



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS



Ana Carolina Sousa Santos

**Florestas de mangue e suas relações com gradientes de salinidade da água ao longo do
rio Preguiças – MA**

São Luís/MA

2025

Ana Carolina Sousa Santos

**Florestas de mangue e suas relações com gradientes de salinidade da água ao longo do
rio Preguiças – MA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Geografia (PPGeo) da Universidade
Federal do Maranhão (UFMA) como requisito para
obtenção do grau em mestre em Geografia.

Linha de pesquisa: Ambiente e Análise Espacial.

Orientador: Prof. Dr. André Luís Silva dos Santos

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a)
autor(a).

Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Sousa Santos, Ana Carolina.

Florestas de mangue e suas relações com gradientes de salinidade da
água ao longo do rio Preguiças MA / Ana

Carolina Sousa Santos. - 2025.

91 f.

Orientador(a): André Luís Silva dos Santos.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Geografia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2025.

1. Mangue. 2. Salinidade. 3. Rio Preguiças. I. Silva
dos Santos, André Luís. II. Título.

Ana Carolina Sousa Santos

**Florestas de mangue e suas relações com gradientes de salinidade da água ao longo do
rio Preguiças – MA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Geografia (PPGeo) da Universidade
Federal do Maranhão (UFMA) como requisito para
obtenção do grau em mestre em Geografia.

Aprovada em: / /

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. André Luís Silva dos Santos

IFMA – Instituto Federal do Maranhão

ORIENTADOR

Prof Dr^a Taissa Caroline Silva Rodrigues

**UEMASUL - Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão MEMBRO
INTERNO**

Prof. Dr. Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias

UEMA - Universidade Estadual Do Maranhão

MEMBRO INTERNO

Dedicatória

Dedico esta dissertação primeiramente a Deus e ao meu pai, que foram minha inspiração e fortaleza ao longo desta jornada.

Dedico, com profundo carinho, à minha família, pelo apoio.

Dedico ao meu orientador, Prof. Dr. André Luís, pela confiança, orientação segura e amabilidade sempre presente.

Agradecimento

Agradeço ao Grupo de Informática Aplicada e Geoprocessamento (GIAGeo/IFMA), pelos encontros científicos e pelos vínculos acadêmicos.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGEO), pela oportunidade de formação e aprendizado.

Agradeço à Profa. Dra. Taissa Rodrigues, por gentilmente aceitar o convite para compor minha banca examinadora neste momento tão significativo.

Agradeço ao Prof. Dr. Ulisses Denache Vieira Souza, pelo constante incentivo e apoio.

Agradeço, ainda, a todos os amigos que, de alguma forma ímpar, contribuíram para esta trajetória acadêmica.

1.1 Lista de Figuras

FIGURA 1 - DISTRIBUIÇÃO DOS MANGUEZAIS NO BRASIL.	17
FIGURA 2 - DISTRIBUIÇÃO DOS MANGUEZAIS NO MARANHÃO	18
FIGURA 3 - <i>RHIZOPHORA</i> (MANGUE-VERMELHO)	19
FIGURA 4 - <i>AVICENNIA</i> (MANGUE-BRANCO)	20
FIGURA 5 - <i>LAGUNCULARIA</i> (MANGUE-BRANCO)	21
FIGURA 6 - <i>CONOCARPUS ERECTUS</i> (MANGUE-DE-BOTÃO).	22
FIGURA 7 - DISTRIBUIÇÃO DOS MANGUEZAIS	26
FIGURA 8 - ESPÉCIES DOMINANTES NO ESTUÁRIO DO RIO PREGUIÇAS	30
FIGURA 9 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO RIO PREGUIÇAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PREGUIÇAS.	34
FIGURA 10 - ZONA COSTEIRA NA ÁREA DO RIO PREGUIÇAS.	34
FIGURA 11 - CURSO DO RIO PREGUIÇAS ATUALMENTE.	35
FIGURA 12 - EXTRATIVISMO VEGETAL DO FRUTO DO BURITI	38
FIGURA 13 - SERVIÇOS DOMÉSTICOS TRADICIONAIS, COMO LAVAGEM DE ROUPAS	39
FIGURA 14 - VEGETAÇÃO DE MANGUE USADA PARA CONSTRUÇÃO DE ABRIGOS PARA PESCADORES	40
FIGURA 15 - PONTOS GEOTURÍSTICOS E/OU TURÍSTICOS NO BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PREGUIÇAS – MA.	41
FIGURA 16 - VISITANTES QUE SEGUEM PELO RIO EM DIREÇÃO AO LITORAL EM LANCHAS	42
FIGURA 17 – MACACOS - PREGO QUE HABITAM NA REGIÃO	43
FIGURA 18 - MANDACARU	44
FIGURA 19 - FAROL DE PREGUIÇAS	44
FIGURA 20 - CABURÉ, UMA PENÍNSULA ARENOSA (A;B)	45
FIGURA 21 - ATINS, VILAREJO TRADICIONAL	46
FIGURA 22 - PESCADOR TECENDO SUA REDE DE PESCA ARTESANAL	46
FIGURA 23 - CARANGUEIJO ARATU VERMELHO (<i>GONIOPSIS CRUENTATA</i>)	47
FIGURA 24 - CARANGUEIJO CHAMA - MARÉ (<i>LEPTUCA LEPTODACTYLA</i>)	48
FIGURA 25 – CRUSTÁCEOS FIXADOS EM TRONCOS MORTOS DE MANGUE	48
FIGURA 26 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO RIO PREGUIÇAS.	49
FIGURA 27 - DUNAS MÓVEIS, FORMADAS POR SEDIMENTOS EÓLICOS	51
FIGURA 28 - GRAMÍNEAS SENDO UTILIZADA PARA O PASTOREIO DE ANIMAIS	52
FIGURA 29 - MAPA DA ÁREA DE DISTRIBUIÇÃO DO CERRADO.	52
FIGURA 30 - ÁRVORES E ARBUSTOS REGIONAIS	53
FIGURA 31 - PONTOS GEOGRÁFICOS DE COLETA DE ÁGUA AO LONGO DO RIO PREGUIÇAS.	58
FIGURA 32 - MULTIPARÂMETRO HORIBA U50	60
FIGURA 33 – PROCESSO DA COLETA DAS AMOSTRAS DE ÁGUA	61
FIGURA 34 - COLETA DA AMOSTRA E ACOPLAMENTO DA Sonda	62
FIGURA 35 - GLOBAL LAND ANALYSIS AND DISCOVERY (GLAD) NO QGIS.	67
FIGURA 36 - ANÁLISE DA SALINIDADE NOS PONTOS DE COLETA DE ÁGUA (A01 A A10) AO LONGO DO RIO PREGUIÇAS.	71
FIGURA 37 - ANÁLISE DOS PONTOS DE COLETA DE ÁGUA (A01 A A10) AO LONGO DO RIO PREGUIÇAS.	73
FIGURA 38 - ESQUEMA DAS SUBDIVISÕES EM TRÊS ZONAS DE UM ESTUÁRIO.	77
FIGURA 39 - MAPA DE SALINIDADE DO RIO PREGUIÇAS.	79
FIGURA 40 - CARACTERIZAÇÃO DA VEGETAÇÃO.	83

1.2 Lista de Tabelas

TABELA 1 - DISTRIBUIÇÃO DA ÁREA TOTAL DE MANGUEZAIS NO MUNDO	14
TABELA 2 - ESPÉCIES DE MANGUE CATALOGADAS (LISTA FAO 2023)	16
TABELA 3 - ESQUEMA DAS FONTES DE ENERGIA E SUAS INFLUÊNCIAS NO MANGUEZAL. ..	25
TABELA 4 - INFORMAÇÕES SOBRE OS TRABALHOS DE CAMPO REALIZADOS.	56
TABELA 5 - PONTOS GEOGRÁFICOS DE COLETA DE ÁGUA AO LONGO DO RIO PREGUIÇAS. 57	
TABELA 6 - FONTES DE AQUISIÇÃO DOS SHAPEFILES	65
TABELA 7 - PARÂMETROS MEDIDOS NOS PONTOS DE COLETA.	75
TABELA 8 - CARACTERÍSTICAS DAS ESPÉCIES DE MANGUE PREDOMINANTES NO BRASIL .	81

1.3 Lista de Equações

EQUAÇÃO 1 - CÁLCULO DE INTERPOLAÇÃO ESPACIAL IDW.

69

1.4 Lista de Abreviaturas e Siglas

ANA – Agência Nacional de Águas
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CPRM – Serviço Geológico do Brasil
GEE – Google Earth Engine
GEDl – Global Ecosystem Dynamics Investigation
GIS – GeographicInformation System (Sistema de Informação Geográfica)
GLAD – Global Land Analysisand Discovery
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDW – Inverse Distance Weighting (Ponderação Inversa da Distância)
IFMA – Instituto Federal do Maranhão
IMESC – Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
QGIS – Quantum GeographicInformation System
SIG – Sistema de Informação Geográfica
UFMA – Universidade Federal do Maranhão
USGS – United States Geological Survey

Sumário

1.1	Lista de Figuras	7
1.2	Lista de Tabelas	8
1.3	Lista de Equações	9
1.4	Lista de Abreviaturas e Siglas	10
1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1	Fatores Ambientais no Manguezal	23
2.2	Salinidade	27
2.3	O registro de <i>Rhizophora harrisonii</i> no Rio Preguiças e sua relevância	28
2.4	Geoprocessamento e monitoramento remoto	29
3	OBJETIVOS	32
3.1	Objetivo Geral	32
3.2	Objetivos Específicos	32
4	HIPÓTESE	32
5	MATERIAIS E MÉTODOS	33
5.1	Caracterização da Área de Estudo: O Rio Preguiças.	33
5.2	Potencial Econômico	36
5.3	Potencial Turístico	40
5.4	Geografia e Hidrografia	47
5.5	Clima e Condições Climáticas	49
5.6	Relevo e Vegetação	50
6	MÉTODOS E TÉCNICAS	54
6.1	Coleta de Campo: Planejamento e Seleção dos Pontos de Coleta	55
6.2	Equipamento utilizado e procedimento de coleta da água	59
6.2.1	Procedimento de Coleta e Análise com Multiparâmetro	62
6.2.2	Procedimento de Coleta Manual de Amostras de Água	63
6.3	Aquisição de Dados Geoespaciais	65
6.4	Obtenção e Tratamento de Dados Espaciais	66
6.5	Método de Interpolação Espacial: IDW	69
7	Resultados e Discussões	70
7.1	Análise das amostragens	70
7.2	Análise dos dados obtidos pelo multiparâmetro HORIBA U50	72

7.2.1	Temperatura (°C)	74
7.2.2	pH	74
7.2.3	Salinidade (ppt)	74
7.2.4	Condutividade (mS/cm) e Sólidos Totais Dissolvidos (g/L)	74
7.2.5	Turbidez (NTU)	75
7.2.6	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	75
7.3	Classificação do Estuário do Rio Preguiças	76
7.4	Interpolação Espacial da Salinidade	78
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
9	LIMITAÇÕES DO TRABALHO	84
9.1	Sugestão para trabalhos futuros	84
10	REFERÊNCIAS	86
11	Mapas, figuras e materiais complementares da tese estão disponíveis em versões com melhor definição e resolução.	92

1 INTRODUÇÃO

Os manguezais são ecossistemas costeiros típicos de regiões tropicais e subtropicais, constituídos por espécies vegetais altamente adaptadas a ambientes sob influência direta das marés e sujeitos a acentuadas variações de salinidade, cujas dinâmicas naturais são condicionadas, por elementos tectônicos que controlam a morfologia costeira, a organização da drenagem e os processos sedimentares associados. Esses ecossistemas desempenham funções ecológicas essenciais, como a proteção de zonas costeiras contra erosão e eventos extremos, além de fornecerem habitat para diversas espécies marinhas e estuarinas (TOMLINSON, 1986; MACNAE, 1968; SASEKUMAR et al., 1992).

Os manguezais são ecossistemas costeiros de elevada produtividade primária, capazes de sustentar complexas cadeias alimentares e desempenhar papel crucial na manutenção dos ecossistemas estuarinos e costeiros (ALONGI *et al.*, 1989). A biodiversidade associada a esses ambientes beneficia atividades como pesca, ecoturismo e práticas tradicionais de subsistência, gerando segurança alimentar e oportunidades econômicas para comunidades costeiras (PATRICK, 2024).

Embora os manguezais representem uma proporção relativamente pequena da área florestal em muitos países, eles produzem diversos produtos madeireiros de grande importância local e nacional. Historicamente, a madeira de mangue, densa e durável, foi altamente valorizada na construção naval e outros usos durante o período colonial. Com a redução de grandes árvores nos manguezais, o uso madeireiro diminuiu, mas ainda é comum como postes para construções leves e como lenha, seja diretamente queimada ou convertida em carvão. Além disso, manguezais fornecem taninos e corantes, produtos farmacêuticos (LEAL; SPALDING, 2022).

Entre os ecossistemas mais produtivos do planeta, os manguezais sustentam uma teia alimentar diversificada, abrangendo desde decompositores de detritos até peixes, mamíferos e aves (CARUGATI *et al.*, 2018). Eles atuam como habitats, áreas de reprodução, viveiros e fontes de nutrientes, contribuindo para a conservação da biodiversidade. Estima-se que hospedem 341 espécies ameaçadas de répteis, anfíbios, mamíferos, peixes e aves (LEAL; SPALDING, 2022).

Os manguezais são essenciais para muitas cadeias alimentares marinhas e sustentam a produção de uma ampla variedade de peixes e crustáceos comerciais e não

comerciais, por meio de sua elevada produção primária e da estrutura física das raízes aéreas, que cria ambientes adequados para diversas espécies. A produtividade pesqueira aumenta com a extensão e complexidade estrutural dos manguezais (HUTCHINSON; SPALDING; ERMGASSEN, 2014). Além de oferecer condições ideais para a aquicultura, incluindo maricultura estuarina, com a criação de ostras, mexilhões (MCSHERRY *et al.*, 2023).

O ecoturismo em manguezais representa uma fonte sustentável de renda, incentivando a conservação e o manejo adequado. Atividades incluem passeios em lanchas ou barcos, observação da fauna e flora, além da pesca recreativa entre outras, que pode gerar benefícios financeiros significativos por meio de hospedagem, alimentação, guias e aluguel de equipamentos (HUTCHINSON; SPALDING; ERMGASSEN, 2014).

Manguezais protegem comunidades costeiras contra tempestades, erosão e tsunamis, funcionando como bio escudos naturais. Estudos indicam que faixas densas de manguezais podem reduzir ondas e ventos, minimizar danos, reduzir impactos de inundações, diminuir a altura de tsunamis e prevenir erosão, ligando e consolidando solos conforme o nível do mar sobe (FORBES; BROADHEAD, 2007; SPALDING *et al.*, 2014).

Em 2020, a área total de manguezais no mundo foi estimada em 14,8 milhões de hectares (Tabela 1), distribuída de forma desigual. Mais de dois quintos (43,8%, 6,48 milhões de hectares) encontram-se no Sul e Sudeste Asiático. Outras regiões incluem América do Sul (2,14 milhões de hectares), África Ocidental e Central (2,09 milhões), América do Norte e Central (1,85 milhões) e Oceania (1,46 milhões), com menores áreas em outras partes da Ásia tropical e África (Tabela 1) (LEAL; SPALDING, 2022).

Tabela 1 - Distribuição da área total de manguezais no mundo

SUB-REGIÃO	ÁREA DE MANGUEZAL (MILHÕES HA)	% DA ÁREA GLOBAL DE MANGUEZAL
ÁFRICA ORIENTAL E AUSTRAL	0,73	4,92
ÁFRICA OCIDENTAL E CENTRAL	2,09	14,2
LESTE ASIÁTICO	0,02	0,10
SUL E SUDESTE ASIÁTICO	6,48	43,8

ÁSIA OCIDENTAL E CENTRAL	0,02	0,14
AMÉRICA DO NORTE E CENTRAL	1,85	12,5
OCEANIA	1,46	9,89
AMÉRICA DO SUL	2,14	14,5
MUNDO	14,8	100

Fonte: Adaptado de Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023.

O termo manguezal consolidou-se como a designação aceita para esse tipo particular de ecossistema costeiro, enquanto “manguezais” refere-se às espécies vegetais que o compõem (TOMLINSON, 1986). Dada sua importância ecológica, econômica e social, os estudos e análises sobre esse ambiente são fundamentais para compreender sua estrutura, funcionamento e vulnerabilidade. A catalogação das espécies de mangue representa uma etapa essencial nesse processo, pois permite identificar padrões de distribuição, endemismo e adaptação das espécies às condições ambientais específicas de salinidade, inundação e influência das marés.

A distribuição global das espécies e as transformações espaciais das áreas de mangue servem como referência para políticas de conservação, restauração e monitoramento. Assim, a catalogação dos manguezais não apenas organiza o conhecimento científico sobre essas florestas, mas também sustenta estratégias globais para a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos que elas proporcionam (SPALDING *et al.*, 2010),.

A sistematização taxonômica dos manguezais, iniciada por Tomlinson (1986) e fornece a base para distinguir os chamados manguezais verdadeiros, espécies quase exclusivas desses ecossistemas, adaptadas a ambientes salobros e sujeitos à influência das marés das espécies apenas associadas. De acordo com levantamentos recentes, foram catalogadas aproximadamente 50 espécies de manguezais verdadeiros em todo o mundo (Tabela 2), distribuídas principalmente nas regiões tropicais e subtropicais (SPALDING *et al.*, 2010; DUKE, 2017). Essa classificação é essencial para o manejo e a conservação das florestas de mangue, uma vez que a distribuição dessas espécies indica gradientes ambientais e biogeográficos relevantes.

Tabela 2 - Espécies de Mangue Catalogadas (Lista FAO 2023)

Nº	ESPÉCIE CIENTÍFICA
1	<i>Acrostichum aureum</i>
2	<i>Acrostichum speciosum</i>
3	<i>Aegialitis annulata</i>
4	<i>Aegialitis rotundifolia</i>
5	<i>Aegiceras corniculatum</i>
6	<i>Avicennia alba</i>
7	<i>Avicennia bicolor</i>
8	<i>Avicennia germinans</i>
9	<i>Avicennia integra</i>
10	<i>Avicennia marina</i>
11	<i>Avicennia officinalis</i>
12	<i>Avicennia rumphiana</i>
13	<i>Avicennia schaueriana</i>
14	<i>Bruguiera cylindrica</i>
15	<i>Bruguiera exaristata</i>
16	<i>Bruguiera gymnorhiza</i>
17	<i>Bruguiera hainesii</i>
18	<i>Bruguiera parviflora</i>
19	<i>Bruguiera sexangula</i>
20	<i>Camptostemon schultzei</i>
21	<i>Camptostemon philippinensis</i>
22	<i>Ceriops australis</i>
23	<i>Ceriops decandra</i>
24	<i>Ceriops tagal</i>
25	<i>Excoecaria agallocha</i>
26	<i>Kandelia candel</i>
27	<i>Kandelia obovata</i>
28	<i>Laguncularia racemosa</i>
29	<i>Lumnitzera littorea</i>
30	<i>Lumnitzera racemosa</i>
31	<i>Nypa fruticans</i>
32	<i>Osbornia octodonta</i>
33	<i>Pelliciera rhizophorae</i>
34	<i>Rhizophora apiculata</i>

35	<i>Rhizophora harrisonii</i>
36	<i>Rhizophora lamarckii</i>
37	<i>Rhizophora mangle</i>
38	<i>Rhizophora mucronata</i>
39	<i>Rhizophora racemosa</i>
40	<i>Rhizophora samoensis</i>
41	<i>Rhizophora stylosa</i>
42	<i>Scyphiphora hydrophyllacea</i>
43	<i>Sonneratia alba</i>
44	<i>Sonneratia apetala</i>
45	<i>Sonneratia caseolaris</i>
46	<i>Sonneratia × gulngai</i>
47	<i>Sonneratia × hainanensis</i>
48	<i>Sonneratia ovata</i>
49	<i>Xylocarpus granatum</i>
50	<i>Xylocarpus moluccensis</i>

Fonte: Adaptado de Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023.

