

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

MAIANE RODRIGUES DO NASCIMENTO

**INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE CLIMÁTICA SOBRE A LINHA DE  
COSTA , RISCOS E VULNERABILIDADES DO LITORAL DE MACEIÓ,  
ALAGOAS**

MACEIÓ – AL

2023

**MAIANE RODRIGUES DO NASCIMENTO**

**INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE CLIMÁTICA SOBRE A LINHA DE  
COSTA, RISCOS E VULNERABILIDADES DO LITORAL DE MACEIÓ,  
ALAGOAS**

Trabalho de Dissertação apresentado como requisito para obtenção de aprovação no Mestrado Acadêmico do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, do Instituto de Ciências Atmosféricas, da Universidade Federal de Alagoas.

Orientadora: Professora Dra. Djane Fonseca da Silva.

Co-orientador: Professor Dr. Henrique Ravi Rocha de Carvalho Almeida.

MACEIÓ – AL

2023

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**  
Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

N244i Nascimento, Maiane Rodrigues do.  
Influência da variabilidade climática sobre a linha de costa, riscos e vulnerabilidade do litoral de Maceió, Alagoas / Maiane Rodrigues do Nascimento. – 2023.  
143 f. : il. color.

Orientador: Djane Fonseca da Silva.  
Coorientador: Henrique Ravi Rocha de Carvalho Almeida.  
Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Maceió, 2023.

Bibliografia: f. 123-143.

1. Variabilidade climática. 2. Ondaletas. 3. Vulnerabilidade. 4. Erosão. I. Título.

CDU: 551.583



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**  
**COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

**CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO**

**N.º de ordem: MET-UFAL-MS-200.**

***“INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE CLIMÁTICA SOBRE A LINHA DE COSTA, RISCOS E  
VULNERABILIDADES DO LITORAL DE MACEIÓ, ALAGOAS.”***

**MAIANE RODRIGUES DO NASCIMENTO**

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Aprovado pela Banca Examinadora composta por:

Documento assinado digitalmente  
 DJANE FONSECA DA SILVA  
Data: 25/04/2023 08:30:39-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Profa. Dra. Djane Fonseca da Silva**  
**(Orientadora)**

Documento assinado digitalmente  
 HENRIQUE RAVI ROCHA DE CARVALHO ALM  
Data: 26/04/2023 08:13:18-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Henrique Ravi Rocha de Carvalho Almeida**  
**(Coorientador)**

Documento assinado digitalmente  
 HELIOFABIO BARROS GOMES  
Data: 25/04/2023 08:54:59-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Heliofabio Barros Gomes**  
**(Membro Interno)**

Documento assinado digitalmente  
 RANYERE SILVA NOBREGA  
Data: 26/04/2023 13:16:23-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Ranyére Silva Nóbrega**  
**(Membro Externo)**

**ABRIL/2023**

## DEDICATÓRIA

Dedico primeiramente a Deus essa grandiosa vitória, aos meus avós Mariana Rodrigues e Francisco Leres *in memoriam*, responsáveis por me criarem e moldarem o meu caráter, obrigada por me ensinarem que nunca devo desistir, a eles meu amor eterno.

A minha Mãe Maria Rodrigues por todo seu amor, e sempre acreditar em mim se sacrificando imensamente, essa vitória também é sua.

A minha irmã gêmea Mayara Rodrigues, a minha metade da alma dada por Deus, ao meu irmão Luiz Fernando, minha referência de apoio incondicional e do que deve ser a verdadeira irmandade.

Ao meu cachorro Ablon, que nutre todos os dias o meu ser com o que de melhor existe neste mundo, o amor verdadeiro.

A minha cadela Gena *in memoriam*, que foi e sempre será extremamente amada, sua existência durante essa fase foi fundamental na minha vida, minha luz mais brilhante.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tudo, ao Senhor toda a honra e Glória para todo sempre. A minha família, obrigada a minha mãe Maria Rodrigues, por se dedicar todos os dias para meu futuro, aos meus irmãos Mayara Rodrigues e Luiz Fernando, pelo apoio e incentivo e amor, ao meu padrasto Francisco (Chico) por se orgulhar e nos proteger estando contente com nossas vitórias, vocês foram fundamentais para essa realização, a vocês minha eterna gratidão.

Sou grata os meus tios Raimundo Nonato, Jose Raimundo e José Maria, sempre ajudando no que puderam para um futuro melhor, obrigada pelo orgulho extremo. Agradeço as minhas tias Maria e Genilsa, sou imensamente grata por todo carinho, e serem essenciais na minha vida. Agradeço aos meus primos, Kauê, Kauã, Kauane, Andréia e Adryan pelas palavras de alegria e companheirismo sempre.

Agradeço imensuravelmente ao meu grande amigo Valdenir Moraes que foi o veículo para a entrada nesse mestrado, seu incentivo foi a ferramenta principal, minha eterna gratidão e admiração pelo ser humano incrível e batalhador que és.

As minhas grandes companheiras do mestrado, amigas que Deus me deu, obrigada a Nathalia Bissaque, Flávia Franca e Mariana, agradeço por tornarem essa luta mais leve, nossa ligação foi uma benção, as levarei para o resto da vida.

Sou grata a todos meus amigos inenarráveis e maravilhosos, em especial a Raul Fortes e Keila de Freitas, obrigada pela preocupação, palavras de incentivo e orgulho. Agradeço imensamente a todos os amigos aos quais não foram citados.

Agradeço grandiosamente a minha orientadora Djane Fonseca da Silva, por todos os seus valiosos ensinamentos, compreensão sem igual, sua atuação foi de fundamental importância para a realização dessa pesquisa, obrigada pela dedicação admirável. Gratidão ao meu co-orientador Henrique Ravi Rocha de Carvalho Almeida.

Sou grata aos professores do Instituto de Ciências Atmosféricas, por serem fundamentais para o meu aprendizado, em especial a Fabricio, Glauber, Luciene e Hélio Fabio. Gratidão ao secretário do mestrado Rafael, do ICAT.

Agradeço a FAPEAL pela oportunidade de bolsa cota CAPES, tal incentivo ajudou na árdua jornada ao longo de todo o curso do mestrado. Sou grata a todos que participaram direta e indiretamente para a realização deste trabalho e o caminho percorrido por mim ao longo desses dois anos.

*Mas graças a Deus que sempre nos conduz vitoriosamente em Cristo e por nosso intermédio difunde em todo lugar a fragrância do seu conhecimento*

**2 Coríntios 2:14**

## RESUMO

A dissertação refere-se à investigação da influência da variabilidade climática no litoral de Maceió e em como elas podem estar associadas a vulnerabilidade da área estudada. Com o passar dos anos várias dessas mudanças vem sendo acompanhadas, e descobrir quais variáveis mais tendem a desencadear impactos negativos se torna essencial atualmente. Foram utilizados dados das variáveis climáticas de: Precipitação total mensal, Temperatura média compensada mensal, Velocidade média do vento, e Nível médio de marés. O teste de Mann-Kendall foi utilizado para analisar e identificar tendências, este que por sua vez é indicado pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM) para estudos que trabalham com tendências com séries temporais. O teste de significância T-Student foi aplicado para indicar se os valores das tendências obtidas pelo teste de Mann-Kendall possuem significância estatística. As séries temporais das variáveis meteorológicas de Maceió foram submetidas à Análise de Ondaletas (AO) com o objetivo de identificar as escalas temporais presentes nas séries e isso levará à identificação dos sistemas ou fenômenos que ocorrem ou influenciam as variáveis locais. Desse modo, fica mais claro quais fenômenos climáticos atuam sobre as variáveis e assim, induz interferência climática sobre o local. Para a determinação da dinâmica posicional da linha de costa do litoral do município de Maceió foi adotado a ferramenta gratuita de código aberto, denominada de *Coastal Analyst System from Space Imagery Engine - CASSIE*. Posteriormente à essa etapa os dados quantitativos referentes a ocorrência de processos erosivos foram refinados para uma melhor organização dos resultados em tabelas. A elaboração dos layouts foi realizada no *software* livre Qgis versão 3.22 *Białowieża* para focalizar a área de estudo. Os resultados apontaram processos erosivos encontrados, no litoral de Maceió, com áreas acrescidas, criticamente erodidas, bem como estáveis. Em diversos setores do litoral, realizou-se uma comparação visual de imagem de satélite do ano de 2002 e outra de 2021, e apontou-se o setor 3, região da praia Pajuçara com o trecho mais erodido, o qual foi identificado pelo método LRR com  $-59,6100$  m/ano, e o mesmo trecho mostrou nos gráficos das tendências que a variabilidade climática no litoral exerceu influência sobre variáveis meteorológicas locais e conseqüentemente, sobre suas praias. Com o emprego das imagens da visita *in loco* notou-se que nesse setor, as tendências (em toda série) já calculadas de precipitação de  $0,5546$  mm, Temperatura  $0,9891$  °C, Vento  $-0,0123$  m/s, e Níveis de Marés  $1,2677$  cm, indicaram o potencial que essas variáveis exerceram para modificar as praias do litoral de Maceió, em alguns casos evidenciaram situação de vulnerabilidade e riscos associados à zona costeira. Ao elencar

os impactos encontrados mediante à ocupação das praias, foram sugeridas medidas mitigadoras a fim de amenizar e/ou reduzir os riscos causados pelas erosões e acréscimos das praias. A pesquisa teve intuito de estimular a importância socioambiental das zonas costeiras e sua preservação mediante uso antrópico e frente à variabilidade climática, e/ou mudanças climáticas, e desenvolvendo auxílio científico para a tomada de decisão do poder público em razão dos impactos ambientais no litoral de Maceió.

