncias das lagoas costeiras para a comunidade do entorno, bugueiros, turistas e operadores de turismo. É um tipo de entrevista que pode ser realizada em qualquer local no qual se pede para o informante falar sobre determinado assunto e é guiada pelo entrevistador para manutenção do foco e aprofundamento de informações

obtidas (Albuquerque *et al.*, 2010). Essa abordagem permitiu que os membros da comunidade pudessem expressar suas opiniões e experiências em relação aos usos das lagoas.

5.2 Caracterização da qualidade da água

Para o desenvolvimento desta etapa da pesquisa um ponto de coleta foi definido para cada lagoa, após checagem em campo, considerando a acessibilidade. Dessa forma, foram 4 pontos de coletas ao todo, sendo os pontos P1 a P3 em lagoas interdunares e o ponto P4 em lagoa de retaguarda de dunas, chamada de Lagoa do Mato (figura 3).

Figura 3 – Área de estudo e pontos de coleta.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para avaliação da qualidade da água das lagoas foram realizadas coletas de água mensais, de fevereiro à novembro de 2022, compreendendo os períodos de chuva e estiagem na região. O monitoramento mensal compreendeu o levantamento/acompanhamento em 11 parâmetros relacionados a qualidade da água. Os parâmetros pH, alcalinidade, dureza total, ortofosfato, nitrogênio, nitrito, sulfeto e ferro foram analisados no Laboratório de Aquicultura

do IFCE – Campus Acaraú de acordo com a metodologia proposta no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012). A transparência de secchi, resíduos sólidos objetáveis e materiais flutuantes foram determinados *in situ*. Para a avaliação da transparência foi utilizado um disco de secchi com diâmetro de 20cm.

A escolha dos parâmetros supramencionados se deu por dois motivos principais: 1) parâmetros que refletem bem as condições ambientais do corpo d'água e 2) capacidade de análise do laboratório. Não obstante, foi realizada uma análise para o parâmetro sólidos totais dissolvidos (STD), em cada um dos pontos de coleta, com intuito de subsidiar a classificação das águas das lagoas em doces, salobras ou salinas, fator importante para a discussão dos resultados.

Após o levantamento dos dados de qualidade da água e classificação das águas, a análise dos parâmetros foi feita utilizando como referência a Resolução CONAMA nº 357/2005 e literatura da área. Devido aos múltiplos usos e serviços ecossistêmicos prestados pelas lagoas costeiras, as discussões foram balizadas, quando houver valor referencial atribuído ao parâmetro, nos padrões de qualidade das classes de águas trazidas pela resolução supramencionada.

5.3 Elaboração e aplicação do Índice de Vulnerabilidade Ambiental

Para a elaboração do índice de vulnerabilidade ambiental de lagoas costeiras as seguintes etapas foram consideradas: a escolha das dimensões que comporão o índice, a seleção de indicadores dessas dimensões, a valoração de indicadores e o cálculo final para a obtenção do índice.

Oportunamente, é importante destacar que o índice proposto nesse trabalho pretende ser uma ferramenta destinada à órgãos/secretarias governamentais, aos tomadores de decisão e pessoas envolvidas com questões relativas ao meio ambiente, quaisquer sejam seus níveis de atuação.

Diante do exposto, ao se considerar a possibilidade de uso institucional e não institucional da ferramenta, optou-se por considerar variáveis e indicadores, em sua maioria, possíveis de serem levantados e aferidos em observações de campo (*in loco*) ou consultados em fontes oficiais de informação.

A escolha das dimensões que irão compor o índice levará em conta aspectos socioambientais que envolvem os corpos d'água em estudo. Consequentemente, os indicadores que comporão cada uma dessas dimensões serão elencados observando aspectos intrínsecos a

uma corpo d'água, com o objetivo de que seus resultados refletem mais fidedignamente o estado ambiental do ecossistema.

A escolha de indicadores que irão compor a estrutura do índice dentro de cada uma das dimensões será fomentada pelos estudos sociodinâmico e de qualidade da água desenvolvidos aliados à características ambientais intrínsecas a um corpo d'água e literatura da área.

A valoração e, subsequentemente, o cálculo para obtenção do índice levarão em conta o papel de cada indicador separadamente. Assim, cada indicador será avaliado levando-se em conta o seu papel na proteção das lagoas e, portanto, não se atribuirá pesos diferentes para indicadores.

Aos indicadores que comporão o índice serão atribuídos valores relacionados ao nível de impacto ambiental que determinada atividade/interação/característica poderá provocar ao ambiente lagunar.

Dessa forma, os indicadores serão classificados conforme o nível de impacto que exercem sobre o ambiente: baixo, médio ou alto. Cada nível de impacto corresponderá, respectivamente, a uma condição de baixa, média ou alta vulnerabilidade ambiental.

Para fins de quantificação e interpretação dos resultados, serão atribuídos valores numéricos a cada nível de vulnerabilidade: 0 (zero) para baixa, 5 (cinco) para média e 10 (dez) para alta. (Adaptado de Sousa; Siegle; Tessler, 2013)

Ao final, após a elaboração do índice, ele será aplicado às lagoas estudadas com intuito de avaliar-las objetivamente. Os resultados obtidos com essa avaliação fornecerão informações para subsidiar decisões de manejo e estratégias locais de conservação e gestão.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Dinâmica socioambiental

As lagoas costeiras, ambientes aquáticos que se localizam entre os limites da terra e do mar, desempenham importante função tanto na dinâmica ecológica quanto na socioeconômica das zonas costeiras. Estas formações hídricas, frequentemente caracterizadas por uma significativa diversidade biológica e por uma interação entre os sistemas terrestre e marinho, são importantes para a manutenção de serviços ecossistêmicos, como a regulação do ciclo da água, a proteção contra a erosão costeira, a proteção contra enchentes, a provisão de habitat para diversas espécies e a produtividade biológica que subsidia atividades de subsistência. (Pérez-Ruzafa *et al.*, 2019b; Pérez-Ruzafa *et al.*, 2024; Rodrigues-Filho *et al.*, 2023)

No contexto das crescentes pressões antrópicas, incluindo urbanização, poluição e mudanças climáticas, a compreensão da interação humana com as lagoas, sob a forma dos usos destas, torna-se ainda mais relevante pois, é através do conhecimento de como se dá essa interação humana com o ambiente físico-natural que se pode compreender as múltiplas nuances dessa relação e propor estratégias de convívio sustentável. Não obstante, compreender essa relação também contribui para o entendimento das vulnerabilidades dos serviços ecossistêmicos desses ambientes.

Os resultados obtidos durante o desenvolvimento desta pesquisa revelaram uma complexidade de interações, inerente à dinâmica socioambiental, que se estabelece nas lagoas costeiras do distrito da Baleia, no município de Itapipoca-CE.

As observações diretas realizadas durante as campanhas de campo ao longo do ano permitiram identificar as interações existentes entre as comunidades locais e o ecossistema lagunar. Algumas dessas interações foi possível de ser registrada, outras foram identificadas devido aos rastros/resíduos que eram encontrados no local.

Além disso, as entrevistas conduzidas captaram diferentes percepções e relatos sobre as formas de uso e importâncias das lagoas no contexto socioeconômico do distrito, complementando as observações realizadas in loco.

Cabe inicialmente destacar que, em virtude das belezas cênicas que as lagoas costeiras proporcionam, são ambientes visados pela especulação imobiliária, alvo de construções imobiliárias que privatizam o acesso aos corpos d'água (figura 4).

Figura 4 – Placa indicando venda de lotes e casas com acesso à lagoa costeira



Fonte: Elaborado pelo autor (jul., 2021)

Além da especulação imobiliária foi possível identificar uma estreita relação entre a comunidade e as lagoas, traduzida nas mais diversas formas de uso. Dentre elas destacam-se o turismo na região, a atividade de lazer e recreativa, a pesca, lavagem e lançamento de águas residuais (figura 5).

Figura 5 – Usos dos ambientes lagunares para banho/recreação e pesca



Fonte: Elaborado pelo autor (jun., 2023).

A atividade turística no ambiente lagunar é marcada pela sazonalidade, devido a intermitência de alguns corpos d’água, mas fortemente desenvolvida durante a estação chuvosa até imediatamente a pós-estação chuvosa, compreendendo um período que se inicia em março se estendendo até meados de julho. São, portanto, cinco meses de intensa exploração turística na região das lagoas, compreendendo, desde a realização de atividades esportivas até eventos musicais.

Logo, é possível constatar os múltiplos usos que os ambientes lagunares da praia da baleia proporcionam para a comunidade local e visitantes, tornando-os ambientes com serviços ecossistêmicos diversos.

Entretanto, a forma como a comunidade se utiliza do ambiente têm colocado em risco a qualidade ambiental e, consequentemente, os serviços ecossistêmicos que as lagoas oferecem. Uma das consequências da má utilização do ambiente é observada pelo fato de se encontrar muitos resíduos sólidos às margens ou flutuando no espelho d’água.

Durante o período da quadra chuvosa na região até meados de julho, época que coincide com a intensificação da atividade turística na região, foi comum observar a presença de resíduos sólidos e rastros deixados por veículos nas dunas e margens das lagoas (figura 6).

Figura 6 – Resíduo plástico, rastros de veículos e pegadas em margem da lagoa costeira interdunar.



Fonte: Elaborado pelo autor (maio, 2022).

Durante as entrevistas com operadores locais do turismo (ex: bugueiros) foi possível perceber que há uma preocupação de todos eles com aspectos relacionados ao descarte de resíduos sólidos no ambiente. Segundo um dos entrevistados, o passeio de buggy pela região

das lagoas, além de envolver aspectos relacionados à recreação (ex: banho), também envolve o recolhimento de lixos deixados por outros visitantes do local.

Além disso, ainda nesse período, é comum encontrar ambientes de margem de lagoas com rastros/restos de carvão queimado e garrafas de vidro de bebidas, indicando ter ocorrido eventos festivos no local (figura 7).

Figura 7 – Restos de carvão vegetal queimado no entorno de lagoas costeiras



Fonte: Elaborado pelo autor (jun., 2022).

Os bugueiros destacaram que a poluição comumente encontrada no local durante esse período é consequência de visitantes externos à comunidade local, não acompanhados por eles (operadores de turismo), que adentram no campo de dunas e nas lagoas costeiras com seus veículos particulares deixando um rastro de poluição por onde passam (figura 8).

Figura 8 – Resíduos plásticos em margem da lagoa costeira interdunar.



Fonte: Elaborado pelo autor (maio, 2022).

Em um determinado local no campo de dunas que margeia as lagoas encontrou-se maior quantidade de resíduos dispostos aglomerados (figura 9). Durante as entrevistas pôde-se perceber que esses resíduos foram propositadamente dispostos naquele local por donos de veículos que trafegam nas dunas com intuito de “guardar” material que seria utilizado para desatolar veículos em dunas.

Figura 9 – Aglomerado de resíduos em campo de dunas que margeia lagoas costeiras.



Fonte: Elaborado pelo autor (jul., 2021).

O plástico é um material potencialmente perigoso para a biodiversidade e ecossistema local. A poluição por plástico afeta a biodiversidade, com animais podendo ingerir ou ficar presos em resíduos plásticos, causando ferimentos ou morte, prejudicando a cadeia alimentar, alterando o equilíbrio ecológico. Não obstante, podem interromper a função do ecossistema, interferindo nos processos naturais, como a decomposição e ciclagem de nutrientes, podendo acarretar em redução da produtividade do ecossistema e resiliência (Kumar *et al.*, 2021).

Ademais, o plástico naturalmente se degrada cada vez em partículas menores, chamada de microplástico. Nos ecossistemas aquáticos o microplástico pode vir a ser assimilado por organismos vivos, entrando na cadeia alimentar, e causando prejuízos à biodiversidade. Em última instância o microplástico apresenta riscos potenciais à saúde humana por meio da ingestão de alimentos originados desse ambiente poluído. A sustentabilidade dos sistemas globais depende da saúde de ecossistemas aquáticos, pois deles derivam serviços ecossistêmicos essenciais para a manutenção da biodiversidade (Walker; Fequet, 2023).

Esses mesmos resíduos plásticos consequentes do uso das lagoas para atividade turística também impactam, negativamente, o turismo na região, pois, os turistas demandam visitar belezas naturais cênicas e limpas. Portanto, essa poluição afeta diretamente a qualidade ambiental visual que um turista espera encontrar no ambiente natural que visita, degradando a beleza natural local e impactando atividades recreativas.

As entrevistas realizadas com operadores do turismo local reforçam a constatação de que os turistas que visitam as lagoas costeiras da região se incomodam quando se deparam com resíduos plásticos às margens ou flutuando nas lagoas. Segundo um entrevistado, alguns turistas ficam com receio de tomar banho em locais que, visivelmente, a poluição por resíduos está aparente no local.

A atividade de pesca realizada nas lagoas também é comprometida pela presença de plásticos na água. Um pescador local afirmou que já teve seu instrumento de pesca (tarrafa) obstruído por plástico. Além disso, ele destacou que quando coleta o plástico na rede de pesca, retira-o do ambiente aquático com intuito de despoluir a água.

Destaca-se, portanto, que a presença de plástico observada nos ecossistemas lagunares durante a pesquisa é potencial indicador do comprometimento dos serviços ecossistêmicos que as lagoas costeiras oferecem, tendo em vista que, sua presença impacta na biodiversidade local, na qualidade ambiental e, consequentemente, nas atividades de pesca e turismo. Lidar com a poluição plástica torna-se importante para garantir a manutenção da funcionalidade do ecossistema e dos serviços ecossistêmicos.

A mitigação dessa problemática da poluição plástica passa por uma intervenção de abordagem multidisciplinar, uma abordagem holística, que envolva aspectos relacionados a educação ambiental, ciclo de vida dos plásticos, descarte, coleta e destinação final. É preciso haver colaboração e esforço para estabelecer metas globais que reduzam a poluição plástica e investimento em pesquisa e inovação que envolva técnicas de prevenção ou remoção da poluição por plástico/microplástico (Kumar *et al.*, 2021; Walker; Fequet, 2023), além da necessidade de melhores práticas de gerenciamento de resíduos para mitigar a poluição plástica nas lagoas costeiras (Alvarado-Zambrano *et al.*, 2024).

A pesquisa em campo revelou outro aspecto interrelacional da comunidade com as lagoas costeiras: a utilização das lagoas para a lavagem de roupas e animais. Durante a pesquisa foi possível observar resíduos de embalagens plásticas de material de limpeza às margens do corpo d'água (figura 10).

Figura 10 – Embalagem plástica de material de limpeza na margem de lagoa costeira



Fonte: Elaborado pelo autor (ago., 2022).

Além disso, em duas oportunidades, foi possível observar um veículo que transportava aves estacionado à margem da lagoa para lavar a carga que transportava. De acordo com o funcionário da empresa, quando indagado sobre o que estava fazendo, é comum pararem em margem de lagoa na estrada para dar um banho nas aves abrigadas nas gaiolas com intuito de limpar as fezes e urinas que ficam acumulando no fundo destas gaiolas (figura 11).

Figura 11 – Veículo transportando aves estacionado à margem de lagoa costeira para limpeza das gaiolas.



Fonte: Elaborado pelo autor (maio, 2023).

Todo esse material oriundo da lavagem, rico em nutrientes, é descartado para dentro da lagoa, ecossistema caracterizado por possuir um tempo de residência de água maior que outros corpos d’água, contribuindo para aumentar a concentração de nutrientes na lagoa e, consequentemente, a eutrofização do corpo d’água, causando escurecimento da lagoa e provocando desequilíbrio ecológico com impactos negativos também em relação ao uso recreativo dessa lagoa.

As lagoas costeiras são ecossistemas complexos que são vulneráveis à contaminação química devido aos longos períodos de retenção hidrológica, que podem levar à retenção de poluentes. Devido a esses fatores, há uma deterioração significativa na qualidade da água, relacionado à eutrofização caracterizada pelo aumento dos níveis de nutrientes (Köker *et al.*, 2023).

A eutrofização da lagoa juntamente com o descarte de materiais surfactantes oriundos de produtos de limpeza como sabão, detergente e desinfetante, consequentes da lavagem de roupas e/ou lançamento de águas residuais, contribuem para a formação de espumas no corpo d’água, como foi possível de observar em uma das lagoas costeiras estudadas, a Lagoa do Mato (figura 12). A formação de espumas afasta a utilização das lagoas para fins recreativos e turísticos, pois reflete um aspecto de poluição no local.

Figura 12 – Espuma observada na Lagoa do Mato



Fonte: Elaborado pelo autor (ago., 2022).

A descarga de águas residuais provenientes, por exemplo, da lavagem de roupas é prejudicial ao ecossistema aquático devido ao fato de estar injetando, nesse ambiente, resíduos químicos que tendem a se acumular no corpo d'água, provocando um aumento excessivo de nutrientes no local e, consequentemente, levando-o à eutrofização (Renzi; Giovani; Focardi, 2012) e desequilíbrio ecológico (Carvalho *et al.*, 2022; El Zokm *et al.*, 2024).

Num contexto de análise da qualidade ambiental visual, um corpo d'água eutrofizado apresenta coloração escura da água com possibilidade de aparecimento de peixes mortos na superfície e mau odor. Esse conjunto de fatores é diretamente prejudicial aos usos do corpo d'água para atividades de recreação e pesca, comprometendo os serviços ecossistêmicos da lagoa.

O desenvolvimento não planejado, o mau uso da terra, as práticas agrícolas insustentáveis e a gestão inadequada das águas residuais nas bacias hidrográficas representam ameaças significativas às populações e ecossistemas costeiros (Wakwella *et al.*, 2023). O que tem se observado nas lagoas costeiras do município de Itapipoca-CE, resultante da dinâmica socioambiental, são ecossistemas lagunares apresentando um comprometimento de serviços ecossistêmicos que poderiam proporcionar com qualidade.

Nota-se, portanto, que os serviços ecossistêmicos se tornam vulneráveis conforme as formas/modos de uso dos ambientes lagunares. A poluição por plástico, a utilização das lagoas para lavagem e descarga de nutrientes comprometem a biodiversidade, a atividade turística, atividade recreativa, atividade de pesca e a qualidade da água, sendo necessário, portanto, medidas que visem mitigar tais impactos nesses ambientes.

Os impactos dos serviços ecossistêmicos comprometidos em lagoas costeiras vão muito além da degradação ecológica local, trazendo consequências socioeconômicas

significativas. Comunidades que dependem da pesca e do turismo estão enfrentando declínios nos estoques pesqueiros e deterioração das condições ambientais, colocando em risco seus meios de subsistência e práticas culturais (El Mahrad *et al.*, 2020; Rodrigues-Filho, *et al.*, 2023,

Para enfrentar esses desafios consequentes da dinâmica socioambiental, formas de gestão ambiental diversas são praticadas no intuito de promover práticas sustentáveis e restaurar a saúde ambiental das lagoas, com vistas a garantir os serviços ecossistêmicos. As estratégias incluem melhoria na gestão do escoamento superficial agrícola e residencial, o fortalecimento do engajamento comunitário com revisão de suas práticas culturais e a implementação de marcos regulatórios que garantam o uso responsável do ambiente (Anthony *et al.*, 2009; Ligorini *et al.*, 2022; Zhao *et al.*, 2024).

Destaca-se que, as medidas que podem mitigar os impactos consequentes da pressão antrópica no meio devem, necessariamente, ser construídas em conjunto com a comunidade local. A participação da comunidade é essencial para a conservação eficaz da lagoa. Em recente estudo realizado por Suwandhahannadi *et al.* (2024) em lagoa costeira do Sri Lanka, no qual os pesquisadores realizaram um levantamento de como as comunidades locais percebem e priorizam serviços ecossistêmicos de lagoas costeiras, destacou-se que, para um manejo eficaz da lagoa, deve-se integrar o conhecimento e a participação da comunidade na elaboração políticas públicas que abordem a sobrepesca, a poluição e a degradação do habitat.

Mirli *et al.* (2024) defendem uma abordagem participativa para o gerenciamento de lagoas costeiras, enfatizando a integração das perspectivas das partes interessadas para criar estratégias de gestão eficazes e sustentáveis. Logo, o gerenciamento eficaz desses ambientes costeiros requer o trato do equilíbrio da saúde ecológica com as necessidades socioeconômicas das comunidades locais.

O envolvimento das comunidades na formulação de protocolos de tomada de decisão pode resultar em melhores práticas de sustentabilidade e melhores resultados de conservação, garantindo assim que a lagoa persista na prestação de serviços ecológicos para as próximas gerações.

Não obstante, estruturas políticas e de governança fortes são necessárias para aplicar medidas de conservação. Por exemplo, a implementação da Diretiva-Quadro da Água nas lagoas europeias forneceu uma base legal para proteger esses ecossistemas (Newton *et al.*, 2014). Na prática, a Diretiva-Quadro da Água funciona como uma legislação guarda-chuva que obriga os países da União Europeia a mapear e classificar suas massas de água, avaliar seu estado ecológico e químico e, a partir disso, elaborar planos de gestão por bacias hidrográficas em ciclos de seis anos. Esses planos incluem medidas obrigatórias de mitigação, tais como

redução da poluição difusa de origem agrícola, melhoria do tratamento de efluentes urbanos, recuperação da vegetação ciliar e monitoramento contínuo da qualidade da água. O objetivo central é alcançar o chamado “bom estado ecológico e químico” das águas, com prazos de adequação que podem se estender até 2027. No caso das lagoas europeias, a Diretriz estabelece um marco legal que garante não apenas a proteção ambiental, mas também a implementação de ações concretas de recuperação quando essas massas d’água não atingem os padrões de qualidade exigidos, envolvendo ainda a participação pública no processo de gestão.