O Brasil abriga uma das maiores extensões contínuas de manguezais do planeta, correspondendo a aproximadamente 8,1% da cobertura global desses ecossistemas (BUNTING *et al.*, 2018; A. D. M.; DO SUL, 2018).

Esses ambientes distribuem-se ao longo de cerca de 6.800 km da costa brasileira, desde o Oiapoque, no Amapá, até Laguna, em Santa Catarina, ocupando, uma área estimada em 1.225.444 hectares. A maior concentração ocorre nas regiões Norte e Nordeste, com destaque para Amapá, Pará e Maranhão (ICMBIO, 2018) (Figura 1).

Figura 1 - Distribuição dos manguezais no Brasil.



Fonte: Adaptado de Schaeffer-Novelli (1994, p. 4), dados: IBAMA.

No estado do Maranhão, as florestas de mangue se distribuem praticamente por toda a zona costeira, desde o município de Carutapera, na porção ocidental, até Tutóia, na extremidade oriental. Nessas áreas, ocupam extensas faixas estuarinas e acompanham as margens dos rios até os limites interiores de influência das marés nas reentrâncias maranhenses (VIEGAS *et al.*, 2019) (Figura 2).

Figura 2 - Distribuição dos manguezais no Maranhão



Fonte: Adaptado de Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio (2018), Atlas dos Manguezais do Brasil.

De acordo com Forzza *et al.* (2010), sete espécies arbóreas de mangue ocorrem no território brasileiro, distribuídas em quatro gêneros: *Avicennia germinans* (L.) L. e *Avicennia schaueriana*; *Conocarpus serectus* L.; *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn.; *Rhizophora harrisonii* Leechn.; *Rhizophora mangle* L.; e *Rhizophora racemosa*.

No litoral do Maranhão, ocorrem os quatro gêneros e as sete espécies arbóreas de manguezais mais comuns da costa brasileira: *Rhizophora mangle*, *Rhizophora racemosa* e *Rhizophora harrisonii* (conhecidas como mangue -vermelho) conforme a figura 3, *Avicennia germinans* e *Avicennia schaueriana* (mangue-preto), *Laguncularia racemosa* (mangue-branco) e *Conocarpus erectus* (mangue-de-botão) conforme a figura 6.

Figura 3 - *Rhizophora* (mangue-vermelho)



Fonte: Acervo da autora

Entre essas, predominam as espécies *Rhizophora harrisonii*, *Rhizophora mangle* e *Avicennia schaueriana* (figura 4), havendo ainda ocorrência significativa de *Laguncularia racemosa* (Figura 5) ao longo das zonas estuarinas e reentrâncias da costa (SANTOS, 2022).

Figura 4 - *Avicennia* (mangue-branco)



Fonte: Acervo da autora

Figura 5 – *Laguncularia* (mangue-branco)



Fonte: Acervo da autora

Essas espécies sustentam uma fauna diversificada, oriunda de ambientes terrestres, marinhos e estuarinos. Embora apresentem baixa diversidade florística, os manguezais se destacam por sua alta complexidade ecológica, marcada por intensas interações entre os componentes bióticos e abióticos. Além disso, constituem ecossistemas altamente

adaptados às flutuações de maré e às variações geomorfológicas que moldam sua dinâmica (SANTOS *et al.*, 2012; LONDE *et al.*, 2013; OLIVEIRA; TOGNELLA, 2014).

Figura 6 - *Conocarpus erectus* (mangue-de-botão).



Fonte: Acervo da autora

A cobertura vegetal é adaptada às variações diárias de maré, por meio de estratégias de tolerância à salinidade, filtragem da água e mecanismos de eliminação do excesso de sal (SCHAEFFER-NOVELLI *et al.*, 1990).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Fatores Ambientais no Manguezal

Os manguezais se desenvolvem na zona de transição entre o mar e o continente, principalmente em áreas protegidas, como baías, enseadas, reentrâncias costeiras e estuários, onde ocorre a confluência entre as águas doces dos rios e as águas salgadas do oceano. Seu maior desenvolvimento estrutural é observado em regiões próximas à linha do Equador, caracterizadas por ampla variação de maré (com amplitude superior a dois metros), altas temperaturas da água e do ar, intensa insolação e elevados índices de precipitação (SCHAEFFER-NOVELLI *et al.*, 2000).

O desenvolvimento estrutural dos manguezais está intimamente relacionado a fatores ambientais como energia solar, marés, precipitações, influxos de água doce e salgada, bem como à presença de sedimentos fluviais e marinhos (CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1984; TWILLEY, 1995; 2001). Estudos indicam que quatro fatores críticos condicionam a presença e o estabelecimento dos manguezais:

1. Inundação pela maré.

- As marés introduzem salinidade no ambiente, regulam a disponibilidade de água e nutrientes e condicionam o estabelecimento de propágulos e plântulas das espécies. A frequência, duração e profundidade das inundações influenciam diretamente a distribuição espacial das plantas, determinando quais espécies conseguem se estabelecer em diferentes zonas do manguezal;

2. Tipo de substrato

- O tipo de solo determina características essenciais, como drenagem, aeração, estabilidade e o movimento da lâmina d'água. Embora os manguezais se desenvolvam preferencialmente em substratos lamosos (ricos em argila e matéria orgânica), também podem colonizar áreas com substratos arenosos, turfosos ou rochosos, incluindo regiões com predominância de corais ou seixos, demonstrando flexibilidade ecológica em diferentes ambientes costeiros;

3. Conteúdo de sais na água e no substrato

- Cada espécie de mangue apresenta tolerância específica à salinidade, o que resulta em variações na composição vegetal e na estrutura do ecossistema. A interação entre salinidade, nutrientes e composição iônica do solo influencia a germinação, o crescimento e a sobrevivência das plantas, sendo determinante para a distribuição das espécies ao longo do gradiente estuarino;

4. Luminosidade

- A incidência de luz solar é essencial para o crescimento das espécies de mangue, que são predominantemente heliófitas. Níveis adequados de luz favorecem a fotossíntese, promovem maior produtividade primária e contribuem para a complexidade estrutural e vertical do ecossistema.

Além desses fatores, Martins *et al.* (2011) destacam que, embora os manguezais apresentem baixa diversidade específica, eles exibem alta complexidade funcional, resultado das interações entre processos físicos (maré, salinidade, substrato) e biológicos (crescimento, competição e adaptações morfofisiológicas), conforme a tabela 3.

Essa complexidade se manifesta na eficiência da ciclagem de nutrientes, na produtividade primária e secundária, e no suporte a uma fauna diversificada, reforçando o

papel dos manguezais como ecossistemas estratégicos para a conservação costeira e o equilíbrio ambiental.

Tabela 3 - Esquema das fontes de energia e suas influências no manguezal.

VENTOS	MARÉ	TEMPERATURA	LUZ	SEDIMENTOS	SALINIDADE
Dispersão dos propágulos	Flutuação dos propágulos	Evapotranspiração	Absorção da radiação	Sustentação	Flutuação dos propágulos
					Regulador do crescimento
	Gradiente de salinidade		Energia metabólica		Regulador de altura
					Variações na composição vegetal

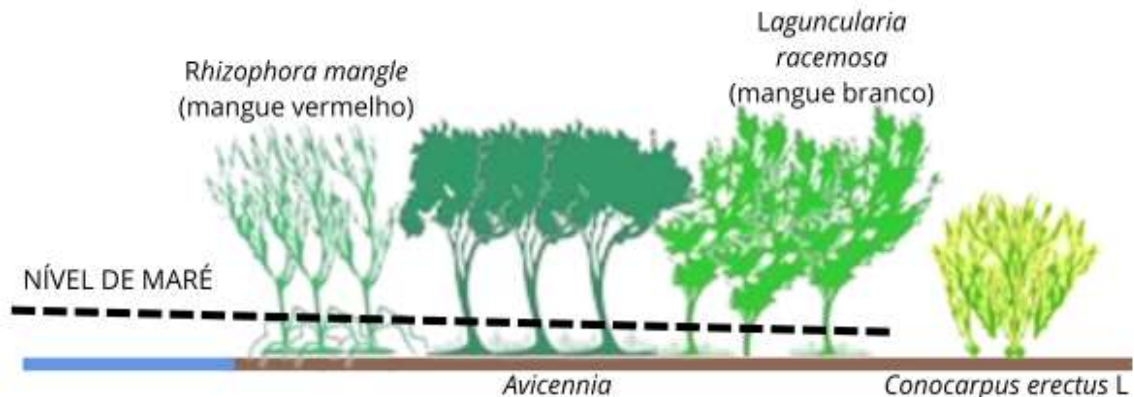
Fonte: CHAPMAN (1975; 1976) e SCHAEFFER-NOVELLI, 1995

Esses fatores ambientais não atuam isoladamente, mas sim de maneira integrada, formando um gradiente ecológico complexo que molda a estrutura e a função dos manguezais. Por exemplo, a interação entre a salinidade, a inundação pelas marés e a composição do substrato influencia diretamente a distribuição zonal das espécies. Essa interdependência demonstra que qualquer alteração significativa em um desses fatores pode impactar toda a dinâmica e organização do ecossistema, afetando não apenas a vegetação, mas também a fauna associada e os serviços ecossistêmicos que os manguezais fornecem (TWILLEY, 2001; MARTINS *et al.*, 2011).

A organização espacial das espécies de mangue é determinada pela interação entre gradientes ambientais, como inundação, salinidade e tipo de substrato e as estratégias adaptativas das plantas, resultando em uma zonation ecológica que reflete padrões específicos de ocorrência de cada espécie ao longo do manguezal. *Rhizophora mangle* é a espécie mais amplamente distribuída (ALMEIDA, 1996a), enquanto *Rhizophora racemosa* e *Rhizophora harrisonii* apresentam distribuição mais restrita, predominando no estuário do Rio Preguiças (BRETELER, 1969; SANTOS, 1986).

A tolerância à salinidade das espécies do gênero *Rhizophora* cresce na ordem *R. racemosa* < *R. harrisonii* < *R. mangle*, influenciando sua ocorrência espacial (figura 7). Entre as *Avicenniaceae*, *Avicennia germinans* é mais comum em áreas salinas e elevadas, enquanto *Avicennia schaueriana* ocorre próximo a praias arenosas (LUZ *et al.*, 2000). *Laguncularia racemosa* predomina em bordas de florestas e clareiras, e *Conocarpus erectus* em áreas de forte influência da maré (HOWARD, 1989; GILMAN; WATSON, 1999).

Figura 7 - Distribuição dos manguezais



2.2 Salinidade

A restauração e conservação dos ecossistemas manguezais dependem profundamente da compreensão dos fatores ecológicos que condicionam a sua estrutura, dinâmica e resiliência. Diversos estudos destacam que a falta de conhecimento sobre os requisitos ambientais essenciais como salinidade, hidrologia, topografia e composição florística, tem sido um dos principais motivos para o insucesso de iniciativas de restauração (ELSTER, 2000; PRIMAVERA; ESTEBAN, 2008; AHMAD, 2012; KODIKARA *et al.*, 2017).

A salinidade é um dos fatores mais críticos, atuando como determinante ecológico na distribuição, crescimento e produtividade das espécies de mangue (BOLA, 2002). Esse fator influencia diretamente os processos fisiológicos e bioquímicos das plantas, incluindo o balanço osmótico, a absorção de nutrientes e a fotossíntese (JHA, 2010). Variações excessivas na concentração salina podem causar estresse osmótico e iônico, levando à redução do crescimento, necrose foliar e mortalidade de plântulas ou árvores.

Nos manguezais, a salinidade é controlada por uma complexa interação entre marés, precipitação, escoamento superficial, infiltração e evaporação (AZIZ; KHAN, 2001a). Essa variabilidade é particularmente acentuada em regiões estuarinas, onde o gradiente salino molda a zonificação das espécies, como observado por Tomlinson (1986).

Estudos experimentais indicam que o crescimento máximo de algumas espécies ocorre sob condições moderadamente salinas, entre 10 e 20 ppt (JAYATISSA *et al.*, 2008; FLORES; COLMER, 2015). Níveis de salinidade excessivamente baixos podem afetar mecanismos de exclusão de sal e reduzir a competitividade de espécies halófitas, enquanto níveis muito altos comprometem o metabolismo e a transpiração (KRAUSS *et al.*, 2008; BALL, 1998).

Os ambientes com baixa salinidade tendem a favorecer maior taxa de sobrevivência e produtividade, sobretudo em estágios iniciais de desenvolvimento. Entretanto, cada espécie apresenta limites ecológicos próprios, e sua capacidade de tolerância depende de adaptações anatômicas e fisiológicas, como glândulas de excreção de sal, acúmulo de osmólitos compatíveis e mecanismos de controle estomático (PARIDA; JHA, 2010; REISE; LOVELOCK, 2015).

Em *Avicennia schaueriana* e *A. germinans*, por exemplo, a excreção ativa de sal pelas glândulas foliares (LACERDA *et al.*, 1988). Já espécies como *Rhizophora mangle* adotam uma estratégia de exclusão radicular de íons, bloqueando o ingresso de Na^+ e Cl^- nas raízes, essa barreira atua como um “filtro biológico”, permitindo a passagem de água e nutrientes essenciais, mas bloqueando grande parte dos sais dissolvidos. Essas diferenças fisiológicas explicam a distribuição zonal observada ao longo dos gradientes salinos dos estuários tropicais (JHA, 2010).

Além disso, as condições hidrológicas desempenham papel crucial na regulação da salinidade e na oxigenação do solo. O tempo e a frequência de inundação influenciam diretamente a disponibilidade de nutrientes, aeração do substrato e a colonização por propágulos (BOSIRE *et al.*, 2008). Alterações hidrológicas decorrentes de barragens, drenagens ou ocupações costeiras tendem a provocar hipersalinização do solo, comprometendo o recrutamento natural e reduzindo a diversidade estrutural do manguezal (ALONGI, 2015).

Apesar dos avanços, lacunas significativas de conhecimento persistem quanto à influência nas plantas e do tempo de exposição ao estresse salino nas respostas fisiológicas de longo prazo. Poucos estudos avaliaram de forma sistemática como o desenvolvimento ontogenético afeta a tolerância à salinidade, ou como diferentes espécies respondem a variações sazonais em ambientes naturais (KRAUSS *et al.*, 2008.).

Em síntese, compreender as interações entre salinidade, hidrologia e composição florística é essencial para o manejo e restauração bem-sucedida dos manguezais, pois essas variáveis definem as condições ideais para o recrutamento, crescimento e resiliência das comunidades. A aplicação desse conhecimento em políticas de conservação pode aumentar a eficácia de projetos de restauração e promover a sustentabilidade ecológica dos estuários tropicais e subtropicais.

2.3 O registro de *Rhizophora harrisonii* no Rio Preguiças e sua relevância

O registro de *Rhizophora harrisonii* no litoral do Maranhão representou um avanço importante no conhecimento sobre a distribuição geográfica das espécies de mangue no Brasil, pois ampliou o limite de ocorrência da espécie *Rhizophora* até conhecida. Essa

constatação motivou a necessidade de compreender o litoral maranhense como uma região de transição florística (SANTOS, 1986).

No caso específico do rio Preguiças, a presença de *R. harrisonii* registrada em inventários botânicos demonstra que o estuário funciona como um espaço de contato entre diferentes linhagens da família, com adaptações ecológicas variadas. Esse fato confere ao Preguiças grande importância biogeográfica, pois a ocorrência dessa espécie indica que condições ambientais locais, como gradientes de salinidade, regime de marés e dinâmica sedimentar, criam micro-habitats propícios à coexistência de espécies com diferentes graus de tolerância (PRANCE, 1979; SANTOS, 1986).

Do ponto de vista ecológico, a identificação de *R. harrisonii* em áreas de distribuição-limite ou descontínua revela não apenas ao grande potencial adaptativo da espécie, mas também sugere possíveis processos históricos de dispersão marinha e estabelecimento de populações isoladas (figura 8). Tais ocorrências podem estar associadas a correntes costeiras, fluxos de propágulos e conectividade entre estuários, configurando o rio Preguiças como um elo relevante nas rotas de dispersão natural de manguezais (TOMLINSON, 1986; CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1992).

Sob a perspectiva o registro de *R. harrisonii* no rio Preguiças é particularmente significativo. Sua ocorrência amplia a relevância do Preguiças como área prioritária para conservação e investigação científica, reforçando a necessidade de estudos contínuos que relacionem a distribuição das espécies de mangue com variáveis ambientais e com as mudanças globais em curso (SANTOS, 1986; LACERDA *et al.*, 2024).