**Palavras-Chave:** Fenômenos climáticos, Tendência climática, Análises de Ondaletas, Erosão, CASSIE.

## ABSTRACT

The dissertation refers to the investigation of the influence of climate variability on the coast of Maceió and how they can be associated with the vulnerability of the studied area. Over the years, several of these changes have been monitored, and discovering which variables tend to trigger negative impacts is currently essential. Data from the climatic variables of: Total monthly precipitation, Average monthly compensated temperature, Average wind speed, and Average tidal level were used. The Mann-Kendall test was used to analyze and identify trends, which in turn is indicated by the World Meteorological Organization (WMO) for studies that work with trends with time series. The T-Student significance test was applied to indicate whether the trend values obtained by the Mann-Kendall test have statistical significance. The temporal series of the meteorological variables of Maceió were submitted to Wavelet Analysis (WA) with the objective of identifying the temporal scales present in the series and this was lead to the identification of the systems or phenomena that occur or influence the local variables. In this way, it becomes clearer which climatic phenomena act on the variables and thus induces climatic interference on the site. For the determination of the positional dynamics of the coastline of the coast of the city of Maceió, a free open source tool called Coastal Analyst System from Space Imagery Engine - CASSIE was adopted. After this stage, the quantitative data referring to the occurrence of erosion processes were refined for a better organization of the results in tables. The elaboration of the layouts was carried out in the free software Qgis version 3.22 *Białowieża* to focus on the study area. The results showed erosive processes found on the coast of Maceió, with increased areas, critically eroded, as well as stable. In several sectors of the coast, a visual comparison of satellite images from 2002 and another from 2021 was carried out, and sector 3, the region of Pajuçara beach with the most eroded stretch, was identified, which was identified by the LRR method with -59.6100 m/year, and the same section showed in the trend graphs that the climate variability on the coast had an influence on local meteorological variables and, consequently, on its beaches. With the use of images from the on-site visit, it was noted that in this sector, the already calculated trends of precipitation of 0.5546 mm, Temperature 0.9891 °C, Wind -0.0123 m/s, and Tide Levels 1, 2677 cm, indicated the potential that these variables exercised to modify the beaches on the coast of Maceió, in some cases they showed a situation of vulnerability and risks associated with the coastal zone. When listing the impacts found through the occupation of the beaches, mitigating

measures were suggested in order to mitigate and/or reduce the risks caused by erosion and additions to the beaches. The research aimed to stimulate the socio-environmental importance of coastal zones and their preservation through anthropic use and in the face of climate variability, and/or climate change, and developing scientific support for decision-making by public authorities due to the environmental impacts on the coast of Maceio.

**Key-words:** Climatic phenomena, Climate trend, Wavelets Analysis, Erosion, CASSIE.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Perfil generalizado de área de praia, apresentando suas divisões e os principais elementos morfológicos.....	39
<b>Figura 2.</b> Localização da área de estudo, Litoral de Maceió -AL .....	53
<b>Figura 3.</b> Sistemas meteorológicos que provocam chuvas na região Nordeste. A área em verde mostra a localização do Estado de Alagoas. ....	54
<b>Figura 4.</b> Fluxograma de etapas dos processos de usuário CASSIE .....	63
<b>Figura 5.</b> Tendência anual de precipitação para o período de 1991 a 2021 em Maceió (estação INMET) .....	67
<b>Figura 6.</b> Tendência anual de precipitação para o período de 2015 a 2021 de Cruz das Almas região litorânea de Maceió .....	70
<b>Figura 7.</b> Tendência anual de precipitação para o período de 2015 a 2021 no bairro Ipioca região litorânea de Maceió .....	71
<b>Figura 8.</b> Tendência anual de temperatura para o período de 1991 a 2021 em Maceió	72
<b>Figura 9.</b> Tendência anual de velocidade do vento para o período de 1991 a 2021 em Maceió .....	73
<b>Figura 10.</b> Tendência anual de nível de marés região litorânea de Maceió .....	75
<b>Figura 11.</b> (a) Índice de precipitação normalizado para Maceió (1991 a 2021) pelo desvio padrão; (b) Espectro de energia (EPW) local para Precipitação. Contornos amarelados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante e (c) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%. ....	77
<b>Figura 12.</b> (a) Índice de precipitação padronizada para o bairro de Cruz da Almas (2015 a 2021) normalizado pelo desvio padrão; (b) Espectro de energia (EPW) local para Precipitação. Contornos amarelados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante e (c) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%	79
<b>Figura 13.</b> (a) Índice de precipitação padronizada para o bairro de Ipioca (2015 a 2021) normalizado pelo desvio padrão; (b) Espectro de energia (EPW) local para Precipitação. Contornos amarelados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda	

é importante e (c) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.....	81
<b>Figura 14.</b> (a) Índice de temperatura para Maceió (1991 a 2021) normalizado pelo desvio padrão; (b) Espectro de energia (EPW) local para Precipitação. Contornos amarelados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante e (c) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95% .....	82
<b>Figura 15.</b> (a) Índice de velocidade do vento para Maceió (1991 a 2007) normalizado pelo desvio padrão; (b) Espectro de energia (EPW) local para Precipitação. Contornos amarelados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante e (c) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95% .....	84
<b>Figura 16.</b> (a) Índice de nível de marés para Maceió (1991 a 2021) normalizado pelo desvio padrão; (b) Espectro de energia (EPW) local para Precipitação. Contornos amarelados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante e (c) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95% .....	85
<b>Figura 17.</b> Setor 1 com todos transectos e processos encontrados por meio da ferramenta CASSIE .....	88
<b>Figura 18.</b> Evolução da linha de costa em trechos vulneráveis do setor 1 .....	91
<b>Figura 19.</b> Setor 2 e 3 com todos transectos e processos encontrados por meio da ferramenta CASSIE .....	92
<b>Figura 20.</b> Evolução da linha de costa em trechos vulneráveis do setor 2 .....	95
<b>Figura 21.</b> Evolução da linha de costa em trechos vulneráveis do setor 3 .....	98
<b>Figura 22.</b> Setor 4 com todos transectos e processos encontrados por meio da ferramenta CASSIE .....	99
<b>Figura 23.</b> Evolução da linha de costa em trechos vulneráveis do setor 4 .....	102
<b>Figura 24.</b> Setor 5 com todos transectos e processos encontrados por meio da ferramenta CASSIE .....	103
<b>Figura 25.</b> Evolução da linha de costa em trechos vulneráveis do setor 5 .....	106

<b>Figura 26.</b> (a) Variação da linha de costa de 2002 a 2021 (b) Tendência de precipitação para Maceió 1991 a 2021 (c) Tendência de temperatura 1991 a 2021 (d) Tendência de velocidade do vento (f) Tendência de nível de marés .....	110
<b>Figura 27.</b> Imagens terrestres e aéreas do setor 1 .....	111
<b>Figura 28.</b> Imagens terrestres e aéreas do setor 2 .....	112
<b>Figura 29.</b> Imagens terrestres e aéreas do setor 3 .....	113
<b>Figura 30.</b> Imagens terrestres e aéreas do setor 4 .....	114
<b>Figura 31.</b> Imagens terrestres e aéreas do setor 5 .....	115

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Imagens de satélite disponíveis no GEE que podem ser usadas no CASSIE	62
<b>Tabela 2.</b> Tendências nas séries das variáveis meteorológicas.....	68
<b>Tabela 3.</b> Setorização e distribuição espacial das taxas de recuo no litoral de Maceió.	87
<b>Tabela 4.</b> Médias dos valores da variação da linha de costa no setor 1 obtidos por meio do método da taxa do ponto de terminação (EPR) e taxa de regressão linear (LRR) em metros .....	90
<b>Tabela 5.</b> Médias dos valores da variação da linha de costa no setor 2 obtidos por meio do método da taxa do ponto de terminação (EPR) e taxa de regressão linear (LRR) em metros .....	94
<b>Tabela 6.</b> Médias dos valores da variação da linha de costa no setor 3 obtidos por meio do método da taxa do ponto de terminação (EPR) e taxa de regressão linear (LRR) em metros .....	97
<b>Tabela 7.</b> Médias dos valores da variação da linha de costa no setor 4 obtidos por meio do método da taxa do ponto de terminação (EPR) e taxa de regressão linear (LRR) em metros .....	101
<b>Tabela 8.</b> Médias dos valores da variação da linha de costa no setor 5 obtidos por meio do método da taxa do ponto de terminação (EPR) e taxa de regressão linear (LRR) em metros .....	105
<b>Tabela 9.</b> Variáveis meteorológicas e evolução dos processos erosivos no litoral de Maceió.....	107
<b>Tabela 10.</b> Divisão do litoral de Maceió, uso da área, impactos ambientais e medidas mitigatórias .....	117

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AO	Análise de Ondaletas
CASSIE	Coastal Analyst System from Space Imagery Engine
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DAS	Digital Analyses System
DSAS	Digital Shoreline Analysis System
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
DOLs	Ondulatórios de Leste
DSAS	Digital Shoreline Analysis System
EPR	End Point Rate
GEE	Gases do Efeito Estufa
GEE	Google Earth Engine
GUI	Interface Gráfica De Usuário
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IOC	Comissão Oceanográfica Internacional
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IPT-	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LDC	Delimitação da Linha de Costa
LRR	Método de regressão linear
NDWI	Índice de Diferença Normalizada
NDWI	Normalized Difference Water Index
NMM	Nível Médio do Mar
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PDI	Processamento Digital de Imagens
PNLM	Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses
PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
RI	Região de Interesse
SF	Sistemas Frontais