As lagoas costeiras do distrito da Baleia, em Itapipoca-CE, são corpos d’água que apresentam beleza cênica natural e, portanto, atraem o interesse antrópico para os seus mais diversos usos. Além disso, são importantes reservatórios de água para as comunidades locais que dela se utilizam para provimento alimentar, através da pesca e cultura agrícola.

Além do serviço ecossistêmico de provisão supramencionado, constatou-se que os corpos d’água são importantes para as atividades de turismo e lazer (serviços culturais). Logo, a dinâmica socioambiental que afeta as lagoas costeiras do distrito da Baleia em Itapipoca-CE é caracterizada pela pressão das atividades humanas, que incluem uso da água e solo, poluição e destruição de habitats. Enquanto que algumas práticas como o lançamento de águas residuais, lavagem de roupas e animais frequentemente resultam em escoamento superficial de nutrientes que interferem na eutrofização e qualidade da água.

Não obstante, as alterações climáticas introduzem efeitos adicionais, como alteração em regime de chuvas e aumento da temperatura, que colocam ainda mais pressão nesses ecossistemas lagunares e comprometem seus serviços ecossistêmicos.

Diante do exposto é oportuno apontar para indicadores socioambientais que poderão refletir no estado de vulnerabilidade dos serviços ecossistêmicos que as lagoas oferecem. A presença de resíduos sólidos, de espuma na água, o lançamento de águas residuais, a lavagem de roupas e/ou animais e, de modo geral, a forma como o corpo d’água é utilizado/explorado são indicadores do quanto pressionado possa estar o ecossistema lagunar e, assim, comprometer a qualidade dos serviços ecossistêmicos. Assim, os indicadores apresentados poderão integrar o índice de vulnerabilidade a ser proposto.

6.2 Caracterização da qualidade da água das lagoas costeiras

As lagoas costeiras compreendem um ambiente de grande importância para processos ecológicos, servindo, por exemplo, para a reprodução e proteção de espécies aquáticas e semiaquáticas, e ainda tendo variados usos para as comunidades locais, desde a

pesca artesiana e recreação à dessedentação animal. Trata-se, portanto, de um ecossistema de múltiplas importâncias e usos.

De acordo com Esteves (2011) as lagoas são corpos hídricos rasos, constituídos por águas doce, salobra ou salina onde os raios solares atingem o substrato sedimentar. Esses ecossistemas aquáticos são normalmente rasos, paralelos à linha de costa, separados do oceano por barreira (ex: banco de areia, dunas), estreitos e instáveis em relação ao padrão de chuvas da região, com isso há fragmentação e a formação de sistemas lagunares menores e de curta duração, o que faz com que se tornem muito vulneráveis aos impactos ambientais, principalmente o da urbanização (Boateng, 2020; Esteves, 2011; Kennish; Paerl, 2010; Lanzer, 2005; Pérez-Ruzafa *et al.* 2011).

As múltiplas importâncias e usos das lagoas costeiras são reflexos dos serviços ecossistêmicos que elas geram como benefícios para o ambiente, como por exemplo os serviços de provisão (ex: alimentos, matéria-prima), suporte (ex: habitat para as espécies), regulação (ex: sequestro de carbono, ciclo hidrológico) e culturais (ex: turismo, lazer, educação) que são serviços diretamente associados a esses ambientes (Newton *et al.*, 2018; Perez-Ruzafa *et al.*, 2019a; Rodrigues-Filho *et al.*, 2023)

Contudo, a crescente urbanização desorganizada e insustentável do litoral cearense tem proporcionado ampla exploração desses ambientes lacustres costeiros gerando consequências como a ocupação irregular, impermeabilização de margens, aterramento, assoreamento e poluição, impactando na vulnerabilidade e comprometendo os serviços ecossistêmicos que esses ambientes proporcionam (Boateng, *et al.*, 2020), se tornando, portanto, um dos ecossistemas mais ameaçados do mundo (Newton *et al.*, 2018). Não obstante, as lagoas costeiras são ambientes especialmente vulneráveis ao processo de eutrofização (Méneguén; Lacroix, 2018) que consiste no enriquecimento excessivo de nutrientes e ocasiona processos de desequilíbrios ecossistêmicos.

Entender sobre lagoas costeiras é discutir a importância desses componentes da paisagem como ricos ambientes nos quais ocorrem complexos processos socioambientais, além de terem papel importante na manutenção da biodiversidade (Freesz *et al.*, 2010).

Portanto, o conhecimento a respeito da dinâmica da qualidade da água das lagoas em decorrência de seus usos se torna um aspecto importante para a compreensão do papel ecológico-ambiental desses ambientes lacustres e ajuda a sopesar futura implantação de empreendimentos imobiliários e/ou o desenvolvimento de atividades econômicas, sem ordenação adequada, que possa vir a aprofundar a vulnerabilidade, os desequilíbrios ambientais e comprometer os serviços ecossistêmicos que esses ambientes proporcionam.

As lagoas costeiras estudadas apresentaram concentrações dos sólidos totais dissolvidos que variaram de 200 ml/L a 300 mg/L nos pontos analisados, valores que enquadram as lagoas na classificação de água doce, pois são inferiores a 500 mg/L (Braga *et al.*, 2021; Silveira *et al.*, 2015). Os sólidos totais dissolvidos na água consistem de sais inorgânicos e materiais dissolvidos que geralmente compõem 95% ou mais do peso de sólidos totais na água e, portanto, apresentam uma relação direta com a salinidade (Braga *et al.*, 2021). Os resultados das demais análises da qualidade da água das quatro lagoas costeiras no distrito da Baleia, Itapipoca-CE, são apresentadas nas tabelas 1, 2, 3 e 4.

Tabela 1 – Resultados da qualidade da água na lagoa interdunar (ponto P1)

P1 Lagoa interdunar										
	fev/22	mar/22	abr/22	mai/22	jun/22	jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22
pH	nd	nd	8,56	8,56	8,64	8,65	7,65	7,78	7,89	7,70
Alcalinidade (mg/L)	nd	nd	55,5	59,4	62,1	68,4	70,4	73,8	74,0	73,0
Dureza total (mg/L)	nd	nd	58	60,1	67,8	68,0	76,8	79,2	79,8	79,0
Fósforo (mg/L)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	nd	nd	0,30	0,32	0,46	0,48	0,51	0,48	0,67	0,68
Nitrito (mg/L)	nd	nd	0,53	0,43	0,52	0,55	0,62	0,66	0,70	0,73
Sulfeto (mg/L)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ferro (mg/L)	nd	nd	0,19	0,24	0,29	0,32	0,32	0,36	0,40	0,38
Transparência da água (cm)	nd	nd	90	90	92	92	90	70	50	40
Resíduos sólidos objetáveis	nd	nd	Presente							
Materiais flutuantes	nd	nd	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Presente	Presente	Presente	Presente

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 2 – Resultados da qualidade da água na lagoa interdunar (ponto P2)

P2 Lagoa interdunar										
	fev/22	mar/22	abr/22	mai/22	jun/22	jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22
pH	nd	nd	8,34	8,34	8,50	8,45	7,68	7,67	7,88	7,80
Alcalinidade (mg/L)	nd	nd	44,6	49,6	65,0	67,8	75,0	70,0	71,7	70,8
Dureza total (mg/L)	nd	nd	59,0	62,5	64,3	69,0	79,0	79,9	78,6	78,5
Fósforo (mg/L)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	nd	nd	0,40	0,45	0,51	0,55	0,55	0,55	0,65	0,64
Nitrito (mg/L)	nd	nd	0,56	0,38	0,51	0,55	0,67	0,75	0,81	0,80
Sulfeto (mg/L)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ferro (mg/L)	nd	nd	0,24	0,26	0,27	0,30	0,35	0,37	0,43	0,40
Transparência da água (cm)	nd	nd	100	100	102	100	90	76	64	42
Resíduos sólidos objetáveis	nd	nd	Presente							
Materiais flutuantes	nd	nd	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Presente	Presente	Presente	Presente

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 3 – Resultados da qualidade da água na lagoa interdunar (ponto P3)

P3 Lagoa interdunar	fev/22	mar/22	abr/22	mai/22	jun/22	jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22
pH	nd	nd	8,75	8,75	8,55	8,50	7,43	7,99	7,65	7,65
Alcalinidade (mg/L)	nd	nd	48,5	53,4	65,1	69,4	72,6	75,0	73,8	72,0
Dureza total (mg/L)	nd	nd	57,0	58,6	65,0	68,5	75,3	79,8	77,6	77,0
Fósforo (mg/L)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	nd	nd	0,46	0,40	0,48	0,59	0,56	0,59	0,63	0,64
Nitrito (mg/L)	nd	nd	0,52	0,40	0,44	0,49	0,62	0,69	0,73	0,72
Sulfeto (mg/L)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ferro (mg/L)	nd	nd	0,30	0,31	0,33	0,33	0,36	0,36	0,40	0,39
Transparéncia da água (cm)	nd	nd	90	90	92	94	86	74	60	32
Resíduos sólidos objetáveis	nd	nd	Presente							
Materiais flutuantes	nd	nd	Ausente							

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 4 – Resultados da qualidade da água na lagoa do mato (ponto P4)

P4 Lagoa do mato	fev/22	mar/22	abr/22	mai/22	jun/22	jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22
pH	8,50	8,70	8,99	8,99	8,77	8,56	7,33	8,01	8,11	8,1
Alcalinidade (mg/L)	50,00	51,50	52,5	56,7	61,8	69,1	70,8	70,7	74,3	75
Dureza total (mg/L)	53,00	55,50	58,0	60,3	64,3	67,2	74,6	79,8	78,4	80
Fósforo (mg/L)	nd									
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	0,33	0,37	0,38	0,43	0,51	0,56	0,51	0,56	0,62	0,65
Nitrito (mg/L)	0,50	0,50	0,55	0,41	0,43	0,56	0,66	0,74	0,7	0,75
Sulfeto (mg/L)	nd									
Ferro (mg/L)	0,25	0,27	0,27	0,27	0,30	0,31	0,31	0,30	0,31	0,30
Transparéncia da água (cm)	29	30	32	34	36	35	33	31	30	25
Resíduos sólidos objetáveis	Presente									
Materiais flutuantes	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente

Fonte: Elaborada pelo autor.

Observa-se que, nos meses de fevereiro e março de 2022, para as lagoas interdunares (pontos: p1, p2 e p3), não foi possível obter o resultado de nenhum parâmetro de qualidade de água. Isso se deu pelo fato de que nesses meses as lagoas não estavam formadas (ou estavam em início de formação), impossibilitando a coleta de água necessária para as análises.

6.2.1 Fósforo

O fósforo é importante para os sistemas vivos por compor a molécula de armazenamento de energia (adenosina trifosfato - ATP), a membrana plasmática das células e, sob a forma de ortofosfato, ser facilmente assimilado pelos vegetais aquáticos, tornando-se fator limitante de crescimento destes. Portanto, trata-se de um importante elemento para a manutenção da vida aquática. O fósforo aparece em águas naturais devido, principalmente, às descargas de esgotos sanitários (CETESB, 2017).

Os valores encontrados nas lagoas costeiras foram tão baixos (ou nulos) que não foram possíveis de ser detectados pelo método de análise laboratorial. Ainda assim, destaca-se

que, conforme a CONAMA nº 357/2005 (Brasil, 2005) a concentração de fósforo na água possui limites de 0,02 mg/L (classe 1), 0,03 mg/L (classe 2) e 0,05 mg/L (classe 3). Ceará (2010), realizou um levantamento da qualidade de água na Lagoa do Mato (ponto p4) e encontrou concentração máxima de 0,08 mg/L, superior ao preconizado pela legislação, mas que foi considerada uma concentração passível de assimilação pelos organismos aquáticos.

6.2.2 Sulfeto

A concentração de sulfeto nas lagoas costeiras estava baixa (ou nula) ao ponto de não ser possível detectar pelo método de análise laboratorial. Esse parâmetro é um indicador de lançamento de efluentes contendo sulfato, podendo ser convertido a ácido sulfídrico por bactérias do gênero *Thiobacillus*, causando odor característico desagradável (CETESB, 2017; SOBRAL et al, 2019), tornado o corpo d'água desinteressante para atividades antrópicas como o turismo e o lazer. De acordo com a legislação CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005) a concentração de sulfeto na água possui limites máximos de 0,002 mg/L (classes 1 e 2) e 0,3 mg/L (classe 3). Em trabalho semelhante numa lagoa costeira, Sobral *et al.* (2019) encontraram valores que extrapolaram o limite máximo indicado pela legislação na classe 2, com odor forte perceptível em alguns pontos, consequência do despejo de efluentes.

6.2.3 Ferro

O ferro exerce importante ação no processo fotossintético, bem como na hemoglobina do sangue de animais. Apresenta, portanto, importância na manutenção de vida em ecossistemas aquáticos tendo em vista fazer parte de organismos produtores e consumidores.

O ferro é um metal naturalmente encontrado na natureza (Davis; Masten, 2016) e sua presença na água é muito comum devido às características geoquímicas de cada região (Santos *et al.*, 2020). O seu excesso no corpo d'água provoca alteração na coloração e odor típico de ferrugem, podendo comprometer processos ecológicos e atividades humanas no ambiente ou que necessitem de água, como a irrigação. A formação de precipitados que conferem cor, sabor e odor característicos de ferro na água ocorrem quando entram em contato com o oxigênio (Almeida *et al.*, 2019) e quando as concentrações superam os limites máximos estabelecidos pela legislação pertinente (Santos *et al.*, 2020). Nas águas superficiais, o nível de ferro aumenta nas estações chuvosas devido ao carreamento de solos e a ocorrência de processos de erosão das margens (CETESB, 2017).

A resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005) determina concentração máxima de ferro dissolvido em água doce de 0,3 mg/L (classes 1 e 2) e 5,0 mg/L (classe 3). Nas lagoas costeiras da praia da Baleia encontrou-se concentrações que variaram de 0,19 mg/L a 0,43 mg/L (tabela 5), com valores superando levemente o limite máximo de padrão de qualidade para usos relacionados às classes 1 e 2, que envolvem: a proteção às comunidades aquáticas, recreação de contato primário (mergulho com possibilidade de o banhista ingerir água), irrigação, aquicultura e atividade de pesca.

Tabela 5 – Concentração de ferro nas lagoas.

Concentração de ferro na água (em mg/L)										
	fev/22	mar/22	abr/22	mai/22	jun/22	jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22
P1 Lagoa interdunar	nd	nd	0,19	0,24	0,29	0,32	0,32	0,36	0,40	0,38
P2 lagoa interdunar	nd	nd	0,24	0,26	0,27	0,30	0,35	0,37	0,43	0,40
P3 lagoa interdunar	nd	nd	0,30	0,31	0,33	0,33	0,36	0,36	0,40	0,39
P4 lagoa do mato	0,25	0,27	0,27	0,27	0,30	0,31	0,31	0,30	0,31	0,30

Fonte: Elaborada pelo autor

As concentrações mais elevadas foram encontradas em lagoas interdunares desprovidas de vegetação ciliar e em período de estiagem na região, com uma nítida percepção de progressivo aumento da concentração no decorrer do período de chuvas. A ausência de chuvas, principal fonte de abastecimento/renovação de água das lagoas interdunares, também contribui com o aumento da concentração de nutrientes no corpo d'água tendo em vista a falta de renovação da água. Ademais, a ausência de mata ciliar, característica dos corpos d'água interdunares em campo de dunas móveis, contribui para o aumento do aporte de partículas advindas de processos erosivos e de lixiviação. A má gestão da mata ciliar em bacias lacustres resulta em excesso de entrada de sedimentos e redução de zonas húmidas (Silva, 2021).

6.2.4 pH

O potencial hidrogeniônico (pH) da água variou de 7,33 a 8,99 nas lagoas costeiras analisadas (Tabela 6), caracterizando os corpos d'água como básicos, igualmente evidenciado nos estudos da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (Ceará, 2010) na própria lagoa do mato e por Sobral et al. (2019) em sistema lagunar costeiro similar. Os valores básicos de pH também podem estar associados à floração de algas pois, devido à insolação, os gradientes de fotossíntese se sobrepõem aos processos de respiração celular, retirando a quantidade de carbono disponível na água e impedindo sua conversão à ácidos (CETESB, 2017). Os valores se encontraram dentro dos limites estabelecidos pela CONAMA 357/2005, que é de

6,0 a 9,0 nas classes 1, 2 e 3. Conforme a CETESB (2017), a influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies, podendo ainda influenciar na solubilidade de nutrientes.

Tabela 6 – pH nas lagoas

	pH na água										
	fev/22	mar/22	abr/22	mai/22	jun/22	jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22	
P1 Lagoa interdunar	nd	nd	8,56	8,56	8,64	8,65	7,65	7,78	7,89	7,70	
P2 lagoa interdunar	nd	nd	8,34	8,34	8,50	8,45	7,68	7,67	7,88	7,80	
P3 lagoa interdunar	nd	nd	8,75	8,75	8,55	8,50	7,43	7,99	7,65	7,65	
P4 lagoa do mato	8,50	8,70	8,99	8,99	8,77	8,56	7,33	8,01	8,11	8,10	

Fonte: Elaborada pelo autor.

6.2.5 Alcalinidade

A alcalinidade nas águas é responsável pela capacidade de neutralização dos ácidos, tornando o ambiente propício a uma maior produtividade biológica e oferecendo melhores condições para o desenvolvimento dos organismos aquáticos (CETESB, 2017; Esteves, 2011; Piratoba *et al.*, 2017). A alcalinidade encontrada nas lagoas costeiras variou de 44,6 mg/L de CaCO₃ a 75,0 mg/L de CaCO₃ (tabela 7), evidenciando a condição de basicidade das águas e corroborando com os níveis de pH observados. Segundo a Secretaria de Vigilância em Saúde (Brasil, 2006), a maioria das águas naturais apresenta valores de alcalinidade na faixa de 30 a 500 mg/L de CaCO₃. A Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (Ceará, 2010) encontrou valor de alcalinidade para a lagoa do mato (ponto 4) 122,4, corroborando com a condição de basicidade.

Tabela 7 – Alcalinidade nas lagoas.

	Alcalinidade (em mg/L)										
	fev/22	mar/22	abr/22	mai/22	jun/22	jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22	
P1 Lagoa interdunar	nd	nd	55,5	59,4	62,1	68,4	70,4	73,8	74,0	73,0	
P2 lagoa interdunar	nd	nd	44,6	49,6	65,0	67,8	75,0	70,0	71,7	70,8	
P3 lagoa interdunar	nd	nd	48,5	53,4	65,1	69,4	72,6	75,0	73,8	72,0	
P4 lagoa do mato	50,0	51,50	52,5	56,7	61,8	69,1	70,8	70,7	74,3	75,0	

Fonte: Elaborada pelo autor.

6.2.6 Dureza total

A dureza total nas lagoas variou de 53,0 mg/L a 79,9 mg/L (tabela 8) evidenciando uma característica de branda à moderada, conforme a Fundação Nacional de Saúde (Brasil, 2014). A dureza da água é a medida de sua capacidade de precipitar sabão, transformando-se em complexos insolúveis, não formando espuma até que o processo se esgote (CETESB, 2017). Não obstante, a dureza é uma propriedade da água que possibilita a capacidade de resistir a

alterações de pH (Moreira, 2001). A Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (Ceará, 2010) encontrou valor de dureza para a lagoa do mato (ponto 4) de 141,0 mg/L evidenciando a característica de dureza moderada. O CONAMA através da resolução nº 357 de 2005, estabelece um limite máximo de 500 mg/L para dureza dos corpos d'água, logo, nenhum dos corpos d'água analisados extrapolou o limite máximo estabelecido no decorrer dos meses analisados.

Tabela 8 – Dureza total nas lagoas.

	Dureza total (em mg/L)									
	fev/22	mar/22	abr/22	mai/22	jun/22	jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22
P1 Lagoa interdunar	nd	nd	58,0	60,1	67,8	68,0	76,8	79,2	79,8	79,0
P2 lagoa interdunar	nd	nd	59,0	62,5	64,3	69,0	79,0	79,9	78,6	78,5
P3 lagoa interdunar	nd	nd	57,0	58,6	65,0	68,5	75,3	79,8	77,6	77,0
P4 lagoa do mato	53,0	55,5	58,0	60,3	64,3	67,2	74,6	79,8	78,4	80,0

Fonte: Elaborada pelo autor

6.2.7 Nitrogênio Amoniacal

Os compostos nitrogenados se destacam por seu efeito no ambiente relacionados às eutrofização (Isoldi *et al.*, 2003). O nitrogênio amoniacal é uma das formas de nitrogênio que podem ser encontrados nas águas e é associado ao despejo de esgoto sanitário e efluentes industriais (CETESB, 2017; Esteves, 2011; Tundisi; Tundisi, 2008). Dentre as formas de nitrogênio, o amoniacal evidencia fonte de poluição próxima do local de coleta (CETESB, 2017). Os compostos de nitrogênio são nutrientes para processos biológicos e são caracterizados como macronutrientes, logo, quando descarregados nas águas naturais, conjuntamente com o fósforo e outros nutrientes presentes nos despejos, provocam o enriquecimento do meio ficando disponível para plantas aquáticas, tornando-o eutrofizado (CETESB, 2017; Mendes; Pedroza, 2019). A resolução CONAMA nº 357 de 2005, estabelece um limite máximo que varia de acordo com a classe e o pH da água, conforme a Tabela 9.

Tabela 9 – limites máximos de nitrogênio amoniacal (N.amoniacal) para as classes 1, 2 e 3 de acordo com o pH da água.