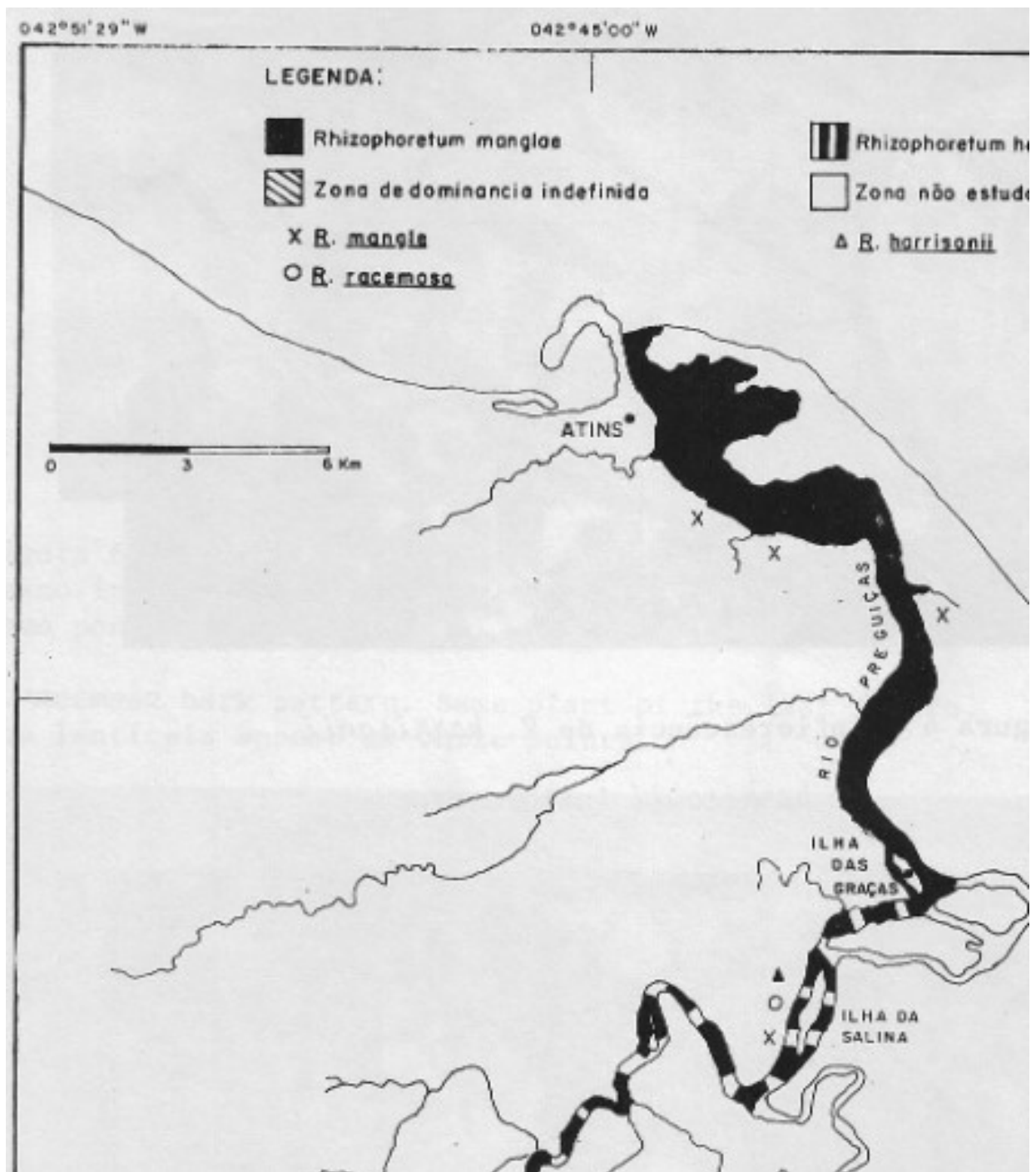
2.4 Geoprocessamento e monitoramento remoto

Para compreender e monitorar a complexa dinâmica dos manguezais, as tecnologias de geoprocessamento e monitoramento remoto têm se mostrado essenciais. O uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permite analisar a distribuição das espécies, a cobertura vegetal, a hidrodinâmica e outros fatores ambientais, possibilitando o acompanhamento detalhado de alterações do ecossistema (GREEN *et al.*, 1998; GIRI *et al.*, 2007, 2011; CLINTON *et al.*, 2014; BURKHARD & MAES, 2014).

A integração entre o conhecimento ecológico sobre gradientes ambientais, a zonagem das espécies e as ferramentas de monitoramento remoto fornece uma base sólida para

compreender a complexidade dos manguezais brasileiros. Essa abordagem possibilita avaliações contínuas, fornecendo dados essenciais para a conservação e gestão sustentável desses ecossistemas. Ao integrar informações espaciais e temporais, o monitoramento remoto contribui significativamente para a compreensão da dinâmica dos manguezais e para a implementação de estratégias de preservação mais eficazes.

Figura 8 - Espécies dominantes no estuário do Rio Preguiças



O avanço das geotecnologias tem permitido uma compreensão mais aprofundada dos processos ambientais e territoriais, especialmente em áreas ecologicamente sensíveis como os manguezais. A combinação de Sensoriamento Remoto e SIG tem se mostrado fundamental no mapeamento, monitoramento e análise das transformações nesses ecossistemas costeiros. Segundo Silva et al. (2020), o uso dessas tecnologias representa um marco na modernização das análises ambientais, permitindo diagnósticos mais precisos e subsidiando ações de conservação efetivas.

O Sensoriamento Remoto, por meio de sensores instalados em satélites, possibilita a obtenção sistemática de dados da superfície terrestre sem contato direto com o objeto observado. Conforme Novo (2010), “o sensoriamento remoto é a técnica de obtenção de informações sobre objetos situados à distância, por meio da detecção e mensuração de sua energia refletida ou emitida”. Essa abordagem é especialmente útil para áreas de difícil acesso, como os manguezais, permitindo monitoramento contínuo e em larga escala com baixo custo operacional (FERREIRA; CUNHA, 2018).

Os SIGs, por sua vez, oferecem uma estrutura robusta para processamento, análise e visualização dos dados oriundos do sensoriamento remoto. Câmara e Davis (2001) destacam que “um SIG permite a integração de dados espaciais e não espaciais, possibilitando análises complexas e a produção de mapas temáticos com alto grau de precisão”. Dessa forma, o SIG viabiliza análises integradas de variáveis ambientais, socioeconômicas e territoriais, fortalecendo o planejamento e a gestão ambiental (SANTOS; OLIVEIRA, 2019).

Um exemplo recente da aplicação dessas ferramentas é o estudo de Souza et al. (2023), que utilizou imagens Landsat e dados do projeto MapBiomass para mapear a dinâmica dos manguezais no Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses entre 1985 e 2020. A análise multitemporal revelou padrões de regeneração em áreas anteriormente degradadas, evidenciando a resiliência do ecossistema e os efeitos positivos de políticas de conservação.

Portanto, o uso integrado do Sensoriamento Remoto e dos SIGs representa uma abordagem eficaz e de baixo custo para o planejamento ambiental e a conservação dos

manguezais. Lima *et al.* (2021) reforçam que essas ferramentas fortalecem a governança ambiental, apoiam a gestão participativa e subsidiam políticas públicas baseadas em evidências espaciais e temporais, além de contribuir para a valorização de conhecimentos locais em contextos de sustentabilidade costeira.

Nesse contexto, a análise da distribuição dos manguezais por geotecnologias torna-se uma ferramenta poderosa para compreender as respostas do ecossistema às condições ambientais locais. O processamento digital de imagens e a modelagem espacial permitem superar limitações do sistema visual humano, facilitando a extração de informações essenciais para o monitoramento e manejo sustentável desses ambientes costeiros.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Analisar a influência da variação da salinidade na estrutura dos manguezais do Rio Preguiças, a fim de contribuir para o entendimento ecológico local e subsidiar estratégias de conservação e manejo sustentável.

3.2 Objetivos Específicos

Caracterizar a tolerância à salinidade das principais espécies de mangue presentes na área de estudo.

Caracterizar os fatores físicos e ambientais que influenciam o ecossistema manguezal, tais como tipo de substrato, regime de marés, luminosidade e disponibilidade de nutrientes.

Mapear as áreas de transição entre águas salobras e salgadas, utilizando técnicas de geoprocessamento aplicadas a dados georreferenciados.

Realizar levantamentos de campo com coletas *in situ* para estruturação de banco de dados sobre as condições ambientais da área estudada.

4 HIPÓTESE

As tecnologias geoespaciais permitem identificar e analisar a influência de variáveis ambientais na dinâmica da paisagem.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Caracterização da Área de Estudo: O Rio Preguiças.

O Rio Preguiças é um importante recurso hídrico localizado na bacia hidrográfica do Rio Preguiças (figura 9), com uma extensão de aproximadamente 135 km, que se estende desde o município de Santana do Maranhão até a foz no Oceano Atlântico, em Barreirinhas (RABELO, 1992).

A bacia hidrográfica é composta por uma complexa rede de canais permanentes, intermitentes e sazonais, além de lagoas e áreas alagadiças, sendo classificados como bacia exorreica, que direciona seu fluxo para mares, oceanos, rios e lagos (CARVALHO, 2012).

Ocupando uma área de 3.957,84 km², com um perímetro de 502,90 km e um comprimento total de cursos d'água de 1.570,27 km. O curso d'água principal (baixo curso) possui um comprimento de 159,89 km (SOARES *et al.*, 2013) como categorizado na figura 3. A região apresenta um padrão de drenagem do tipo dendrítico, o que reflete a estrutura geológica da área (SOARES *et al.*, 2013).

No baixo curso, a geomorfologia costeira se insere no contexto das “Reentrâncias Maranhenses”, um mosaico de planícies de maré, apicuns, ilhas-barreira, canais mareais e extensos manguezais. Essa compartimentação cria microhabitats com fortes gradientes de salinidade, energia de maré e textura sedimentar, o que aumenta a diversidade e a funcionalidade ecológica do ecossistema.

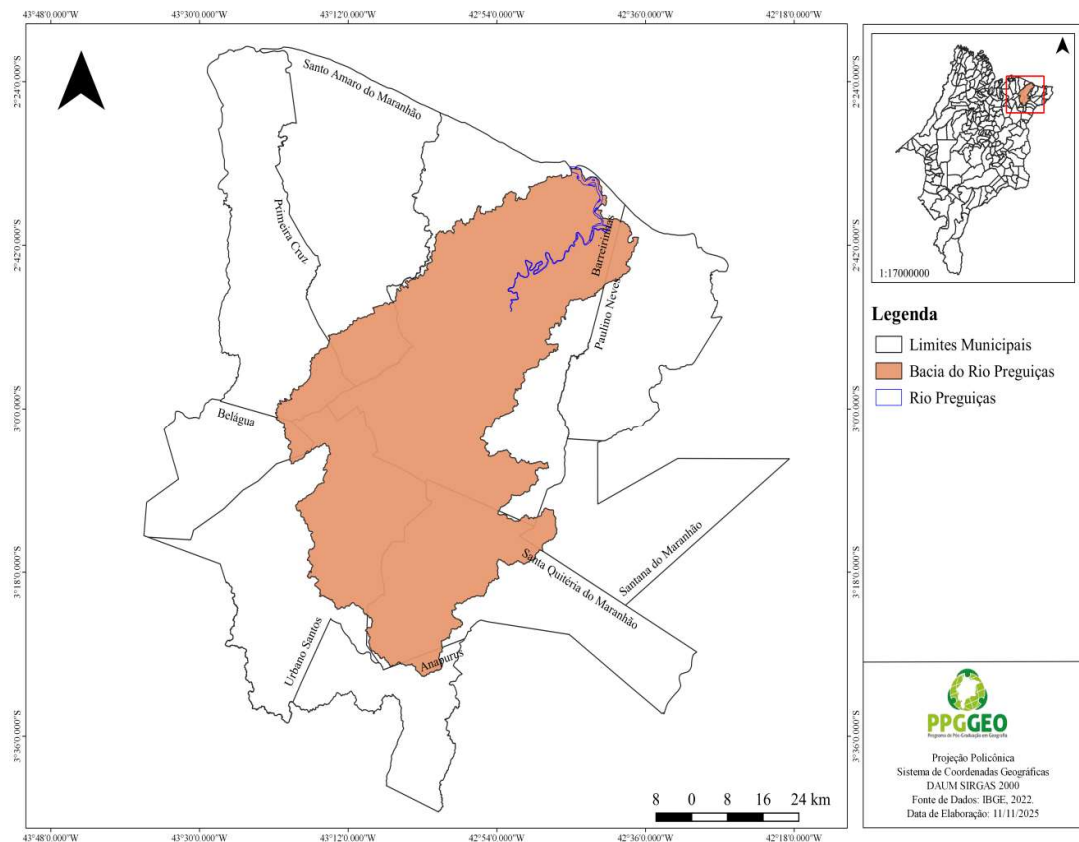
Os terraços/planícies de maré são majoritariamente recobertos por vegetação de mangue, reforçando o papel estruturante da maré e da sedimentação fina na paisagem estuarina do Rio Preguiças (ZEE-MA, 2024).

Esses fatores tornam o Rio Preguiças um modelo representativo para estudos de ecossistemas estuarinos e manguezais, permitindo compreender a interação entre hidrologia e biota local (CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1992; TWILLEY, 2001).

A representação cartográfica mais antiga da foz do Rio Preguiças foi elaborada no início do século XIX (Roussin, 1826), registrando o curso do rio com direção predominante sul-norte. Nessa representação, o rio apresenta pequenas sinuosidades,

enquanto sua foz configura um estuário bem delineado, após uma sequência de meandros côncavo-convexos com ligeira inflexão para oeste.

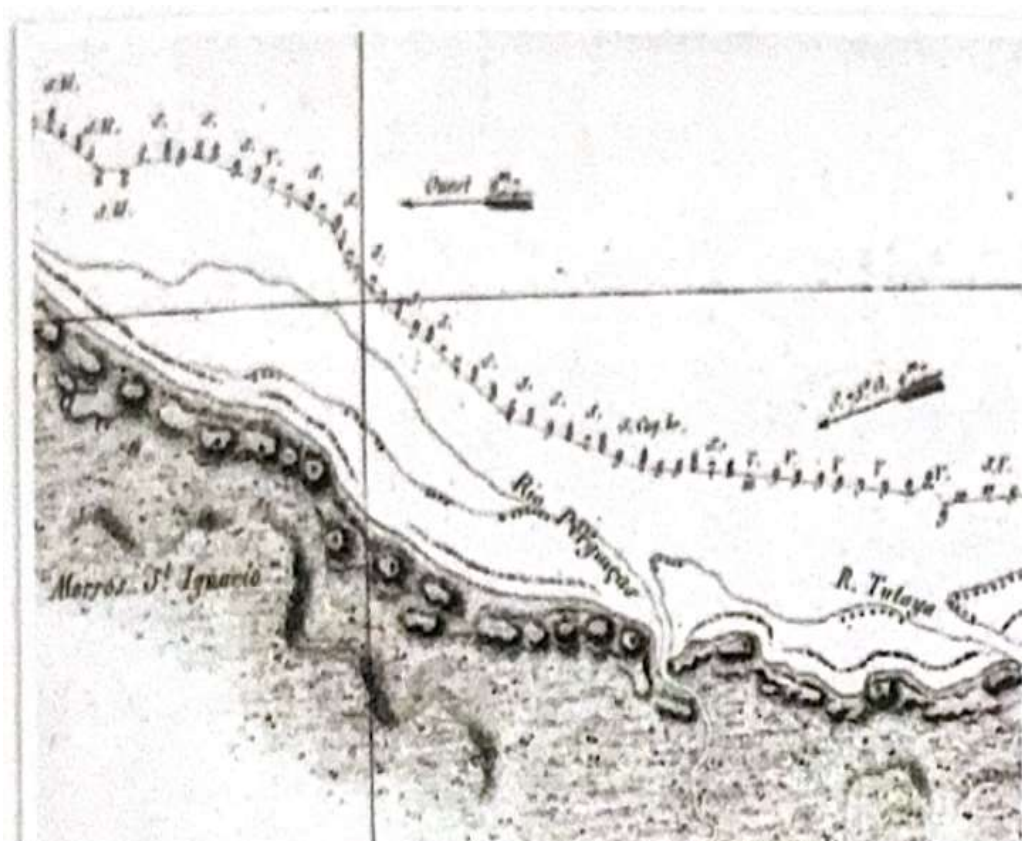
Figura 9 - Mapa de Localização do Rio Preguiças na Bacia hidrográfica do Rio Preguiças.



Fonte: Elaborado pela Autora (2025).

A análise histórica sugere que, em sua configuração original, o curso do rio se desenvolvia sobre formações superficiais arenosas (Figura 10), predominantemente recobertas por vegetação pioneira adaptada a solos instáveis, sem evidências significativas de manguezais ou dunas móveis expressivas (Feitosa, 2015). Entretanto, observam-se cordões de dunas costeiras que delimitavam de forma nítida a linha da costa, funcionando como barreiras morfológicas naturais (Feitosa, 2015; Souza *et al.*, 2015).

Figura 10 - Zona costeira na área do rio Preguiças.

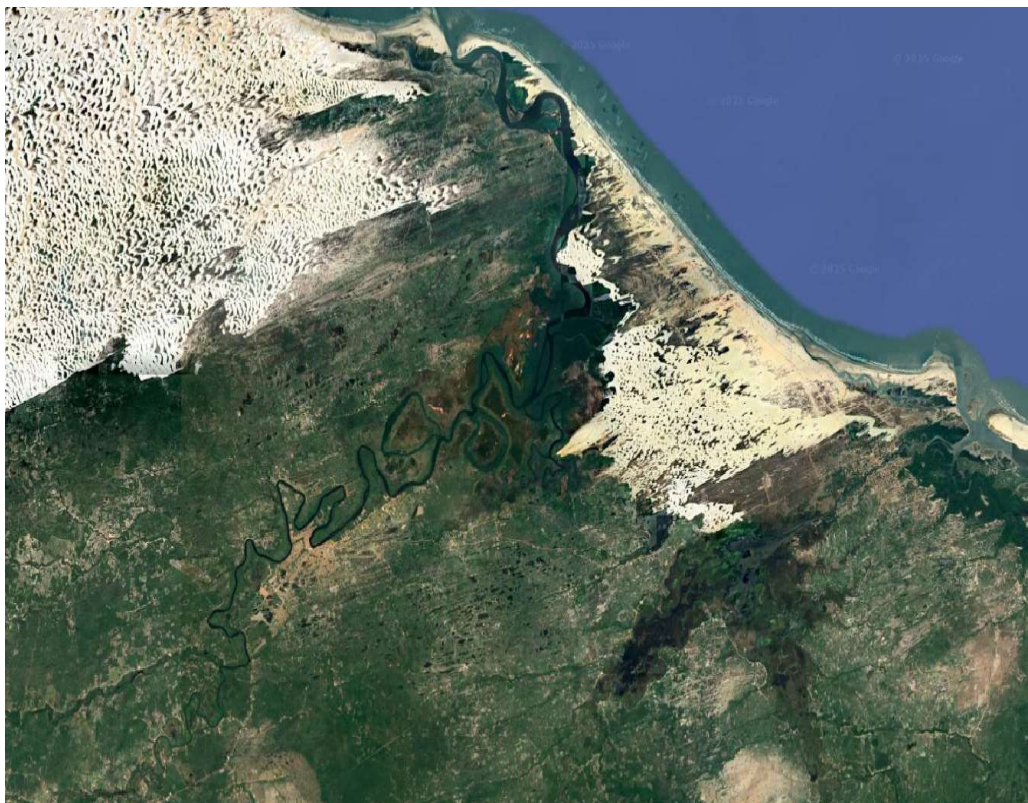


Fonte: FEITOSA (Org.), 2015, p. 61

À medida que o rio avança em direção ao litoral, seu traçado torna-se marcadamente sinuoso, reflexo da baixa energia de fluxo e da necessidade de contornar os obstáculos impostos pelas dunas móveis. A intensificação da dinâmica sedimentar contemporânea contribuiu de forma decisiva para a migração da foz, promovendo reconfigurações que alteraram a orientação do curso principal e influenciaram a capacidade das correntes de mobilizar e redistribuir sedimentos (Feitosa, 2015; Souza *et al.*, 2015). Essa dinâmica contínua gera mudanças significativas na paisagem física da região (Figura 11).

Como consequência, consolidou-se uma extensa área de dunas móveis, cuja dinâmica e mobilidade criaram condições favoráveis para o estabelecimento de povoados litorâneos, entre os quais se destacam Vassouras e Caburé (Feitosa, 2015; Souza *et al.*, 2015).

Figura 11 - Curso do Rio Preguiças atualmente.



Fonte: Google satellite.

Sendo um dos principais cursos fluviais da costa leste maranhense, o Rio Preguiças exerce forte influência sobre a hidrodinâmica oceanográfica local, contribuindo significativamente para a modelagem das praias e das dunas adjacentes aos Lençóis Maranhenses (Gastão; Maia, 2010; de Jesus; Barreto, 2021).