SPU	Secretaria do Patrimônio da União
SIGs	Sistemas de Informações Geográficas
SMC	Sistema de Modelagem Costeira
SPU	Secretaria do Patrimônio da União
UCM	Unidades de Conservação Costeiras e Marinhas
UCs	Unidades de Conservações
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
VCAN	Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>1.1</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	19
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	19
<b>1.1.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	19
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	20
<b>2.1</b>	<b>Mudanças climáticas globais</b> .....	20
<b>2.1.1</b>	Impactos das mudanças climáticas em cidades litorâneas.....	24
<b>2.1.2</b>	Sistemas meteorológicos e fenômenos climatológicos que influenciam Alagoas .....	28
<b>2.1.3</b>	Cenários futuros ou previsões Climáticas .....	32
<b>2.2.1</b>	Risco e Vulnerabilidade costeira .....	34
<b>2.3</b>	<b>Sistema praial</b> .....	36
<b>2.3.1</b>	Feições morfológicas de praias .....	37
<b>2.3.2</b>	Processos sedimentares praias .....	41
<b>2.4</b>	<b>Erosão e Progradação praial</b> .....	42
<b>2.5</b>	<b>As consequências das mudanças climáticas sobre a costa litorânea</b> .....	44
<b>2.6</b>	<b>Gerenciamento costeiro</b> .....	46
<b>2.7</b>	<b>Sistemas Digitais de Análise de Linha de Costa</b> .....	48
<b>2.7.1</b>	Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil) .....	49
<b>2.7.2</b>	Digital Analyses System (DAS) .....	50
<b>2.7.3</b>	End Point Rate (EPR) .....	51
<b>2.7.4</b>	Coastal Analyst System from Space Imagery Engine - CASSIE .....	52
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	53
<b>3.1</b>	<b>Área de estudo</b> .....	53
<b>3.2</b>	<b>Dados Meteorológicos</b> .....	56
<b>3.3</b>	<b>Análise de tendências</b> .....	56
<b>3.4</b>	<b>Teste de Significância de T-Student</b> .....	59
<b>3.5</b>	<b>Análise de Ondeletas/Ondaletas ou Wavelet (AO)</b> .....	60
<b>3.6</b>	<b>Análise posicional da linha de costa</b> .....	61
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	67
<b>4.1</b>	<b>Tendências de Mann Kendall para as variáveis meteorológicas</b> .....	67
<b>4.2</b>	<b>Análise de Ondaletas para identificação de influências climáticas</b> .....	75
<b>4.3</b>	<b>Avaliação da taxa de variação da linha de costa do litoral de Maceió</b> .....	86
<b>4.4</b>	<b>Avaliação e mitigação dos impactos ambientais</b> .....	115
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	121
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	123

## 1 INTRODUÇÃO

A zona costeira é um ambiente de intensa dinâmica natural. É dominada por vários agentes modeladores, tais como ventos, ondas, marés, correntes de deriva litorânea, variações do nível do mar e obstáculos que retêm sedimentos. É um ambiente ainda parcialmente conhecido pelo ser humano. Seu valor ambiental, sua alta dinâmica morfológica e sedimentar, responsável pelo amortecimento da energia hidráulica e a importância socioeconômica que as praias arenosas apresentam, tem motivado diversas pesquisas em busca de um melhor conhecimento, utilização racional e preservação destes ambientes (QUINAMO, 2013).

As praias tem o potencial de serem um dos primeiros ambientes a sofrerem as consequências das mudanças climáticas, tais como a combinação da elevação do nível do mar com eventos climáticos extremos mais frequentes e rigorosos. As iniciativas de gestão deste espaço não correspondem ao crescente uso, aos desafios eminentes das mudanças climáticas, à necessidade de acesso livre por todos nem à necessidade de conservação da biodiversidade e da livre ação da dinâmica costeira (SCHERER, 2013).

Segundo Muehe *et al.* (2010), a região costeira do país possui distintas particularidades evidenciando assim ecossistemas diversificados, graças a esse aspecto que influencia diretamente em sua estrutura dinâmica, e que por sua vez são classificadas de acordo com a atuação de agentes dinâmicos em sua geomorfologia, aliados a outros fatores como características meteorológicas e também a oceanográfica respectiva de cada região. De acordo com tais condições consequentemente cada região irá apresentar diferentes tipos de vulnerabilidades.

A amplitude das marés (a diferença de nível entre a maré alta e a maré baixa) é um elemento modelador da linha de costa, em função das velocidades de correntes e a ela associadas. Estas correntes de marés são significativas no transporte sedimentar costeiro. A maior parte do litoral brasileiro, do Estado de Alagoas ao Rio Grande do Sul apresenta amplitudes de marés inferiores a 2 metros no caso as micromarés (SAES *et al.*, 2018).

Estudos recentes de Silva *et al.* (2021) evidenciam que a região do litoral alagoano vem sofrendo com processos erosivos em sua linha de costa provenientes da atuação das mudanças climáticas, o aumento do nível do mar impacta de maneira tão negativa na progradação das praias que faz com o índice de vulnerabilidade na região por esse fator em especial seja alarmante, pois o processo de erosão propicia o recuo da linha de costa.

Conforme destacam Molion *et al.* (2002) e Lyra *et al.* (2018) o Estado de Alagoas, assim como a cidade de Maceió, possuem seu regime pluviométrico veiculado a sistemas meteorológicos que influenciam diretamente em sua variabilidade climática. Com a atuação de mecanismos considerados de grande escala como os Sistema Frontais, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), e Perturbações Ondulatórias no campo dos ventos Alísios (POAS). Também podem ser destacados os Complexos Convectivos e Brisas Marítimas e Terrestres que se tratam de sistemas de mesoescala.

Este conjunto de transformações trará impactos significativos também nas condições de vida, principalmente para grupos socialmente mais vulneráveis que não dispuserem de meios para enfrentar ou se adaptar aos efeitos negativos das mudanças. De maneira geral, pode-se dizer que os grupos potencialmente mais suscetíveis aos efeitos negativos das mudanças ambientais globais são aqueles que já se encontram em situação precária em termos de acesso à infra-estrutura de saneamento e de condições de habitação. Estes grupos já estão expostos a riscos que poderão ser amplificados pelas decorrências da mudança climática (CARMO, 2007).

As Mudanças Climáticas vêm desempenhando um papel acelerado nas modificações de diversas regiões no mundo (RIBEIRO, 2008) e essas, por sua vez, tem acelerado os processos dos impactos negativos. A teoria dos Refúgios Florestais aponta que as florestas tropicais são testemunhos dessas variações. Porém, a discussão sobre o Antropoceno vem a mostrar que as alterações que estão sendo produzidas no planeta – e também sobre as florestas – são de forma sem precedente em toda história, seja em escala humana ou geológica (SANSON, 2016).

As mudanças vão gerar acontecimentos em intensidade desconhecida, ainda que possam ser estimados, as cidades brasileiras podem ser afetadas pelos impactos causando prejuízos, problemas já antigos que resultaram do processo rápido e particular de urbanização no Brasil, principalmente a má condição de moradia da maioria da população que vive em grandes cidades e metrópoles brasileiras. Com isso, avaliar os riscos do potencial de vulnerabilidade sobre a linha de costa de Maceió faz-se mais que necessário, pois por ser um ponto turístico de destaque no país, torna crucial estudos voltados para zona costeira na cidade, e que visem uma gestão de mitigação de tais riscos.

Diante de tal premissa, o presente trabalho tem como objetivo investigar o efeito das mudanças climáticas nas feições da linha de costa do litoral de Maceió, indicando possíveis pontos/locais de riscos e níveis de vulnerabilidade.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Analisar o impacto das mudanças climáticas globais na área costeira de Maceió, através de análise multitemporal com base em imagens de sensoriamento remoto.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar como as tendências climáticas podem estar influenciando os processos na linha de costa do litoral;
- Identificar as regiões litorâneas sobre a ação de possíveis processos erosivos, bem como, inferir a intensidade destes ao longo da zona costeira;
- Estimar os níveis de risco e vulnerabilidade ao longo da costa por meio do uso de ferramentas como imagens de satélites e *softwares*.
- Enviar o material final para órgãos gestores do setor, para que possa servir de embasamento e ferramenta de cunho científico para o gerenciamento costeiro de Maceió. Conforme o edital de parecerias estratégicas da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas, com seu enfoque em desenvolvimento, dinâmicas territoriais e segurança hídrica, buscando o desenvolvimento de pesquisas que beneficiem a sociedade por meio de programas de pós-graduação.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Mudanças climáticas globais

De conotação originariamente científica a ideia de clima tomou uma expressiva complexidade na Modernidade avançada, saltando do campo das curiosidades do senso comum e dos questionamentos acadêmicos para a esfera das deliberações políticas gerais. Essa transmutação não aconteceu em decorrência de manifestações “normais” ou habituais dos fenômenos e eventos climáticos, mas sim devido suas excepcionalidades, tanto presentes quanto no que concerne a conjecturas futuras, especialmente no âmbito da sociedade de risco que se vive e se projeta. É no conjunto de debates e argumentações das mudanças climáticas globais que se situa a passagem do clima, enquanto elemento integrante das paisagens, para fenômeno ecológico-político eivado de ameaças e riscos ao futuro da vida na Terra (MENDONÇA, 2021).

De acordo com Blank (2015), as mudanças climáticas podem ser assimiladas como as alterações no comportamento do clima, sendo essas alterações sofridas diretamente no clima global, algumas dessas interferências podem ser causadas tanto por agentes naturais quanto por ações humanas que acarretam em tais mudanças, sendo algumas delas emissões de Gases de Efeito Estufa, que propiciam o aquecimento do sistema climático. O aumento da temperatura média global pode ser considerado um exemplo realista das mudanças climáticas. Isso por que pôde ser perceptível ao longo de cada ano em muitas regiões do globo, as altas temperaturas contribuem também para o aumento do nível do mar, mais uma das mudanças climáticas provenientes das alterações que o planeta vem sofrendo.

A climatologia está no centro de um dos debates mais polarizados da atualidade, apresentado pela mídia como o confronto entre os defensores da existência de um aquecimento global causado pelas emissões de gases do efeito estufa pela atividade humana e aqueles que rejeitam a existência de um aquecimento ou o consideram resultado de um fenômeno natural (LEITE, 2015).