	Classes 1 e 2	N.amoniacal (mg/L)		Classe 3	N. amoniacal (mg/L)
pH			pH		
$\leq 7,5$		3,7	$\leq 7,5$		13,3
7,5 a ≤ 8		2	7,5 a ≤ 8		5,6
8 a $\leq 8,5$		1	8 a $\leq 8,5$		2,2
$> 8,5$		0,5	$> 8,5$		1

Fonte: Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005)

Diante disso, baseado nas concentrações encontradas nas lagoas (tabela 10), constatou-se que, apenas na lagoa do mato (ponto 4), em dois meses (junho e julho de 2022) os valores de nitrogênio amoniacal superaram levemente o limite máximo estabelecido pelo CONAMA, com valores de 0,51 mg/L e 0,56 mg/L numa faixa de pH acima de 8,5 para a utilização preponderante das classes 1 e 2 que envolvem: a proteção às comunidades aquáticas, recreação de contato primário (mergulho com possibilidade do banhista ingerir água), irrigação, aquicultura e atividade de pesca.

Tabela 10 – Nitrogênio amoniacal nas lagoas.

	Nitrogênio amoniacal (em mg/L)										
	fev/22	mar/22	abr/22	mai/22	jun/22	jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22	
P1 Lagoa interdunar	nd	nd	0,30	0,32	0,46	0,48	0,51	0,48	0,67	0,68	
P2 lagoa interdunar	nd	nd	0,40	0,45	0,51	0,55	0,55	0,55	0,65	0,64	
P3 lagoa interdunar	nd	nd	0,46	0,40	0,48	0,59	0,56	0,59	0,63	0,64	
P4 lagoa do mato	0,33	0,37	0,38	0,43	0,51	0,56	0,51	0,56	0,62	0,65	

Fonte: Elaborada pelo autor

Ressalta-se que o entorno dessa lagoa costeira (ponto P4) é o único que apresenta área com habitação às margens e que as casas não apresentam infraestrutura adequada de saneamento, descarregando seus efluentes diretamente no corpo d'água, bem como uma vegetação ciliar levemente suprimida ou substituída por cultivos agrícolas. Essa extração do limite máximo permitido de nitrogênio amoniacal na água, mesmo que em pequena margem, indica que o ambiente não teve capacidade de autodepuração diante da descarga de nutrientes recebida naquele período. Contudo, observou-se que nos meses subsequentes, houve a recuperação com estabilização da concentração de nitrogênio amoniacal, retornando às condições aceitáveis para utilização do corpo d'água.

6.2.8 Nitrito

O nitrito representa a forma oxidada e inorgânica do nitrogênio na água, atuando como um fator limitante para a produtividade primária no ambiente sendo diretamente relacionado à eutrofização quando encontrado em elevadas concentrações (CETESB, 2017; Esteves, 2011). A principal fonte de nitrito é despejo de esgoto sanitário e efluentes industriais e sua concentração acima do valor máximo permitido (VMP) evidencia fonte de poluição distante do local de coleta (CETESB, 2017). A resolução CONAMA nº 357 de 2005 estabelece um limite máximo para as classes de 1,0 mg/L de nitrito. Todas as amostras dos pontos das

lagoas costeiras apresentaram valores abaixo do VMP (Tabela 11) e, portanto, não apresentaram significativas condições que comprometessem a qualidade da água e os serviços ecossistêmicos do meio.

Tabela 11 – Nitrito nas lagoas.

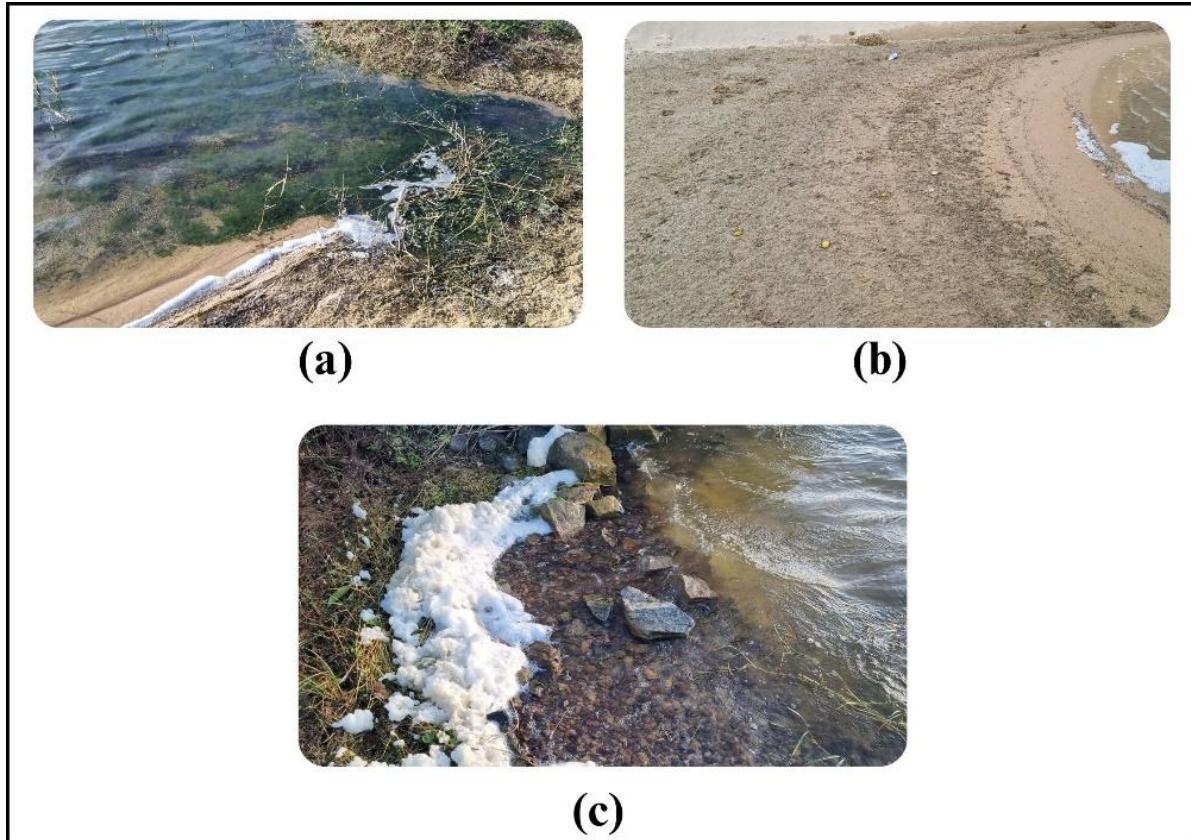
	Nitrito (em mg/L)										
	fev/22	mar/22	abr/22	mai/22	jun/22	jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22	
P1 Lagoa interdunar	nd	nd	0,53	0,43	0,52	0,55	0,62	0,66	0,70	0,73	
P2 lagoa interdunar	nd	nd	0,56	0,38	0,51	0,55	0,67	0,75	0,81	0,80	
P3 lagoa interdunar	nd	nd	0,52	0,40	0,44	0,49	0,62	0,69	0,73	0,72	
P4 lagoa do mato	0,50	0,50	0,55	0,41	0,43	0,56	0,66	0,74	0,7	0,75	

Fonte: Elaborada pelo autor.

6.2.9 Materiais Flutuantes

Os materiais flutuantes que podem estar presentes em um corpo d'água são graxa, óleo, detergente e sabão que, por apresentarem uma densidade menor que a da água, se elevam para a superfície do ambiente podendo formar espumas não naturais. A resolução CONAMA nº 357 de 2005 estabelece para todas as classes que os materiais flutuantes estejam virtualmente ausentes, ou seja, não serem perceptíveis pela visão, olfato ou paladar (Brasil, 2005). Na lagoa interdunar, ponto 3, os materiais flutuantes estiveram ausentes durante todo o período de monitoramento. Acredita-se que isso se deve ao fato do corpo d'água possuir um acesso mais difícil e, portanto, se tornar menos utilizada para fins de lavagem/limpeza de material com utilização de detergentes, por exemplo. Contudo, duas outras lagoas interdunares (pontos 1 e 2) e a lagoa do mato (ponto 4) apresentaram materiais flutuantes a partir do segundo semestre de 2022 (figura 13).

Figura 13 – Presença de material flutuante em lagoa interdunar (a, b) e na Lagoa do Mato (c)



Fonte: Elaborado pelo autor (ago., 2022).

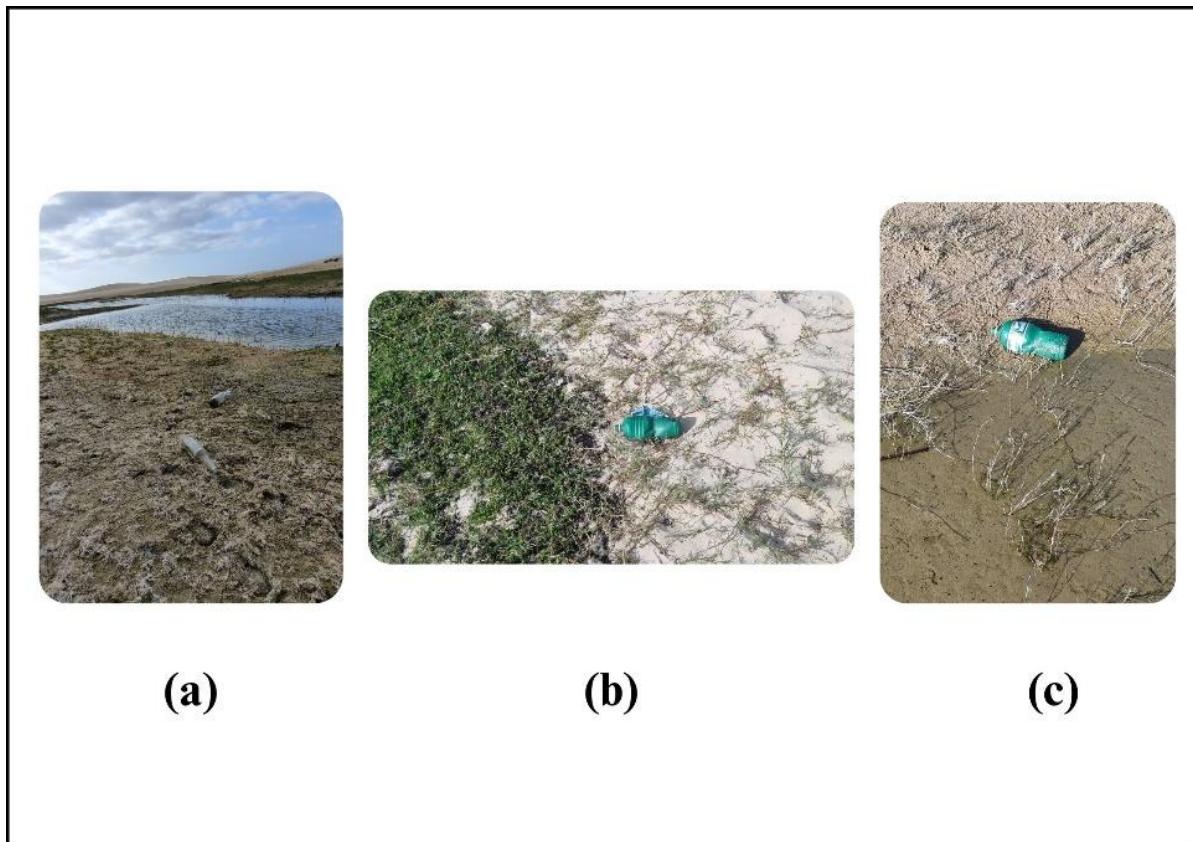
Devido a leveza dos materiais flutuantes e a ação constante dos ventos as espumas se concentraram às margens das lagoas costeiras. A redução da intensidade de chuvas, naturalmente observada a partir do segundo semestre do ano, com a consequente redução na renovação de água e os tipos de uso do corpo d'água, faz com que esses materiais que provocam a formação de espumas se concentrem ao ponto de não serem mais assimiláveis pelo ecossistema. A constatação de material flutuante nas lagoas revela, de forma indireta, que o ambiente tem sido utilizado como local de lavagem/limpeza com utilização de detergentes ou local de descarte de efluentes de limpeza.

6.2.10 Resíduos Sólidos Objetáveis

Os resíduos sólidos objetáveis são materiais que resultam das atividades humanas e permanecem como resíduo no meio. A resolução CONAMA nº 357 de 2005 estabelece para todas as classes que os resíduos sólidos objetáveis estejam virtualmente ausentes, o que significa não serem perceptíveis pela visão (Brasil, 2005). Durante todo o período de coleta nas lagoas costeiras pôde-se constatar a ocorrência de resíduos sólidos consequentes das atividades

humanas que foram desenvolvidas no meio. Devido a ação dos ventos o resíduo sólido era levado às margens ou se estabelecia no entorno do corpo d'água (figura 14).

Figura 14 – Resíduos sólidos objetáveis observados nas lagoas costeiras: garrafas de vidro (a) e recipientes plásticos de produtos de limpeza (b,c)



Fonte: Elaborada pelo autor (ago., 2022).

A constatação dos resíduos, portanto, é reveladora da relação sociedade-natureza nas lagoas costeiras estudadas, implicando em consequências danosas ao ambiente. A decomposição desses resíduos pode demorar milhares de anos, comprometer a qualidade do ambiente e ameaçar a existência de espécies que dependem das lagoas costeiras para seu desenvolvimento. Não obstante, os resíduos podem implicar também em consequências danosas à atividade econômica do turismo na região, tendo em vista que locais com a presença de resíduos não se tornam atrativos, do ponto de vista paisagístico e de balneabilidade.

6.2.11 Transparência de Secchi

A transparência de secchi é indicador indireto da densidade de organismos planctônicos (Soria *et al.*, 2020) e, consequentemente, da capacidade de capilaridade da luz

solar no meio aquático, fator indispensável para a produtividade no ambiente. A transparência varia em função da chuva e drenagem terrestre, reduzindo a entrada de luz no meio aquático como consequência do aumento de nutrientes no meio e aumento de biomassa fitoplânctonica (Azevedo *et al.*, 2008). Ademais, o aumento da produtividade do corpo d'água, consequente da atividade metabólica dos organismos fitoplânctônicos, provoca uma elevação da concentração de bactérias heterotróficas, que se alimentam da matéria orgânica das algas e de outros microorganismos mortos, consumindo o oxigênio dissolvido no meio (Von Sperling, 1996). Portanto, a transparência da água também é um indicador indireto das condições tróficas e de oxigenação no meio aquático.

Em relação as lagoas interdunares (pontos: p1, p2 e p3) não houve a determinação da transparência da água nos meses de fevereiro e março pois elas estavam em início de formação, apresentando reduzida ou nenhuma lâmina de água que possibilitasse o uso do disco de Secchi. De abril à novembro a transparência da água nas lagoas variou de 32 cm a 102 cm e corresponderam às profundidades totais dos pontos, como consequência da total translucidez da água. Diante disso, a zona de incidência/penetração de luz era a mesma das profundidades das lagoas (Tabela 12).

Tabela 12 – Transparência da água nas lagoas.

	Transparência da água (em cm)									
	fev/22	mar/22	abr/22	mai/22	jun/22	jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22
P1 Lagoa interdunar	nd	nd	90	90	92	92	90	70	50	40
P2 lagoa interdunar	nd	nd	100	100	102	100	90	76	64	42
P3 lagoa interdunar	nd	nd	90	90	92	94	86	74	60	32
P4 lagoa do mato	29	30	32	34	36	35	33	31	30	25

Fonte: Elaborada pelo autor.

Contudo, na lagoa do mato (ponto p4) a transparência da água não correspondeu à profundidade total do ponto e variou de 25cm à 36cm (Tabela 12), com a menor profundidade observada na estação seca. Os valores de transparência constatados qualificam o corpo d'água como eutrofizado (Carlson, 1977; Toledo Jr *et al.*, 1983), ou seja, com excesso de nutrientes, que trazem como consequência, por exemplo: aumento da biomassa de fitoplâncton, redução na transparência da água, depleção de oxigênio dissolvido, redução do valor estético do corpo d'água, redução da diversidade de espécies (Smith; Schindler, 2009). Quando a eutrofização é crônica os efeitos incluem eventos de espuma (Desmit *et al.*, 2018) como os já observados neste estudo.

A Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará - COGERH (Ceará, 2010), em estudo realizado nesta mesma lagoa e próximo ao ponto de coleta desta pesquisa, encontrou transparência de 103 cm com a observação de que esse valor correspondeu, praticamente, à profundidade total do ponto aonde foi efetuada a medição. Portanto, é possível constatar que, em pouco mais de uma década houve uma considerável redução da transparência da água com consequente redução da penetração de luz solar no meio.

A baixa transparência da água observada na lagoa do mato (ponto p4), aliada a nítida percepção visual de escurecimento e esverdeamento na cor desta, confluí para a constatação de que há uma considerável densidade de organismos planctônicos na coluna d'água favorecidos pelo despejo de nutrientes no meio.

Não obstante, a baixa transparência da água pode estar associada ao maior aporte de sedimentos no local como consequência da degradação da mata ciliar às margens da lagoa. As atividades agropecuárias desenvolvidas às margens do ambiente também contribuem para o transporte e deposição de materiais sólidos no manancial uma vez que há a supressão da mata ciliar para o desenvolvimento da atividade (Franco; Hernandez, 2009; Vanzela *et al.*, 2010; Von Sperling *et al.*, 2006).

O monitoramento mensal da qualidade da água nas lagoas costeiras permitiu compreender as condições de qualidade da água, o quanto esses ambientes são vulneráveis diante das consequências de usos do ecossistema lacustre e apontar para variáveis/indicadores que melhor refletem as condições ambientais do meio aquático.

Dos 11 parâmetros de qualidade de água monitorados, destacam-se três como os que se encontraram fora dos padrões preconizados pela legislação brasileira: ferro, materiais flutuantes e resíduos sólidos objetáveis. Esses parâmetros, por sua vez, possuem relação indireta com ausência ou reduzida vegetação ciliar nas lagoas, que confere uma proteção ao meio aquático por meio de uma barreira física, além do indicativo de despejo/utilização de materiais detergentes, óleos e graxas que é representativo da relação entre a sociedade e o ambiente.

A transparência da água, que embora não se tenha um padrão preconizado em legislação, reflete condições de qualidade do ambiente lagunar. Pôde-se observar, através de um comparativo com estudo anterior na lagoa do mato, que o corpo d'água teve uma redução de, aproximadamente, 67 cm na transparência de sua água. Observando-se, portanto, a evolução da transparência da água na lagoa do mato com trabalho anterior é possível constatar que o processo de escurecimento da água poderá aumentar, e isso acarretará um desequilíbrio ambiental com sério comprometimento dos serviços ecossistêmicos prestados pelo ambiente. A alteração da qualidade da água tende a comprometer, à depender de sua intensidade e

durabilidade de condições, serviços ecossistêmicos gerados pelas lagoas costeiras, tais como os serviços de provisão, suporte, regulação e culturais.

Logo, diante do exposto, têm-se a vegetação ciliar, transparência da água, materiais flutuantes e resíduos sólidos objetáveis como indicadores de qualidade da água, tendo em vista que suas condições no meio refletiram as condições do ambiente lagunar e, consequentemente, da qualidade dos serviços ecossistêmicos que esses ambientes proporcionam. Esses indicadores podem, portanto, compor índices que se proponham a avaliar a qualidade desses ambientes.

Não obstante, torna-se oportuno evidenciar a necessidade e importância de desenvolver projetos, para esses ambientes, que envolvam ações conservacionistas balizadas pela conservação da qualidade hídrica. Os projetos poderão, portanto, envolver aspectos como: preservação e recuperação de mata ciliar, lançamento de resíduos sólidos e líquidos, turismo sustentável, bem como, outras atividades de educação ambiental que oportunizem à comunidade do distrito da Baleia o conhecimento acerca da importância desse ecossistema para a região.

6.3 Índice de vulnerabilidade ambiental de lagoas costeiras

Os índices ambientais são importantes ferramentas na gestão ambiental, pois fornecem uma abordagem estruturada e quantifica os valores (Rowland *et al.*, 2020) para que se possa avaliar, monitorar, melhorar ou tomar decisão em relação a um sistema ambiental.

São elaborados para oferecer uma visão geral de características específicas do sistema ambiental e essenciais para análises comparativas entre diferentes regiões e períodos (Block *et al.*, 2024) servindo, portanto, como uma ferramenta de diagnóstico de desempenho ambiental para identificar áreas que precisam de uma atenção mais urgente (Goudarzian; Erfanifard, 2017)

Logo, o índice também funciona como uma ferramenta de comunicação, preenchendo a lacuna entre os dados técnicos de formato rebuscado e a compreensão do público em geral. Ao simplificar fenômenos ambientais complexos em formatos de fácil compreensão, esses índices podem facilitar o engajamento e a conscientização ambiental do público.

A crescente urgência dos desafios ambientais, como a poluição e a perda de biodiversidade, reforça a importância da utilização de índices ambientais para o subsídio de políticas públicas eficazes e práticas sustentáveis, pois, permitem a integração de variáveis ecológicas/ambientais aos sistemas econômicos e sociais, na busca da sustentabilidade ambiental.

A vulnerabilidade ambiental, frente ao comprometimento dos serviços ecossistêmicos, pode ser avaliada por meio de índices, que se configuram como ferramentas úteis para a análise integrada de realidades socioambientais. Esses instrumentos, de natureza quantitativa, reúnem e combinam vários indicadores com o objetivo de sintetizar, de forma comprehensível, o grau de vulnerabilidade de determinado sistema (Schumann; Moura, 2015).