Além disso, a interação entre o fluxo fluvial e os processos costeiros influencia o gradiente de salinidade estuarino, determinando a distribuição e a densidade das espécies de mangue ao longo do rio (Cintrón; Schaeffer-Novelli, 1992; Twilley, 2001; Sousa Filho, 2002). Esse cenário dinâmico torna o rio um ambiente-chave para estudos ambientais, conservação da biodiversidade e planejamento territorial costeiro.

5.2 Potencial Econômico

A bacia do Rio Preguiças apresenta grande potencial econômico e turístico, em virtude de suas características naturais e culturais singulares. A região atrai visitantes interessados em lazer, turismo cultural, observação da fauna e flora, e experiências de imersão na cultura local, valorizando o patrimônio natural e cultural e movimentando a

economia regional. Além disso, atividades como gastronomia e artesanato fortalecem a identidade cultural da população (RIBEIRO, 2006; RAMOS, 2012).

No baixo curso do rio, o turismo concentra-se em áreas do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, considerado um dos principais polos de geoturismo do Maranhão. Ao longo do curso do Preguiças, desde a foz até a sede do município de Barreirinhas, existem diversos povoados que mantêm comunicação direta pelo rio, como Boa Vista, São Domingos, Mangaba, Moitas, Morro do Boi, Espadarte, Vassouras, Alazão, Caburé, Mandacaru, Santo Inácio e Atins (RAMOS, 2012).

Esses povoados apresentam diversidade geográfica e econômica:

- Vassouras, Moitas e Morro do Boi: dunas de areia branca intercaladas com lagoas, tradicionalmente habitadas por pescadores;
- Caburé: estreita faixa de areia de cinco quilômetros que separa o rio do mar, antiga comunidade de pescadores, atualmente sediando hotéis e restaurantes, em processo de especulação imobiliária, com intenso fluxo turístico;
- Mandacaru: vila de pescadores entre dunas e rio, com o Farol das Preguiças, utilizado historicamente para orientação marítima, hoje destinado à visitação turística, com vistas da foz e das morrarias dos Lençóis Maranhenses;
- Atins: vilarejo de pescadores, com práticas combinadas de pecuária, extrativismo e agricultura de subsistência, localizado na foz do rio. A construção de estrada ligando Barreirinhas a Atins e a chegada de energia elétrica e telefonia facilitaram armazenamento de pescado e atendimento turístico;
- Boa Vista e Mangaba: comunidades próximas a São Domingos, com fortes laços familiares, atualmente em processo de especulação imobiliária, construção de pousadas, casas de veraneio e hotéis (RAMOS, 2012).

O rio Preguiças tem sustentado a economia local por mais de um século e meio, especialmente por meio de atividades de subsistência, como:

- Pesca artesanal, tanto no rio quanto nos manguezais adjacentes;
- Agricultura de várzea, com cultivo de banana, mandioca e arroz;

- Extrativismo vegetal, incluindo coleta do fruto do buriti e madeira de mangue para canoas, tábuas, cadeiras e mesas, além da resina utilizada na produção de corantes (Figura 12);
- Serviços domésticos tradicionais, como lavagem de roupas e banho de animais de trabalho (RAMOS, 2012) como demonstrado na figura 13.

Figura 12 - Extrativismo vegetal do fruto do buriti



Fonte: Acervo da autora

Figura 13 - Serviços domésticos tradicionais, como lavagem de roupas



Fonte: Acervo da autora

A vegetação de mangue desempenhou papel histórico importante, fornecendo madeira durável para construção de móveis e canoas e servindo como fonte de renda adicional por meio da extração e venda da madeira e resina a compradores externos, principalmente nas décadas de 1920 a 1950, (figura 14).

Esses recursos naturais continuam sendo estratégicos para a economia local, integrando-se a novas atividades turísticas, como hospedagem, passeios de barco, observação de fauna e flora, pesca esportiva e turismo cultural, garantindo sustentabilidade econômica e preservação ambiental (RAMOS, 2012).

Figura 14 - Vegetação de mangue usada para construção de abrigos para pescadores



Fonte: Acervo da autora

5.3 Potencial Turístico

O geoturismo, definido pela Declaração de Arouca (2011) como uma atividade que promove a conservação e a valorização da geodiversidade em associação com o patrimônio natural e cultural, tem se consolidado na região como uma prática capaz de unir atração turística e educação ambiental.

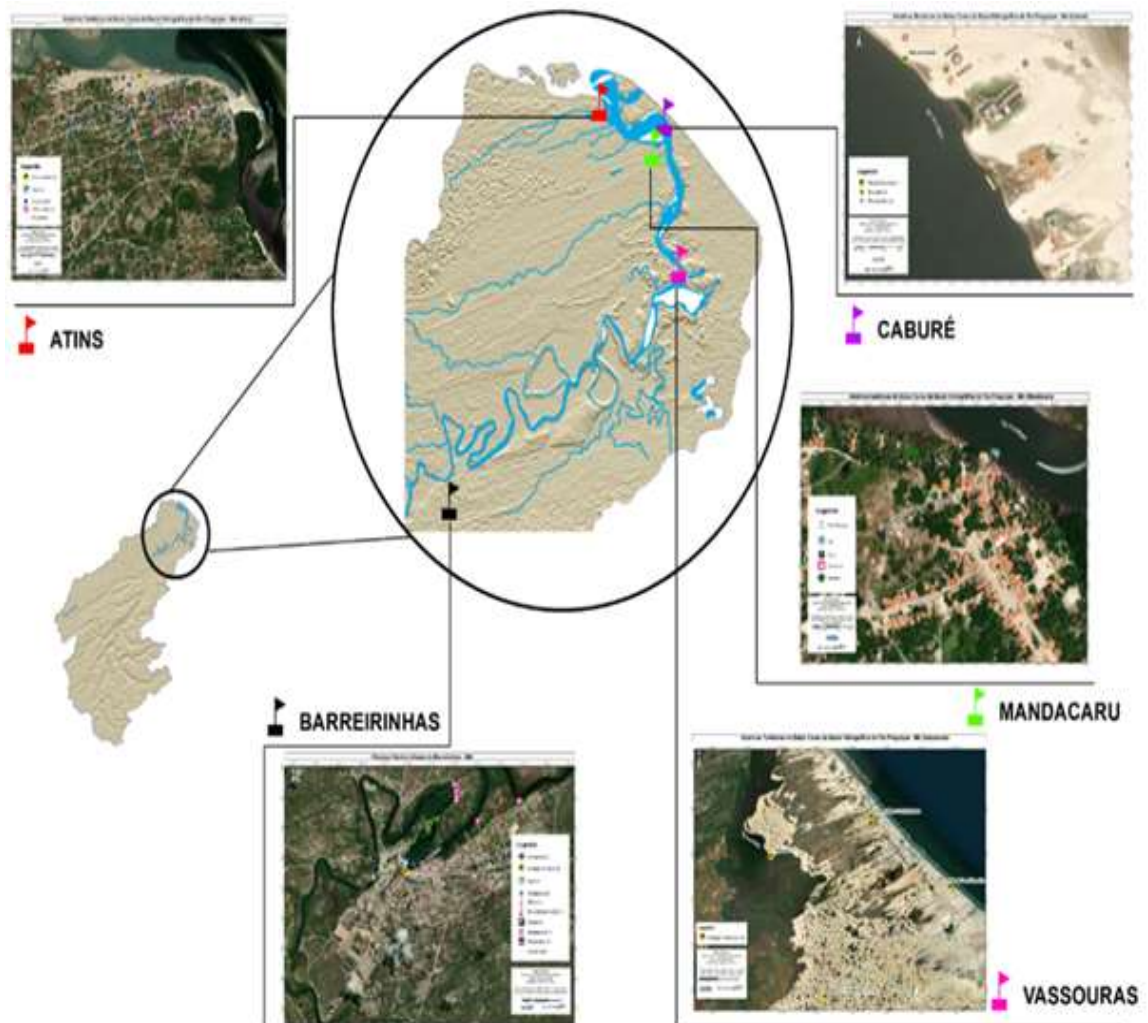
No caso do Rio Preguiças, a geodiversidade costeira (dunas, praias e estuários), combinada à biodiversidade dos manguezais e restingas, constitui um atrativo único que reforça a importância da região para o turismo de base natural (BRILHA, 2016; NASCIMENTO *et al.*, 2021).

Além da valorização do patrimônio natural, o turismo no baixo curso do Rio Preguiças está fortemente associado ao ecoturismo comunitário, no qual populações locais desempenham papel ativo no acolhimento de visitantes, ofertando passeios fluviais, hospedagem em vilas tradicionais, gastronomia típica e produção artesanal (SOUZA *et al.*, 2019).

Esse modelo de turismo fortalece a identidade regional e contribui para a economia, garantindo que os benefícios financeiros atinjam diretamente as comunidades (NASCIMENTO; NASCIMENTO, 2020).

Assim, o Rio Preguiças representa um laboratório natural para o desenvolvimento do geoturismo sustentável, onde a integração entre patrimônio natural, diversidade cultural e práticas comunitárias pode gerar benefícios socioeconômicos (figura 15).

Figura 15 - Pontos geoturísticos e/ou turísticos no baixo curso da bacia hidrográfica do Preguiças – MA.



Fonte: Imesc (2023).

No baixo curso da bacia do Rio Preguiças concentra-se os principais pontos de interesse turístico e geoturístico da região, especialmente em razão de sua posição estratégica junto ao Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, favorecido pela

diversidade de ecossistemas associados e à presença de comunidades tradicionais (IMESC, 2023).

A cidade de Barreirinhas constitui a principal porta de entrada, funcionando como centro logístico para visitantes que seguem pelo rio em direção ao litoral (figura 16). A partir desse ponto, o trajeto fluvial integra diferentes localidades, cada uma com atrativos específicos que refletem a interação entre geodiversidade, biodiversidade e cultura local (IMESC, 2023).

Figura 16 - Visitantes que seguem pelo rio em direção ao litoral em lanchas



Fonte: Acervo da autora

O povoado de Vassouras é marcado pela presença das dunas móveis dos chamados Pequenos Lençóis, associadas a lagoas sazonais e manguezais. A fauna, sobretudo os macacos-prego (figura 17) que habitam a área, constitui um atrativo singular para o turismo. Essa combinação eleva o potencial do geoturismo na região (IMESC, 2023).

Figura 17 – Macacos - prego que habitam na região



Fonte: Acervo da autora

Mandacaru destaca-se o Farol de Preguiças, a margem da foz do rio, de dunas e da linha de costa (figura 18). O povoado preserva traços de sua identidade pesqueira, integrando práticas tradicionais de pesca artesanal com a atividade turística (Figuras 19). Essa relação evidencia a importância do turismo de base comunitária (SOUZA; LIMA; OLIVEIRA, 2019).

Figura 18 - Mandacaru



Fonte: Acervo da autora

Figura 19 - Farol de Preguiças



Fonte: Acervo da autora

Outro ponto de destaque é Caburé, uma península arenosa que separa o rio do mar (Figura 20). Sua paisagem natural, caracterizada por dunas, praias e vegetação costeira, evidencia a fragilidade dos ecossistemas locais e reforça a necessidade de práticas turísticas sustentáveis (IMESC, 2023).

Figura 20 - Caburé, uma península arenosa (A;B)



Fonte: Acervo da autora

Mais ao leste encontra-se Atins, vilarejo tradicional que tem se consolidado como um polo turístico alternativo, principalmente pela proximidade com as dunas e lagoas do Parque Nacional (figura 21). O local destaca-se também como cenário privilegiado para a prática de esportes como o kitesurf, favorecido pela dinâmica dos ventos e pela extensão de suas praias. Além dos atrativos naturais, Atins preserva forte identidade cultural, associada à gastronomia à base de pescados e ao artesanato local, conforme a imagem 22. (IMESC, 2023; SOUZA; LIMA; OLIVEIRA, 2019).

Figura 21 - Atins, vilarejo tradicional



Fonte: Acervo da autora

Figura 22 - Pescador tecendo sua rede de pesca artesanal



5.4 Geografia e Hidrografia

O Rio Preguiças nasce no município de Santa Quitéria do Maranhão, percorrendo a região de sudeste para noroeste e depois mudando para a direção norte/sul, até desaguar no Oceano Atlântico, em Barreirinhas (Figura 7). Ao longo de seu percurso, o rio drena uma extensa área da bacia hidrográfica e exerce papel fundamental na dinâmica ambiental e socioeconômica da região, sobretudo por ser o principal curso d'água que estrutura o território de Barreirinhas (GASTÃO; MAIA, 2010; DE JESUS; BARRETO, 2021).

A hidrodinâmica do rio é fortemente condicionada pela influência das marés, especialmente em seu baixo curso, caracterizado pela presença de um estuário de maré mista. Nesses ambientes, ocorre a interação entre a água doce continental e a água salgada oceânica, gerando fortes gradientes de salinidade e nutrientes, característica típica de ecossistemas estuarinos (MIRANDA *et al.*, 2002; BARLETTA; LIMA; COSTA, 2023).

Os estuários desempenham funções ecológicas estratégicas por atuarem como berçários naturais para diversas espécies de peixes e crustáceos e outras espécies, além de fornecerem condições adequadas para a fixação e crescimento dos manguezais (Figuras 23, 24 e 25). No Preguiças, a combinação de marés, aporte de água doce e disponibilidade de sedimentos favorece a formação de extensas áreas de manguezais (CUTRIM, 2013; LACERDA *et al.*, 2024).

Figura 23 - Carangueijo Aratu vermelho (*Goniopsis cruentata*)



Fonte: Acervo da autora

Figura 24 - Carangueijo Chama - maré (*Leptuca leptodactyla*)



Fonte: Acervo da autora

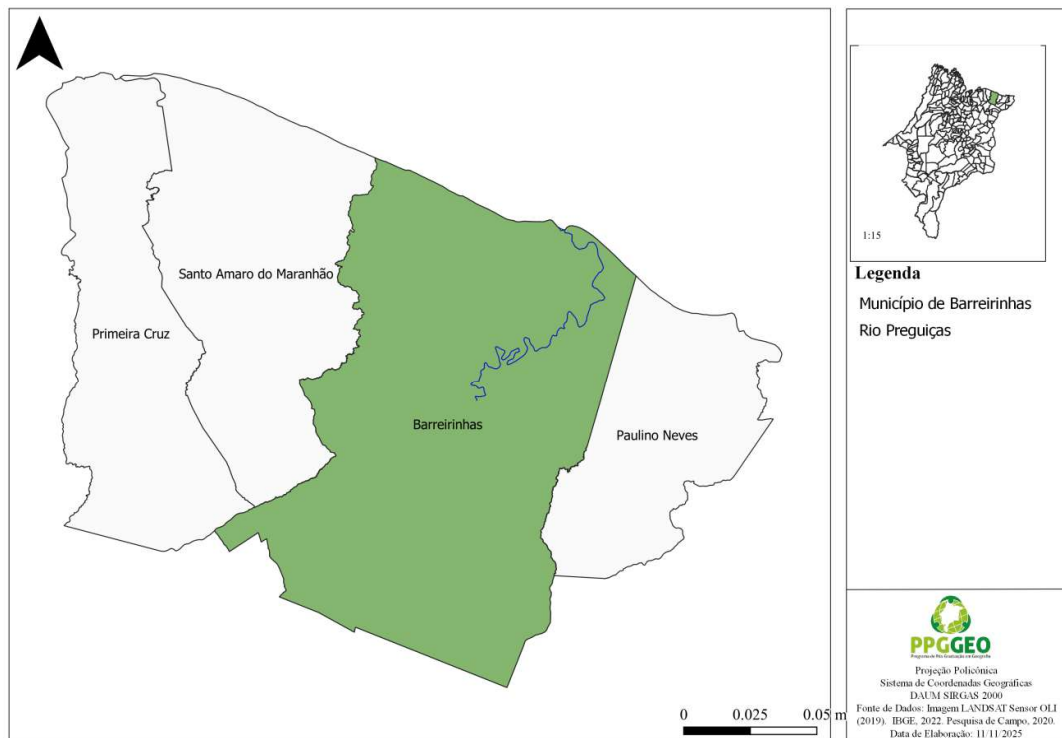
Figura 25 – Crustáceos fixados em troncos mortos de mangue



Fonte: Acervo da autora

A geografia local é marcada ainda por forte interação entre a rede hidrográfica e a geodiversidade costeira. As dunas móveis, lagoas interdunares e áreas de restinga conectam-se diretamente à dinâmica do rio, configurando um mosaico de ecossistemas interdependentes. Essa complexidade geomorfológica reforça a importância da bacia do Rio Preguiças como um sistema altamente dinâmico, onde processos hidrológicos e sedimentares moldam não apenas a paisagem natural, mas também as atividades humanas ligadas à pesca, turismo e transporte fluvial, conforme a imagem 26, (NASCIMENTO *et al.*, 2021; LIMA *et al.*, 2022).

Figura 26 - Mapa de Localização do Rio Preguiças.



Fonte: IBGE, 2019. Elaborado pela Autora, 2025.

5.5 Clima e Condições Climáticas

Apesar de poucos dados climatológicos locais, a região está próxima à linha equatorial, o que confere em uma forte incidência vertical dos raios solares. Isso resulta em

uma insolação média de aproximadamente 179 dias de sol por ano, o que equivale a cerca de 75 dias nublados anuais (FEITOSA *et al.*, 2015).

O comportamento das temperaturas indica o domínio de elevados valores térmicos ao longo de todo o ano. Com comportamentos, onde durante o dia, essas temperaturas são intensificadas pela radiação solar e à noite, a perda rápida de calor contribui para uma ligeira amenização térmica (FEITOSA *et al.*, 2015), evidenciando a continuidade dos índices térmicos diários, típicos de climas tropicais.

A unidade geográfica analisada não apresenta grandes variações em relação às temperaturas ao longo da zona costeira do Maranhão, tanto em termos de valores máximos quanto de sazonalidade. Observam-se variações que vão desde índices semelhantes aos da Amazônia (IBGE, 1984), no extremo oeste, até valores próximos aos do semiárido nordestino (FEITOSA *et al.*, 2015).

A sazonalidade climática é marcada por duas estações bem definidas: as chuvosas e a seca, também conhecidas regionalmente como "inverno" e "verão" (D'ANTONA, 2002). A intensidade das chuvas varia conforme a região, com índices pluviométricos anuais entre 800 mm e 1.200 mm. Nos períodos de pluviosidade mais intensa, formam-se cursos aluviais efêmeros, cujos fluxos escoam temporariamente para rios de maior porte, como o rio Peria, no extremo oeste, e o rio Preguiças, no extremo leste do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses.

Considerando os índices médios de temperatura e umidade, utilizados como base na classificação climática de Köppen-Geiger (1928), clima tropical (AW), no sistema Köppen: **A** = Clima Tropical; **W** = Estação seca no inverno (AW é o tropical sazonal ou tropical de savana), com chuvas predominantes no verão e no outono (FEITOSA *et al.*, 2015). Essas condições geológicas e climáticas exercem controle direto sobre o desenvolvimento da cobertura vegetal.