A despeito de controvérsias científicas e dificuldades de comunicação, as alterações no clima têm-se feito presentes nas pautas de distintas esferas, da formulação de políticas públicas às demandas de movimentos sociais, e têm demonstrado a possibilidade de colocar em xeque o arsenal crítico-conceitual tradicionalmente mobilizado para se pensar a sociedade (e as relações sociedade-natureza), demandando novas concepções do agir político (FLEURY *et al.*, 2019).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, (IPCC) é uma órgão criado em 1988, pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). Nessa época, já havia preocupações acerca do aquecimento global. Muitos estudos a respeito estavam sendo desenvolvidos e o IPCC foi estabelecido com a missão de avaliar as pesquisas, interpretá-las e reunir todas as informações relevantes, tanto técnicas quanto socioeconômicas, em relatórios abrangentes, de fácil compreensão e acessíveis a todos (WOLFFENBÜTTEL, 2007). De um lado, ele envolve a contribuição voluntária de milhares de cientistas de centenas de países (envolvendo também as instituições em que trabalham), que têm como tarefa sistematizar periodicamente o conhecimento científico produzido sobre o clima e as mudanças climáticas (LEITE, 2015).

De acordo com Ely e Debreuil (2017), quando se refere a variação climatológica destaca-se que os estudos devem se fixar a determinados parâmetros, e tais parâmetros enfatizam que a observação de certas variações climáticas devem ser levadas em consideração aspectos como: a quantidade de anos que elas se repetem, mesmo que sejam progressivas e consecutivas, pois para que seja possível se considerar como uma espécie de tendência serão necessário anos de acompanhamentos, o que pode girar em torno de meio século. A variação possui um aspecto de cunho natural do clima, e também possui influência direta com atividades que correspondem a demandas socioeconômicas, incitando assim estudos e aplicações pela Climatologia entre outras ciências abordando as tendências climáticas.

A necessidade de compreender as mudanças climáticas e seus efeitos sobre o ambiente natural reforça a importância dos estudos de tendências em séries temporais, dada a incerteza presente na dinâmica dos processos hidrológicos (GONÇALVES e BACK, 2018). É um dos assuntos que vem ocupando os meios científico e acadêmico nas últimas décadas está relacionado à identificação de tendências climáticas em nível regional e mundial. A verificação das alterações no clima é uma ferramenta para o planejamento da sociedade, pois permite considerar as possíveis consequências do aumento das temperaturas do ar e de mudanças no regime de precipitação (IPCC, 2013).

É inequívoco que a influência humana aqueceu a atmosfera, os oceanos e a superfície terrestre. Mudanças rápidas e disseminadas ocorreram. Do aquecimento de 1,09 °C observado atualmente (2011 -2020) em comparação com o período pré-industrial (1850- 1900), 1,07 °C provavelmente deriva de ações humanas, como a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento. Cada uma das quatro últimas décadas foi mais

quente que todas as anteriores desde 1850. Entre 2011 -2020, o aquecimento da temperatura sobre os continentes é de 1,59°C em média, contra 0,88 °C sobre o oceano. A influência humana provavelmente contribuiu para o aumento da umidade na atmosfera. A precipitação provavelmente aumentou desde os anos 1950, e mais aceleradamente a partir dos anos 1980 (IPCC, 2021).

O IPCC mostra conhecimento científico a respeito da diferença dos impactos entre esse limite e 2°C, além de alertar que deveríamos alcançar uma sociedade carbono neutra em torno de 2050 para evitar impactos maiores. O IPCC alerta que permitir que as temperaturas globais subam 2 °C acima dos níveis pré-industriais trará consequências ainda mais devastadoras, incluindo a perda de habitats naturais e de espécies, e prevê a proporção de espécies que perderão metade de sua distribuição geográfica (MARENGO, 2018).

Para Silva *et al.* (2017), a grande maioria dos pesquisadores tem em sua concepção científica que as alterações climáticas que vem ocorrendo são proeminentes das atividades antropogênicas, mais precisamente em relação ao aumento dos Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera, por outro lado existem outros que enfatizam que essas alterações se devem ao fato de haver variabilidade climática natural do planeta, indo contra as afirmações dos Relatórios de Avaliações do IPCC.

A mudança climática já está acontecendo e já está produzindo impactos, e quanto maior for o aquecimento, maiores serão os impactos futuros e riscos que a humanidade vai enfrentar, incluindo a possibilidade de danos irreversíveis em ecossistemas, na biodiversidade, na produção agrícola e na economia e sociedade em geral. A inclusão efetiva de adaptação às mudanças de clima pode ajudar a construir uma sociedade mais resiliente no médio prazo (MARENGO e SOUZA JR, 2018).

Os impactos das mudanças climáticas são transfronteiriços, não respeitando os limites territoriais e políticos dos Estados, fazendo com que a ação conjunta entre governos e sociedade seja mais que necessária para mitigar as consequências e buscar a adoção de práticas que almejem um estado de equilíbrio entre as atividades humanas no meio ambiente (ESPÍNDOLA e RIBEIRO, 2020.)

Os eventos climáticos e meteorológicos extremos também são um aspecto integrante da variabilidade climática, e sua frequência e intensidade podem variar de acordo com a mudança climática. Um desastre natural pode ser decorrente de atividades humanas, como o desmatamento de encostas próximas a áreas urbanas ou construções em áreas de risco, que pode intensificar as consequências de chuvas fortes. As chuvas

difícilmente causam a morte de pessoas por si só, mas os deslizamentos produzidos por elas em áreas próximas a leitos de rios ou abaixo de inclinações desmatadas podem causar danos às populações (MARENGO, 2009).

Para Kalil e Checco (2020), a situação em que o Brasil se encontra em relação ao agravamento das mudanças climáticas tende a ficar ainda mais desafiadora, mesmo sem levar em consideração o número de ocorrências de eventos extremos. Fazendo um apanhado de critérios como gestão pública, medidas de mitigação e adaptação assim como em outros países são as alternativas, no entanto, o Brasil ainda possui poucos avanços comparados a outros países.

Mudanças climáticas no Brasil ameaçam intensificar as dificuldades de acesso à água. A combinação das alterações do clima na forma de falta de chuva ou pouca chuva, acompanhada de altas temperaturas e altas taxas de evaporação e alta competição pelos recursos hídricos, pode levar a uma crise potencialmente catastrófica, sendo os mais vulneráveis os agricultores pobres, como aqueles de subsistência na área do semiárido do Nordeste. Levando em conta um semiárido mais árido e o aumento da frequência de ocorrência das secas, a base de sustentação para as atividades humanas diminuirá, sendo provável que aumente o deslocamento da população para as grandes cidades ou para as áreas nas quais seja possível desenvolver a agricultura irrigada (MARENGO *et al.*, 2011).

O clima de uma região tem influência sobre os ecossistemas, na distribuição da vegetação, na formação das paisagens e, na atividade econômica. Dentre as variáveis climáticas, a precipitação, assim como a temperatura, são os elementos que atuam de maneira mais direta a configuração da natureza (GONÇALVES e BACK, 2018).

Para Carlos *et al.* (2019), a região Nordeste é uma das mais propensas a serem afetadas pelas alterações climáticas previstas quando se trata especificamente de mudanças que irão ocorrer no Brasil principalmente as ligadas ao regime de chuvas na região.

Segundo Molion e Bernardo (2002), o Nordeste brasileiro possui sua variabilidade no regime de chuvas coordenadas pela ação de sistemas atmosféricos de diferentes escalas de tempo e espaço, esses por sua vez atuam na região, por exemplo, Zona de Convergência Intertropical, (ZCIT), Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), Sistemas Frontais (SF), os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs), a convecção organizada em forma de linhas de instabilidade, aglomerados convectivos e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), a circulação atmosférica desses sistemas

determina a variabilidade dos meses chuvosos em sub-regiões no caso da norte do nordeste de dezembro a março e no leste do nordeste sendo de maio a agosto.

A extensão de uma estação seca nesta região poderia afetar o balanço hidrológico regional e assim comprometer atividades humanas, ainda que haja alguma previsão de aumento de chuva no futuro. Para o Nordeste, a tendência é de redução de chuvas acompanhada de aumento da temperatura para finais do século XXI. As diferenças entre tendências de mudanças de temperatura e chuva geradas pelos diferentes modelos para algumas regiões, especialmente o Pantanal, sugerem que ainda há um grau de incerteza nas projeções de clima futuro nesta região. Ainda assim, pode-se afirmar um clima mais quente e possivelmente com chuvas mais irregulares concentradas em poucos dias nesta região (MARENGO e VALVERDE 2007).

De acordo com Penereiro e Meschiatti (2017), em um de seus trabalhos evidenciou-se que as tendências negativas puderam ser observadas na região nordeste, essas tendências se estenderam na faixa leste da região onde a mesma havia apresentado um total de 56 casos de tendências negativas, representado o maior número, identificando assim o aumento da temperatura mínima para a região nordeste.

Segundo Batista *et al.* (2021), a cidade de Maceió apresentou desenvolvimento de mudanças climatológicas significativas no que se refere ao uso e ocupação do solo, pois estudos realizados embasam que ocorreu redução de cobertura vegetal principalmente de classes de vegetação densa, sendo algumas pertencentes ao bioma Mata Atlântica, identificados em alguns bairros da cidade, boa parte desse efeito se deve a expansão urbana e de empreendimentos. Esses fatores contribuem para o aumento da temperatura e consequentemente isso faz com que a sensação seja percebida de forma a causar desconforto térmico em áreas menos arborizadas e favorecidas por influências hídricas.