São ferramentas quantitativas que combinam vários indicadores para avaliar a vulnerabilidade geral de um sistema. Os indicadores podem incluir fatores como exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa (Laitonjam, 2018). Alguns índices já foram desenvolvidos e utilizados com intuito de avaliar vulnerabilidade e saúde ecológica de ambientes costeiros em diferentes contextos.

O índice de vulnerabilidade costeira (Anfuso *et al.*, 2021) é uma ferramenta utilizada para avaliar a vulnerabilidade física dos sistemas costeiros ao risco de aumento do nível do mar e tempestades.

O índice de sustentabilidade ambiental foi desenvolvido para avaliar a integridade ecológica de áreas úmidas costeiras e a sustentabilidade das atividades comerciais que dela dependem, combinando a disponibilidade de habitat, desempenho funcional e a pressão antrópica para fornecer uma avaliação mais abrangente da sustentabilidade do sistema ambiental (Carletti; Leo; Ferrari, 2006).

O índice de distribuição de tamanho, um índice biológico, avalia a qualidade ecológica de lagoas costeiras com base na análise de distribuição de tamanho das comunidades bentônicas. Trata-se de um índice baseado no princípio de que mudança na estrutura do tamanho das populações bentônicas podem indicar distúrbios ambientais (Reizopoulou; Nicolaïdou, 2007).

O índice de qualidade ecofuncional, trata-se um índice multimétrico que avalia a qualidade ambiental das lagoas considerando aspectos como a produtividade primária, estrutura da comunidade bentônica e complexidade trófica (Fano; Mistri; Rossi, 2003).

O índice biótico foi desenvolvido para aferir a qualidade ambiental em lagoas do Mediterrâneo, levando em conta aspectos antropogênicos e naturais. O índice usa a distribuição da macrofauna bentônica para classificar as lagoas em diferentes níveis de qualidade ambiental (Scirocco *et al.*, 2011).

O índice de vulnerabilidade socioeconômica avalia as dimensões socioeconômicas da vulnerabilidade em lagoas costeiras com foco em fatores como densidade populacional, mudanças no uso da terra e urbanização (Hzami *et al.*, 2024).

A vantagem da utilização de índices para avaliação de vulnerabilidades em sistemas ambientais se dá pelo fato de que eles podem integrar vários fatores combinando variáveis físicas, biológicas e socioeconômicas (Melfi *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2023); permitem o mapeamento espacial da vulnerabilidade e a análise temporal das mudanças ao longo do tempo (Cui *et al.*, 2015); fornecem importantes informações para formuladores de políticas e tomadores de decisão (Bruno *et al.*, 2020; Rocha; Antunes; Catita, 2020) e elaborados para serem de fácil aplicação e compreensão (Fano; Mistri; Rossi, 2003; Reizopoulou; Nicolaïdou, 2007).

Nota-se, portanto, que os índices ambientais são importantes ferramentas para a compreensão dos sistemas ecológicos, especialmente em contextos costeiros marcados por fortes interações sociodinâmicas entre aspectos naturais e antrópicos. A aplicação dos índices permite captar aspectos da vulnerabilidade abrangendo múltiplos fatores que compõem o sistema ambiental em estudo.

Embora diversos índices já tenham sido desenvolvidos com finalidades específicas (ex: medir qualidade ecológica, saúde funcional, riscos físicos ou vulnerabilidade socioeconômica), percebe-se que apresentam limitações quanto à aplicabilidade em contextos locais e à disponibilidade/levantamento de dados para sua operacionalização. Em especial no caso de lagoas costeiras tropicais brasileiras, há carência de metodologias acessíveis, que considerem características intrínsecas ao próprio corpo d'água e que possam ser facilmente interpretadas e utilizadas por gestores e tomadores de decisão.

Diante disso, torna-se necessário e importante o desenvolvimento de um índice de vulnerabilidade ambiental que incorpore indicadores diretamente observáveis nas lagoas costeiras, mas que também dialogue com os aspectos sociodinâmicos e da sustentabilidade.

Assim, foram definidas três dimensões para compor o índice deste estudo: social, hídrica e ambiental. A escolha por essa abordagem busca proporcionar uma compreensão holística do estado ambiental da lagoa, contemplando a complexidade das interações entre os aspectos naturais e as dinâmicas sociais que influenciam esse ecossistema.

A divisão em três dimensões é apenas um aspecto organizacional, não refletindo e nem direcionando à compreensão de que uma dimensão apresentará uma maior importância que outra. Como já mencionado anteriormente, o cálculo para obtenção do índice levará em conta o papel de cada indicador separadamente. Assim, é perfeitamente possível realocar indicadores entre as dimensões pois se tratam de variáveis socioambientais transversais às dimensões.

6.3.1 Elencando indicadores

A dimensão social do índice envolve a abordagem de parâmetros que tratam da relação sociedade-lagoa nas suas mais diversas formas de uso. Observou-se que, para as lagoas em estudo, a dinâmica socioambiental é representada por atividades de lazer e recreação (ex: banho e práticas esportivas), econômica (ex: pesca), domésticas (ex: lavagem de roupas, banho de animais domésticos) e utilizadas como drenagem ou destinação final de águas residuárias. Diante disso, as atividades e formas de utilização do corpo d'água, representativas e consequentes da interação socioambiental serão utilizadas como parâmetros para o indicador relacionado aos usos da lagoa.

A dimensão hídrica atende aspectos intrínsecos relacionados ao corpo d'água sendo, portanto, uma dimensão que refletirá as condições de qualidade do ecossistema aquático em questão. Conforme o estudo do estado limnológico das lagoas, destacam-se como indicadores da qualidade da água: vegetação ciliar, transparência da água, materiais flutuantes e resíduos sólidos.

A dimensão ambiental envolve aspectos característicos e também importantes a se observar em um corpo d'água, constatados nos estudos levantados: fonte de abastecimento das lagoas e hidroperíodo (período em que a lagoa permanece com água).

Portanto, ao todo, o índice de vulnerabilidade ambiental será composto pelos seguintes indicadores: banho/lazer e recreação, pesca, lançamento de águas residuais ou efluentes, lavagem de roupas ou animais, vegetação ciliar, transparência da água, materiais flutuantes, resíduos sólidos, hidroperíodo e fonte de abastecimento (Quadro 2).

Quadro 2 – Dimensões e indicadores do Índice de Vulnerabilidade Ambiental de Lagoas Costeiras

Dimensão	Indicadores
Social	Banho/Lazer e recreação Pesca Lançamento de águas residuais ou efluentes Lavagem de roupas ou animais
Hídrica	Vegetação ciliar Transparência da água Materiais flutuantes Resíduos sólidos
Ambiental	Fonte de abastecimento das lagoas Hidroperíodo

Fonte: Elaborada pelo autor

A seguir serão abordados cada um desses indicadores, trazendo suas variáveis dentro do escopo para a valoração e classificação da vulnerabilidade para o cálculo do índice.

Os indicadores da dimensão social serão baseados em parâmetros identificados no estudo da sociodinâmica entre comunidade e lagoas costeiras. As formas de uso observadas nessa análise geram impactos no ecossistema aquático, cujas intensidades variam de acordo com o tipo e a frequência da atividade realizada.

6.3.2 Valorando indicadores

6.3.2.1 Atividades de banho/lazer e recreação

Atividades de banho/lazer e recreação geralmente resultam em distúrbios físicos nos ambientes lagunares, agitando os sedimentos, aumentando a turbidez e os sólidos em suspensão. Isso pode afetar a qualidade estética do corpo d'água e a perturbação de habitats aquáticos, contudo, são impactos temporalmente pontuais e transitórios (Butler; Pearson; Birtles, 2021; Iburg *et al.*, 2021).

Diante do exposto, à depender da intensidade das atividades, os impactos inicialmente pontuais e transitórios podem se tornar dispersos e duradouros pois não haverá condição para a resiliência do meio. Assim, o indicador “banho/lazer e recreação” será classificado em níveis de vulnerabilidade que variam de baixo a alto, conforme a frequência e intensidade dessas atividades. Lagoas com baixa intensidade de uso recreativo tendem a apresentar menor vulnerabilidade, enquanto aquelas submetidas a uso intenso e contínuo são mais suscetíveis a alterações em seus serviços ecossistêmicos.

6.3.2.2 Atividade de pesca

A atividade de pesca apresenta importância local para a subsistência da comunidade. Essa atividade, conforme frequência e intensidade, pode causar impactos em diferentes níveis, vulnerabilizando o ambiente.

Quando essa atividade é intensa e frequente pode levar à redução da biodiversidade, degradação do habitat e redução dos estoques pesqueiros (Hamza El Behja *et al.*, 2024), alterando estrutura das populações de peixes e perda da resiliência ecológica. Afeta não apenas a biota, como também outros serviços ecossistêmicos e valores culturais das comunidades locais (Vave *et al.*, 2024). Na lagoa de Biguglia, reduções intensas nos estoques de peixes foram

observadas, juntamente com o aumento da suscetibilidade a invasões biológicas, aumentando a vulnerabilidade ambiental do corpo hídrico (Ligorini *et al.*, 2022).

Quando a pesca ocorre em menor escala, com menos intensidade e frequência, provoca menor pressão sobre os estoques pesqueiros e impactos sobre a biodiversidade. Esses impactos tendem a ser mais localizados e reversíveis (Vave *et al.*, 2024).

Assim, o indicador “pesca” será classificado em níveis de vulnerabilidade que variam de baixo a alto, conforme a frequência/intensidade (sobrepesca), método (artes predatórias). Lagoas com baixa intensidade de atividades de pesca e uso de pesca tradicional tendem a apresentar menor vulnerabilidade, enquanto aquelas submetidas a uso intenso, predatório e contínuo são mais suscetíveis a alterações/comprometimento em seus serviços ecossistêmicos.

6.3.2.3 Lançamento de águas residuais ou efluentes

O lançamento de águas residuais ou efluentes impactam os ecossistemas aquáticos por introduzirem níveis elevados de nutrientes, matéria orgânica, patógenos e contaminantes na água, levando à eutrofização, níveis baixos de oxigênio (hipóxia), proliferação de algas nocivas e patógenos que apresentam riscos à saúde humana (Alkhalidi; Al-Nasser; Al-Sarawi, 2022; Caetano *et al.*, 2023; De Wit *et al.*, 2015; Tuholske *et al.*, 2021).

Não obstante, o lançamento de águas residuais ou efluentes comprometem os serviços ecossistêmicos ao degradar a qualidade da água e os habitats, por exemplo, a eutrofização e a proliferação de algas reduzem o valor estético das lagoas, impactando o turismo, a recreação e reduzem a biodiversidade (Aliaume *et al.*, 2007; Alorda-Kleinglass *et al.*, 2024; Ramakritinan; Muneeswaran; Yokesh Babu, 2024).

Dessa forma, o indicador “lançamento de águas residuais ou efluentes” será classificado em níveis de impacto que variam de baixo a alto, partindo de critérios como a presença/ausência de pontos de lançamento, a frequência dos lançamentos e características perceptíveis, como odor. Assim, quanto menor for o impacto associado a esse indicador, menor será a vulnerabilidade ambiental da lagoa. Por outro lado, situações de maior impacto corresponderão a maiores níveis de vulnerabilidade.

6.3.2.4 Lavagem de roupas ou animais

O indicador “lavagem de roupas ou animais” representa uma pressão antrópica associada ao uso de produtos químicos e ao aporte de matéria orgânica, ambos capazes de comprometer a qualidade ambiental da lagoa e, consequentemente, seus serviços ecossistêmicos.

A descarga de águas residuais, provenientes de atividades como lavagem de roupas ou de animais, introduz no corpo d’água uma carga de poluentes. Esses contaminantes, por sua vez, comprometem o equilíbrio do ecossistema aquático, uma vez que são tóxicos para diversos organismos, promovem a redução dos níveis de oxigênio dissolvido na água, interferem nos processos biológicos, favorecem a proliferação de algas e intensifica a eutrofização (Azizullah *et al.*, 2021; Gashi; Bajmaku; Drini, 2016; Mousavi; Khodadoost, 2019; Sobrino-Figueroa, 2016).

Dessa forma, o indicador “lavagem de roupas ou animais” será classificado em níveis de impacto que variam de baixo a alto, considerando a presença ou ausência dessa prática, bem como o uso de detergentes, sabões ou produtos similares.

6.3.2.5 Vegetação ciliar

A vegetação ciliar ou cobertura vegetal é um indicador do estado de conservação e resiliência de ecossistemas aquáticos. A ausência ou degradação dessa vegetação contribui diretamente para o aumento da vulnerabilidade ambiental. Por outro lado, a presença da cobertura vegetal tende a reduzir essa vulnerabilidade, uma vez que ela resulta da interação entre as características do ambiente natural e as pressões decorrentes das atividades humanas (Depietri, 2019; Li; Shi; Wu, 2021).

Realizar uma avaliação dos graus de vulnerabilidade ambiental considerando os diferentes tipos de comunidades vegetais que compõem a vegetação ciliar demandaria a análise de uma quantidade considerável de variáveis, muitas delas de difícil ou inviável quantificação para gestores e tomadores de decisão. Diante dessa limitação, optou-se por adotar como um dos critérios de classificação da vulnerabilidade a presença/ausência da vegetação ciliar, estabelecendo que sua ausência aumenta a vulnerabilidade do corpo hídrico.

Portanto, o indicador “vegetação ciliar” será classificado de acordo com critérios como presença/ausência, vegetação contínua/descontínua e estado de preservação. Assim,

lagoas que apresentam vegetação ciliar presente, contínua e bem preservada tendem a ser classificadas como de baixa vulnerabilidade. Por outro lado, ambientes onde a vegetação ciliar está ausente, fragmentada ou degradada serão considerados de alta vulnerabilidade.

6.3.2.6 Transparéncia de Secchi

A transparéncia ou profundidade de Secchi é um indicador de qualidade da água. A baixa transparéncia indica ambiente mais eutrofizado, impactado e, portanto, apresentando maior vulnerabilidade ambiental.

A eutrofização é um processo consequente do excesso de nutrientes na água que pode levar ao crescimento excessivo de algas nocivas, redução de oxigênio no meio aquático e redução de biodiversidade (Hooda *et al.*, 2024; Pérez-Martín, 2023), comprometendo os serviços ecossistêmicos que estão intrinsecamente relacionados à saúde ecológica da lagoa, influenciada por seu estado trófico, ou seja, seu nível de nutrientes. (Rodrigues-Filho *et al.*, 2023)

A CETESB (2020) apresenta um quadro que classifica o estado trófico de ambientes lênticos em função da transparéncia da água e que será utilizado como referência, nesta tese, para a classificação desse indicador (tabela 13).

Tabela 13 – Classificação do Estado Trófico com base na transparéncia da água (Disco de Secchi)

Categoria (Estado Trófico)	Secchi – S (m)
Ultraoligotrófico	$S \geq 2,4$
Oligotrófico	$2,4 > S \geq 1,7$
Mesotrófico	$1,7 > S \geq 1,1$
Eutrófico	$1,1 > S \geq 0,8$
Supereutrófico	$0,8 > S \geq 0,6$
Hipereutrófico	$S < 0,6$

Fonte: Adaptado de CETESB (2020).

Diante desse contexto, o indicador “transparéncia da água” será classificado com base no estado trófico do ambiente, atribuindo menor grau de vulnerabilidade às lagoas com baixos níveis de nutrientes e maior grau àquelas com elevados níveis de nutrientes. Assim, ambientes eutrofizados, caracterizados por alta concentração de nutrientes, apresentam maior

vulnerabilidade ambiental em comparação àqueles com baixos níveis de nutrientes e, consequentemente, maior transparência da água.

6.3.2.7 Materiais flutuantes

Outro indicador que irá compor o índice são os “materiais flutuantes”. Trata-se de um indicador de poluição e refere-se a materiais que estão presentes no corpo d’água, suspensos e visíveis na superfície da coluna d’água. Plásticos, isopores, óleos, graxas e espumas são alguns exemplos desses materiais. Indicam uma poluição recente ou contínua que entra diretamente na água ou é carreada para ela, possuindo características de flutuabilidade.

Os materiais flutuantes podem causar impactos diretos na interface ar-água afetando a penetração de luz e trocas gasosas, comprometendo a saúde ecológica do ecossistema aquático. Ademais, ocasionam em problemas estéticos na superfície da água, comprometendo serviços ecossistêmicos culturais (Adenaya *et al.*, 2021; Guo; Li; Zhang, 2024; Mishra *et al.*, 2024). Diante do exposto, o indicador “matérias flutuantes” será classificado de acordo com sua ausência/presença e quantidade no meio.

6.3.2.8 Resíduos sólidos

Resíduos sólidos são indicadores de poluição. Diferentemente dos materiais flutuantes, são materiais descartados, depositados ou acumulados às margens da lagoa ou que são visíveis no fundo, em locais mais rasos do ambiente. Não estão ativamente flutuando na coluna d’água no momento da observação, mas impactam o ecossistema lagunar na zona ripária, na contaminação do solo, na lixiviação de substâncias para a água, no risco para a fauna terrestre e semiaquática que habita ou se utiliza das margens e nos problemas estéticos e de saúde pública (Bansal; Hans; Bansal, 2023; Oyekan *et al.*, 2025). Diante do exposto, o indicador “resíduos sólidos” será classificado de acordo com sua ausência/presença e quantidade no meio.

6.3.2.9 Hidroperíodo (regime hídrico)

Este indicador busca refletir a condição de perenidade ou intermitência da lagoa, ou seja, se a presença de água superficial se mantém de forma contínua ao longo do ciclo anual ou se há períodos de seca. Lagoas perenes tendem a apresentar maior resiliência frente às mudanças ambientais quando comparadas às intermitentes, uma vez que seu regime hidrológico

favorece a manutenção de condições ambientais mais estáveis, preservando a integridade, o funcionamento, a estrutura e a estabilidade do ecossistema aquático (Wu *et al.*, 2024).

Nesse contexto, a classificação desse indicador considera que lagoas perenes apresentam baixa vulnerabilidade, enquanto lagoas intermitentes são classificadas como de alta vulnerabilidade, devido à sua menor capacidade de suporte frente às pressões ambientais.

6.3.2.10 *Fonte de abastecimento (origem e estabilidade hídrica)*

Este indicador busca identificar a principal fonte de abastecimento hídrico das lagoas, considerando sua influência na estabilidade hidrológica e na manutenção do equilíbrio ecológico do ecossistema. Lagoas cujo abastecimento depende, predominantemente, da precipitação ou de águas superficiais são mais suscetíveis às variações climáticas e, portanto, apresentam maior vulnerabilidade ambiental. Por outro lado, aquelas alimentadas principalmente por água subterrânea ou por conectividade hidrológica com rios e outras lagoas perenes tendem a apresentar maior estabilidade hídrica e, consequentemente, menor vulnerabilidade frente às pressões ambientais (Lucía Sosa - Panzera; Pinelli; Matias Arim, 2024; Winter, 2000). Diante disso, a classificação da lagoa neste indicador será definida com base na sua principal fonte de abastecimento hídrico.

Após a detalhada explanação da relevância e da sistemática de classificação de cada um dos dez indicadores selecionados para compor o Índice de Vulnerabilidade Ambiental das lagoas costeiras da Praia da Baleia – CE, e de como seus diferentes estados se relacionam com os níveis de impacto e vulnerabilidade, apresenta-se a seguir o Quadro 3 que detalha, para cada indicador, as características que definem os níveis de vulnerabilidade: baixo (0 ponto), médio (5 pontos) e alto (10 pontos).