5.6 Relevo e Vegetação

O relevo da região onde se localiza o Rio Preguiças é dominado por planícies fluviais e fluviomarinhas, com terrenos planos e baixos, entrecortados por canais e delta que transportam águas salobras. As dunas móveis (Figura 27), formadas por sedimentos eólicos, são características marcantes da região, avançando sobre o cerrado e criando uma

paisagem dinâmica (FEITOSA, 2006). Essas áreas são também responsáveis pela sedimentação e modelagem da região, com destaque para as dunas e as lagoas.

Figura 27 - Dunas móveis, formadas por sedimentos eólicos



Fonte: Acervo da autora

Essas zonas de transição, situadas nas proximidades das dunas móveis, apresentam padrões característicos de vegetação arbustivo-arbórea que se desenvolvem principalmente nas margens dos cursos d'água e ao redor das lagoas perenes. Essas formações exercem papel fundamental na estabilização do solo, na proteção contra processos erosivos e na manutenção da umidade local, criando micro-habitats que favorecem a biodiversidade.

Nas planícies resultantes da deflação eólica, observa-se a predominância de gramíneas adaptadas às condições de baixa fertilidade e alta exposição solar. Essas gramíneas cumprem função ecológica e socioeconômica relevante, uma vez que, além de contribuir para a fixação do substrato arenoso e reduzir a mobilidade das dunas, são amplamente utilizadas para o pastoreio dos animais criados pelas comunidades locais. Dessa forma, a vegetação dessas áreas não apenas regula processos ecológicos essenciais,

mas também assegura recursos estratégicos para a subsistência das populações humanas que vivem no entorno do campo de dunas (FEITOSA, 2015).

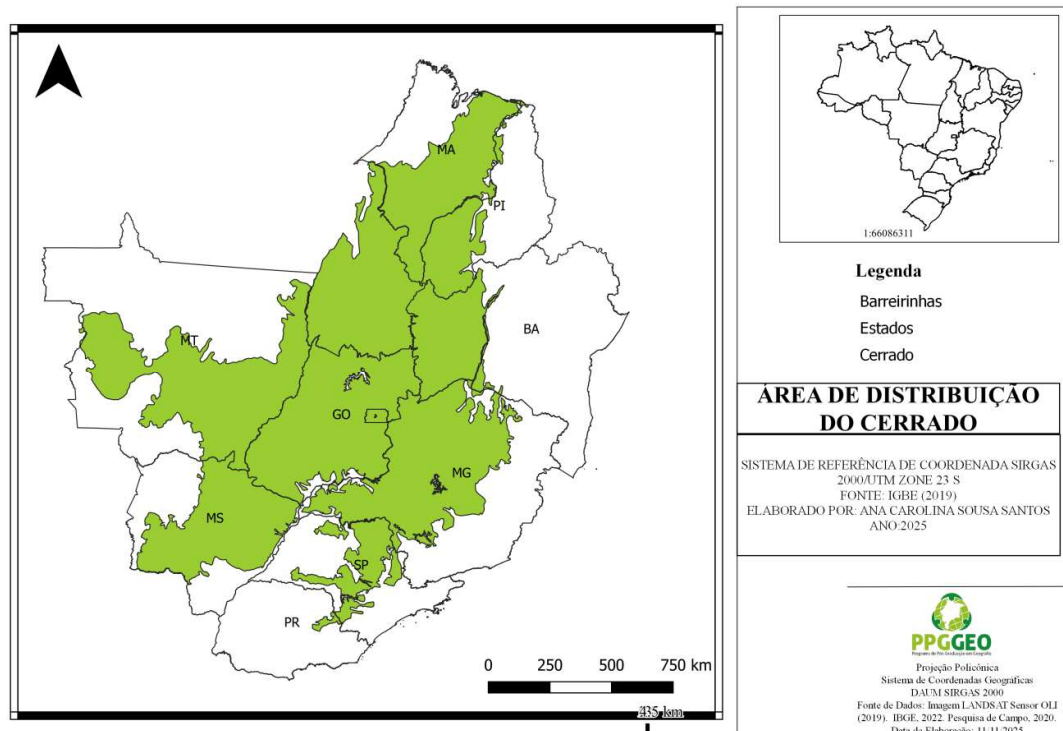
Figura 28 - Gramíneas sendo utilizada para o pastoreio de animais



Fonte: Acervo da autora

A vegetação predominante na bacia hidrográfica é o Cerrado (Figura 29), um bioma savânico caracterizado pela presença de solos geralmente rasos, ácidos e com baixa disponibilidade de nutrientes, especialmente de nitrogênio. A flora é composta por árvores e arbustos de pequeno a médio porte (figura 30), muitas vezes com troncos e galhos retorcidos, além de adaptações xeromórficas que permitem a sobrevivência em condições de estresse hídrico e edáfico (RIBEIRO & WALTER, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 2020).

Figura 29 - Mapa da Área de distribuição do cerrado.



Fonte: Elaborado pela Autora (2025).

Figura 30 - Árvores e arbustos regionais



Fonte: Acervo da autora

Nas áreas costeiras e estuarinas, a vegetação é dominada por manguezais, ecossistemas altamente adaptados às variações de salinidade e ao regime de marés. Os manguezais são formados por espécies como *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa*, que apresentam adaptações morfológicas específicas, como raízes aéreas, escoras e pneumatóforos, que favorecem a oxigenação em solos anóxicos e o suporte mecânico em substratos instáveis (SOUZA *et al.*, 2019; SCHAEFFER-NOVELLI *et al.*, 2021). Esses ecossistemas exercem papel crucial na proteção costeira, ciclagem de nutrientes e manutenção da biodiversidade, funcionando como áreas de berçário para diversas espécies aquáticas.

6 MÉTODOS E TÉCNICAS

Com o objetivo de enriquecer a compreensão sobre a dinâmica dos manguezais, foi realizada uma análise detalhada de estudos anteriores, especialmente os que abordaram a distribuição espacial das espécies de mangue e os fatores ambientais que influenciam essa distribuição.

Esses estudos forneceram *insights* sobre os processos ecológicos que governam os manguezais, como a influência de fatores físicos, como salinidade, temperatura e pH, e a forma como esses fatores determinam a distribuição das espécies de mangue ao longo de um rio ou estuário.

Estudos baseados em sensoriamento remoto e geotecnologias vêm demonstrando que a combinação de variáveis ambientais e dados espaciais é essencial para compreender padrões de distribuição e mudanças na cobertura vegetal dos manguezais (SILVA *et al.*, 2022; GIRI *et al.*, 2023).

Pesquisas recentes têm reforçado a relevância dessa abordagem. Lacerda *et al.* (2024) destacam que os manguezais da costa equatorial semiárida do Brasil tem como influencia, os gradientes de salinidade para a composição florística.

Nesse contexto, a revisão bibliográfica não apenas esclareceu conceitos-chave, mas também subsidiou a escolha dos métodos de coleta de dados, a seleção de técnicas analíticas adequadas e a utilização de ferramentas geoespaciais para tratamento e análise.

Além disso, possibilitou identificar lacunas no conhecimento existente, como a necessidade de maior integração entre dados de campo e produtos de sensoriamento remoto, bem como a aplicação de metodologias, incluindo o uso de sistemas de informações geográficas (SIG) e sensores multiparamétricos portáteis, tecnologias fundamentais para o monitoramento da qualidade da água e da dinâmica estuarina (KUMAR et al., 2021; XAVIER et al., 2023).

Assim, a revisão bibliográfica funcionou como eixo estruturante da pesquisa, assegurando um diálogo entre fundamentos clássicos e abordagens contemporâneas, permitindo tanto a compreensão aprofundada da ecologia dos manguezais quanto a adoção de metodologias atualizadas para análise espacial e ambiental.

6.1 Coleta de Campo: Planejamento e Seleção dos Pontos de Coleta

A coleta de dados foi realizada ao longo de um período de dois anos, entre 2020 e 2022, envolvendo diversas visitas técnicas in loco ao longo do curso do Rio Preguiças, no estado do Maranhão (Tabela 2). Durante essas visitas, foram definidos 10 pontos estratégicos de coleta de água (Tabela 3), com o objetivo de avaliar a variação da salinidade e do pH em diferentes trechos do rio, permitindo a análise de padrões ambientais e ecológicos ao longo do gradiente estuarino.

A seleção desses pontos levou em consideração aspectos ambientais fundamentais, como gradientes de salinidade, proximidade com a influência marinha, hidrologia local, presença de vegetação de mangue e características topográficas do leito do rio (Tabela 4), visto que esses fatores influenciam diretamente a composição, a distribuição e a dinâmica das comunidades de manguezais (SCHAEFFER-NOVELLI *et al.*, 2016; LACERDA et al., 2024).

Cada ponto de coleta foi escolhido de forma a representar diferentes condições de salinidade, um parâmetro que sofre fortes oscilações devido à interação entre o ciclo das

marés, o aporte de água doce proveniente de afluentes e a sazonalidade das chuvas (XAVIER *et al.*, 2023). Essa variação espacial e temporal da salinidade é reconhecida como um dos fatores-chave que modulam a estrutura, o crescimento e o funcionamento dos manguezais, uma vez que espécies distintas apresentam níveis variados de tolerância ao sal (ALONGI, 2020; GIRI *et al.*, 2023).

A adoção de múltiplos pontos de amostragem também possibilita uma compreensão mais detalhada da heterogeneidade ambiental do estuário, permitindo identificar padrões locais de influência marinha, fluvial e antrópica que impactam diretamente a ecologia dos manguezais (WARD *et al.*, 2016; COSTA *et al.*, 2023). Dessa forma, a definição criteriosa dos pontos de coleta no Rio Preguiças assegura representatividade ecológica, confiabilidade nos dados e robustez nas análises, permitindo que os resultados reflitam de forma mais precisa as condições ambientais que moldam a distribuição e o comportamento das espécies de mangue ao longo do estuário.

Além disso, a coleta sistemática ao longo de gradientes ambientais contribui para estudos de modelagem ecológica, identificação de espécies indicadoras e compreensão dos processos de restauração e conservação, elementos essenciais para o manejo sustentável dos ecossistemas de manguezais (SMITH *et al.*, 2022; OLIVEIRA *et al.*, 2024). Em síntese, o planejamento detalhado e a seleção criteriosa dos pontos de coleta formam a base metodológica para avaliar de forma integrada a ecologia, a hidrologia e os impactos ambientais sobre os manguezais do Rio Preguiças (Tabela 5 e figura 31).

Tabela 4 - Informações sobre os trabalhos de campo realizados.

Período	Precipitação média (mm)	Caracterização sazonal
Dezembro/2020	~140 mm	Final da estiagem

Dezembro/2021	~140 mm	Final da estiagem
Julho/2022	~40 mm	transição para a estiagem

Fonte: Adaptado de dados climatológicos médios para Barreirinhas (INMET; Climate-Data, 2024; WeatherSpark, 2024)

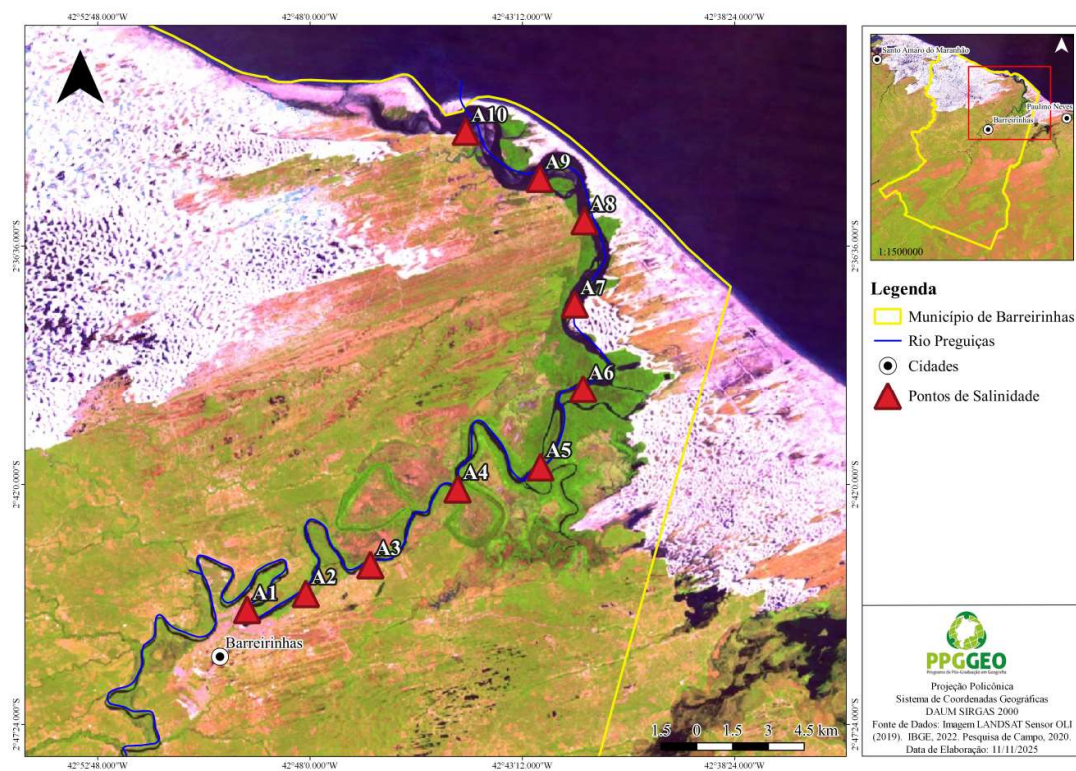
Tabela 5 - Pontos geográficos de coleta de água ao longo do Rio Preguiças.

Ponto	Zona UTM	Leste (E) [m]	Norte (N) [m]
A01	23M	741 704,3 m E	9 695 911 m N
A02	23M	744 646,2 m E	9 697 330 m N
A03	23M	747 119,0 m E	9 698 000 m N
A04	23M	750 778,1 m E	9 701 140 m N
A05	23M	754 255,0 m E	9 702 050 m N

A06	23M	756 049,0 m E	9 705 309 m N
A07	23M	755 707,0 m E	9 708 862 m N
A08	23M	756 120,0 m E	9 712 328 m N
09	23M	754 249,0 m E	9 714 099 m N
A10	23M	750 553,2 m E	9 716 422 m N

Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

Figura 31 - Pontos geográficos de coleta de água ao longo do Rio Preguiças.



6.2 Equipamento utilizado e procedimento de coleta da água

A campanha de coleta foi iniciada como parte de um esforço conjunto entre dois projetos de pesquisa de mestrado. O primeiro deles, conduzido por Juliana Sales dos Santos, resultou na dissertação intitulada Avaliação Espaço-Temporal dos Manguezais no Entorno do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses (Brasil), defendida em 15 de julho de 2022 (SANTOS, 2022). O segundo projeto, também de nível *stricto sensu*, deu continuidade à investigação ambiental na mesma região, ampliando o escopo de coleta de dados físico-químicos da água.

As amostragens ocorreram no leito do rio, sempre durante a maré baixa, momento em que os valores de salinidade (‰) e pH apresentavam maior estabilidade e eram mais representativos das condições típicas dos ecossistemas de manguezal (XAVIER *et al.*, 2023).

As campanhas de campo foram conduzidas entre os anos de 2020 a 2022, o que possibilitou a construção de uma série temporal consistente, abrangendo variações sazonais e espaciais ao longo do Rio Preguiças. Esse procedimento garantiu uniformidade temporal entre os pontos amostrados, fortalecendo a confiabilidade dos dados obtidos para análises ambientais e ecológicas (SILVA *et al.*, 2022; ALONGI, 2020).

Para a coleta e análise de parâmetros físico-químicos da água, foi escolhido o equipamento multiparâmetro, por sua capacidade de medir simultaneamente diversas variáveis de qualidade da água. Esse tipo de dispositivo é ideal para monitoramentos em tempo real, pois oferece uma análise abrangente e precisa em um único aparelho, otimizando o processo de coleta de dados.

A principal vantagem de um multiparâmetro é a possibilidade de registrar múltiplos parâmetros, como temperatura, pH, salinidade, turbidez, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido, entre outros, sem a necessidade de utilizar diversos equipamentos separados.

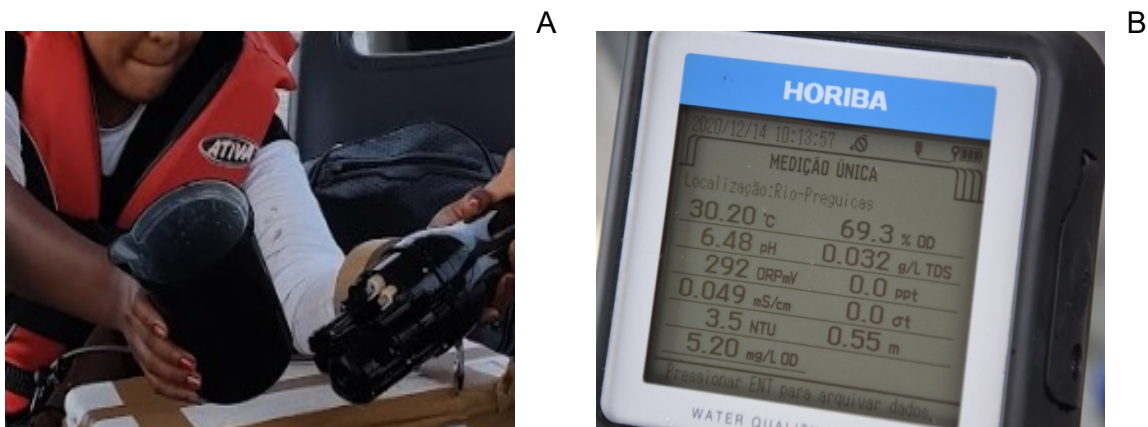
Essa escolha se baseou em sua versatilidade, precisão e facilidade de operação, atributos fundamentais para garantir medições confiáveis em campo. O uso do multiparâmetro tornou possível a obtenção de um diagnóstico rápido e completo das

condições da água, especialmente para os parâmetros de salinidade e pH, que foram objeto de análise nesta etapa.

Especificamente, foi utilizado o equipamento multiparâmetro HORIBA U50, que permitiu o registro imediato das variáveis físico-químicas da água. Este modelo se destaca por sua capacidade de medir até 11 parâmetros simultaneamente, oferecendo uma solução completa para análises em campo. Entre os parâmetros disponíveis estão: temperatura, pH, salinidade, turbidez, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, além de outros que podem variar conforme a configuração dos sensores (Tabela 4).

O HORIBA U50 possui sensores de alta precisão (Figura 32 A), tecnologia de compensação automática e uma interface que facilita a visualização dos resultados em ambientes externos com forte luminosidade (Figura 32 B). O equipamento também possui capacidade de armazenamento de dados e transferência para sistemas digitais, o que auxilia na organização e análise posterior das informações coletadas.

Figura 32 - Multiparâmetro HORIBA U50



Fonte: Acervo da autora

Dessa forma, o uso do multiparâmetro HORIBA U50 não apenas proporcionou maior eficiência no processo de coleta, como também garantiu a obtenção de dados de qualidade, contribuindo para uma análise ambiental mais precisa e fundamentada.

Paralelamente a essas medições, foram coletadas amostras de água de forma manual, utilizando garrafas plásticas previamente higienizadas, garantindo a integridade do material amostrado (Figura 33). As amostras foram acondicionadas em caixas térmicas isotérmicas com gelo e transportadas até o laboratório LAAP do Instituto Federal do Maranhão - IFMA, de modo a preservar suas propriedades físico-químicas para análises posteriores (COSTA *et al.*, 2023).