### **2.1.1 Impactos das mudanças climáticas em cidades litorâneas**

Uma das mais importantes questões relacionadas a eventos extremos a curto prazo é se sua ocorrência está aumentando ou diminuindo com o tempo; isto é, se há uma tendência a cenários propícios à ocorrência desses eventos. A variabilidade e as mudanças na intensidade e frequência de eventos extremos dependem não apenas da taxa de mudança do meio de uma determinada variável, mas também da ocorrência de mudanças nos parâmetros estatísticos que determinam a distribuição daquela variável (MARENGO, 2009).

Os riscos associados aos eventos extremos climáticos poderão atingir a todos, independentemente do status socioeconômico, e o que vai diferenciar as suas consequências para cada indivíduo ou grupo serão as capacidades de respostas aos riscos associados aos extremos climáticos. Desse modo, é cada vez mais urgente as ações preventivas e um planejamento prospectivo como base para a redução de riscos de desastre no contexto de mudanças climáticas (IWAMA, 2014).

O clima é um agente transformador de ambiente extremamente importante e está em incessante interação com fatores físicos, químicos e biológicos atuantes na crosta e na atmosfera terrestre. O relevo, por exemplo, é moldado, em parte, pela ação intempérica das chuvas e do vento. Em contrapartida, a disposição do relevo molda a direção dos ventos. A vegetação também está em constante interação com o clima. A ocorrência frequente de precipitações nas áreas tropicais, por exemplo, pode propiciar o surgimento de densas florestas, as quais apresentam um elevado índice de evapotranspiração, mantendo o ambiente mais úmido (MOREIRA *et al.*, 2017).

Alguns ambientes se tornaram mais suscetíveis às ações humanas como a atmosfera e os recursos hídricos. Estes ambientes também são os mais delicados e sensíveis, e o resultado do seu desequilíbrio pode ser a condição para a piora da qualidade de vida da população e da extinção de diversas formas de vida, animais e vegetais. A região costeira do país tem sido intensamente ocupada desde a sua colonização, e a especulação imobiliária é apontada como principal responsável pela destruição dos ambientes costeiros e essa disputa é mais acirrada nos Estados da região sudeste (FARIAS, 2014).

Nas cidades costeiras do Brasil, os eventos meteorológicos-oceanográficos extremos, como ressacas e sobrelevações do Nível Médio do Mar (NMM), marés meteorológicas positivas, têm como efeitos principais as inundações costeiras e a erosão costeira, que também podem ser enquadradas como perigos de origem hidrometeorológica. No contexto das inundações costeiras, como a evolução do evento está associada à atuação de ciclones extratropicais e sistemas frontais (baixa pressão atmosférica), que geram elevada precipitação, então é comum a conjunção com eventos de enchentes/alagamentos, que amplificam os efeitos nas cidades costeiras, em especial quando ocorrem em fase de maré de sizígia (MARENGO e SCARANO, 2016).

Conforme aponta em seu trabalho Grimm (2019), ao analisar os impactos proporcionados pelas mudanças climáticas sob o turismo não encontrou uma bibliografia tão notável, porém observou que existem pesquisas específicas relacionadas a mudanças

climáticas no turismo de regiões com neve, ou até mesmo em pequenas ilhas, também evidenciou que a maior vulnerabilidade envolvendo as pesquisas das mudanças climáticas e seu impacto no turismo se deve ao fato de os estudos não possuírem análises de longo prazo. Essa peculiaridade faz com que seja difícil identificar a relação dos diversos elementos do clima sendo eles: temperatura, umidade do ar, grau de radiação e pressão atmosférica, e como eles atuam em conjunto com as variáveis do sistema turístico.

Segundo Corrêa *et al.* (2020), a preocupação com áreas que correspondem as regiões litorâneas, e em relação as alterações que vem desencadeando problemas relacionados as ações antrópicas, nota-se dentre elas o descarte desenfreado de materiais em praias, riachos, restingas, manguezais, baías, entre outros, o que leva a considerar a dinâmica rica da biodiversidade que compõem esses ambientes, principalmente por que essas localidades estão diretamente ligadas a atividades de lazer e recreação, transporte, turismo e pesca nessas regiões.

A partir de inúmeras ocorrências com ressacas na orla de Santos, nos últimos anos e considerando que a cidade também tem uma vocação natural para o turismo, houve uma necessidade urgente de se antecipar com uma ampla discussão para mitigar e se adaptar aos riscos provenientes das mudanças climáticas. A elevação do nível do mar vem causando não apenas problemas na praia, como uma forte redução da faixa de areia nos últimos anos, mas o avanço do mar está destruindo as muretas de proteção, comprometendo os edifícios na orla da praia e gerando prejuízos ao município. Além disso, a entrada do Porto de Santos se dá pela região de Ponta da Praia, fortemente impactada pelas ressacas (PINHO e GRANZIERA, 2019).

O Maranhão é um Estado com uma grande extensão litorânea, banhado ao norte pelo oceano Atlântico. Com aproximadamente 640 quilômetros de faixa correspondentes à costa litorânea existentes no Estado, onde se concentram inúmeras atividades urbanas, comerciais e turísticas, que o transforma em um grande polo regional e nacional. Possui 6,9 milhões de habitantes (IBGE 2022). Com isso, o Maranhão é o quarto Estado mais populoso da Região Nordeste. A Avenida Litorânea é um local de concentração de praias da cidade de São Luís e frequentada pela população local e pela população advinda do turismo. Sendo de fácil acesso, por ter um terminal de integração de ônibus urbanos na sua proximidade.

As comunidades tornam-se vulneráveis por habitarem espaços próximos à beira-mar e podem, portanto, sentir os efeitos do avanço do mar, como já ocorre na comunidade de Atins e em Caburé no município de Barreirinhas. O Parque Nacional dos Lençóis

Maranhenses (PNLM), por sua vez, pode perder grande parte de sua atratividade turística, a partir da possível perda de biodiversidade e possível alteração das dinâmicas de vento e chuva que interferem na formação das lagoas e das dunas (PINHO *et al.*, 2019).

Segundo a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), foi desenvolvido pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), por meio da Área de Engenharia Costeira & Oceanográfica, do Programa de Engenharia Oceânica da COPPE e do Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Escola Politécnica, um estudo sobre vulnerabilidades no litoral do Estado do Rio de Janeiro devido às mudanças climáticas. A pesquisa teve como objetivo principal debater os potenciais riscos e vulnerabilidades nas diversas áreas da zona costeira do Estado do Rio de Janeiro por meio de análises e dados, resultando em previsões para 2050 e 2100 e sugerindo medidas para mitigação e adaptação às mesmas. O plano cita o cenário tendencioso de elevação do nível médio do mar, mudanças de direção de ondas e aumento de extremos climáticos (AGUIAR, *et al.*, 2020).

Com o aumento da ocupação das áreas costeiras e o quadro atual de Mudanças Climáticas Globais, estudos sobre estratégias de adaptação têm se tornado ferramentas essenciais para a gestão da orla marítima e da zona costeira em várias partes do mundo. Na zona costeira de Mata de São João é possível observar trechos que ainda estão desabitados e trechos que há alguns anos vêm passando por um processo intenso de ocupação. O aumento do nível do mar e a ocorrência frequente e intensa de tempestades ocasionadas por essas mudanças globais poderão afetar significativamente a prática turística e recreacional de suas praias (SOUZA *et al.*, 2020).

Visto o prognóstico de elevação do nível do mar estimadas pelo IPCC (2021), Almeida *et al.* (2012), em estudo desenvolvido no litoral sul de Alagoas, constatou que a região poderá sofrer grandes impactos erosivos, e por consequência intensa modificação do sistema praial e aumento da vulnerabilidade costeira face as mudanças climáticas

Estudos urbanos a respeito da cidade de Maceió, como na maioria das cidades brasileiras, apresentam a questão climática urbana pouco discutida, em um sentido mais profundo e complexo. Entretanto, as mudanças microclimáticas são decorrentes das transformações substanciais do espaço no tempo (ALMEIDA, 2020).

### **2.1.2 Sistemas meteorológicos e fenômenos climatológicos que influenciam Alagoas**

O controle climático oceânico exerce influência primordial nos níveis pluviométricos do Nordeste do Brasil (NEB). Então, surgem questionamentos sobre o comportamento da climatologia da TSM do Atlântico e do Pacífico leste em um período onde se procura evidências de mudanças climáticas globais e os impactos que podem ser potencializados ou até mesmo surgir (NOBREGA e SANTIAGO, 2016).

A presença de águas mais quentes e frias no Oceano Atlântico Tropical Norte ocorre de maneira negativa e positiva, influenciando no regime de chuvas no NEB, visto que a ZCIT tende a ficar mais distante ou próxima (JACINTO, *et al.*, 2022). Conforme Silva *et al.* (2017), a presença de um gradiente inter-hemisférico da TSM no oceano Atlântico, forma assim o surgimento de outros sistemas que induzem a precipitação na região NEB.

Os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) Ou Ondas de Leste são um dos principais sistemas meteorológicos que atuam no leste do (NEB) entre maio e julho. Devido a importância dos DOLs para o regime de chuva do NEB, um melhor diagnóstico desses sistemas (envolvendo as características físicas, como deslocamento do cavado e abrangência e intensidade da chuva) são essenciais para minimizar os possíveis prejuízos sociais e econômicos causados por estes eventos, haja visto que eles podem provocar grande volume de precipitação concentrado em poucos dias (SILVA *et al.*, 2021).

Outro sistema de importância para contribuição dos totais pluviométricos locais é a Zona de Confluência Intertropical (ZCIT), é uma região localizada em torno da linha do Equador nas latitudes tropicais que, em razão de suas particularidades, pode formar nuvens de desenvolvimento vertical, as Cumulonimbus (CB). Estas nuvens são intensas e, como resultado, favorecem a formação de tempestades. As tempestades são fenômenos que interferem na navegação aérea por provocarem fatores como turbulência, gelo e chuva pesada. Muitas vezes, o piloto, ao voar em aéreas de tempestade, deve fazer um desvio da nebulosa, a fim de manter o vôo seguro (BISPO, 2021).