Quadro 3 - Indicadores e níveis de impacto/vulnerabilidade ambiental para lagoas costeiras

Indicador	Baixo Impacto / Baixa Vulnerabilidade (0 pontos)	Médio Impacto / Média Vulnerabilidade de (5 pontos)	Alto Impacto / Alta Vulnerabilidade (10 pontos)	R e f e r ê n c i a s
Banho/Lazer e Recreação (Pressão)	Uso esporádico/ocasional, sem infraestrutura	Uso regular, alguma infraestrutura simples, sinais	Uso intenso e/ou infraestrutura consolidada,	Butler; Pearson; Birtles, 2021

	significativa, sem degradação visível.	iniciais de impacto.	impacto/degradação evidente.	Iburg <i>et al.</i> , 2021
Pesca (Pressão)	Pesca de subsistência (ocasional ou artesanal), artes seletivas, poucos ou nenhum equipamento deixado.	Pesca comercial pequena/média, uso ocasional de artes impactantes. Pequenos impactos visíveis (redes deixadas temporariamente, pequenos resíduos)	Pesca frequente e intenso; pesca predatória, sobrepesca evidente, uso de artes ilegais. Impacto visual evidente (resíduos frequentes, redes abandonadas, destruição da vegetação marginal)	Hamza El Behja <i>et al.</i> , 2024 Vave <i>et al.</i> , 2024 Ligorini <i>et al.</i> , 2022
Lançamento de Águas Residuais ou Efluentes (Pressão)	Sem lançamentos visíveis ou relatos.	Lançamentos pontuais e intermitentes, sinais leves de contaminação.	Lançamentos contínuos, visíveis, com sinais evidentes de poluição (água visivelmente alterada (turva, espuma, odor forte e desagradável).	Aliaume <i>et al.</i> , 2007 Alkhalidi; Al-Nasser; Al-Sarawi, 2022 Alorda-Kleinglass <i>et al.</i> , 2024 Caetano <i>et al.</i> , 2023 De Wit <i>et al.</i> , 2015 Ramakritinan; Muneeswaran; Yokesh Babu, 2024 Tuholske <i>et al.</i> , 2021
Lavagem de Roupas ou Animais (Pressão)	Prática ausente ou extremamente rara.	Prática ocasional, pouco uso de detergentes, impacto visual discreto (pequenos resíduos de sabão).	Prática frequente, múltiplos pontos, presença de espuma e resíduos.	Azizullah <i>et al.</i> , 2021 Gashi; Bajmaku; Drini, 2016 Mousavi; Khodadoost, 2019 Sobrino-Figueroa, 2016

Vegetação Ciliar (Estado)	Vegetação intacta ou com mínima perturbação; Faixa contínua, bem preservada.	Faixa estreita, descontínua, com sinais de degradação. Vegetação parcialmente removida ou fragmentada	Ausência ou cobertura muito rarefeita, substituída por uso antrópico.	Depietri, 2019 Li; Shi; Wu, 2021
Transparência da Água (Estado)	Translucidez ou alta transparência (Disco de Secchi > 170 cm).	Transparência intermediária (Disco de Secchi entre 80 e 170 cm).	Baixa transparência (Disco de Secchi < 80 cm).	CETESB, 2020 Hooda <i>et al.</i> , 2024 Pérez-Martín, 2023; Rodrigues-Filho <i>et al.</i> , 2023
Materiais Flutuantes (Poluição)	Ausência ou presença muito rara de resíduos flutuantes.	Presença ocasional e localizada de materiais flutuantes.	Presença abundante, espumas cobrindo áreas da lagoa ou margens.	Adenaya <i>et al.</i> , 2021; Guo; Li; Zhang, 2024; Mishra <i>et al.</i> , 2024
Resíduos Sólidos nas Margens/Fundo (Poluição)	Ausência ou ocorrência muito rara de resíduos.	Presença em pontos isolados ou pequena quantidade.	Acúmulo significativo e/ou generalizado de resíduos.	Bansal; Hans; Bansal, 2023; Oyekan <i>et al.</i> , 2025
Hidoperíodo (Regime Hídrico)	Lagoa perene, mantém espelho d'água o ano todo.	Não se aplica.	Lagoa intermitente, seca durante parte do ano.	Wu <i>et al.</i> , 2024
Fonte de Abastecimento (Estabilidade Hídrica)	Abastecimento diversificado e/ou por fontes perenes e estáveis.	Abastecimento misto com fontes sazonais ou variáveis.	Abastecimento predominantemente pluvial, alta dependência da chuva.	Lucía Sosa; Panzera; Pinelli; Matias Arim, 2024; Winter, 2000

Fonte: Elaborado pelo autor

6.3.3 Calculando o Índice de Vulnerabilidade Ambiental e classificando o corpo hídrico conforme estado de vulnerabilidade

Após uma avaliação em campo, com a referida atribuição das pontuações individuais para cada um dos dez indicadores de vulnerabilidade ambiental (conforme Quadro 3), o cálculo final para a obtenção do índice de vulnerabilidade de cada lagoa costeira é realizado em duas etapas, conforme estabelecido no “Formulário de Avaliação de Vulnerabilidade Ambiental em Lagoas Costeiras” (Apêndice B).

A primeira etapa consiste na determinação da “pontuação total obtida” para a lagoa. Essa pontuação será o resultado do somatório simples dos valores atribuídos a cada um dos dez indicadores, onde cada indicador poderia receber zero pontos (baixo impacto/baixa vulnerabilidade), 5 pontos (médio impacto/média vulnerabilidade) ou 10 pontos (alto impacto/alta vulnerabilidade). Dessa forma a “pontuação total obtida” para uma lagoa poderá variar de zero a 100 pontos.

Na segunda etapa, em sequência, a “pontuação total obtida” será utilizada para calcular o valor final do índice, expresso em porcentagem para refletir uma melhor compreensão do gradiente de vulnerabilidade da lagoa. A fórmula para o cálculo do índice é:

$$\text{IVA-LC (\%)} = (\text{Pontuação Total Obtida} \div 100) \times 100$$

Onde:

- IVA-LC (%) é o Índice de Vulnerabilidade Ambiental final da lagoa costeira, expresso em porcentagem e;
- Pontuação Total Obtida é a soma das pontuações de todos os indicadores.

Assim, o IVA-LC irá variar de 0% a 100% e classificado em quatro classes, com intuito de facilitar a interpretação do resultado final. Cada classe representa um nível de vulnerabilidade, com implicações diretas para o estado de conservação do ecossistema e a necessidade de medidas de manejo ou recuperação. As classes de vulnerabilidade foram assim definidas:

Baixa Vulnerabilidade (IVA-LC entre 0% – 25%) Esta classe indica uma situação ótima, com impactos mínimos sobre o ecossistema lagunar. A lagoa que se enquadra nesta categoria apresenta predominantemente características de baixo impacto para a maioria dos indicadores avaliados. Consequentemente, os processos ecológicos e os serviços

ecossistêmicos estão provavelmente bem conservados ou sob mínima ameaça. As pressões antrópicas, se existentes, são consideradas incipientes ou ausentes.

Média/Moderada Vulnerabilidade (IVA-LC entre 26% – 50%) Uma lagoa classificada neste nível apresenta uma condição aceitável, mas que requer monitoramento regular. Alguns indicadores podem apontar para impactos de nível médio, sugerindo que certos serviços ecossistêmicos podem estar sob ameaça leve ou começando a demonstrar sinais de estresse. Esta é uma condição de alerta, indicando a possível necessidade de ações de manejo preventivo para evitar a progressão da degradação.

Alta Vulnerabilidade (IVA-LC entre 51% – 75%) Esta classificação aponta para uma condição preocupante do ecossistema lagunar, demandando ações de recuperação. Muitas das características avaliadas provavelmente indicam impactos significativos, resultando em um cenário onde diversos serviços ecossistêmicos estão provavelmente degradados ou sob ameaça considerável. Intervenções por meio de ações de mitigação e recuperação são, portanto, provavelmente necessárias para reverter o quadro de vulnerabilidade.

Muito Alta Vulnerabilidade (IVA-LC entre 76 – 100%) A inclusão de uma lagoa nesta categoria sinaliza uma condição crítica, onde há uma necessidade urgente de intervenções. A maioria dos indicadores de vulnerabilidade provavelmente apresenta níveis elevados de impacto. Os serviços ecossistêmicos oferecidos pela lagoa estão, neste cenário, seriamente comprometidos ou, em alguns casos, até mesmo perdidos. Recomenda-se a implementação de medidas robustas e emergenciais de recuperação, caso a reversão do quadro ainda seja ecologicamente viável.

6.3.4 Vulnerabilidade ambiental das lagoas costeiras do distrito da Baleia, Itapipoca-CE

Diante do que foi apresentado, dos estudos de qualidade da água e das interações sociodinâmicas da comunidade com as lagoas, com consequente proposição de elaboração de um índice de vulnerabilidade ambiental, torna-se oportuno, portanto, aplicá-lo às lagoas estudadas para avaliá-las objetivamente.

Para o desenvolvimento da pesquisa, as quatro lagoas costeiras objetos desta tese foram elencadas com justificativas já apresentadas previamente neste trabalho. apresentando condições representativas dos corpos d'água costeiros do distrito da Baleia.

Cada lagoa foi avaliada por meio do formulário proposto para análise de vulnerabilidade ambiental de lagoas costeiras (Apêndice B).

A "lagoa interdunar 1" está localizada entre dunas móveis, sendo de fácil acesso à comunidade e próxima ao acesso principal da área de dunas (figura 15).

Figura 15 – Vista da lagoa interdunar 1



Fonte: Elaborada pelo autor (abr., 2022).

A lagoa é frequentemente utilizada pela comunidade para atividades recreativas como banho e lazer, resultando em impactos moderados observáveis, tais como a presença de resíduos sólidos e estruturas improvisadas para churrascos (5 pontos no indicador "banho/lazer e recreação").

Não há o desenvolvimento de atividade de pesca nesta lagoa, pelo fato de que suas características ambientais não suportam a existência de pescados de interesse antrópico, obtendo, portanto, 0 pontos no indicador "Pesca". Da mesma forma, não há sinais visíveis ou relatos do lançamento de águas residuais ou efluentes nesse ambiente, obtendo 0 pontos no indicador "lançamento de águas residuais ou efluentes".

Entretanto, ocasionalmente ocorre a lavagem de roupas no local, com uso de produtos químicos como sabões ou detergentes, resultando em discreto impacto visual (5 pontos no indicador "lavagem de roupas ou animais"). Além disso, foi observada a presença ocasional de materiais flutuantes como espumas e embalagens plásticas de produtos de limpeza (5 pontos no indicador "materiais flutuantes"), bem como resíduos sólidos dispersos decorrentes das atividades humanas realizadas nas proximidades da lagoa (5 pontos no indicador "resíduos sólidos nas margens/fundo").

Quanto aos aspectos ambientais, a lagoa possui uma faixa estreita e descontínua de vegetação ciliar (5 pontos no indicador "vegetação ciliar"), hidroperíodo intermitente (10 pontos no indicador "hidroperíodo") e depende exclusivamente das chuvas como fonte de abastecimento (10 pontos no indicador "fonte de abastecimento"). Ademais, o corpo d'água apresenta translucidez da água durante todo o período (0 pontos no indicador "transparência da água").

Diante do exposto, baseado no formulário e cálculo proposto para o índice, a "lagoa interdunar 1" apresenta um índice de vulnerabilidade de 45%, classificando-a como moderadamente vulnerável. Essa condição exige um monitoramento regular para garantir a manutenção da qualidade ambiental e dos serviços ecossistêmicos providos pela lagoa, além de sinalizar a necessidade de implementação de medidas preventivas e conservacionistas.

A "lagoa interdunar 2" também está localizada entre campo de dunas móveis, contudo, um pouco mais distante do acesso principal (figura 16).

Figura 16 – Vista da lagoa interdunar 2



Fonte: Elaborada pelo autor (jun., 2022).

A lagoa é utilizada pela comunidade para atividades recreativas como banho e lazer, resultando em impactos moderados observáveis, tais como a presença de resíduos sólidos nas margens e estruturas improvisadas para churrascos (5 pontos no indicador "banho/lazer e recreação").

Não há o desenvolvimento de atividade de pesca nesta lagoa (0 pontos no indicador “Pesca”) bem como, da mesma forma, não há sinais visíveis ou relatos do lançamento de águas residuais ou efluentes nesse ambiente (0 pontos no indicador “lançamento de águas residuais ou efluentes”).

Ocasionalmente ocorre a lavagem de roupas no local, com uso de produtos químicos como sabões ou detergentes, resultando em discreto impacto visual (5 pontos no indicador "lavagem de roupas ou animais"). Além disso, foi observada a presença ocasional de materiais flutuantes como espumas em determinada época do ano (5 pontos no indicador "materiais flutuantes"). Contudo, há resíduos sólidos dispersos decorrentes das atividades humanas realizadas no local (5 pontos no indicador "resíduos sólidos nas margens/fundo").

Quanto aos aspectos ambientais, a lagoa não possui vegetação ciliar (10 pontos no indicador "vegetação ciliar"), tem hidroperíodo intermitente (10 pontos no indicador "hidroperíodo") e depende exclusivamente das chuvas como fonte de abastecimento (10 pontos no indicador "fonte de abastecimento"). Ademais, o corpo d’água apresenta translucidez da água durante todo o período (0 pontos no indicador “transparência da água”).

Diante do exposto, baseado no formulário e cálculo proposto para o índice, a “lagoa interdunar 2” apresenta um índice de vulnerabilidade de 50%, classificando-a como moderadamente vulnerável. Essa condição exige um monitoramento regular para garantir a manutenção da qualidade ambiental e dos serviços ecossistêmicos providos pela lagoa, além de sinalizar a necessidade de implementação de medidas preventivas e conservacionistas.

A “lagoa interdunar 3” também está localizada entre campo de dunas móveis, em local de acesso mais distante do acesso principal ao campo de dunas (figura 17).

Figura 17 – Vista da lagoa interdunar 3



Fonte: Elaborada pelo autor (jun., 2022).

A lagoa é utilizada pela comunidade para atividades recreativas como banho e lazer, com menos intensidade devido ao acesso, resultando em impactos pequenos observáveis, tais como a ocorrência rara de resíduos sólidos nas margens (0 pontos no indicador "banho/lazer e recreação" e 0 pontos no indicador "resíduos sólidos nas margens/fundo").

Não há o desenvolvimento de atividade de pesca nesta lagoa (0 pontos no indicador "Pesca") bem como, da mesma forma, não há sinais visíveis ou relatos do lançamento de águas residuais ou efluentes nesse ambiente (0 pontos no indicador "lançamento de águas residuais ou efluentes").

A lagoa não é utilizada para atividades de lavagem de roupas ou animais (0 pontos no indicador "lavagem de roupas ou animais") e não há presença de materiais flutuantes (0 pontos no indicador "materiais flutuantes").

Quanto aos aspectos ambientais, a lagoa possui vegetação ciliar rarefeita e em apenas um trecho de suas margens (10 pontos no indicador "vegetação ciliar"), tem hidroperíodo intermitente (10 pontos no indicador "hidroperíodo") e depende exclusivamente das chuvas como fonte de abastecimento (10 pontos no indicador "fonte de abastecimento"). Ademais, o corpo d'água apresenta translucidez da água durante todo o período (0 pontos no indicador "transparência da água").

Diante do exposto, baseado no formulário e cálculo proposto para o índice, a "lagoa interdunar 3" apresenta um índice de vulnerabilidade de 30%, classificando-a como

moderadamente vulnerável, exigindo um monitoramento regular para garantir a manutenção da qualidade ambiental e dos serviços ecossistêmicos providos pela lagoa.

As três lagoas interdunares estudadas evidenciaram igual nível de vulnerabilidade ambiental, embora apresentem nuances específicas em cada situação. Esse resultado comum destaca fatores ambientais críticos presentes nas lagoas costeiras, especificamente associados à vegetação ciliar, ao hidroperíodo e a fonte de abastecimento.

Os resultados sugerem que a vulnerabilidade moderada, condição comum aos três corpos d'água, decorre de características ambientais intrínsecas relacionadas ao regime hídrico instável e à baixa capacidade de resiliência proporcionada pela ausência ou pela condição deficitária de vegetação ciliar. A vegetação ciliar atua como um importante filtro biológico, protegendo corpos d'água contra processos erosivos e contribuindo para o equilíbrio ecológico-ambiental. Sua ausência ou degradação expõe diretamente esses ambientes a impactos erosivos, redução na qualidade da água e vulnerabilidade aumentada a variações climáticas.

Não obstante, a dependência exclusiva da precipitação como fonte de abastecimento hídrico, somada ao hidroperíodo intermitente dessas lagoas, tornam esses ambientes naturalmente vulneráveis às mudanças sazonais e climáticas, especialmente em regiões semiáridas.

Portanto, apesar de algumas diferenças pontuais nas pressões antrópicas observadas, a vulnerabilidade ambiental das lagoas interdunares é determinada por fatores ambientais estruturais. Isso não implica que os fatores antrópicos sejam irrelevantes; pelo contrário, considerando que essas lagoas já apresentam vulnerabilidade natural significativa, qualquer pressão adicional tende a agravar rapidamente sua condição ambiental. Esse cenário indica que estratégias efetivas para redução da vulnerabilidade dessas lagoas devem, prioritariamente, considerar aspectos intrínsecos naturais desses ambientes.

A lagoa do Mato é um corpo hídrico de retaguarda de dunas no distrito da Baleia, com ocupação antrópica em parte de suas margens e com fácil acesso da comunidade (Figura 18).

Figura 18 – Vista da lagoa do mato



Fonte: Elaborada pelo autor (out., 2022).

A lagoa é utilizada pela comunidade para atividades recreativas regulares como banho e lazer, resultando em impactos observáveis, tais como a ocorrência de significativos acúmulos de resíduos sólidos nas margens e pequenas estruturas (5 pontos no indicador "banho/lazer e recreação" e 10 pontos no indicador "resíduos sólidos nas margens/fundo").

Há atividade de pesca tanto para subsistência quanto para fins comerciais, em pequena escala, no local (5 pontos no indicador "Pesca") e relatos, sinais contínuos e visíveis do lançamento de águas residuais ou efluentes nesse ambiente (10 pontos no indicador "lançamento de águas residuais ou efluentes").

A lagoa é utilizada para atividades de lavagem de roupas ou animais em múltiplos pontos (10 pontos no indicador "lavagem de roupas ou animais") e há presença de materiais flutuantes em época de estiagem (5 pontos no indicador "materiais flutuantes").

Quanto aos aspectos ambientais, a lagoa possui vegetação ciliar preservada na maior parte das margens (0 pontos no indicador "vegetação ciliar"), tem hidroperíodo perene (0 pontos no indicador "hidroperíodo") e abastecimento misto, com água das chuvas e do campo de dunas (5 pontos no indicador "fonte de abastecimento"). Ademais, o corpo d'água apresenta transparência da água menor que 80cm (10 pontos no indicador "transparência da água").

Diante do exposto, baseado no formulário e cálculo proposto para o índice, a "lagoa do mato" apresenta um índice de vulnerabilidade de 60%, classificando-a como altamente vulnerável, refletindo numa condição preocupante, que requer ações de recuperação, pois

muitos serviços ecossistêmicos estão provavelmente degradados ou sob ameaça considerável. Ações de mitigação e recuperação são provavelmente necessárias.

Em contraste com o observado das vulnerabilidades das lagoas interdunares, definida por aspectos ambientais intrínsecos, a lagoa do mato apresentou relações mais fortes com a intensidade das atividades antrópicas realizadas. A presença significativa de resíduos sólidos nas margens, associada à poluição visual e química decorrente da lavagem de roupas e animais (com formação de espumas já relatado previamente nesta tese), compromete de maneira evidente os serviços ecossistêmicos locais, exigindo medidas imediatas de recuperação e mitigação dos impactos ambientais.

Diante desse cenário diversificado nas lagoas costeiras estudadas, fica evidente que os corpos hídricos requerem abordagens diferenciadas de gestão ambiental. Nas lagoas interdunares, embora a vulnerabilidade moderada exija ações preventivas e monitoramento contínuo, medidas balizadas visando reduzir a vulnerabilidade intrínseca e assegurar a continuidade dos serviços ecossistêmicos precisam ser observadas.

Já para a Lagoa do Mato, dada a gravidade da vulnerabilidade observada (nível alto), são necessárias intervenções mais fortes e imediatas. Estratégias eficazes incluem ações integradas de controle da poluição, implementação de sistemas adequados de saneamento e educação ambiental direcionada à comunidade local, para mitigar as pressões antrópicas. Além disso, a manutenção da vegetação ciliar e a garantia da qualidade hídrica são fundamentais para aumentar a resiliência desse ecossistema.

Ademais, considerando os desafios impostos pelas mudanças climáticas, torna-se importante reconhecer que fatores/indicadores como hidroperíodo intermitente e dependência exclusiva das chuvas para abastecimento tornam as lagoas estudadas particularmente vulneráveis a períodos prolongados de estiagem, característicos de regiões semiáridas. Assim, o planejamento de ações e estratégias de manejo ambiental deve integrar cenários futuros de variabilidade climática, buscando garantir resiliência e sustentabilidade hídrica nesses ambientes.

Com o intuito de apresentar uma visão objetiva e comparativa dos resultados obtidos através da aplicação do Índice de Vulnerabilidade Ambiental para Lagoas Costeiras (IVA-LC) nas lagoas estudadas, elaborou-se o quadro-síntese que permite uma visualização das pontuações individuais de cada indicador, da pontuação total obtida e da classificação geral de vulnerabilidade ambiental para cada lagoa avaliada, facilitando a interpretação e subsidiando decisões estratégicas de gestão ambiental na área estudada (tabela 14).

Tabela 14 – Quadro-síntese dos resultados do Índice de Vulnerabilidade Ambiental das Lagoas Costeiras (IVA-LC)

Indicador de Vulnerabilidade	Lagoa Interdunar 1	Lagoa Interdunar 2	Lagoa Interdunar 3	Lagoa do Mato
Banho/Lazer e Recreação	5	5	0	5
Pesca	0	0	0	5
Lançamento de Águas Residuais ou Efluentes	0	0	0	10
Lavagem de Roupas ou Animais	5	5	0	10
Vegetação Ciliar	5	10	10	0
Transparência da Água	0	0	0	10
Materiais Flutuantes	5	5	0	5
Resíduos Sólidos nas Margens/Fundo	5	5	0	10
Hidoperíodo (Regime Hídrico)	10	10	10	0
Fonte de Abastecimento (Estabilidade Hídrica)	10	10	10	5
Pontuação total obtida	45	50	30	60
Índice IVA-LC (%)	45%	50%	30%	60%
Classificação	Moderada	Moderada	Moderada	Alta

Fonte: Elaborado pelo autor

A análise dos resultados obtidos através da aplicação do IVA-LC revelou claramente o status ambiental atual das lagoas costeiras estudadas no distrito da Baleia, em Itapipoca (Ceará). As lagoas interdunares apresentaram níveis moderados de vulnerabilidade de base natural, indicando um estado ambiental que requer atenção e monitoramento constantes. Em contrapartida, a Lagoa do Mato apresentou alta vulnerabilidade de origem antrópica, demandando ações mais urgentes de recuperação e mitigação dos impactos ambientais observados. Os resultados, inicialmente, ressaltam a importância de políticas públicas

específicas e diferenciadas para cada situação observada, sendo esta constatação, um dos méritos do índice proposto.

Para as lagoas interdunares, por exemplo, cujo a vulnerabilidade é estrutural, as ações prioritárias devem focar em evitar que novas pressões antrópicas agravem sua condição, especialmente no período de maior visitação turística. Tais ações devem incluir medidas preventivas, tais como a restauração e proteção de vegetação ciliar, o controle do uso e acesso humano especialmente em períodos críticos como em épocas de estiagem, e a implementação de programas de educação ambiental voltados à oportunização de conscientização das comunidades locais e turísticas sobre práticas sustentáveis.