Figura 33 – Processo da coleta das amostras de água



Fonte: Acervo da autora

6.2.1 Procedimento de Coleta e Análise com Multiparâmetro

O multiparâmetro utilizado no estudo é um equipamento portátil constituído por visor digital, sonda e copo para coleta de amostras, permitindo a medição simultânea de diversos parâmetros físico-químicos da água. O procedimento adotado para a coleta e análise dos dados seguiu os seguintes passos:

1. Zeragem e calibração do equipamento
 - Antes de iniciar as coletas, o multiparâmetro foi zerado e calibrado conforme as instruções do fabricante, assegurando que os valores iniciais não sofressem alterações e garantindo a confiabilidade das medições.
2. Transporte até o ponto de coleta
 - O deslocamento até os locais de amostragem foi realizado utilizando um barco, permitindo acessar diferentes pontos do rio ou estuário com segurança e precisão.
3. Coleta da amostra e acoplamento da sonda
 - Ao chegar ao ponto de coleta, a água foi cuidadosamente recolhida no copo do multiparâmetro, evitando contaminação.
 - A sonda do equipamento foi então acoplada à amostra, iniciando imediatamente o processo de medição (Figura 34).

Figura 34 - Coleta da amostra e acoplamento da sonda



4. Medição e leitura dos parâmetros

- O multiparâmetro realizou a análise da amostra em tempo real, fornecendo os resultados no visor em poucos segundos. Os parâmetros monitorados incluíram, por exemplo, temperatura, salinidade, pH e oxigênio dissolvido.

5. Registro e anotação dos dados

- Os resultados obtidos foram salvos na memória interna do equipamento para posterior download.
- Paralelamente, os dados foram anotados manualmente, registrando também o ponto de coleta correspondente, garantindo a rastreabilidade das amostras e funcionando como backup em caso de falhas.

6. Transferência de dados para planilha

- Ao final das coletas, os dados armazenados foram baixados para uma planilha Excel, permitindo organização, análise estatística e integração com os demais dados do estudo.

7. Cuidados adicionais

- Entre coletas, a sonda e o copo foram lavados com água mineral para evitar contaminação cruzada entre amostras.
- Todo o procedimento seguiu práticas padronizadas de manuseio de amostras ambientais, assegurando a confiabilidade e reprodutibilidade dos resultados obtidos.

6.2.2 Procedimento de Coleta Manual de Amostras de Água

A coleta manual de água foi realizada utilizando **garrafas plásticas previamente higienizadas**, garantindo a integridade e evitando contaminação do material amostrado. O procedimento adotado para a coleta e transporte das amostras seguiu os seguintes passos:

1. Preparação dos recipientes

- Antes de iniciar a coleta, as garrafas plásticas foram cuidadosamente higienizadas, assegurando que não houvesse resíduos ou contaminação que pudesse comprometer os resultados da análise.

2. Coleta da amostra

- Ao chegar ao ponto de coleta, a água foi cuidadosamente retirada do rio, evitando contato com sedimentos ou bordas que pudessem contaminar a amostra.

3. Selagem e identificação

- As garrafas foram imediatamente **seladas** e identificadas com o ponto de coleta correspondente, garantindo a rastreabilidade das amostras.

4. Armazenamento temporário

- As amostras foram conservadas em um isopor até a análise laboratorial, preservando suas características físico-químicas.

5. Transporte ao laboratório

- Durante o transporte, foram tomados cuidados para evitar agitação excessiva, exposição ao sol ou contaminação cruzada, garantindo a integridade das amostras. As amostras foram conservadas em um isopor com gelo.

6. Registro e documentação dos dados

- Todos os pontos de coleta e informações relevantes das amostras foram registrados em planilha, assegurando a rastreabilidade e permitindo posterior organização, análise estatística e integração com os demais resultados do estudo.

7. Cuidados adicionais

- Todo o procedimento seguiu práticas padronizadas de manuseio de amostras ambientais, garantindo a confiabilidade e a reprodutibilidade dos resultados obtidos.

6.3 Aquisição de Dados Geoespaciais

A parte de aquisição de dados envolveu a utilização de diversas fontes geoespaciais, que forneceram dados cruciais para a análise espacial do estudo. Para garantir a qualidade e a precisão dos dados, foram utilizados shapefiles disponíveis em diferentes repositórios geoespaciais. Esses shapefiles contêm informações sobre a vegetação, a bacia hidrográfica, o uso do solo, entre outros parâmetros essenciais para a análise da distribuição da salinidade e da vegetação de mangue.

As fontes dessas informações contidas na tabela 6, que foram utilizadas para gerar as camadas espaciais no QGIS:

Tabela 6 - Fontes de aquisição dos shapefiles

Fonte	Shapefile	Endereço da Fonte
IBGE	Vegetação	IBGE - Vegetação
IBGE	Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses	IBGE - Parque Nacional
IBGE	Bacia Hidrográfica	IBGE - Bacia Hidrográfica
AMBDATA	Solos	AMBDATA - Solos
IBAMA	Vegetação de Mangue Brasileira	IBAMA - Vegetação de Mangue
ANA	Rio Preguiças	ANA - Rios

Fonte:Elaborado pela Autora (2023).

Foram utilizadas as imagens do satélite Landsat TM 5 órbita/ponto 219/77 (projeção UTM, zona 23, Datum WGS-84), referentes às datas 20/05/2010 e 17/06/1997, bandas 2, 3 e 4. As datas das imagens foram escolhidas por não apresentarem qualquer cobertura de nuvem em toda área de interesse.

6.4 Obtenção e Tratamento de Dados Espaciais

Foram utilizados dados geoespaciais de diversas fontes, obtidos de fontes públicas para compor a base cartográfica do estudo. Os shapefiles vetoriais do curso do Rio Preguiças foram adquiridos na plataforma bases do IBGE, enquanto a bacia hidrográfica do Rio Preguiças foi delimitada com base em dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e ANA. A vegetação predominante na bacia, majoritariamente composta pelo Cerrado, foi mapeada com base nos dados do MapBiomas (2021), versão 6.0, que oferece informações sobre o uso e cobertura do solo no Brasil desde 1985.

As coordenadas dos pontos de coleta, juntamente com os dados de salinidade e pH, foram organizados em formato CSV e importados para o QGIS 3.26.0. No QGIS, os dados foram integrados e organizados em camadas, o que permitiu uma análise espacial eficiente. Utilizando a ferramenta "Adicionar uma camada de texto delimitado", foi possível transformar os dados em pontos geoespaciais e realizar análises espaciais detalhadas sobre a distribuição da salinidade e sua relação com as espécies de mangue ao longo do Rio Preguiças. Os dados coletados foram incorporados à tabela de atributos dos pontos no QGIS, possibilitando sua representação espacial e análise visual.

Com os valores de salinidade atribuídos aos pontos de coleta, foi realizada uma análise espacial da variação longitudinal da salinidade no Rio Preguiças. Para isso, foi criado um buffer (zona de influência) de 350 metros ao redor do curso do rio, utilizando a ferramenta de geoprocessamento "Buffer" do QGIS. O objetivo foi representar graficamente as zonas influenciadas pela salinidade da água, com base na interpolação dos dados dos pontos coletados.

A seguir, foi elaborado um mapa temático de salinidade, utilizando simbologia graduada e interpolação dos dados (ex. método Inverse Distance Weighting – IDW), representando visualmente os trechos mais salinos e os menos salinos do rio. Essa análise possibilitou identificar a influência do gradiente de salinidade ao longo do curso fluvial, especialmente nas áreas estuarinas.

Foi incorporada ao projeto a camada do GLAD TreeCanopyHeight 2019 (Figura 35), desenvolvida pelo Global Land Analysis and Discovery (GLAD), Lab da Universidade de Maryland. Esta camada fornece informações quantitativas sobre a altura do dossel florestal (em metros), com base na integração de dados do sensor LiDAR GEDI (Global Ecosystem Dynamics Investigation), sensores ópticos de satélites como o Landsat e algoritmos de machine learning (POTAPOV *et al.*, 2021).

Figura 35 - Global Land Analysis and Discovery (GLAD) no QGIS.



Fonte:Acervo da Autora.

A camada foi obtida em formato raster (GeoTIFF), com resolução espacial de 30 metros, e disponibilizada gratuitamente em plataformas como o Google Earth Engine (GEE) e Earthdata da NASA. No QGIS 3.8.3, o raster foi carregado como uma camada contínua, representando valores de altura do dossel em cada pixel da grade espacial.

Para facilitar a interpretação visual, aplicou-se uma escala de cores pseudocolorida, variando de tons claros (baixa altura, <5 m) até tons escuros (alta altura, >30 m).

A camada foi recortada (clip) para coincidir espacialmente com a bacia hidrográfica do Rio Preguiças, a fim de focar a análise nas áreas de interesse. Em seguida, foi aplicada uma reclassificação dos valores em intervalos representativos:

- 0–5 m: áreas abertas ou de vegetação herbácea;
- 6–15 m: vegetação arbustiva e floresta jovem;
- 16–30 m: floresta madura ou vegetação densa;
- 30 m: possíveis formações de manguezais e florestas primárias bem desenvolvidas.

Essa reclassificação possibilitou identificar padrões estruturais da vegetação ao longo do rio, que foram comparados com os dados de salinidade obtidos em campo. Realizou-se uma análise espacial cruzando a altura do dossel com os buffers de salinidade (zonas de 100 metros ao redor do rio), para investigar se havia correlação entre áreas de maior salinidade e modificações na estrutura da vegetação, como redução da altura ou transição para espécies mais tolerantes, como os manguezais (vegetação halófito).

Essa abordagem permitiu integrar dados quantitativos de sensoriamento remoto com dados de campo, proporcionando uma análise multiescalar da vegetação. Assim, foi possível observar como o gradiente de salinidade pode influenciar a estrutura florestal e auxiliar na identificação de zonas de transição ecológica ao longo do Rio Preguiças.

As camadas foram organizadas no ambiente do QGIS e passaram por verificação de sistemas de coordenadas, sendo padronizadas para o sistema SIRGAS 2000 / UTM zona 23S, compatível com a região de estudo.

Com os dados organizados e georreferenciados, foram elaborados diversos mapas temáticos:

- **Mapa de localização da bacia hidrográfica** com destaque para o curso do Rio Preguiças e vegetação predominante;

- **Mapa dos pontos de coleta de salinidade**, com simbologia graduada conforme os valores registrados;
- **Análise de buffers** (zonas de influência) em torno dos pontos de coleta, com raio de 100 metros, para avaliar variações ambientais locais.

O ambiente de processamento e análise foi o software QGIS 3.8.3, que oferece ferramentas robustas de geoprocessamento, análise raster, vetorial e geração de mapas temáticos. Os principais processos utilizados incluíram: reclassificação raster, buffers vetoriais, interpolação espacial e sobreposição temática.

6.5 Método de Interpolação Espacial: IDW

Para estimar a distribuição contínua da salinidade ao longo do Rio Preguiças a partir dos valores pontuais obtidos nas coletas, foi utilizado o método de interpolação espacial IDW (Inverse Distance Weighting).

Matematicamente, o IDW atribui pesos inversamente proporcionais à distância dos pontos conhecidos em relação ao ponto interpolado, de modo que amostras mais próximas têm maior influência no cálculo da estimativa (LI; HEAP, 2014).

Essa abordagem é amplamente utilizada em estudos ambientais e de ecossistemas costeiros devido à sua facilidade, eficiência computacional e capacidade de representar gradientes ambientais em escala local (HU *et al.*, 2020; ALMEIDA *et al.*, 2021).

Sua fórmula geral é:

Equação 1 - Cálculo de interpolação espacial IDW.

$$Z(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z(x_i)}{d(x_0, x_i)^p}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d(x_0, x_i)^p}}$$

Onde:

- $Z(x_0)$ é o valor interpolado no ponto desconhecido,
- $Z(x_i)$ são os valores observados nos pontos amostrados,
- $d(x_0, x_i)$ é a distância entre o ponto desconhecido e o ponto conhecido,
- p é o expoente de ponderação (geralmente $p=2$),
- n é o número de pontos utilizados na interpolação.

No contexto desta pesquisa, o IDW foi aplicado sobre os valores de salinidade registrados em 10 pontos ao longo do Rio Preguiças, gerando uma superfície contínua de salinidade representada por uma imagem raster.

A escolha do IDW se justificou por sua simplicidade, eficiência computacional e boa performance quando o número de pontos amostrais é limitado, como no caso deste estudo (BURROUGH & MCDONNELL, 1998; YAMAGATA & SZLAVIK, 2005).

7 Resultados e Discussões

7.1 Análise das amostragens

A coleta e a análise dos parâmetros físico-químicos da água seguiram protocolos consolidados para amostragem, preservação e aferição em campo e em laboratório, assegurando a confiabilidade dos dados obtidos.

Dessa forma, o método combinado garantiu a validação cruzada dos dados e a confiabilidade das informações ambientais relacionadas à salinidade e ao pH da água, parâmetros-chave na ecologia de ecossistemas estuarinos e de manguezais (APHA, 2017; CETESB, 2021), fundamentais para o estudo da distribuição das espécies de mangue.

Análise da salinidade nos pontos de coleta de água (A01 a A10) ao longo do Rio Preguiças representada na figura 8 mostra a variação da salinidade (%) ao longo dos pontos

de coleta (A01 a A10) no Rio Preguiças, nos anos de 2020, 2021 e 2022, além da linha da média geral. Nos Pontos iniciais (A01–A06):

A salinidade se manteve próxima de zero em todos os anos analisados. Esse padrão reflete o predomínio de água doce, com baixa influência marinha, típico dos setores mais a montante do rio.

Os pontos intermediários (A07–A08): A salinidade começa a apresentar elevação gradual, variando de valores quase nulos para até 0,5–2,2%. Esse ponto marca a transição e o início da intrusão salina, onde a água do mar começa a se misturar com a água doce (Miranda; Castro; Kjerfve, 2021).

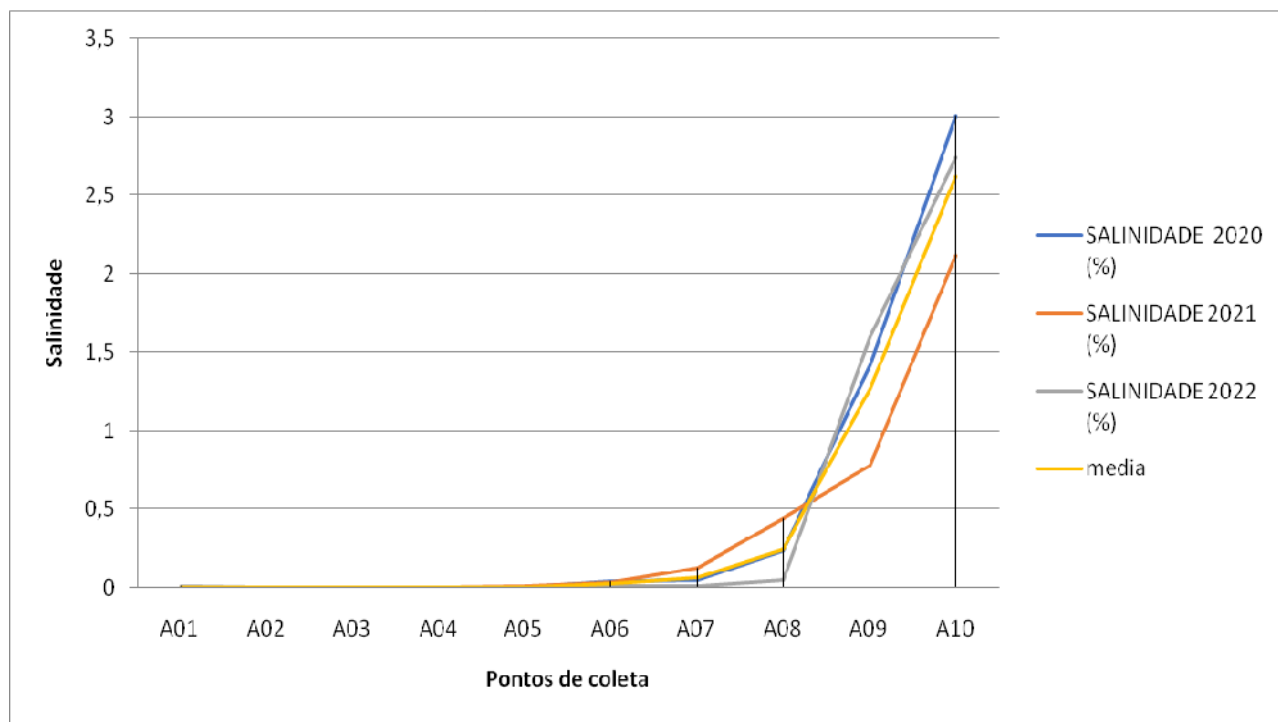
Já nos pontos finais (A09–A10): O aumento é acentuado, com valores chegando a mais de 3% em 2020 (A10). Observa-se o predomínio da influência marinha, caracterizando a zona estuarina propriamente dita, com forte variação interanual.

Na análise comparativa entre os anos de coleta: em 2020 apresentou os maiores valores de salinidade, principalmente em A09 e A10, sugerindo maior intrusão marinha. Isso pode estar relacionado a períodos de menor vazão fluvial e estiagem, que favorecem ao percentual salino (Schettini *et al.*, 2018).

Nos anos de: 2021 registrou os menores valores, indicando maior contribuição fluvial ou maior intensidade de chuvas, reduzindo a influência marinha; Em 2022 mostrou comportamento intermediário, mas ainda próximo de 2020, evidenciando variabilidade sazonal e climática (figura 12).

Esse padrão é consistente com a definição clássica de estuário como ambiente de transição entre água doce e salgada (Day *et al.*, 2019).

Figura 36 - Análise da salinidade nos pontos de coleta de água (A01 a A10) ao longo do Rio Preguiças.