A ZCIT é o sistema meteorológico mais importante na determinação e produção de chuvas no setor norte do Nordeste do Brasil, assim como na região equatorial dos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico e sobre áreas continentais adjacentes. De um modo geral, a ZCIT é conceituada como sendo uma região de baixa pressão ao nível médio do mar, localizada em torno do equador que apresenta uma faixa de máximos de

nebulosidade e precipitação, onde os ventos alísios de nordeste do Hemisfério Norte e de sudeste do Hemisfério Sul convergem. É parte integrante da circulação geral da atmosfera (DIAS, 2018).

Os Vórtice Ciclônico de Altos Níveis VCANs são sistemas de baixa pressão com núcleo frio formados em altos níveis da atmosfera (entre 5000 e 11000 m de altura acima da superfície), mas que em algum estágio do seu ciclo de vida podem se estender até a superfície e influenciar a formação de ciclones também em superfície (REBOITA *et al.*, 2012).

Os VCANs, são atuantes no Sul e Nordeste do Brasil, e é responsável pela qualidade da estação chuvosa, sendo um dos principais sistemas meteorológicos precipitantes no NEB. Este fenômeno em especial, é capaz de causar tempo estável no centro e chuva na borda. Inúmeros VCANs foram responsáveis por extremos de precipitação no NEB, principalmente, quando associados a outros fenômenos de escala sinótica (REIS, 2018).

No regime climático sazonal de uma dada localidade, sabe-se que não raro são registradas oscilações climáticas severas, que podem alterar o modelo climático esperado para determinado período. Essas flutuações originam-se entre a circulação atmosférica procedentes de agitações nos gradientes da pressão atmosférica, responsáveis pela formação dos ventos, as quais transformam a estrutura de circulação global sobre a América do Sul, originando fenômenos diversos como os fenômenos de larga escala El Niño e La Niña (MEDEIROS, *et al.*, 2021).

O El Niño e a La Niña são partes de um mesmo fenômeno atmosférico-oceânico que ocorre no oceano Pacífico Equatorial (e na atmosfera adjacente), denominado de El Niño Oscilação Sul (ENOS). O ENOS refere-se às situações nas quais o oceano Pacífico Equatorial está mais quente (El Niño) ou mais frio (La Niña) do que a média normal histórica. A mudança na temperatura do oceano Pacífico Equatorial acarreta efeitos globais na temperatura e precipitação (CPTEC, 2022).

O El Niño Oscilação Sul (ENOS) é um fenômeno que apresenta duas componentes, uma atmosférica e outra oceânica e ocorre no oceano Pacífico equatorial. A componente atmosférica OS (Oscilação Sul) foi registrada em meados do ano de 1920, pelo matemático Sir. Walker, e revela uma correlação inversa entre a pressão atmosférica nos extremos leste e oeste do Oceano Pacífico, ou seja, quando a pressão é alta a oeste usualmente é baixa a leste e vice e versa, enquanto que a componente oceânica (El Niño/La Niña) se caracteriza por apresentar anomalias da temperatura das águas da

superfície (TSM) no oceano Pacífico equatorial junto à costa da América do Sul. Em anos de El Niño, observa-se um enfraquecimento dos ventos alísios associados a Alta Subtropical do Pacífico Sul. A caracterização do ENOS é feita com base no cálculo de índices como o Índice de Oscilação Sul (IOS – calculado através da diferença de pressão entre duas regiões distintas: Taiti e Darwin) (SILVA, 2021).

Quando o El Niño acontece conjuntamente com o Dipolo Positivo do Atlântico, que é desfavorável às chuvas, causam anos secos ou muito secos no NEB. O fenômeno La Niña associado ao Dipolo Negativo do Atlântico (favorável às chuvas) é normalmente responsável por anos considerados normais, chuvosos ou muito chuvosos na região (MOURA *et al.*, 2019).

Em casos de ocorrência do fenômeno La Niña, o deslocamento de massas de ar frias do oceano pacífico intensificam as chuvas nas regiões norte, nordeste e parte da sudeste enquanto que no sul e centro-oeste ocorre estiagem. Durante o fenômeno La Niña as condições são desfavoráveis para a região sul e parte da centro-oeste devido à baixa pluviosidade no entanto a região norte e nordeste passa por condições favoráveis para culturas devido a precipitação acima das médias registradas. O período em que mais se observa a ocorrência de doenças, é quando há condições de alta pluviosidade independente da região (RAUBER, *et al.*, 2019).

Para Ferreira e Melo (2005) e Souza Neto *et al.* (2021), o Dipolo do Atlântico é caracterizado por ser a mudança entre a anomalia de TSM (ATSM) nos setores oceânicos, norte e sul, o qual tem duas fases: a positiva que ocorre quando a região norte do oceano atlântico tem uma TSM positiva enquanto o setor sul possui a TSM negativa, em relação a fase negativa o processo é o contrário.

Cenários extremos relacionados a chuva podem causar grandes impactos sociais e econômicos para a sociedade. As enchentes ocorrem como consequências da grande intensidade de chuva e problemas de drenagem do solo urbano, e os longos períodos de estiagem podem causar dificuldades para a produção agrícola. Assim como esses eventos podem estar relacionados com fatores como temperatura, altitude e pressão atmosférica, eles também podem estar associados com o que identificamos como atividade solar. Denominada máxima quando a quantidade de manchas solares e fenômenos energéticos e transientes que ocorrem no Sol também é máxima. Sucintamente, as manchas solares representam um fenômeno que ocorre na camada visível do Sol, elas podem ser observadas a olho nu e estão associadas a intensos campos magnéticos solares. Períodos

caracterizados pela baixa atividade solar, pouca ou nenhuma mancha solar, estão vinculados com os períodos de baixa temperatura terrestre (AZEVEDO *et al.*, 2022).

O ciclo de manchas solares de onze anos é também conhecido como ciclo de Schwabe, por ter sido descoberto por Heinrich Schwabe em 1843. São necessários dois ciclos de manchas solares para o Sol retornar ao mesmo estado de polaridade original, resultado numa periodicidade de 22 anos que é conhecido como ciclo de Hale (LIMA, 2017).

A Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) é uma oscilação de longo prazo que persiste por 20 a 30 anos. A ODP apresenta duas fases: a fase fria que é caracterizada por anomalias negativas de Temperatura na Superfície do Mar (TSM) no Pacífico Tropical e, simultaneamente, anomalias de TSM positivas no Pacífico Extratropical. Atualmente estamos em uma fase fria que se iniciou em 1999. A fase quente apresenta anomalias de TSM positivas no Pacífico Tropical e negativas no Pacífico Extratropical e as duas últimas fases quentes ocorreram nos períodos de 1925-1946 e 1977-1998 (SPERLING *et al.*, 2009).

Nota-se, pois, que a ODP comporta-se como uma “gangorra” entre a TSM ao longo da costa oeste da América do Norte, em respeito ao restante da bacia do Pacífico Norte. Da mesma maneira como o Índice Oscilação Sul (IOS) constitui uma “gangorra”, no Pacífico Sul, no que se refere às variações da pressão atmosférica de superfície entre dois pontos ao leste e ao oeste da bacia do Pacífico Sul (por exemplo Tahiti, no sudeste do Pacífico, e Darwin, na Austrália). Uma segunda característica da ODP é a persistência das fases quentes (positivas) ou frias (negativas) predominantes por anos seguidos, por vezes ao longo de duas décadas, a menos de algumas oscilações esparsas em sentidos contrários (DA SILVA *et al.*, 2012).

Como apontado por Alves (2016) a ODP possui teleconexões climáticas que atuam nos Oceanos Atlântico e Pacífico, dessa forma exercendo influência na variabilidade climática e regime climático da região nordeste.

De acordo com Siqueira *et al.* (2006) ao analisarem as influências do regime pluviométrico em relação a ODP, notaram que a oscilação evidenciou desvios de precipitação no que se refere a composição de eventos de El Niño em sua fase fria. Contudo, observou-se que aproximadamente todas as regiões Norte e Nordeste, e parte do Centro Oeste demonstraram diminuição em seus totais pluviométricos. Alguns desses valores ultrapassaram 3 mm/dia na parte leste da Amazônia. No entanto em relação a fase quente da ODP as reduções se estenderam por sobre a costa norte e leste do NEB.

### 2.1.3 Cenários futuros ou previsões Climáticas

O estado dos oceanos continua piorando a cada ano, pois sofrem demasiada superexploração, seja por atividades ligadas diretamente à vida oceânica ou por atividades fora do espaço oceânico, mas que interferem no equilíbrio oceânico. Muitos dos compromissos assumidos nas convenções, tratados, leis e outros meios não passam de meras declarações de intenções que nunca foram adequadamente implementadas. A cada dia, maior é o desafio a enfrentar para conseguir priorizar a sustentabilidade, a conservação e a recuperação dos recursos marinhos associados a um consumo mais inteligente e mais responsável (OLIVEIRA e LEÃO, 2021).

Cada aumento adicional do aquecimento global acarreta mudanças maiores nos eventos extremos. Cada meio grau a mais de aquecimento aumenta a frequência de ondas de calor, tempestades e secas que afetam a agricultura. Mesmo com o aquecimento global estabilizado em 1,5°C, eventos extremos sem precedentes no registro histórico deverão acontecer. Algumas regiões semiáridas e a chamada Região da Monção da América do Sul, que compreende parte do Centro-Oeste brasileiro, da Amazônia, da Bolívia e do Peru, deverão ter os maiores aumentos de temperatura nos dias mais quentes do ano – até duas vezes mais que a taxa de aquecimento global (IPCC, 2021).