A partir de indicadores como “Banho/lazer” e “Resíduos sólidos”, propõe-se a criação de um plano de uso e visitação ao campo de dunas. Isso pode incluir, por exemplo, a delimitação de trilhas ecológicas para veículos, a designação de áreas específicas para banho e a instalação de coletores de lixo em pontos de acesso estratégicos. A comunidade de bugueiros, que já demonstra preocupação com a limpeza da área, pode ser uma parceira fundamental nesse processo.

A fragilidade natural, evidenciada pelos indicadores “hidroperíodo” e “fonte de abastecimento”, pode ser o tema central de intervenções em educação ambiental. É importante que tanto a comunidade local quanto visitantes/turistas compreendam que as lagoas interdunares são efêmeras e seu volume de água depende da conservação do campo de dunas. A formalização da área como uma unidade de conservação municipal, por exemplo, poderia fornecer um amparo legal para a implementação de um plano de uso e manejo.

Para a Lagoa do Mato, com uma vulnerabilidade ambiental alta, são necessárias políticas públicas mais imediatas. A implementação de infraestrutura de saneamento básico adequada, especialmente para a gestão e tratamento de águas residuais, emerge como uma medida mais urgente nesse contexto. As ações, nesse sentido, devem incluir o mapeamento e a fiscalização de fontes de lançamento de efluentes domésticos no entorno da lagoa, seguido da implementação de soluções, seja pela conexão a uma rede de tratamento ou pela instalação subsidiada de sistemas individuais, como biodigestores ou fossas sépticas ecológicas.

Não obstante, políticas voltadas para o controle e fiscalização das atividades humanas desenvolvidas às margens da lagoa, juntamente com programas de recuperação de qualidade da água, são importantes para mitigar e reverter o atual quadro ambiental. A implementação de um sistema de coleta regular de resíduos sólidos na comunidade do entorno e instalação de contentores em pontos de fácil acesso são proposições que buscam mitigar o impacto do lixo na água.

A implementação de políticas públicas voltadas para a questão da água, no contexto da prevenção, encontra respaldo, por exemplo, no Programa Produtor de Água, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2019). O referido programa remunera proprietários rurais que conservam áreas de nascentes e matas ciliares, um modelo de pagamento por serviços ambientais que poderia ser adaptado para a conservação do campo de dunas e corpos hídricos da região. No âmbito da remediação/recuperação da qualidade da água de ecossistemas lagunares a literatura aponta para diversas ações exitosas já desenvolvidas, dentro do contexto do saneamento básico, recuperação de vegetação ciliar e controle de fonte de poluentes que poderiam ser adaptadas e implementadas para o contexto local (Bhattarai; Parajuli, 2023; De Wit *et al.*, 2020; Lersute *et al.*, 2016; Mmachaka *et al.*, 2023)

Importante ressaltar que o conhecimento acerca das características locais deve guiar a formulação de tais políticas públicas. A peculiaridade climática do município de Itapipoca, com longos períodos de estiagem intercalados por eventos chuvosos exige que essas políticas públicas considerem estratégias de resiliência climática. Essas estratégias incluem medidas para garantir o abastecimento estável de água e a redução da vulnerabilidade às variações climáticas sazonais, por meio de ações como a proteção e o manejo sustentável das fontes naturais de água e recuperação das áreas vegetadas no entorno das lagoas.

Logo, com intuito de assegurar a sustentabilidade ambiental das lagoas costeiras do distrito da Baleia, é importante o envolvimento efetivo das comunidades locais em todas as etapas do planejamento e execução de tais políticas públicas. A participação comunitária não aumenta apenas o engajamento social como também pode promover maior eficácia e durabilidade das ações implementadas (Brusà *et al.*, 2022; Suwandhahannadi *et al.*, 2024). Dessa forma as políticas públicas não apenas contribuirão para a recuperação e conservação desses ecossistemas lagunares, como também garantirão a manutenção dos serviços ecossistêmicos essenciais para o bem-estar das comunidades locais e equilíbrio ambiental.

7 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos por meio da aplicação do Índice de Vulnerabilidade Ambiental IVA-LC corroboraram com a hipótese central deste trabalho. A pesquisa partiu do pressuposto de que a combinação entre a pressão antrópica e as condições ambientais resultaria em níveis elevados de vulnerabilidade para as lagoas costeiras do distrito da Baleia (Itapipoca, Ceará), com risco ao provimento de seus serviços ecossistêmicos. Os resultados obtidos não apenas corroboram essa hipótese, mas também a refinam e aprofundam.

A aplicação do IVA-LC proposto demonstrou empiricamente que, de fato, a interação entre os fatores de uso e as características naturais gera um quadro de vulnerabilidade para os corpos d'água estudados.

O refinamento da hipótese reside na principal descoberta desta tese: a natureza dessa vulnerabilidade não é homogênea. O estudo revelou que, enquanto as lagoas interdunares apresentam uma vulnerabilidade moderada, primariamente condicionada por sua fragilidade ambiental intrínseca/natural (ex: o hidroperíodo e fontes de abastecimento), a alta vulnerabilidade da Lagoa do Mato é impulsionada pela intensidade das pressões antrópicas diretas (ex: lançamento de efluentes, resíduos sólidos).

Portanto, conclui-se que a hipótese foi validada, e o trabalho avança ao demonstrar que, embora a vulnerabilidade seja uma realidade em todo o sistema, os vetores que a determinam são distintos, o que comprova o risco iminente aos serviços ecossistêmicos e reforça a necessidade de estratégias de manejo específicas para cada contexto.

A pesquisa socioambiental, voltada à análise da relação entre a comunidade e as lagoas costeiras do distrito da Baleia, em Itapipoca (Ceará), evidenciou que esses ambientes são utilizados de forma múltipla e sofrem pressões diversas decorrentes de atividades antrópicas. Atividades como o turismo sazonal intenso, a pesca de subsistência, a especulação imobiliária e práticas inadequadas como a lavagem de roupas/animais bem como o descarte de resíduos e efluentes foram identificadas como parte dessa relação entre sociedade e ambiente. Esse estudo permitiu compreender as pressões que vulnerabilizam os serviços ecossistêmicos e contribuiu para a proposição de indicadores relevantes da dimensão social do IVA-LC, que refletem as condições do ecossistema lagunar.

A análise da qualidade da água, por meio da avaliação de onze parâmetros, apontou para três parâmetros com alterações significativas, diretamente associados à ausência de vegetação ciliar e às pressões de uso. Ademais, a transparência de Secchi se mostrou um importante indicador, ao apontar para o estado trófico da Lagoa do Mato e revelar

comprometimento de sua qualidade hídrica em comparação com dados históricos. Essas variáveis permitiram identificar aspectos intrínsecos aos corpos d'água, fundamentando a seleção de indicadores das dimensões hídrica e ambiental essenciais para a composição do IVA-LC.

A estrutura metodológica do Índice de Vulnerabilidade Ambiental de Lagoas Costeiras (IVA-LC), detalhada desde a seleção e justificativa dos dez indicadores, passando pela atribuição de valores baseados nos níveis de impactos observados, até o procedimento de cálculo que resulta em um valor percentual para uma melhor compreensão e a subsequente classificação final do corpo d'água em níveis de vulnerabilidade, configura um método de protocolo sistemático e de aplicação simples e direta. Estruturalmente, o índice apresenta, para cada indicador, um sistema de valoração com base em níveis de impacto (baixo, médio ou alto), atribuindo-se pontuações (0, 5 ou 10, respectivamente) a partir de critérios observados em campo e fundamentados em literatura.

O índice de vulnerabilidade ambiental de Lagoas Costeiras (IVA-LC) proposto tem como objetivo quantificar, de forma prática e indireta, o grau de pressão antrópica e de alteração sobre esses ecossistemas lagunares. Considerando que a oferta contínua e eficiente dos serviços ecossistêmicos depende diretamente da integridade ecológica das lagoas, o valor final do índice pode ser interpretado como um indicativo do risco de comprometimento desses serviços. Assim, quanto maior a pontuação obtida, maior a fragilidade/vulnerabilidade do sistema lagunar e, consequentemente, maior a probabilidade de que os benefícios por ele fornecidos à sociedade e ao meio ambiente estejam comprometidos. O índice permitiu distinguir a natureza da vulnerabilidade quando apontou para a vulnerabilidade moderada de base natural das lagoas interdunares e alta vulnerabilidade de base antrópica da Lagoa do Mato, marcadas, portanto, de forma diferenciada, por aspectos intrínsecos ou pressões antrópicas.

Esta avaliação integrada de vulnerabilidade das lagoas costeiras no distrito da Baleia aponta claramente para a necessidade de ações diferenciadas, considerando tanto as características naturais quanto as atividades humanas presentes em cada lagoa. As estratégias propostas não só ajudarão a mitigar as vulnerabilidades identificadas, como também contribuirão significativamente para a conservação e recuperação desses ecossistemas aquáticos e dos serviços ecossistêmicos essenciais que eles proporcionam às comunidades locais.

O método aplicado para o desenvolvimento do IVA-LC evidenciou boa aplicabilidade prática e simplicidade operacional, o que sugere sua potencial replicabilidade em outros contextos costeiros. Contudo, recomenda-se, antes da replicação do índice em outras

regiões, realizar adaptações específicas dos indicadores considerando particularidades locais, para assegurar precisão e relevância das avaliações realizadas.

Espera-se que, ao aplicar esse índice, que traduz observações de campo e características intrínsecas de lagoas em um diagnóstico claro e categorizado, sirva como uma ferramenta importante e eficaz para a avaliação da condição ambiental do ecossistema lagunar.

O IVA-LC proposto nesta tese representa uma contribuição prática para a gestão ambiental, especialmente no contexto das lagoas costeiras, oportunizando uma abordagem simples e direta para tomadores de decisão e gestores locais. A ferramenta possibilita identificar, de forma acessível e rápida, áreas de maior vulnerabilidade ambiental, subsidiando ações preventivas e mitigatórias.

No contexto da literatura acadêmica, é possível destacar importante contribuição no que diz respeito a facilidade de aplicação sem comprometer o rigor científico da análise. A principal vantagem do índice proposto reside na sua simplicidade operacional e na utilização de indicadores de fácil aferição em campo, tornando-o uma ferramenta acessível para órgãos de gestão ambiental que podem não dispor de recursos estruturais e/ou financeiros para análises mais sofisticadas. O índice, portanto, cumpre o objetivo de fornecer um diagnóstico rápido, de baixo custo e fundamentado, preenchendo uma lacuna metodológica importante contida entre a pesquisa acadêmica e a necessidade de ferramentas de gestão ambiental práticas e eficazes.

Assim, a adoção desse índice por instituições locais pode contribuir significativamente para a preservação dos serviços ecossistêmicos essenciais e para a sustentabilidade socioambiental da região. Portanto, almeja-se que o IVA-LC contribua para o monitoramento, a identificação de áreas prioritárias para intervenção e, para subsidiar a tomada de decisão por gestores e/ou demais atores sociais envolvidos no planejamento e implementação de estratégias de manejo e conservação para a proteção dos serviços ecossistêmicos providos pelas lagoas costeiras.

7.1 Sugestões para trabalhos futuros

Esta tese, ao desenvolver e aplicar o IVA-LC, abre diversas possibilidades para investigações futuras que podem contribuir, aprofundar e expandir o conhecimento sobre a vulnerabilidade de lagoas costeiras.

Dentre as possibilidades recomenda-se, primeiramente, a aplicação sazonal do índice, contrastando os períodos de alta e baixa precipitação locais, com intuito de avaliar a dinâmica temporal da vulnerabilidade nesses ecossistemas lagunares.

Outra importante abordagem e sugestão é a expansão geográfica do estudo, aplicando o IVA-LC a outros sistemas lagunares do litoral cearense afim de validar sua replicabilidade e permitir análises comparativas.

Sugere-se também a realização de estudos longitudinais temporais, monitorando as mesmas lagoas por vários anos com intuito de identificar tendências de degradação ou recuperação.

Em se tratando do aspecto metodológico, o índice poderia ser aprimorado com a inclusão de novos indicadores, como um indicador biológico simplificado (ex: presença de macrófitas aquáticas sensíveis ou tolerantes), e/ou validado por meio da comparação, nessas lagoas estudadas, de seus resultados com os de índices mais complexos existentes na literatura.

Por fim, e não menos importante, sugere-se conduzir uma análise da percepção e usabilidade da ferramenta junto aos gestores municipais locais, avaliando sua efetividade como instrumento de apoio à tomada de decisão.

REFERÊNCIAS

- ADENAYA, A.; *et al.* Effects of natural and artificial surfactants on diffusive boundary dynamics and oxygen exchanges across the air–water interface. **Oceans**, Estados Unidos, v. 2, n. 4, p. 752–771, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/oceans2040043>. Acesso em: 29 jun. 2025.
- ADGER, W. N. *et al.* Adaptation to climate change in the developing world. **Progress in Development Studies**, Reino Unido, v. 3, n. 3, p. 179–195, 2003. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1191/1464993403ps060oa>. Acesso em: 29 jun. 2025.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Produtor de Água: manual operativo do programa**. 2. ed. Brasília, DF, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/programas-e-projetos/produtor-de-agua/publicacoes/manual-operativo-do-programa-produtor-de-agua-2a-edicao.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2025.
- ALBUQUERQUE, U. P. de; LUCENA, R. F. P. de; CUNHA, L. V. F. C. da. **Métodos e Técnicas na Pesquisa Etnobiológica e Etnoecológica**. Recife, PE: NUPPEA, 2010.
- ALIAUME, C. *et al.* Coastal lagoons of Southern Europe: recent changes and future scenarios. **Transitional Waters Monographs**, Itália, v. 1, n. 1, p. 1–12, 21 jun. 2007. Disponível em: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC33946>. Acesso em: 29 jun. 2025.
- ALKHALIDI, M. A.; AL-NASSER, Z. H.; AL-SARAWI, H. A. Environmental impact of sewage discharge on shallow embayment and mapping of microbial indicators. **Frontiers in Environmental Science**, Suíça, v. 10, 28 jun. 2022. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2022.914011/full>. Acesso em: 29 jun. 2025.
- ALMEIDA, A. B. B. de; *et al.* Concentração de ferro e manganês em águas de abastecimento no município de Crato, Ceará: caracterização e proposta de tratamento. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 33, n. 2, 2 abr. 2019. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29520>. Acesso em: 29 jun. 2025.
- ALORDA-KLEINGLASS, A. *et al.* The connection between Submarine Groundwater Discharge and seawater quality: the threat of treated wastewater injected into coastal aquifers. **Science of The Total Environment**, Países Baixos, v. 922, p. 170940, 14 fev. 2024. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38360304/>. Acesso em: 14 fev. 2024.
- ALVARADO-ZAMBRANO, D.; RIVERA-HERNÁNDEZ, J. R.; GREEN-RUÍZ, C. Macroplastic and microparticle pollution in beach sediments from Urias Coastal Lagoon (Northwest Mexico). **Toxics**, Suíça, v. 12, n. 6, p. 439, 18 jun. 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2305-6304/12/6/439>. Acesso em: 18 jun. 2024.

ANFUSO, G. *et al.* Coastal sensitivity/vulnerability characterization and adaptation strategies: a review. **Journal of Marine Science and Engineering**, Switzerland, v. 9, n. 1, p. 72, 12 jan. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-1312/9/1/72>. Acesso em: 29 jun. 2025.

ANTHONY, A. *et al.* Coastal lagoons and climate change: ecological and social ramifications in U.S. Atlantic and Gulf Coast ecosystems. **Ecology and Society**, United States, v. 14, n. 1, 2009. Disponível em: <https://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss1/art8/>. Acesso em: 29 jun. 2025.

APHA. **Standard Methods for the examination of Water and Wastewater – SMEWW**. American Public Health Association – APHA, 22th ed., Washington – USA, 2012

ARAÚJO, W. S.; OLIVEIRA, A. M. de; COSTA, D. F. da S. SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS PRESTADOS POR LAGOAS COSTEIRAS NO LITORAL SETENTRIONAL DO RIO GRANDE DO NORTE. **Revista do CERES**, Mossoró, RN, v. 1, n. 2, p. 30–35, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/Revistadoceres/article/view/15130>. Acesso em: 29 jun. 2025.

AZEVEDO, A. C. G.; FEITOSA, F. A. N.; KOENING, M. L. Distribuição espacial e temporal da biomassa fitoplânctonica e variáveis ambientais no Golfão Maranhense, Brasil. **Acta Botanica Brasílica**, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 870-877, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abb/a/TTyt8pcwnkRmYpMpMjWbM6t/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 29 jun. 2025.

AZIZULLAH, A.; *et al.* Detergents Pollution in Freshwater Ecosystems. **Anthropogenic Pollution of Aquatic Ecosystems**, Berlin, Germany, p. 245–270, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-75602-4>. Acesso em: 29 jun. 2025.

BANSAL, R.; HANS, M.; BANSAL, E. Impact of Solid Waste Disposal on Inland Water Wetlands. **Practice, progress, and proficiency in sustainability**, United States, p. 285–295, 14 jul. 2023. Disponível em: <https://www.igi-global.com/gateway/chapter/326622>. Acesso em: 29 jun. 2025.

BARROS, I. B. B. F.. **Paralisação e desperdício**: um estudo sobre a qualidade da água de poços inutilizados no município de Itapipoca/CE. 148 f. Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

BENSUSAN, N. Introdução. In: BENSUSAN, N. (org.). **Seria melhor mandar ladrilhar?** Biodiversidade: como, para que, por quê. Brasília: Editora UnB/ISA, 2008, 439p.

BHATTARAI, S.; PARAJULI, P. B. Best Management Practices Affect Water Quality in Coastal Watersheds. **Sustainability**, Suíça, v. 15, n. 5, p. 4045, 23 fev. 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/5/4045>. Acesso em: 05 ago. 2025.

BIRKMANN, J.; *et al.* Adaptive urban governance: new challenges for the second generation of urban adaptation strategies to climate change. **Sustainability Science**, Germany, v. 5, n. 2, p. 185–206, 11 jun. 2010. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11625-010-0111-3>. Acesso em: 29 jun. 2025.

BLOCK, S.; *et al.* **Environmental Performance Index 2024**. New Haven, CT: Yale Center for Environmental Law & Policy. Disponível em: <https://epi.yale.edu/>. Acesso em 08 maio 2025.

BOATENG, I.; *et al.* An Investigation into the Impacts of Climate Change on Anthropogenic Polluted Coastal Lagoons in Ghana. **Coastal Management**, United States, p. 1–22, 7 ago. 2020. Disponível em: https://pure.port.ac.uk/ws/portalfiles/portal/22762468/Impacts_of_Climate_Change.pdf. Acesso em: 29 jun. 2025.

BOYD, J.; BANZHAF, S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. **Ecological Economics**, Netherlands, v. 63, n. 2, p. 616–626, 1 ago. 2007. Disponível em: <https://media.rff.org/documents/RFF-DP-06-02.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2025.

BRAGA, E. A. S.; *et al.* Classificação da água subterrânea com base nos sólidos totais dissolvidos estimado. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 35, n. 2, 2021. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/30051>. Acesso em: 29 jun. 2025.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005**. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_ltrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf Acesso em: 12 dez. 2022.

BRASIL. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para o consumo**. Brasília, 2006. 212 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Fundação Nacional de Saúde**. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS. – Brasília: Funasa, 2014. 112 p.

BRUNO, M. F.; *et al.* The DPSIR Approach for Coastal Risk Assessment under Climate Change at Regional Scale: The Case of Apulian Coast (Italy). **Journal of Marine Science and Engineering**, Switzerland, v. 8, n. 7, p. 531, 18 jul. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-1312/8/7/531>. Acesso em: 29 jun. 2025.

BRUSÀ, R. et al. Conservation actions for restoring the coastal lagoon habitats: Strategy and multidisciplinary approach of LIFE Lagoon Refresh. **Frontiers in Ecology and Evolution**, Suíça, v. 10, 6 set. 2022. Disponível em <https://www.frontiersin.org/journals/ecology-and-evolution/articles/10.3389/fevo.2022.979415/full>. Acesso em: 05 ago. 2025.

BUTLER, B.; PEARSON, R. G.; BIRTLES, R. A. Water-quality and ecosystem impacts of recreation in streams: monitoring and management. **Environmental Challenges**, Netherlands, v. 5, p. 100328, out. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667010021003061?via%3Dihub>. Acesso em: 29 jun. 2025.

CAETANO, S.; *et al.* Fate of microbial contamination in a South European Coastal Lagoon (Ria Formosa) under the influence of treated effluents dispersal. **Journal of Applied**

Microbiology, United Kingdom, v. 134, n. 8, 28 jul. 2023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37516448/>. Acesso em: 29 jun. 2025.

CARLETTI, A.; LEO; FERRARI, I. A preliminary coastal wetland assessment procedure: Designing and testing an environmental sustainability index for Mediterranean lagoons. **Chemistry in ecology**, United Kingdom, v. 22, n. sup1, p. S15–S35, 1 ago. 2006.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, United States, v. 22, p. 361-369, 1977. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361>. Acesso em: 29 jun. 2025.

CARVALHO, R. C. de; *et al.* Ecotoxicological Effects of the Anionic Surfactant Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) in Two Marine Primary Producers: *Phaeodactylum tricornutum* and *Ulva lactuca*. **Toxics**, Switzerland, v. 10, n. 12, p. 780, 1 dez. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2305-6304/10/12/780>. Acesso em: 29 jun. 2025.