Fonte: Elaborado pela Autora (2025)

7.2 Análise dos dados obtidos pelo multiparâmetro HORIBA U50

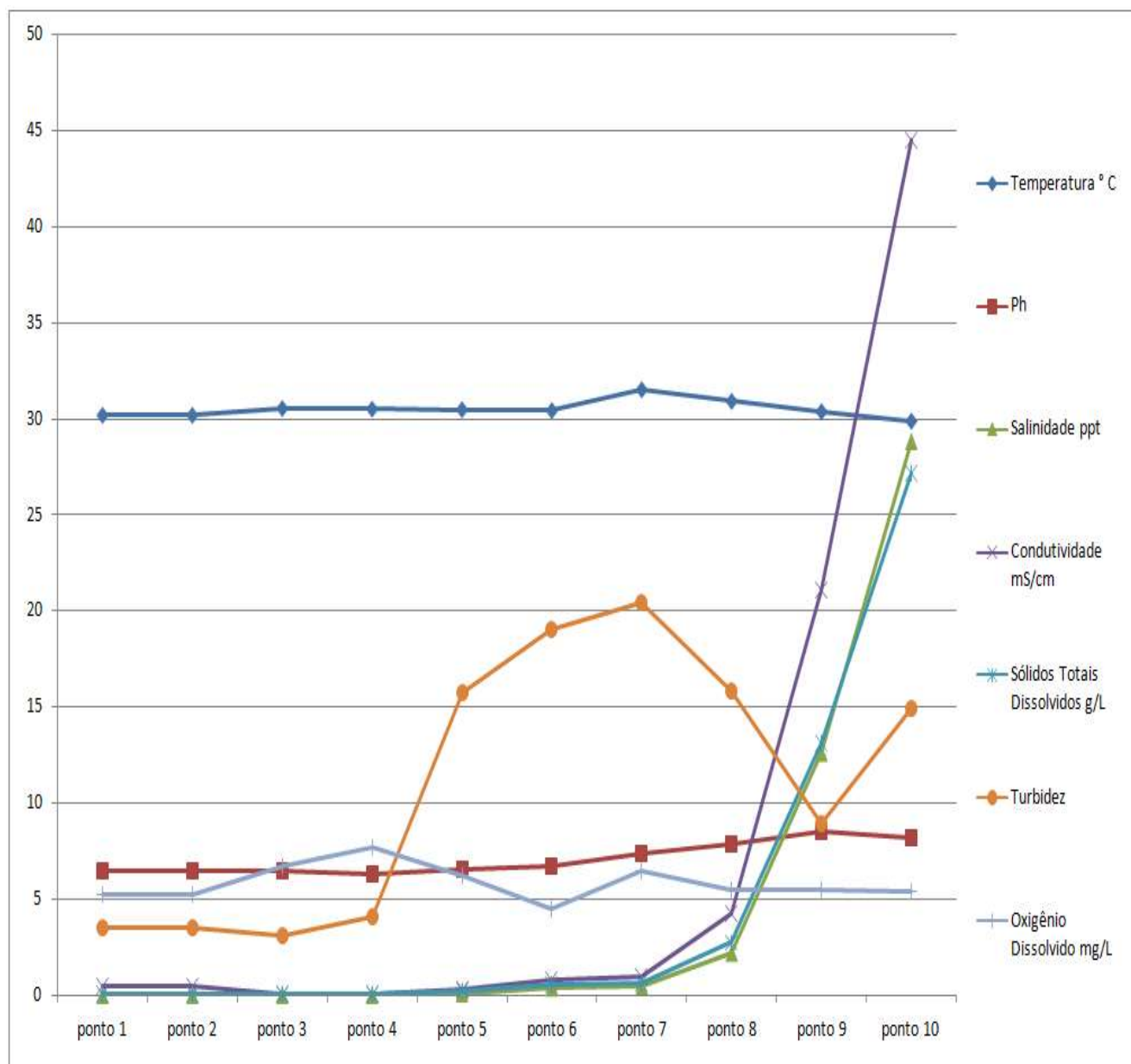
A coleta da água foi realizada diretamente no copo de aferição do equipamento multiparâmetro, onde foi inserida a amostra proveniente do ponto previamente selecionado.

Após a coleta, o copo foi acoplado à sonda do equipamento, garantindo o contato direto dos sensores com a amostra.

O equipamento, por meio de seus sensores previamente calibrados, realizou automaticamente a medição *in situ* dos parâmetros físico-químicos da água.

Os valores aferidos foram exibidos em tempo real no visor do multiparâmetro, permitindo o registro e armazenamento interno dos resultados (figura 13).

Figura 37 - Análise dos pontos de coleta de água (A01 a A10) ao longo do Rio Preguiças.



Fonte: Elaborado pela Autora (2025)

7.2.1 Temperatura (°C)

Os valores de temperatura oscilaram entre 29,9 °C (A10) e 31,5 °C (A7), indicando relativa estabilidade térmica. Essa variação restrita é típica de regiões tropicais, onde a radiação solar e a baixa profundidade do rio promovem aquecimento uniforme da coluna d'água (Day et al., 2019) conforme a tabela 7 .

7.2.2 pH

O gradiente de pH revela importante transição: valores levemente ácidos nos pontos A1 a A6 (6,28–6,69), tornando-se mais alcalinos a partir de A7 (7,38) e atingindo picos em A9 (8,49).

Esse padrão é compatível com a diluição progressiva da água doce por água marinha, naturalmente mais alcalina (Miranda; Castro; Kjerfve, 2021).

7.2.3 Salinidade (ppt)

O parâmetro mais marcante é a salinidade, que se mantém nula de A1 a A4, inicia um leve aumento em A5 (0,1 ppt) e se intensifica progressivamente até A10 (28,8 ppt), caracterizando claramente o gradiente estuarino do rio.

Essa transição de água doce para salobra e, finalmente, para salina é típica de ambientes de desembocadura fluvial, controlada pelo regime de marés e pela vazão fluvial (Schettini *et al.*, 2018).

7.2.4 Condutividade (mS/cm) e Sólidos Totais Dissolvidos (g/L)

Ambos os parâmetros acompanham o aumento da salinidade: condutividade passando de 0,49 mS/cm (A1) para 44,5 mS/cm (A10) e STD variando de 0,03 g/L (A1–A3) para 27,2 g/L (A10).

A correlação entre condutividade elétrica e concentração iônica dissolvida é esperada, uma vez que a presença de sais dissolvidos aumenta a capacidade da água de conduzir corrente elétrica (APHA, 2017). Esses indicadores reforçam a transição de água doce para marinha ao longo do rio.

7.2.5 Turbidez (NTU)

A turbidez apresentou valores relativamente baixos nos pontos iniciais (3,1–4,1 NTU), com aumento significativo em A5 (15,7 NTU), A6 (19 NTU) e A7 (20,4 NTU), seguido de redução gradual nos pontos mais próximos da foz.

7.2.6 Oxigênio Dissolvido (mg/L)

Os valores variaram entre 4,47 mg/L (A6) e 7,67 mg/L (A4). A concentração relativamente elevada nos pontos A3–A4 sugere maior aeração pela turbulência da água, típica de trechos mais fluviais.

Já a queda observada em A6 pode indicar maior decomposição de matéria orgânica e consumo de oxigênio por microrganismos (Lacerda *et al.*, 2019).

Os dados da tabela mostram um gradiente ambiental típico de estuário:

- Trecho inicial (A1–A6): água doce, baixa turbidez e maior variabilidade no oxigênio dissolvido.
- Trecho intermediário (A7–A8): transição para condições salobras, maior alcalinidade, picos de turbidez.
- Trecho final (A9–A10): predomínio da influência marinha, alta salinidade, elevada condutividade e STD, estabilização do oxigênio dissolvido.

Essa transição espacial tem implicações diretas para a estrutura das florestas de mangue, pois espécies como *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa* tendem a dominar áreas de salinidade intermediária, enquanto *Rhizophora mangle* é favorecida em setores mais salinos (Alongi, 2020; Ferreira *et al.*, 2021).

Tabela 7 - Parâmetros medidos nos pontos de coleta.

Parâmetro	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
Temperatura (°C)	30,2 °C	30,2 °C	30,55 °C	30,52 °C	30,49 °C	30,44 °C	31,52 °C	30,92 °C	30,39 °C	29,9 °C
pH	6,48	6,48	6,43	6,28	6,56	6,69	7,38	7,8	8,49	8,19
Salinidade (ppt)	0 ppt	0 ppt	0 ppt	0 ppt	0,1 ppt	0,4 ppt	0,5 ppt	2,2 ppt	12,6 ppt	28,8 ppt

Condutividade (mS/cm)	0,49 mS /cm	0,49 mS /cm	0,048 mS/ cm	0,07 mS/c m	0,271 mS/ cm	0,804 mS/ cm	0,925 mS/ cm	4,24 mS/c m	21,1 mS/c m	44,5 mS /cm
Sólidos Totais Dissolvidos (g/L)	0,032 g/ L	0,032 g/ L	0,031 g/L	0,045 g/L	0,176 g/L	0,515 g/L	0,592 g/L	2,71 g/L	13,1 g/L	27,2 g/L
Turbidez (NTU)	3,5 NT U	3,5 NT U	3,1 NTU	4,1 NTU	15,7 NTU	19 NTU	20,4 NTU	15,8 NTU	8,9 NTU	14,9 NT U
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	5,2 mg/ L	5,2 mg/ L	6,65 mg/L	7,67 mg/L	6,21 mg/L	4,47 mg/L	6,47 mg/L	5,43 mg/L	5,43 mg/L	5,36 mg /L

Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

7.3 Classificação do Estuário do Rio Preguiças

Diante das amostragens de água realizadas, tanto por meio da coleta direta quanto das leituras no multiparâmetro, forneceram informações essenciais sobre as condições físico-químicas do rio, com esses parâmetros foi possível identificar os gradientes ambientais ao longo do curso hídrico.

Portanto, foi possível proceder à zonificação prévia do rio, seguindo a definição proposta por Kjerfve (1987). O autor subdivide os estuários em três zonas distintas, determinadas por condições geológicas, climáticas e energéticas:

A análise da salinidade no estuário do Rio Preguiças pode ser aprimorada utilizando a metodologia que define estuário como:

"Um ambiente costeiro semi-fechado, com conexão livre com o oceano aberto, no qual a água do mar é diluída com a água "doce" proveniente da drenagem continental". (VALENTINI; MONTEIRO, 2000, p. 7).

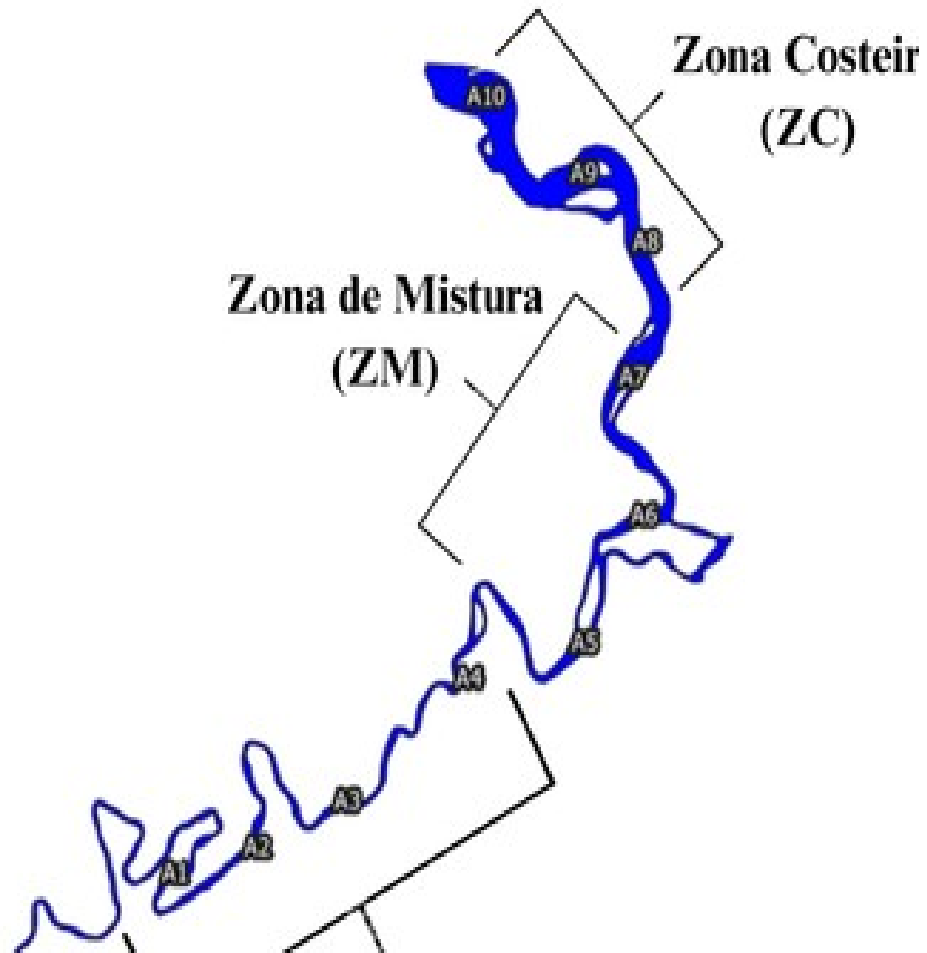
Baseado nessa definição e nas condições geológicas, climáticas e energéticas, Kjerfve (1987) subdivide os estuários em três zonas distintas, como esquematizado na figura 38:

- Zona de Maré (ZR): área de maior predominância da água doce, com menor influência da maré.
- Zona de Mistura (ZM): região de transição, onde ocorre a interação entre águas doces e salobras, resultando em variação dos parâmetros físico-químicos;

- Zona Costeira (ZC): caracterizada pela influência direta da maré e da água salgada;

Essas subdivisões são importantes para a análise da distribuição das espécies de mangue, pois refletem diferentes condições ambientais e energéticas que influenciam o crescimento e a adaptação das espécies. Assim, a combinação dos dados de campo obtidos pelo multiparâmetro com a referência teórica permitiu estabelecer com maior precisão a zonificação do rio estudado.

Figura 38 - Esquema das subdivisões em três zonas de um estuário.



Fonte: Adaptado de Kjerfve (1987).

7.4 Interpolação Espacial da Salinidade

Para estimar a distribuição contínua da salinidade ao longo do Rio Preguiças a partir dos valores pontuais obtidos nas coletas, foi utilizado o método de interpolação espacial IDW (Inverse Distance Weighting).

No estuário do Rio Preguiças, esse mapeamento tende a evidenciar um aumento de salinidade em direção à foz e valores decrescentes a montante, onde a descarga fluvial dilui os sais (IGLESIAS *et al.*, 2024; LEE *et al.*, 2025).

Foi possível observar que os valores interpolados de salinidade, associados à esquematização das zonas ao longo do estuário, coincidem com os dados representados no mapa de salinidade elaborado neste estudo.

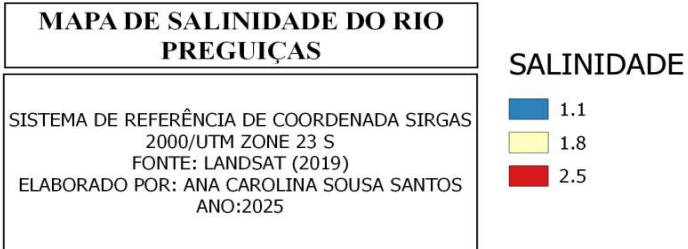
Essa correspondência confirma a consistência metodológica e reforça a confiabilidade da análise espacial para a compreensão da dinâmica estuarina e da distribuição dos gradientes salinos.

O resultado da interpolação permitiu a elaboração de um mapa temático (Figura 39), no qual os pontos menos salinos foram representados pela coloração azul, indicando as áreas de maior influência fluvial; as regiões de salinidade intermediária foram representadas em amarelo, correspondendo às zonas de transição; e as áreas altamente salinas, próximas à foz e sob maior influência marinha, foram destacadas em vermelho.

Essa representação gráfica facilita a identificação espacial dos gradientes de salinidade e reforça a coerência entre os dados coletados em campo e a superfície interpolada, consolidando a análise da dinâmica estuarina do rio.

Por fim, é possível compreender que como avanço da intrusão salina tende a intensificar-se sob cenários de elevação do nível do mar e redução de vazões, as superfícies interpoladas oferecem uma linha de base comparável para monitorar mudanças no tempo e subsidiar decisões sobre usos da água e conservação de manguezais (LEE *et al.*, 2025).

Figura 39 - Mapa de Salinidade do Rio Preguiças.



Fonte: LANDSAT (2019) e dados da coleta.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa demonstrou que a salinidade constitui o fator ambiental mais determinante na distribuição espacial e no crescimento estrutural das espécies de mangue ao longo do estuário do Rio Preguiças. Os dados empíricos obtidos entre os anos de 2020 e 2022 evidenciaram a existência de um gradiente salino progressivamente crescente em direção à foz, com reduzidas variações interanuais, o que indica uma relativa estabilidade hidrossalina do sistema estuarino analisado. Esse padrão reforça o papel da salinidade como variável-chave na organização ecológica dos manguezais, influenciando diretamente a composição florística, a estrutura da vegetação e os padrões de zonificação das espécies ao longo do estuário (REBOUÇAS, 1999; CETESB, 2021).

Além disso, os resultados obtidos permitiram estabelecer critérios técnicos e ecologicamente consistentes para a indicação de uma possível zonificação dos ecossistemas de manguezais, considerando a resposta das espécies aos gradientes de salinidade, à influência das marés e às características do substrato. Embora derivados de uma análise em escala local, esses critérios apresentam potencial de aplicação em contextos semelhantes ao longo da costa nordeste brasileira, contribuindo para o entendimento dos padrões de distribuição dos manguezais e oferecendo subsídios científicos para ações de planejamento, manejo e conservação desses ecossistemas.

Embora as condições de campo tenham imposto limitações especialmente devido ao difícil acesso às áreas de mangue, impedindo a identificação das espécies próximas aos pontos de coleta, os resultados permitem indicar tendências na composição florística associadas à variação da salinidade.

Observou-se que espécies mais tolerantes, como *Rhizophora mangle*, *Rhizophora harrisonii* e *Conocarpus erectus*, tendem a predominar nas áreas mais externas e salinas (Zona Costeira – ZC), enquanto espécies menos tolerantes, como *Laguncularia racemosa*, parecem concentrar-se em zonas de transição e de menor salinidade (Zona de Maré – ZR).

Esse padrão sugere consonância com modelos clássicos de zonificação em manguezais (BRETHER, 1969; KJERFVE, 1987) e reforça a hipótese de que a salinidade atua como fator energético estruturante (ALONGI, 2020; FERREIRA *et al.*, 2021).

Adicionalmente, verificou-se que o aumento da salinidade impacta não apenas a distribuição, mas também características do crescimento vegetal, como altura e densidade florestal.

Ao comparar os resultados com estudos realizados em outros estados do Brasil, observa-se que os manguezais do Maranhão apresentam, em geral, árvores de maior porte (Tabela 8) o que sugere condições ambientais mais favoráveis ao crescimento, possivelmente relacionadas à elevada disponibilidade hídrica e o gradiente salino da região (SANTOS *et al.*, 2012; SOUZA FILHO, 2005).

Tabela 8 - Características das espécies de mangue predominantes no Brasil

Espécie Científica	Distribuição no Brasil	Altura Média (Norte/Nordeste)	Altura Média (Sul/Sudeste)	Tolerância à Salinidade	Ambiente Preferencial
<i>Rhizophora spp.</i>	Toda a costa – Amapá a Santa Catarina	10–25 m	4–10 m	Alta	Margens externas do mangue, solos lamosos, alta salinidade
<i>Avicennia spp.</i>	Amapá ao Paraná	5–15 m	3–8 m	Alta	Zona intermediária do manguezal, solos salinos compactos
<i>Laguncularia racemosa</i>	Amapá a Santa Catarina	6–15 m	4–8 m	Média	Borda interna do manguezal, áreas de transição, menor salinidade

<i>Conocarpus erectus</i>	Norte e Nordeste (menos comum)	3–8 m	3–5 m	Baixa	Áreas secas, bem drenadas, zonas de transição, salinidade baixa
---------------------------	-----------------------------------	-------	-------	-------	---

Fonte: Adaptado de SCHAEFFER-NOVELLI *et al.* (2000); ALONGI (2002); TOMLINSON (1986); LACERDA (1993); ICMBIO (2018).