Segundo Alcântara *et al.* (2020) em relação aos novos cenários que vão se formando ao longo do acompanhamento das mudanças climáticas pede-se que se obtenha forte ação por parte do poder público, pois é totalmente necessário que haja parceria entre esse setor e a sociedade civil, de forma a serem tomadas medidas de organização que enfatizem a resiliência climática, apoiando medidas mitigatórias que incluem ações como economia neutra em carbono em proporções de curto e médio prazo, entre outras afirmativas elaboradas pelos pesquisadores da climatologia. Do contrário o cenário pode enfrentar fracasso em se tratando de iniciativas voltadas para medidas e adaptações frente às mudanças climáticas.

É relevante destacar que as mudanças climáticas são um fenômeno que ocorrem em escala global, mas podem se refletir em escalas regionais e locais influenciadas por variáveis e fatores regionais e locais. Para tanto, a gestão pública precisa se sensibilizar para a relevância da abordagem de ações, planos, estratégias setoriais integradas e sistêmicas de enfrentamento dos efeitos das mudanças climáticas. Portanto, cabe refletir sobre a importância do planejamento urbano como ferramenta para aparar desigualdades geradas pelo processo de desenvolvimento, tendo este como um meio e não um fim em

si mesmo, visto que um dos seus objetivos primordiais é planejar a cidade desejada e, mais do que isso, é construir a cidade desejada garantindo a qualidade de vida à população (JANDREY e AUMOND, 2020).

Conforme Leite (2015), os relatórios do IPCC foram um dos principais contribuintes para a organização e ampliação dos conceitos sobre o clima e a situação que o planeta vive atualmente. Com uma composição de grupos de trabalhos dividido em diversas bases científicas como (ciência física, impactos, adaptações, vulnerabilidade, e mitigação da mudança climática), trouxe a atuação dos climatologistas como uma das principais contribuições para os relatórios, onde também participam pesquisadores de outras ciências naturais (geofísicos, meteorologistas, oceanógrafos, glaciologistas, astrofísicos, estatísticos etc.), ou seja o IPCC tornou possível uma série de interações de conversas com pesquisadores de várias áreas.

Com as perspectivas de mudanças climáticas, busca-se compreender a natureza das mudanças que provavelmente ocorrerão durante o século 21 e depois dele, assim como os efeitos que essas mudanças podem acarretar para as populações humanas e seus sistemas socioeconômicos. As mudanças na precipitação possuem implicações no ciclo hidrológico e nos recursos aquíferos em um clima mais quente no futuro. Espera-se que as mudanças climáticas alterem os valores de precipitação e aumentem a variabilidade dos eventos de precipitação, o que pode levar a enchentes e secas ainda mais intensas e frequentes (MARENGO *et al.*, 2011).

Um aumento na concentração de gases de efeito estufa tende a aquecer o planeta, ao passo que os aerossóis têm um efeito de resfriamento. O clima regional e global pode mudar com o desmatamento e outras atividades associadas ao uso da terra, como a agricultura e a construção de grandes cidades. Na avaliação do clima futuro, além da informação dos cenários climáticos, é também necessária a informação de outras mudanças ambientais e socioeconômicas (MARENGO e VALVERDE 2007).

Muitos dos cenários climáticos são produzidos pelos modelos, os quais ainda podem ter problemas em representar realmente os processos físicos que acontecem na natureza. Projeções de extremos climáticos, geradas pelos modelos do IPCC, apontam para um aquecimento maior durante o inverno e estações de transição, assim como para uma tendência de noites mais quentes, consistentes com tendências positivas mais intensas na temperatura mínima que as da temperatura máxima. Também o risco de haver ondas de calor é bastante grande, especialmente nas regiões subtropicais da América do

Sul. Existem também indicadores de períodos secos mais intensos e longos na Amazônia do Leste e no Nordeste (MARENGO e VALVERDE 2007).

### **2.2.1 Risco e Vulnerabilidade costeira**

O termo risco é empregado segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2014) como: a probabilidade de ocorrência de um acidente associado a um determinado perigo ou ameaça, e que pode resultar em consequências danosas às pessoas ou bens, em função da vulnerabilidade do meio exposto ao perigo e que pode ter seus efeitos reduzidos pelo grau de gerenciamento colocado em prática pelo poder público e/ou pela comunidade (GUIA DE DIRETRIZES DE PREVENÇÃO E PROTEÇÃO À EROSÃO COSTEIRA, 2018).

O conceito de vulnerabilidade deve considerar a situação específica, ou seja, deve estar clara a ameaça ou perigo relacionado à condição de vulnerabilidade. Essa situação se destaca por reduzir confusões acerca da abordagem da vulnerabilidade. É comum que artigos científicos apresentem conceitos adaptados para seus objetivos e áreas de estudo (SERAFIM *et al.*, 2019).

As propostas metodológicas existentes para análise da vulnerabilidade costeira costumam incluir um número excessivo de variáveis, deixando não apenas a análise demasiadamente extensa, como, principalmente, obscurecendo as especificidades da zona costeira. Em outras palavras, as questões intrínsecas dos espaços costeiros têm sido contempladas de forma inadequada, não havendo distinção entre uma análise que visa a gestão ambiental como um todo ou a gestão urbana, daquela que se direciona especificamente para a gestão costeira. Além disso, a escassez de dados, a limitação de tempo ou a exigência de estudos muito especializados, dificultam a análise em escala local o que, conseqüentemente, compromete a eficácia em subsidiar políticas públicas e zoneamentos (LINS-DE-BARROS, 2011).

A transformação do potencial de vulnerabilidade para uma situação de risco depende da presença de pessoas e de bens. De forma concreta, o risco pode ser definido como sendo o produto da probabilidade de ocorrência de um acontecimento potencial indesejado (temporal, erosão) pela consequência associada a esse acontecimento (mortes, ferimentos, perda de território, inundação, destruição do edificado, perda de atividades econômicas, danos sobre um ecossistema). Em sentido mais lato, o risco traduz a relação

entre a vulnerabilidade de um local e a respetiva exposição a determinada ação (PEREIRA e COELHO, 2013).

Em sistemas complexos como as zonas costeiras, e em sistemas naturais em geral, é preciso trabalhar com simplificações e pressupostos, ignorando particularidades locais que podem ter grande impacto na vulnerabilidade costeira à erosão, galgamento e inundação. Em tempos de grande incerteza sobre a segurança e sustentabilidade das zonas costeiras face às alterações climáticas, a implementação de um plano nacional (ou vários regionais) de monitorização é, portanto, essencial (BIO *et al.*, 2020).

Este processo tem influência direta na vulnerabilização dos espaços costeiros, elevando o risco destas terras a uma eventual subida do nível do mar ou à ação de eventos de alta energia (ressacas do mar). De forma geral os impactos costeiros não são sentidos igualmente por todos, pois dependem do grau de exposição (físico e social), da vulnerabilidade (física e sócio-demográfica) e do risco não é a resultante pura e simples da exposição a um evento perigoso, e sim algo historicamente construído por meio de ações humanas e processos sociais (PAULA, 2012)

Para Rodrigues e Silva, (2021) um dos fatores que podem evidenciar os avanços das mudanças climáticas é a elevação do nível do mar, que acarretam no risco de submersão marinha maior, dessa forma contribui para a evolução de processos erosivos na linha de costa e na intrusão salina e continente adentro. Esses dois processos de cunho costeiros propiciados por forçantes atuantes sobre a zona costeira tendem a modifica-la de maneira constante.

A taxa de recuo de uma linha de costa é um dos indicadores mais utilizados na literatura para avaliação de risco à erosão costeira. Ela é obtida com base na avaliação temporal da posição da linha de costa em períodos de médio a longo prazo. Assim, linhas de costa em progradação ou em equilíbrio indicam que a praia não é afetada com os efeitos da erosão costeira, enquanto que linhas de costa em recuo indicam que o estoque sedimentar está em déficit e a erosão já se tornou crônica, colocando em risco o patrimônio público e/ou privado. Da mesma forma, a largura da pós-praia também é um indicador bastante utilizado, e depende não só da evolução natural da linha de costa, mas também da urbanização e das formas pelas quais ela ocorre e evolui. De forma geral, quanto mais larga for a pós-praia, maior será a proteção contra efeitos erosivos de eventos meteorológicos-oceanográficos intensos/extremos, como ressacas do mar e marés altas anômalas (NOVAK e LAMOUR, 2021).

A Elevação e a Declividade são parâmetros que representam a facilidade de inundação de uma região. A Geologia é o parâmetro determinante do quão frágil ou resistente será a linha de costa à ação das ondas. A Altura de Onda representa o poder de erosão das ondas e a Taxa de Recuo da linha de costa é o parâmetro que representa, em uma escala de tempo menor, todos esses parâmetros. A identificação dos trechos da linha de costa mais vulneráveis a uma possível subida do nível do mar nas próximas décadas é de fundamental importância no planejamento urbano a longo prazo (RAMOS e DOMINGUEZ, 2004).

Conforme a Comissão Oceanográfica Internacional (IOC, 2010), a vulnerabilidade das zonas costeiras está associada ao seu estado como um todo, atribuindo vertentes como estrutura social, econômica, estrutura físicas, bem como respaldo ambiental. É evidente a necessidade de entender a configuração da interação do homem assim como de eventos naturais e extremos que ocorrem em tais localidades, desse modo, o acompanhamento das ações que ocorrem podem determinar os níveis de degradações e vulnerabilidades expostas no ambiente costeiro.

### **2.3 Sistema praial**

As praias são zonas costeiras que estão entre as áreas mais energéticas da Terra, onde os processos de modificação da costa podem ser observados de forma contínua como consequência da integração dos processos marinhos, atmosféricos atuantes sobre os continentes (PINHEIRO 2017).