CEARÁ. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia do Litoral**: Fase 1: estudos básicos e diagnóstico. 2010. Disponível em <http://portal.cogerh.com.br/planos-de-bacias/>. Acesso em: 10 dez. 2022

CEARÁ. **LEI N° 19.294, de 06 de junho de 2025**. Dispõe sobre a Política Estadual do Gerenciamento Costeiro – PEGC, aprova o Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Ceará – ZEEC. Disponível em <https://belt.al.ce.gov.br/index.php/legislacao-do-ceara/organizacao-tematica/meio-ambiente-e-desenvolvimento-do-semiarido/item/11099-lei-n-19-294-de-06-de-junho-de-2025-d-o-09-06-25>. Acesso em 09 out. 2025

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo**. | Apêndice D - Índices de Qualidade das Águas. 2020. São Paulo: CETESB . Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Apendice-D-Indices-de-Qualidade-das-Aguas.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2025

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Apêndice E**: Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem. São Paulo, 2017. 52 p. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%A3Andice-E-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-2016.pdf>. Acesso em 15 maio 2023.

CHIEN, L.-K.; LI, Y.-C.; HSU, C.-F. Integrated Environmental Vulnerability Assessment and Adaptation Strategies for Coastal Areas under Sustainable Development. **Journal of Marine Science and Technology**, Taiwan, v. 32, n. 3, 8 set. 2024. Disponível em: <https://jmstt.ntou.edu.tw/journal/vol32/iss3/3/>. Acesso em: 29 jun. 2025.

CICES (Common International Classification of Ecosystem Services). **Paper prepared for discussion at the expert meeting on ecosystem accounts organized by the UNSD**, the EEA and the World Bank, London, December 2011. Disponível em: <https://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seeaLES/egm/Issue8a.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2025.

COSTANZA, R.; *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, United Kingdom, v. 387, n. 6630, p. 253–260, maio 1997. Disponível em: <https://experts.illinois.edu/en/publications/the-value-of-the-worlds-ecosystem-services-and-natural-capital>. Acesso em: 03 jun. 2025.

CUI, L.; *et al.* Vulnerability assessment of the coastal wetlands in the Yangtze Estuary, China to sea-level rise. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, United Kingdom, v. 156, p. 42–51, abr. 2015. Disponível em: https://think.taylorandfrancis.com/explore-environmental-sciences-cn/?gad_source=1&gad_campaignid=22332280266&gbraid=0AAAAAAo1LJwm2U9SJpPiUBTD3ktTcrM1n7&gclid=Cj0KCQjwyIPDBhDBARIsAHJyyVjJGeifEVzDtfNacUyGFyAydddJADDOGOWwenBSz-eroGmBGB4yobgaArLlEALw_wcB. Acesso em: 03 jun. 2025.

D'ALPAOS, A.; *et al.* **The Venice Lagoon foreshadows the fate of coastal systems under climate change and increasing human pressure**. United States, 15 maio 2023. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023EGUGA..2510125D/abstract>. Acesso em: 03 jun. 2025.

DAVIS, M. L.; MASTEN, S. J. **Princípios de Engenharia Ambiental**. 3. ed. Porto Alegre: Amgh Editora Ltda, 2016.

DE GROOT, R. S., WILSON, A. M.; BOUMANS, R. M. A Typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, Netherlands, v. 41, n. 2, p. 393-408, 2002. Disponível em: https://slunik.slu.se/kursfiler/NA0150/20108.1112/Ecosystem_functions_de_Groot.pdf. Acesso em: 03 jun. 2025.

DE WIT, R. Biodiversity of coastal lagoon ecosystems and their vulnerability to global change. In: Grillo, O., Venora, G. (Eds.), **Ecosystems Biodiversity**. InTech, Rijeka, Croatia, pp. 29–40. 2011. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/25321>. Acesso em: 03 jun. 2025.

DE WIT, R.; *et al.* Restoration ecology of coastal lagoons: new methods for the prediction of ecological trajectories and economic valuation. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, United Kingdom, v. 27, n. 1, p. 137–157, 19 out. 2015. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/aqc.2601>. Acesso em: 03 jun. 2025.

DE WIT, R.; *et al.* A Multidisciplinary Approach for Restoration Ecology of Shallow Coastal Lagoons, a Case Study in South France. **Frontiers in Ecology and Evolution**, Suíça, v. 8, 20 maio 2020. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/ecology-and-evolution/articles/10.3389/fevo.2020.00108/full>. Acesso em 05 ago. 2025.

DEPIETRI, Y. The social–ecological dimension of vulnerability and risk to natural hazards. **Sustainability Science**, Germany, 4 jul. 2019. Disponível em: https://orenstein.net.technion.ac.il/files/2019/07/Depietri2019_Article_TheSocialEcologicalDimensionOf.pdf. Acesso em: 03 jun. 2025.

DESMIT, X.; *et al.* Reducing marine eutrophication may require a paradigmatic change. **Science of The Total Environment**, Netherlands, v. 635, p. 1444–1466, 1 set. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718313603>. Acesso em: 03 jun. 2025.

ESTEVES, F. A.; et al. Neotropical coastal lagoons: an appraisal of their biodiversity, functioning, threats and conservation management. **Brazilian Journal of Biology**, São Paulo, v. 68, n. 4 suppl, p. 967–981, 1 nov. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjb/a/4KrZLMJ8CRs7p3BqXfSftpv/>. Acesso em: 03 jun. 2025.

ESTEVES, F. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.

EL MAHRAD, B.; et al. Social-Environmental Analysis for the Management of Coastal Lagoons in North Africa. **Frontiers in Environmental Science**, Switzerland, v. 8, 23 abr. 2020. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2020.00037/full>. Acesso em: 03 jun. 2025.

EL ZOKM, G. M.; EL-SAID, G. F.; OKBAH, M. A. Impact of land development along the western Mediterranean coast of Egypt regarding surfactant sources, interfering elements and ecotoxicity. **Marine Pollution Bulletin**, Netherlands, v. 203, n. 2, p. 116372, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X24003497>. Acesso em: 03 jun. 2025.

FANO, E. A.; MISTRI, M.; ROSSI, R. The ecofunctional quality index (EQI): a new tool for assessing lagoonal ecosystem impairment. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, United Kingdom, v. 56, n. 3-4, p. 709–716, mar. 2003. Disponível em: <https://www.ecowin.org/pdf/documents/EQI%20lagoon%20index.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2025.

FANG, X.; et al. Cumulative impact of anthropogenic nutrient inputs on lagoon ecosystems: a case study of Xincun Lagoon, Hainan, China. **Regional Studies in Marine Science**, Netherlands, v. 35, p. 101213–101213, 1 mar. 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352485519305201>. Acesso em: 03 jun. 2025.

FANNING, A. L. Towards Valuing Climate Change Impacts on the Ecosystem Services of a Uruguayan Coastal Lagoon. **Climate change management**, Alemanha, p. 61–77, 1 jan. 2014. Disponível em: <https://eprints.whiterose.ac.uk/id/eprint/125197/>. Acesso em: 03 jun. 2025.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T. Qualidade da água para irrigação na microbacia do Coqueiro, Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 6, p. 772–780, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/LvGGs4WQxxyqXLX4VKRjTSm/>. Acesso em: 03 jun. 2025.

FREESZ, N. P.; NOVELLI, R.; JUNIOR, L. S. A. C. Dinâmica da avifauna da Lagoa do Açu, Norte Fluminense, RJ. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 7, 2010, Caxambu. **Anais**. Disponível em: <https://www.seb-ecologia.org.br/revistas/indexar/anais/viiceb/resumos/175a.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2021.

GASHI, Sami; BAJMAKU, Ymerr; DRINI, Petrit. Physical-chemical characteristics of the substances before and after the discharge of factories of the detergents that can cause increase of the degree of the eutrophication of surface waters in the city of Prizren. In: **UBT INTERNATIONAL CONFERENCE**, 5., 2016, Prishtina. Proceedings [...]. Prishtina: UBT, 2016. Disponível em: <https://knowledgecenter.ubt-uni.net/conference/2016/all-events/43>. Acesso em: 01 maio 2025.

- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Editora Atlas, 7. ed, 2019
- GONÇALVES, E. DE O.; *et al.* Social, environmental, socio-environmental and environment vulnerability: Concepts and conceptions. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, Fortaleza, v. 10, n. 76, 2022. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/3092. Acesso em: 29 jun. 2025.
- GOUDARZIAN, P.; ERFANIFARD, S. The Efficiency of Indices of Richness, Evenness and Biodiversity in the Investigation of Species Diversity Changes (Case Study: Migratory Water Birds of Parishan International Wetland, Fars Province, Iran). **Biodiversity International Journal**, Iran, v. 1, n. 2, 14 ago. 2017. Disponível em: <https://medcraveonline.com/BIJ/the-efficiency-of-indices-of-richness-evenness-and-biodiversity-in-the-investigation-of-species-diversity-changes-case-study-migratory-water-birds-of-parishan-international-wetland-fars-province-iran.html>. Acesso em: 01 maio 2025.
- GUO, Z.; LI, J.; ZHANG, Z. Meta-analysis for systematic review of global micro/nano-plastics contamination versus various freshwater microalgae: Toxicological effect patterns, taxon-specific response, and potential eco-risks. **Water Research**, Netherlands, v. 258, p. 121706, 1 maio 2024. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135424006079>. Acesso em: 01 maio 2025.
- HAMZA EL BEHJA; *et al.* Evaluating coastal lagoon sustainability through the driver-pressure-state-impact-response approach: a study of Khenifiss Lagoon, southern Morocco. **Frontiers in Earth Science**, Switzerland, v. 12, 21 jun. 2024. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/earth-science/articles/10.3389/feart.2024.1322749/full>. Acesso em: 01 maio 2025.
- HOODA, V.; *et al.* From nutrient to nuisance: the impact of phosphorus on aquatic ecosystem health. In: **FUTURISTIC TRENDS IN CHEMICAL, MATERIAL SCIENCE AND NANOTECHNOLOGY**. Gurugram, Índia: IIP, 2024. v. 3, p. 177-205. e-ISBN 978-93-5747-617-1. Disponível em: <https://iipseries.org/assets/docupload/rsl202401BBB8E719FD2B8.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2025.
- HZAMI; *et al.* On the Growing Socioeconomic Vulnerability of Southern Mediterranean Coastal Lagoons. **Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences**, United Kingdom, v. 385, p. 377–385, 19 abr. 2024. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2024PIAHS.385..377H/abstract>. Acesso em: 03 jun. 2025.
- IBGE. **Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 14 nov. 2011. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=283741>. Acesso em: 02 jun. 2025
- IBGE. **Censo Demográfico 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.
- IBURG, S.; *et al.* Effects of Recreational Boating on Microbial and Meiofauna Diversity in Coastal Shallow Ecosystems of the Baltic Sea. **mSphere**, United States, v. 6, n. 5, 27 out. 2021. Disponível em: <https://journals.asm.org/doi/10.1128/msphere.00127-21>. Acesso em: 03 jun. 2025.

IMMI. Instituto de meio ambiente do município de Itapipoca – IMMI. **Plano de gestão integrada da orla marítima do município de Itapipoca – CE.** 2020.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). **Perfil Municipal 2017.** Disponível em <https://www.ipece.ce.gov.br/perfil-municipal-2017/>. Acesso em: 13 mar. 2023.

IPCC. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects.** Cambridge University Press. 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>. Acesso em 04 abr. 2023.

ISOLDI, L.A. *et al.* Remoção de carbono orgânico e nitrificação de águas residuárias da industrialização de arroz. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v.9, n.3, p.273-277, 2003. Disponível em: <https://revistas.ufpel.edu.br/index.php/CAST/article/view/592/594>. Acesso em: 03 jun. 2025.

JAWALE, R. S. Impact of Coastal Urbanization on Marine Diversity. **Uttar Pradesh Journal of Zoology**, India, v. 45, n. 21, p. 340–346, 28 nov. 2024. Disponível em: <https://mbimph.com/index.php/UPJOZ/article/view/4644>. Acesso em: 03 jun. 2025.

KENNISH, M. J.; PAERL, H. W. (ed.) **Coastal Lagoons:** critical habitats of environmental change [s.l.]. ISBN 978-1-4200-8830-4. CRC Press, 2010.

KÖKER, L.; *et al.* Variation in Water Quality in an Impacted Coastal Lagoon over the Last Decade (Küçükçekmece Lagoon, Turkey). **Environ. Sci. Proc.** Switzerland, 16 mar. 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2673-4931/25/1/26>. Acesso em: 03 jun. 2025.

KUMAR, R.; *et al.* Impacts of Plastic Pollution on Ecosystem Services, Sustainable Development Goals, and Need to Focus on Circular Economy and Policy Interventions. **Sustainability**, Switzerland, v. 13, n. 17, p. 9963, 6 set. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/17/9963>. Acesso em: 03 jun. 2025.

LACOSTE, É.; *et al.* A Review of Knowledge on the Impacts of Multiple Anthropogenic Pressures on the Soft-Bottom Benthic Ecosystem in Mediterranean Coastal Lagoons. **Estuaries and Coasts**, United States, v. 46, n. 8, p. 2190–2207, 21 mar. 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12237-023-01188-9>. Acesso em: 03 jun. 2025.

LAITONJAM, N. Vulnerability to Climate Change: Review of Conceptual Framework. **Economic Affairs**, India, v. 63, n. 2, 27 abr. 2018. Disponível em: <https://ndpublisher.in/admin/issues/EA63n2y.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2025.

LANZER, R. M. Lagoas Costeiras: patrimônio ambiental do Rio Grande do Sul. Pelotas, **Cadernos do LEPAARQ (UFPEL)**, Pelotas, v. 2, n. 3, jan./jul. p. 103-110, 2005. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/lepaarq/article/view/1045>. Acesso em: 03 jun. 2025.

LERUSTE, A. *et al.* First steps of ecological restoration in Mediterranean lagoons: Shifts in phytoplankton communities. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v. 180, p. 190–203, 5 out. 2016. Disponível em

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0272771416302037>. Acesso em: 05 ago. 2025.

LI, Q.; SHI, X.; WU, Q. Effects of protection and restoration on reducing ecological vulnerability. **Science of The Total Environment**, Netherlands, v. 761, p. 143180, mar. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720367103?via%3Dihub>. Acesso em: 03 jun. 2025.

LIGORINI, V. *et al.* Long-term ecological trajectories of a disturbed Mediterranean coastal lagoon (Biguglia lagoon): Ecosystem-based approach and considering its resilience for conservation? **Frontiers in Marine Science**, Switzerland, v. 9, 26 ago. 2022. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2022.937795/full>. Acesso em: 03 jun. 2025.

LIGORINI, V.; *et al.* Small Mediterranean coastal Lagoons Under Threat: Hydro-ecological Disturbances and Local Anthropogenic Pressures (Size Matters). **Estuaries and Coasts**, United States, v. 46, n. 8, p. 2220–2243, 27 fev. 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12237-023-01182-1>. Acesso em: 03 jun. 2025.

LOPES, J. L. DE S.; SILVA, M. E. F. DA; MACHADO, S. B. A Água como indicador de estudo da vulnerabilidade ambiental: o caso da lagoa do Catú em Aquiraz/CE. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, Brasil, v. 13, n. 2, p. 94–105, 2015. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/estgeo/article/view/10265>. Acesso em: 20 jan. 2023.

LOPES, Larisse Silva. **Análise da Vulnerabilidade Ambiental da Área de Proteção Ambiental da Sabiaguaba**, Fortaleza : 2014. 65 f. TCC (Graduação em Ciências Ambientais) - Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Fortaleza-CE, 2014. Disponível em <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/58245>. Acesso em 10 dez. 2022.

LUCÍA SOSA-PANZERA; PINELLI, V.; MATIAS ARIM. Spatial, environmental and functional distances among temporal ponds attenuate synchronization, stabilizing plant richness and biomass dynamics. **Oikos**, United Kingdom, 22 out. 2024. Disponível em: <https://nsojournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/oik.10843>. Acesso em: 03 jun. 2025.

MAZHAR, S. S.; *et al.* Resilience & Vulnerability: Concepts and Policy Contexts. **Geotechnologies and the Environment**, Germany, p. 327–341, 2024. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-52561-2_18. Acesso em: 03 jun. 2025.

MEA. MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis**. Washington, D.C: Island Press, 2005. 155p. Disponível em <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2023

MELFI, G. A.; *et al.* Coastal Sensitivity/Vulnerability Characterization and Adaptation Strategies: A Review. **Journal of Marine Science and Engineering**, Switzerland, v. 9, n. 1,

p. 72, 12 jan. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-1312/9/1/72>. Acesso em: 03 jun. 2025.

MENDES, A.T; PEDROZA, M. **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE NITROGÊNIO AMONIACAL PELO MÉTODO DE NESSLER.** [s.l] [s.n.]. Disponível em: <https://www.confea.org.br/sites/default/files/uploads-imce/Contecc2019/Qu%C3%ADmica/DETERMINA%C3%87%C3%83O%20DA%20CONCENTRA%C3%87%C3%83O%20DE%20NITROGENIO%20AMONIACAL%20PELO%20METODO%20DE%20NESSLER.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2023.

MÉNESGUEN, A.; LACROIX, G. Modelling the marine eutrophication: A review. **Science of The Total Environment**, Bélgica, v. 636, p. 339–354, set. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718313597?via%3Dhub>. Acesso em: 03 jun. 2025.

MIRLI, A. *et al.* Participatory Management of a Mediterranean Lagoon Complex Social-Ecological System Using Intuitionistic Fuzzy TOPSIS. **Sustainability**, Switzerland, v. 16, n. 23, p. 10647, 4 dez. 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/23/10647>. Acesso em: 03 jun. 2025.

MISHRA, S. K.; *et al.* Microplastics–biofilm in aquatic ecosystem: Formation, pollutants complexation, greenhouse gas emission and ecotoxicology. **Journal of Environmental Management**, United Kingdom, v. 370, p. 122930, 17 out. 2024. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39423625/>. Acesso em: 03 jun. 2025.

MMACHAKA, T. *et al.* Reduction in pollution load to an urban estuary using a sustainable drainage system treatment train. **Marine Pollution Bulletin**, v. 194, n. 4, p. 115378, 1 set. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com.ez11.periodicos.capes.gov.br/science/article/abs/pii/S0025326X23008123?via%3Dhub>. Acesso em: 05 ago. 2025.

MOREIRA, R.M. **Alocação de recursos hídricos em regiões semi-áridas.** 2001, 119 p. Doutorado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001. Disponível em <http://www.coc.ufrj.br/pt/dissertacoes-de-mestrado/101-2001/1761-rodrigo-de-matos-moreira> Acesso em: 20 maio 2023.

MOUSAVI, S. A.; KHODADOOST, F. Effects of detergents on natural ecosystems and wastewater treatment processes: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, Germanym v. 26, n. 26, p. 26439–26448, 27 jul. 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31352596/>. Acesso em: 03 jun. 2025.

NASCIMENTO, D. M. C.; DOMINGUEZ, J. M. L. Avaliação da vulnerabilidade ambiental como instrumento de gestão costeira nos municípios de Belmonte e Canavieiras, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, Pelotas, v. 39, n. 3, p. 395–408, 1 set. 2009. Disponível em: <https://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/7686>. Acesso em: 04 abr. 2023.

NEWTON, A. *et al.* An overview of ecological status, vulnerability and future perspectives of European large shallow, semi-enclosed coastal systems, lagoons and transitional

waters. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, United Kingdom, v. 140, p. 95–122, 1 mar. 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0272771413002461>. Acesso em: 03 jun. 2025.

NEWTON, A.; *et al.* Assessing, quantifying and valuing the ecosystem services of coastal lagoons. **Journal for Nature Conservation**, Germany, v. 44, p. 50–65, jul. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1617138117301371>. Acesso em: 03 jun. 2025.

NEWTON, A.; *et al.* Anthropogenic, Direct Pressures on Coastal Wetlands. **Frontiers in Ecology and Evolution**, Switzerland, v. 8, 7 jul. 2020. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/ecology-and-evolution/articles/10.3389/fevo.2020.00144/full>. Acesso em: 03 jun. 2025.

OYEKAN, M. A.; *et al.* Assessing the Ecological Impact of Excreta Disposal on Lagos Lagoon, Nigeria. **Asian Journal of Advanced Research and Reports**, India, v. 19, n. 1, p. 120–135, 9 jan. 2025. Disponível em: <https://journalajarr.com/index.php/AJARR/article/view/867>. Acesso em: 03 jun. 2025.

PENG, Y.; WELDEN, N.; RENAUD, F. G. A framework for integrating ecosystem services indicators into vulnerability and risk assessments of deltaic social-ecological systems. **Journal of Environmental Management**, United Kingdom, v. 326, p. 116682, jan. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479722022551>. Acesso em: 03 jun. 2025.

PÉREZ-MARTÍN, M. Á. Understanding Nutrient Loads from Catchment and Eutrophication in a Salt Lagoon: The Mar Menor Case. **Water**, Switzerland, v. 15, n. 20, p. 3569, 1 jan. 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/20/3569>. Acesso em: 03 jun. 2025.

PÉREZ-RUZAFA, A.; *et al.* Coastal lagoons: “transitional ecosystems” between transitional and coastal waters. **Journal of Coastal Conservation**, Netherlands, v. 15, n. 3, p. 369–392, 8 abr. 2010. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11852-010-0095-2>. Acesso em: 03 jun. 2025.