Embora a salinidade tenha se revelado o fator-chave, outros parâmetros, como o pH e o teor de matéria orgânica, também apresentaram influência sobre a composição das comunidades de mangue. O pH, de acordo com Tomlinson (1986) e Odum (1988), afeta a distribuição das espécies, mas não de forma isolada.

A zonificação proposta por Kjerfve (1987) mostrou-se adequada para compreender essas interações e mapear a distribuição das espécies no estuário do Rio Preguiças.

Este estudo, portanto, contribui não apenas para o avanço científico sobre os mecanismos ambientais que moldam os manguezais, mas também para subsidiar estratégias de conservação e manejo desses ecossistemas frente às mudanças climáticas e pressões antrópicas.

Para complementar a caracterização da vegetação, a incorporação da camada GLAD Tree 2019, que fornece informações quantitativas sobre a altura do dossel florestal (em metros), variando de tons claros (<5 m) a tons escuros (>30 m).

A análise desta camada permitiu observar que a densidade e altura do manguezal são maiores nas áreas de transição entre água doce e salgada, indicando que essas zonas podem abrigar espécies de transição e maior diversidade estrutural, em consonância com os padrões sugeridos pelo gradiente de salinidade (figura 40).

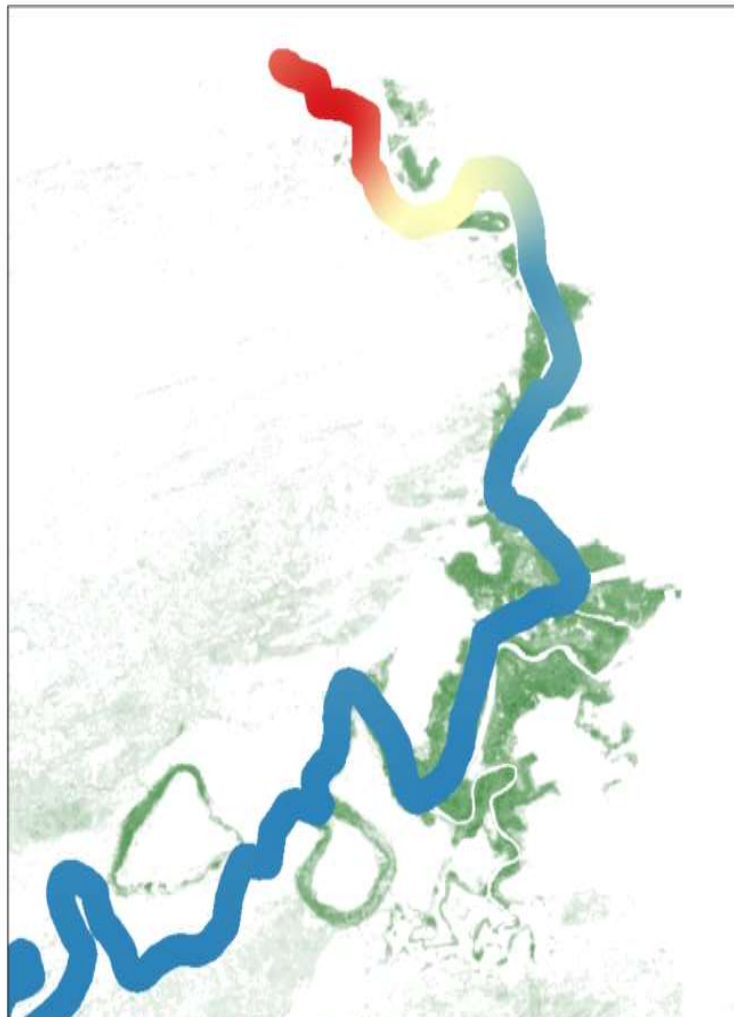
Nas áreas mais salinas (vermelho), a vegetação mostrou-se menos densa e de porte reduzido. Nas áreas de salinidade muito baixa (azul), mais densa. O pico de densidade na

zona intermediária indica um equilíbrio ideal de salinidade, favorecendo maior diversidade e biomassa das espécies.

O mapa confirma a tendência sugerida pelos dados de campo e pela interpolação da salinidade: a distribuição das espécies de mangue está fortemente associada ao gradiente salino, com a maior densidade concentrada em regiões de salinidade intermediária. (BALL, 1980; LUGO, 1980; SMITH, 1992; SANTOS *et al.*, 2012).

Dessa forma, a integração dos mapas de salinidade com a camada de altura do dossel fornece uma visão espacial robusta da dinâmica do estuário, permitindo inferir como fatores ambientais combinados — salinidade, posição ao longo do gradiente estuarina e altura do dossel — influenciam a estrutura e distribuição das comunidades de mangue no Rio Preguiças.

Figura 40 - Caracterização da vegetação.



9 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

No contexto da análise apresentada, algumas limitações metodológicas e operacionais devem ser consideradas:

1. **Limitação de dados secundários:** A região de Barreirinhas (MA) ainda carece de uma base de dados consolidada sobre aspectos climáticos, florísticos e ecológicos, especialmente no que se refere às espécies de mangue e à caracterização climática local. A escassez de estudos científicos específicos e de informações sistematizadas limita a profundidade das análises comparativas e o embasamento teórico regional.
2. **Validação em campo:** A validação empírica enfrentou obstáculos devido à dificuldade de acesso a determinadas áreas de manguezal. A região apresenta alta densidade vegetal, localização ribeirinha e solo lodoso e instável, o que dificultou a realização de atividades como a coleta de amostras de espécies vegetais, análise da salinidade do solo e instalação de parcelas para monitoramento. Essas limitações comprometeram, em parte, a representatividade e a abrangência da amostragem *in situ*.

9.1 Sugestão para trabalhos futuros

Os Trabalhos futuros podem se beneficiar da utilização de tecnologias como vants para mapeamento aéreo e identificação de alvos de campo, além do uso de GPS de alta precisão, leitores portáteis de salinidade e trenas digitais. Além disso, a realização de expedições interdisciplinares de equipes juntamente com pesquisadores locais pode aumentar a eficiência do trabalho em áreas de difícil acesso.

Segundo Schaeffer-Novelli et al. (2000), os manguezais apresentam condições naturais que impõem desafios metodológicos significativos às pesquisas de campo, como alagamentos periódicos, solos instáveis e variações microambientais intensas. Portanto, o reconhecimento dessas limitações e o planejamento prévio são fundamentais para garantir a qualidade dos dados obtidos.

10 REFERÊNCIAS

- ALONGI, D. M.; CHRISTOFFERSON, P.; TIRONI, L. The influence of forest type on microbial–nutrient relationships in tropical mangrove sediments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v. 126, n. 2, p. 157–176, 1989.
- ALONGI, D. M. The energetics of mangrove forests. Cham: Springer, 2020.
- BERGER, U. Growth patterns of the mangrove species *Rhizophora mangle* and *Avicennia germinans* at the Pacific coast of Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, v. 44, n. 1, p. 45–57, 1996.
- BIANCHI, T. S. et al. Global Mangrove Watch: Monitoring mangrove extent and changes through satellite data. *Remote Sensing of Environment*, v. 239, 2020.
- BRETELIER, R. J. The ecology of mangrove trees in Surinam. *Natural Resources Research*, v. 11, p. 1–69, 1969.
- BUNTING, P. et al. The Global Mangrove Watch—a new 2010 baseline of mangrove extent. *Remote Sensing*, v. 10, n. 10, p. 1669, 2018.
- BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. Principles of Geographical Information Systems. Oxford: Oxford University Press, 1998.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C. Fundamentos de Sistemas de Informação Geográfica. 1. ed. São José dos Campos: INPE, 2001.
- CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo. São Paulo: CETESB, 2021.
- CINTRÓN, G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Methods for studying mangrove structure. In: SNEDAKER, S. C.; SNEDAKER, J. G. (Org.). *The mangrove ecosystem: research methods*. Paris: UNESCO, 1984. p. 91–113.
- COSTA, M. B. F. et al. Hydrological variability and salinity regimes in tropical estuaries: implications for mangrove resilience. *Ocean & Coastal Management*, v. 236, p. 106473, 2023.
- CPRM. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, estado do

Maranhão: relatório diagnóstico do município de Barreirinhas. CORREIA FILHO, F. L. (Org.). Teresina: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2011.

CUNHA-LIGNON, M. et al. Mangrove Forest sand sedimentary processes on the South of Coast of São Paulo State (Brazil). *Journal of Coastal Research*, p. 405–409, 2009.

DAY, J. W.; CRUMP, B. C.; KEMP, W. M.; YÁÑEZ-ARANCIBIA, A. *Estuarine ecology*. 2. ed. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2019.

DUKE, N. C. Mangrove Floristics and Biogeography Revisited: Further deductions from biodiversity hot spots, ancestral discontinuities, and common evolutionary processes. *Hydrobiologia*, v. 803, p. 7–27, 2017.

EL-ROBRINI, M. et al. Maranhão. In: MUEHE, D. (Org.). *Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro*. Brasília: MMA, 2006. p. 87–130.

FEITOSA, A. C.; SOUZA, U. D. V. Evolução geomorfológica da paisagem costeira leste do Maranhão. In: FEITOSA, A. C. (Org.). *Lençóis Maranhenses: relação homem-ambiente na comunidade Ponta do Mangue, Barreirinhas – Maranhão*. São Luís: EDUFMA, 2015. p. 198.

FERREIRA, M. C.; CUNHA, L. M. Aplicações do sensoriamento remoto na análise de ecossistemas costeiros. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 11, n. 6, p. 1764–1778, 2018.

FERREIRA, A. C.; LACERDA, L. D.; BORGES, R. G. Species distribution and ecological zonation of mangroves along the Brazilian semi-arid coast. *Wetlands Ecology and Management*, v. 29, p. 809–823, 2021.

FORZZA, R. C. et al. *Catálogo de Plantas e Fungos do Brasil*. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Volumes 1 e 2, 2010.

GILMAN, E. et al. Threats to mangroves from climate change and adaptation options: a review. *Aquatic Botany*, v. 89, n. 2, p. 237–250, 2008.

GILMAN, E.; WATSON, R. A. Recent ecological and socio-economic change in a remote atoll fishery: Fakaofu Atoll, Tokelau. *Pacific Conservation Biology*, v. 5, p. 304–313, 1999.

- GILMAN, E.; ELLISON, J.; COLEMAN, R. Assessment of mangrove response to projected relative sea-level rise and recent historical reconstruction of shoreline position. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 124, p. 105–130, 2007.
- GIRI, C.; LONG, J.; PENGRA, B. Recent global status, distribution and trends of mangrove forests. *Remote Sensing*, v. 15, n. 4, p. 1032, 2023.
- HAMITON, L. S.; SNEDAKER, S. C. Handbook for mangrove area management. UNEP & East-West Center, 1984.
- HERZ, R. Características gerais dos manguezais brasileiros. In: LACERDA, L. D. et al. (Org.). *Conservação dos manguezais do Brasil*. Brasília: MMA, 1987. p. 5–16.
- HEUMANN, B. W. Satellite remote sensing of mangrove forests: recent advances and future opportunities. *Progress in Physical Geography*, v. 35, n. 1, p. 87–108, 2011.
- HOWARD, R. J. Ecology of tidal freshwater forested wetlands of the southeastern United States. *Ecological Studies*, v. 81, p. 123–143, 1989.
- Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. (Org.). *Atlas dos Manguezais do Brasil*. 1ª ed. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, p. 15-29, 2018.
- JESUS, V. C. et al. *Análise da geomorfologia fluvial da bacia do Rio Preguiças: padrões de drenagem na região dos Lençóis Maranhenses*, 2021.
- LEAL, M.; SPALDING, M. (Org.). *The State of the World's Mangroves 2022*. Gland: Global Mangrove Alliance, 2022.
- KUMAR, T. et al. Application of geospatial tools for mangrove studies: A review. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 23, 100568, 2021.
- KJERFVE, B.; LACERDA, L. D. Mangroves of Brazil. In: LACERDA, L. D. (ed.). *Conservation and sustainable utilization of mangrove forests in Latin America and Africa Regions*. Okinawa: ISME, 1993. p. 245–272.
- LACERDA, L. D. Manguezais florestas de beira-mar. *Ciência Hoje*, v. 3, p. 12–29, 1984.
- LACERDA, L. D. de; FERREIRA, A. C.; BORGES, R.; WARD, R. *Desafios para os*

manguezais da Costa Equatorial Semiárida do Brasil no Antropoceno. *Cambridge Prisms: Futuros Costeiros*, v. 2, e17, 2024.

LIMA, J. R. S. et al. Planejamento ambiental e SIG: potencialidades para a conservação em zonas costeiras. *Caderno de Geografia*, v. 31, n. 3, p. 588–607, 2021.

LIMA, M. G. B.; SANTOS, R. A.; ALMEIDA, L. C. S. Avaliação da qualidade da água com uso de multiparâmetro em bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 21, n. 2, p. 321–332, 2016.

LINARES, A. P. M. et al. The mangrove. [Nome da Revista ou Livro], [páginas ou volume].

LUGO, A. E.; SNEDAKER, S. C. The ecology of mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 5, p. 39–64, 1974.

MACNAE, W. A general account of the fauna and flora of mangrove swamps and forests in the Indo-West-Pacific region. *Advances in Marine Biology*, v. 6, p. 73–270, 1968.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomas – Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. 2021. Disponível em: <https://mapbiomas.org>.

MARANHÃO. Governo do Estado. Secretaria de Estado de Programas Especiais. Zoneamento Ecológico-Econômico do Maranhão: Diagnóstico e Prognóstico. São Luís: Governo do Estado do Maranhão, 2021.

MARTINS, S. E. et al. Manguezais do Brasil: diversidade, dinâmica e conservação. *Estudos Avançados*, v. 25, n. 71, p. 143–162, 2011.

MACHADO, A. L.; SANTOS, R. D.; SILVA, C. F. Geotecnologias aplicadas ao planejamento ambiental. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 67, n. 3, p. 567–580, 2015.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. Princípios de oceanografia física de estuários. 2. ed. São Paulo: EDUSP, 2021.

NETELER, M. et al. GRASS GIS: A multi-purpose open source GIS. *Environmental Modelling & Software*, v. 31, p. 124–130, 2012.

NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações. 3. ed. São José dos

Campos: INPE, 2010.

ODUM, E. P. Ecologia. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1988. 434 p.

ODUM, W. E. Comparative ecology of tidal freshwater and salt marshes. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 19, p. 147–176, 1988.

PARIDA, A. K.; JHA, B. Salt tolerance mechanisms in mangroves: a review. *Trees*, v. 24, p. 199–217, 2010.

POTAPOV, P. et al. Global maps of height and biomass of forest canopy derived from GEDI and Landsat. *Scientific Data*, v. 8, n. 1, 2021.

Patrick C. A importância ecológica das florestas de mangue. *J Oceanogr Mar Res.* 12:298, 2024.

REBOUÇAS, A. C. Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 2. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 1999.

ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. NASA Special Publication, 351, p. 309, 1974.

SAENGER, P.; HEGERL, E. J.; DAVIE, J. D. S. Global Status of Mangrove Ecosystems. Gland: IUCN, 1983.

SANTOS, D. A.; ALMEIDA, C. M.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Dinâmica espaço-temporal dos manguezais da Baía de Sepetiba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 5, n. 2, p. 338–353, 2012.

SANTOS, J S dos. Avaliação espaço-temporal dos manguezais no entorno do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses (Brasil). 2022. 133 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2022. Disponível em: <https://tedebc.ufma.br/jspui/handle/tede/4062>. Acesso em: 14 jul. 2025.

SANTOS, M C F V dos. Considerações sobre a ocorrência de *Rhizophora harrisonii* Leechman e *Rhizophora racemosa* G. F. W. Meyer, no litoral do estado do Maranhão, Brasil. *Boletim do Laboratório de Hidrobiologia*, São Luís, v. 7, p. 71–91, 1986.

SANTOS, P. H. R.; OLIVEIRA, R. A. Sistemas de informação geográfica no

- monitoramento ambiental. *Revista de Geociências Aplicadas*, v. 12, n. 2, p. 45–60, 2019.
- SASEKUMAR, A. et al. Mangroves as a habitat for fish and prawns. *Hydrobiologia*, v. 247, n. 1, p. 195–207, 1992.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. *Manguezal: ecossistema entre a terra e o mar*. São Paulo: Caribbean Ecological Research, 1995.
- SCHEITTINI, C. A. F.; TRAVASSOS, R. K.; SILVA, M. P. Dynamics of a tropical estuarine system in Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 214, p. 74–86, 2018.
- SHEPARD, D. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. *Proceedings of the 1968 ACM National Conference*, p. 517–524.
- SILVA, T. M. et al. Geotecnologias no mapeamento de ecossistemas costeiros. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, v. 55, p. 132–148, 2020.
- SMITH III, T. J. Forest Structure. In: ROBERTSON, A. I.; ALONGI, D. M. (Eds.). *Tropical mangrove ecosystems*. Washington, DC: AGU, 1992. p. 101–136.
- SOARES, M. L. G. Estrutura vegetal e grau de perturbação dos manguezais da Lagoa da Tijuca. *Revista Brasileira de Biologia*, v. 59, n. 3, p. 503–515, 1999.
- SOUZA, U. D. V. et al. Loss and Gain in Mangrove Surrounding the Lençóis Maranhense National Park. *Journal of Environmental Studies*, v. 28, n. 1, p. 1–12, 2023.
- SOUZA FILHO, P. W. M. et al. Stratigraphic signatures of climatic and relative sea-level changes in mangrove deposits from the Bragança Peninsula. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 239, p. 387–407, 2006.
- SPALDING, M. et al. *World Atlas of Mangroves*. London: Earthscan, 2010.
- TOMLINSON, P. B. *The Botany of Mangroves*. Cambridge: Cambridge University Press, 1986.
- TWILLEY, R. R. Properties of mangrove ecosystems and their relation to the energy signature of coastal environments. In: ZEVENBERGEN, L. W. (ed.). *Energy signatures of estuarine and coastal environments*. Springer, 1995. p. 305–346. TWILLEY, R. R.; DAY, J. W. The productivity and nutrient cycling of mangrove ecosystems. In: YÁÑEZ-

ARANCIBIA, A.; LARA-DOMÍNGUEZ, A. L. (eds.). *Ecosistemas de manglar en América Tropical*. Xalapa, México: Instituto de Ecología, 1999. p. 127–152.

USGS. Earth Explorer. U.S. Geological Survey. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov>

WOLANSKI, E. *Estuarine Ecohydrology*. Amsterdam: Elsevier, 2007.

VALENTINI, C. M.; MONTEIRO, C. E. R. Estuários. In: SEELIGER, U.; KJERFVE, B. (Org.). *Ecossistemas costeiros tropicais do Brasil*. Rio de Janeiro: Editora da UFRGS, 2000. p. 7–14.

YAMAGATA, Y.; SZLAVIK, J. *GIS-Based Studies in the Humanities and Social Sciences*. Boca Raton: CRC Press, 2005.

XAVIER, L. Y. et al. Spatio temporal variability of estuarine salinity and implications for mangrove distribution. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 284, 108300, 2023.

APÊNDICES

11 Mapas, figuras e materiais complementares da tese estão disponíveis em versões com melhor definição e resolução.

- <https://drive.google.com/file/d/13vWDLmjpc3AnFk2J8u9XjIAQ23wAJzIA/view?usp=drivesdk>