PÉREZ-RUZAFA, A.; *et al.* Long-Term Dynamic in Nutrients, Chlorophyll a, and Water Quality Parameters in a Coastal Lagoon During a Process of Eutrophication for Decades, a Sudden Break and a Relatively Rapid Recovery. **Frontiers in Marine Science**, Switzerland, v. 6, 11 fev. 2019a. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2019.00026/full>. Acesso em: 03 jun. 2025.

PÉREZ-RUZAFA, A. *et al.* **Coastal Lagoons**: Environmental Variability, Ecosystem Complexity, and Goods and Services Uniformity. Elsevier eBooks, p. 253–276, 1 jan. 2019b. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2019.00026/full>. Acesso em: 03 jun. 2025.

PÉREZ-RUZAFA, A. *et al.* Why coastal lagoons are so productive? Physical bases of fishing productivity in coastal lagoons. **The Science of The Total Environment**, Netherlands, p. 171264–171264, 1 fev. 2024. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38417507/>. Acesso em: 03 jun. 2025.

PIRATOBA, A. R. A. *et al.* Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Santa Catarina, v. 12, n. 3, p. 435, 2 maio 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/f45JMMTdfXvPWLM6mbDX6K/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 03 jun. 2025.

RAMAKRITINAN, C. M.; MUNEESWARAN, T.; YOKESH BABU, M. Sources of Domestic Sewage Effluent Pollution and its Impact on Seawater Quality in the Coastal Waters of Northern Gulf of Mannar and Palk Bay, India. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, India, v. 13, n. 10, p. 338–357, 10 out. 2024. Disponível em: <https://www.ijcmas.com/13-10-2024/C.%20M.%20Ramakritinan,%20et%20al.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2025.

REIZOPOULOU, S.; NICOLAIDOU, A. Index of size distribution (ISD): a method of quality assessment for coastal lagoons. **Hydrobiologia**, Netherlands, v. 577, n. 1, p. 141–149, fev. 2007. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10750-006-0423-6>. Acesso em: 03 jun. 2025.

RENZI, M.; GIOVANI, A.; FOCARDI, S. Water Pollution by Surfactants: Fluctuations Due to Tourism Exploitation in a Lagoon Ecosystem. **Journal of Environmental Protection**, United States, v. 3, n. 9, p. 1004–1009, 24 set. 2012. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=22649>.

ROCHA, C.; ANTUNES, C.; CATITA, C. Coastal Vulnerability Assessment Due to Sea Level Rise: The Case Study of the Atlantic Coast of Mainland Portugal. **Water**, Switzerland, v. 12, n. 2, p. 360, 28 jan. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/2/360>. Acesso em: 03 jun. 2025.

RODRIGUES-FILHO, J. L.; *et al.* From ecological functions to ecosystem services: linking coastal lagoons biodiversity with human well-being. **Hydrobiologia**, Netherlands, v. 2. n. 8, p. 118-132. 2023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37323646/>. Acesso em: 03 jun. 2025.

ROSS, J. L. S. ANÁLISE EMPÍRICA DA FRAGILIDADE DOS AMBIENTES NATURAIS ANTROPIZADOS. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 8, p. 63–74, 2011. Disponível em: <https://revistas.usp.br/rdg/article/view/47327>. Acesso em: 03 jun. 2025.

ROWLAND, J. A.; *et al.* Ecosystem indices to support global biodiversity conservation. **Conservation Letters**, United States, v. 13, n. 1, p. 1–11, 1 jan. 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/conl.12680>. Acesso em: 03 jun. 2025.

RUSSI, D.; *et al.* **The Economics of Ecosystems and Biodiversity for Water and Wetlands**. IEEP, London and Brussels, Ramsar Secretariat, Gland. 2013. Disponível em https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/TEEB/TEEB_Water-Wetlands_Final-Consultation-Draft.pdf Acesso em 29 abr. 2023

SALDANHA, D. S.; COSTA, D. F. da S. Classificação dos serviços ecossistêmicos prestados pelas áreas úmidas na zona estuarina do Rio Piancó-Piranhas-Açu (Nordeste, Brasil). **Ateliê**

Geográfico, Goiânia, v. 13, n. 3, p. 263–282, 2019. DOI: 10.5216/ag.v13i3.54443. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/atelier/article/view/54443>. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/atelier/article/view/54443>. Acesso em: 03 jun. 2025.

SANTOS, G. P; *et al.* ANÁLISES DE FERRO E MANGANÊS NA ÁGUA TRATADA DE PORTO ALEGRE/RS. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, São Paulo, v. 9, p. 218–233, 2020. DOI: 10.19177/rgsa.v9e02020218-233. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/9162.. Acesso em: 03 jun. 2025.

SANTOS, A. R. dos; *et al.* Mapping the Environmental Vulnerability of a Lagoon Using Fuzzy Logic and the AHP Method. **Water**, Switzerland, v. 15, n. 11, p. 2102, 1 jun. 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/11/2102>. Acesso em: 03 jun. 2025.

SCHUMANN, L. R. M. A.; MOURA, L. B. A. Índices sintéticos de vulnerabilidade: uma revisão integrativa de literatura. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 7, p. 2105–2120, jul. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/wQm3rrGg96KZQnMGCwmFYjw/>. Acesso em: 03 jun. 2025.

SCIROCCO, T. *et al.* A Biotic Index (Λ) for Measuring the Ecological Quality of Mediterranean Lagoons. **Journal of environmental science & engineering**, India, v. 5, n. 2, p. 199–205, 28 fev. 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/230887275_A_biotic_index_L_for_measuring_the_ecological_quality_of_Mediterranean_lagoons. Acesso em: 03 jun. 2025.

SILVA, A. C. M. **Estudo da qualidade das águas das principais lagoas e fontes urbanas de Salvador-BA como subsídio às novas políticas de gestão ambiental**. 2019. 182 f. Doutorado em Geologia. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2019. Disponível em <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/34041> . Acesso em 04 abr. 2023

SILVA, M. C. da. **Serviços ecossistêmicos da lagoa da Precabura (Estado do Ceará)**: 2019. 56 f. Graduação em Ciências Ambientais. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

SILVEIRA, A. P. P. da; *et al.* **Dessalinização de águas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 287 p.

SMITH, V. H.; SCHINDLER, D. W. Eutrophication science: where do we go from here? **Trends in Ecology and Evolution**, United Kingdom, v. 24, p. 201-207, 2009. Disponível em: [https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/abstract/S0169-5347\(09\)00041-X?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS016953470900041X%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/abstract/S0169-5347(09)00041-X?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS016953470900041X%3Fshowall%3Dtrue). Acesso em: 03 jun. 2025.

SOBRAL, A.; FERREIRA, E.; OSÓRIO, R. Ensaio Preliminar da Qualidade da Água da Lagoa de Ibiraquera (SC). **Metodologias e Aprendizado**, São Paulo, v. 2, p. 19–24, 2019. DOI: 10.21166/metapre.v2i0.1129. Disponível em: <https://publicacoes.ifc.edu.br/index.php/metapre/article/view/1129>. Acesso em: 03 jun. 2025.

SOBRINO-FIGUEROA, A. Toxic effect of commercial detergents on organisms from different trophic levels. **Environmental Science and Pollution Research**, Germany, v. 25, n.

14, p. 13283–13291, 18 out. 2016. Disponível em:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-016-7861-0>. Acesso em: 03 jun. 2025.

SORIA, J. *et al.* Phytoplankton Distribution in Mar Menor Coastal Lagoon (SE Spain) during 2017. **Journal of Marine Science and Engineering**, Switzerland, v. 8, n. 8, p. 600, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-1312/8/8/600>. Acesso em: 03 jun. 2025.

SOUZA, P. H. G. O.; SIEGLE, E.; TESSLER, M. G. Vulnerability assessment of Massaguacú Beach (SE Brazil). **Ocean & Coastal Management**, United Kingdom, v. 77, p. 24-30, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/67634>. Acesso em: 03 jun. 2025.

SPECCHIULLI, A. *et al.* Multiple approach for assessing lagoon environmental status based on water bodies quality indices and microplastics accumulation. **The Science of The Total Environment**, United States, v. 892, p. 164228–164228, 24 maio 2023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37236488/>. Acesso em: 03 jun. 2025.

SUWANDHAHANNADI, W. K. *et al.* Community participation for assessing and managing ecosystem services of coastal lagoons: A case of the Rekawa Lagoon in Sri Lanka. **Ocean & Coastal Management**, United Kingdom, v. 251, p. 107069, mai. 2024. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2024OCM...25107069S/abstract>. Acesso em: 03 jun. 2025.

TAGLIANI, C. R. A. Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO n. 11 **Anais XI Sbsr**, Belo Horizonte, p. 1657-1664, abr. 2003. Disponível em: <https://repositorio.furg.br/handle/1/3113>. Acesso em: 10 out. 2022.

TAKYI, R. *et al.* Adaptive management of environmental challenges in West African coastal lagoons. **Science of the total environment**, United States, v. 838, p. 156234–156234, 1 set. 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35644400/>. Acesso em: 03 jun. 2025.

TEEB. Chapter 5 The economics of valuing ecosystem services and biodiversity. In: **The Economics of Ecosystems and Biodiversity**. Ecological and economic foundations., United Kingdom, p.183-255, 2010. Disponível em: https://observatoriopantanal.org/wp-content/uploads/crm_perks_uploads/5cb0f734750a11456042675850236/2019/08/2012_The_Economics_of_Ecosystems_and_Biodiversity_Ecological_and_Economic_Foundations.pdf. Acesso em: 03 jun. 2025.

TOLEDO JR., A. P. *et al.* A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. **Anais do 12º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Camboriú, 34p. 1983. Disponível em: <https://repositorio.cetesb.sp.gov.br/items/22dc1e02-92c2-4a3a-a9b9-226ed124bba8/full>. Acesso em: 03 jun. 2025.

TUHOLSKE, C.; *et al.* Mapping global inputs and impacts from of human sewage in coastal ecosystems. **PLOS ONE**, United States, v. 16, n. 11, p. e0258898, 10 nov. 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34758036/>. Acesso em: 03 jun. 2025.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. Tundisi, T.M. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2008. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/bjb/a/dCPP56Jcy6H3pd5YKRjh7b/?lang=en>. Acesso em: 03 jun. 2025.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 55–64, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/wYWM8Ws6jCnzYQrVvJx3fzJ/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 03 jun. 2025.

VASCONCELOS, R. P.; *et al.* Connectivity between estuaries and marine environment: Integrating metrics to assess estuarine nursery function. **Ecological Indicators**, United Kingdom, v. 11, n. 5, p. 1123–1133, set. 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/241708455_Connectivity_between_estuarine_and_coastal_fish_populations_Contributions_of_estuaries_are_not_consistent_over_time. Acesso em: 03 jun. 2025.

VAVE, R. *et al.* Impacts of commercial and subsistence fishing on marine and cultural ecosystem services important to the wellbeing of an Indigenous community in Hawai'i. **Ecosystem Services**, United Kingdom, v. 69, p. 101661, 11 set. 2024. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/eee/ecoser/v69y2024ics2212041624000688.html>. Acesso em: 03 jun. 2025.

VELASCO, A. M.; *et al.* Ecosystem services and main environmental risks in a coastal lagoon (Mar Menor, Murcia, SE Spain): The public perception. **Journal for Nature Conservation**, Germany, v. 43, p. 180–189, jun. 2018. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018JNatC..43..180V/abstract>. Acesso em: 03 jun. 2025.

VON SPERLING, E.; FERREIRA, A. C. S.; GOMES, L. N. L. Comparative eutrophication development in two Brazilian water supply reservoirs with respect to nutrient concentrations and bacteria growth. **Desalination**, Netherlands. v. 226, n. 1-3, p. 169–174, 2008. Disponível em: <https://www.lenntech.com/abstracts/2444/comparative-eutrophication-development-in-two-brazilian-water-supply-reservoirs-with-respect-to-nutrient.html>. Acesso em: 03 jun. 2025.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. DESA-UFMG.1996. Acesso em: 03 jun. 2025.

WAKWELLA, A.; *et.al.* Integrated watershed management solutions for healthy coastal ecosystems and people. **Cambridge Prisms: Coastal Futures**, United Kingdom, v. 1, e27, 1–17. 2023. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/cambridge-prisms-coastal-futures/article/integrated-watershed-management-solutions-for-healthy-coastal-ecosystems-and-people/F0CB95FB6FC43C6BA9805D3409888CBB>. Acesso em: 03 jun. 2025.

WALKER, T. R.; FEQUET, L. Current trends of unsustainable plastic production and micro(nano)plastic pollution. **Trends in Analytical Chemistry**, Netherlands, v. 160, p. 116984, 1 fev. 2023. Disponível em: <https://dalhousie-university2.demo.elsevierpure.com/en/publications/current-trends-of-unsustainable-plastic-production-and-micronanop>. Acesso em: 03 jun. 2025.

WEISSHUHN, P.; MÜLLER, F.; WIGGERING, H. Ecosystem Vulnerability Review: Proposal of an Interdisciplinary Ecosystem Assessment Approach. **Environmental Management**, United States, v. 61, n. 6, p. 904–915, 14 mar. 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29541799/>. Acesso em: 03 jun. 2025.

WINTER, T. C. THE VULNERABILITY OF WETLANDS TO CLIMATE CHANGE: A HYDROLOGIC LANDSCAPE PERSPECTIVE1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, United States, v. 36, n. 2, p. 305–311, abr. 2000. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1752-1688.2000.tb04269.x>. Acesso em: 03 jun. 2025.

WU, J.; *et al.* Alteration of wetland resilience for the intermittently and permanently inundated wetland. **Environmental Research Letters**, United Kingdom, v. 19, n. 12, p. 124077, 22 nov. 2024. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ad7f71>. Acesso em: 03 jun. 2025.

ZHAI, L.; LEE, J.-E. Investigating Vulnerability, Adaptation, and Resilience: A Comprehensive Review within the Context of Climate Change. **Atmosphere**, Switzerland, v. 15, n. 4, p. 474, 1 abr. 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4433/15/4/474>. Acesso em: 03 jun. 2025.

ZHAO, Y.; *et al.* Coastal Cultural Ecosystem Services: A Bridge between the Natural Ecosystem and Social Ecosystem for Sustainable Development. **Land**, Switzerland, v. 13, n. 9, p. 1352–1352, 25 ago. 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-445X/13/9/1352>. Acesso em: 03 jun. 2025.

APÊNDICE A – ROTEIRO DE ENTREVISTA NÃO ESTRUTURADA

Tema: Dinâmica socioambiental em lagoas costeiras no Distrito da Baleia, Itapipoca-CE.

Público-alvo: Comunidade local, bugueiros, operadores turísticos e turistas.

Objetivo: Conhecer e aprofundar o entendimento sobre as formas de uso das lagoas costeiras e suas implicações para a vulnerabilidade dos serviços ecossistêmicos locais.

Introdução à entrevista:

“Estou realizando uma pesquisa para a minha tese de doutorado na Universidade Federal do Ceará sobre o uso das lagoas costeiras aqui no Distrito da Baleia, para entender melhor como as atividades humanas podem estar afetando esses ambientes. Gostaria muito de ouvir sua experiência, percepção e opiniões sobre como as lagoas são usadas e os impactos percebidos. É importante dizer que sua participação é voluntária e que seu nome não será divulgado, tampouco solicitado como resposta a qualquer questionamento dessa conversa/entrevista. Caso se sinta à vontade posso iniciar nossa conversa.”

Perguntas norteadoras para a entrevista:

- Como você costuma utilizar as lagoas aqui na região?
- Como você observa e de que forma as outras pessoas se utilizam das lagoas?
- Quais as atividades mais frequentes que você observa nas lagoas?
- Qual a importância dessas lagoas para você ou para a comunidade local?
- Você percebe algum tipo de problema ambiental ou impacto causado pelo uso das lagoas?

- Poderia me falar sobre situações específicas em que você notou algum impacto negativo, como presença de resíduos sólidos, espuma ou alteração na água?

- Quais tipos de resíduos você vê com mais frequência nas lagoas?

Conclusão da Entrevista:

“Muito obrigado pela sua participação! Suas informações e opiniões são muito importantes para ajudar a entender melhor a dinâmica da comunidade com as lagoas e propor ações que garantam sua conservação e uso sustentável.”

**APÊNDICE B – FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE
AMBIENTAL EM LAGOAS COSTEIRAS**

Localidade: _____

Data: ___/___/___

Avaliador(a): _____

Instruções:

Observe cada indicador diretamente no local.

Marque com um "X" o nível observado (Baixo, Médio ou Alto).

Ao final, some os pontos e calcule o índice final.

Indicador	Baixo Impacto / Baixa Vulnerabilidade (0 pontos)	Médio Impacto / Média Vulnerabilidade (5 pontos)	Alto Impacto / Alta Vulnerabilidade (10 pontos)
Banho/Lazer e Recreação (Pressão)	Uso esporádico/ocasional, sem infraestrutura significativa; sem degradação visível. () 0 pontos	Uso regular, alguma infraestrutura simples; sinais iniciais de impacto. () 5 pontos	Uso intenso e/ou infraestrutura consolidada; impacto/degradação evidente. () 10 pontos
Pesca (Pressão)	Pesca de subsistência (occasional ou artesanal), artes seletivas; poucos ou nenhum equipamentos deixados. () 0 pontos	Pesca comercial pequena/média, uso ocasional de artes impactantes. Pequenos impactos visíveis (redes deixadas temporariamente, pequenos resíduos) () 5 pontos	Pesca frequente e intensa; pesca predatória, sobrepesca evidente, uso de artes ilegais. Impacto visual evidente (resíduos frequentes, redes abandonadas, destruição da vegetação marginal) () 10 pontos

Lançamento de Águas Residuais ou Efluentes (Pressão)	<p>Sem lançamentos visíveis ou relatos. ()</p> <p>0 pontos</p>	<p>Lançamentos pontuais e intermitentes; sinais leves de contaminação. ()</p> <p>5 pontos</p>	<p>Lançamentos contínuos, visíveis, com sinais evidentes de poluição (água visivelmente alterada (turva, espuma, odor forte e desagradável). ()</p> <p>10 pontos</p>
Lavagem de Roupas ou Animais (Pressão)	<p>Prática ausente ou extremamente rara. ()</p> <p>0 pontos</p>	<p>Prática ocasional, pouco uso de detergentes, impacto visual discreto (pequenos resíduos de sabão). ()</p> <p>5 pontos</p>	<p>Prática frequente, múltiplos pontos, presença de espuma e resíduos. ()</p> <p>10 pontos</p>
Vegetação Ciliar (Estado)	<p>Vegetação intacta ou com mínima perturbação; Faixa contínua, bem preservada. ()</p> <p>0 pontos</p>	<p>Faixa estreita, descontínua, com sinais de degradação. Vegetação parcialmente removida ou fragmentada ()</p> <p>5 pontos</p>	<p>Ausência ou cobertura muito rarefeita; substituída por uso antrópico. ()</p> <p>10 pontos</p>
Transparência da Água (Estado)	<p>Translucidez ou alta transparência (Disco de Secchi > 170 cm). ()</p> <p>0 pontos</p>	<p>Transparência intermediária (Disco de Secchi entre 80 e 170 cm). ()</p> <p>5 pontos</p>	<p>Baixa transparência (Disco de Secchi < 80 cm). ()</p> <p>10 pontos</p>
Materiais Flutuantes (Poluição)	<p>Ausência ou presença muito rara de resíduos flutuantes.</p>	<p>Presença ocasional e localizada de materiais flutuantes.</p>	<p>Presença abundante, espumas cobrindo áreas da lagoa ou margens.</p>

	() 0 pontos	() 5 pontos	() 10 pontos
Resíduos Sólidos nas Margens/Fundo (Poluição)	Ausência ou ocorrência muito rara de resíduos. () 0 pontos	Presença em pontos isolados ou pequena quantidade. () 5 pontos	Acúmulo significativo e/ou generalizado de resíduos. () 10 pontos
Hidroperíodo (Regime Hídrico)	Lagoa perene, mantém espelho d'água o ano todo. () 0 pontos	Não se aplica.	Lagoa intermitente, seca durante parte do ano. () 10 pontos
Fonte de Abastecimento (Estabilidade Hídrica)	Abastecimento diversificado e/ou por fontes perenes e estáveis. () 0 pontos	Abastecimento misto com fontes sazonais ou variáveis. () 5 pontos	Abastecimento predominantemente pluvial, alta dependência da chuva. () 10 pontos

Resultados:

Pontuação Total Obtida: _____ (Máx: 100 pontos)

Cálculo do Índice (%): (Pontuação Total ÷ 100) × 100 = _____ %

Classificação do Índice de Vulnerabilidade:

Baixa (0–25%): Situação ótima, impactos mínimos. A lagoa apresenta predominantemente características de baixo impacto para a maioria dos indicadores. Os processos ecológicos e os serviços ecossistêmicos estão provavelmente bem conservados ou sob mínima ameaça. As pressões antrópicas são incipientes ou ausentes.

Média/Moderada (26–50%): Condição aceitável, requer monitoramento regular, pois alguns serviços ecossistêmicos podem estar sob ameaça leve ou começando a mostrar sinais de estresse. Condição de alerta que requer monitoramento e, possivelmente, ações de manejo preventivo.

Alta (51–75%): Condição preocupante, requer ações de recuperação, pois muitos serviços ecossistêmicos estão provavelmente degradados ou sob ameaça considerável. Ações de mitigação e recuperação são provavelmente necessárias.

Muito Alta (76–100%): Condição crítica, necessidade urgente de intervenções, pois os serviços ecossistêmicos estão provavelmente seriamente comprometidos ou até mesmo perdidos. Requer intervenções urgentes e robustas para recuperação, se ainda possível.

Observações adicionais (opcional):

Assinatura do Avaliador: _____