Este ecossistema costeiro depende principalmente do acúmulo de areia, pedras, seixos e conchas, que são depositados nas regiões baixas do terreno, na interface terra-água. Seus limites estendem-se desde a linha da maré baixa até o ponto mais alto da maré, delimitados por mudança de material formador ou por expressão fisiográfica, como uma falésia ou linha de vegetação permanente. Possuem zanação típica, representada pela distribuição vertical dos organismos em faixas ou zonas, mais ou menos características, paralelas à linha de praia, determinadas pelas exigências ou tolerâncias peculiares de cada espécie aos diferentes fatores ecológicos diretamente influenciados pela variação das marés (CORREIA e SOVIERZOSKI, 2005).

### 2.3.1 Feições morfológicas de praias

A praia é formada por uma ou mais superfícies horizontais a sub-horizontais, denominadas de berma, podendo apresentar uma ou mais bermas vegetadas denominadas de bermas de tempestade. A praia emersa termina numa rampa de espriamento refluxo da onda, denominada de face praial (MUEHE, 2020).

O termo praia de acordo com a lei a Lei nº 7.661/88, refere-se a área coberta e descoberta periodicamente pelas águas, acrescida da faixa subsequente de material detrítico, tal como areias, cascalhos, seixos e pedregulhos, até o limite onde se inicie a vegetação natural, ou, em sua ausência, onde comece um outro ecossistema (BRASIL, 1988).

Dentre suas propriedades, é evidente a configuração de áreas costeiras com a presença de conglomerados de sedimentos bioclásticos e quartzosos – possibilitando, como produto, fragmentos de rochas e conchas com morfologia determinada sob atividades de ondas, correntes marítimas e mudanças diretamente correlatas à meteorização, erosão e transporte iniciados de uma área-fonte. Tais feições e configurações, sofrem constantemente alterações significantes sob ação de agentes que delimitam os processos de modelação. Tais como: ventos, ondas, correntes, tamanho do grão e tipo do sedimento. Por conseguinte, produz-se divergências quanto a definição do espaço geográfico ‘praia’, tal como, sobre o emprego da terminologia aplicada na descrição de seus constituintes (MADRUGA FILHO 2004, *apud* ALMEIDA, 2008).

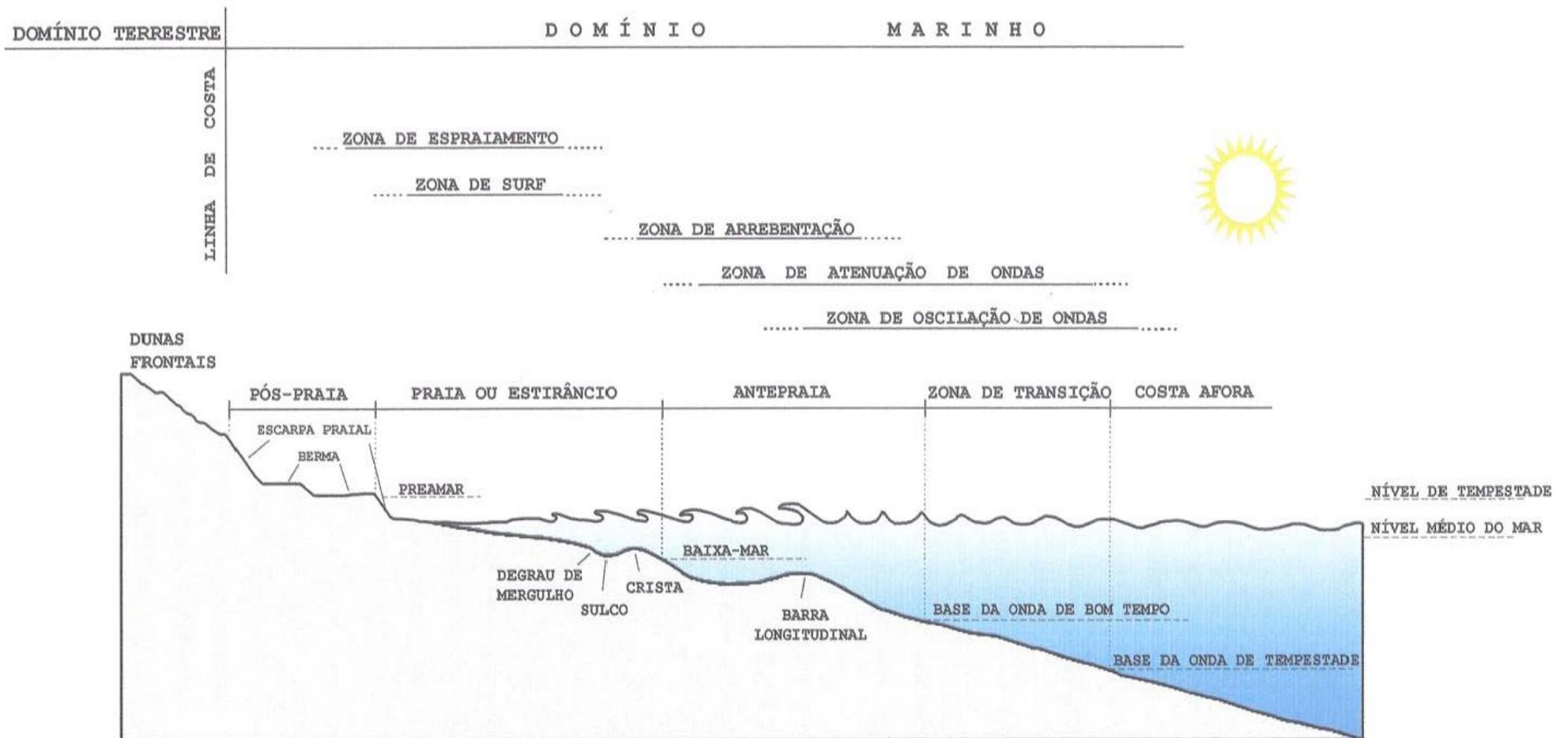
As praias estão distribuídas ao longo de todos os continentes, incluindo ilhas e o continente antártico, sempre onde ocorre distribuição de terras no encontro com os mares. No entanto faz-se necessário que sejam terrenos baixos. As praias tropicais costumam ser arenosas, geralmente com características de areias brancas e águas mornas e claras (CORREIA e SOVIERZOSKI, 2005).

Acerca da classificação e método de subdivisão de setores praias e sua importância, apresentam variação segundo o raciocínio do autor que delinea a temática, com alterações de autor para autor. Outra problemática perceptível é o problema de tradução incerta de termos para a Língua Portuguesa, com desdobramentos que se expressam até quanto à dificuldade em delimitá-los em textos na literatura científica internacional. Nesse sentido, para o cenário brasileiro, Nascimento Junior (2006) e Madruga Filho (2004) ressaltam ações que objetivaram consolidar um processo que guiasse à padronização de terminologias sob arcabouço de rígida revisão bibliográfica de

autores previamente escolhidos – ÂNGULO *et al.* (1996), ALMEIDA (1995), SUGUIO (1992) e MUEHE (2004), como corrobora ALMEIDA (2008).

De acordo com a problemática, levando em consideração a nomenclatura referida a cada compartimentação do sistema praiial, assim como os limites desses últimos não se padroniza, foi utilizada uma terminologia que corresponde ao ambiente praiial, conforme consta no trabalho de Duarte (2002), onde ele faz a classificação do perfil de uma praia, (Figura 1), descrevendo do continente em direção ao mar em dunas frontais, pós-praia, praia ou estirâncio, antepraia e zona de transição (ALMEIDA, 2008).

**Figura 1** – Perfil generalizado de área de praia, apresentando suas divisões e os principais elementos morfológicos



Fonte: DUARTE, 2002 *apud* ALMEIDA, 2008.

O perfil de praia é o perfil topográfico transversal à praia. Serve para caracterizar a configuração morfológica e suas diferentes feições morfológicas: o volume de sedimentos; o estágio morfodinâmico; bem como, acompanhar a evolução e resposta a tempestades ou mudança do nível do mar. Sua extensão mar afora, englobando a antepraia, permite avaliar seu estado em termos de equilíbrio ou desequilíbrio sedimentar (MUEHE, 2020).

As Dunas Frontais: São depósitos formados após a pós-praia sentido continente ou antepraia superior pela retenção de sedimento, sendo, no primeiro caso muitas vezes retido pela vegetação. De acordo com Hesp *apud* Nascimento Junior (2006), as dunas frontais começam como dunas incipientes ou embrionárias e evoluem no caso de dunas fixadas e “permanentes”, com o aumento da altura, devido à complexidade morfológica e a diversidade de cobertura vegetal (ALMEIDA 2008). Por serem formadas no topo da praia pela deposição de sedimentos eólicos na vegetação (VIANNA e CALLIARI, 2019). São estruturas não migratórias, que se desenvolvem em resposta a interações aerodinâmicas entre vegetação, transporte de areia e processos costeiros locais.

A Pós-Praia: Representa o setor, até certo ponto estreito, localizado acima da linha de preamar, que só é inundado em marés muito altas ou de tempestades. Em locais onde predominam ventos soprando para o continente e a amplitude de maré é alta, a pós-praia é de certa forma bem desenvolvida (READING COLLINSON *apud* MADRUGA FILHO, 2004). O limite inteior, ou continental, pode ser a duna (se existir) ou o cordão holocênico / terraço holocênico relacionado à último evento de transgressão marinha (ALMEIDA, 2008).

Praia ou Estirâncio: Corresponde a feição situada entre o limite superior de preamar, que é delimitado pela berma, vegetação ou marcas de deixa, e a linha de baixa mar. Permanece exposto durante a maré baixa e submerso no decorrer da maré alta (MELO 2000 *apud* ALMEIDA, 2008).

Antepraia: Região permanentemente submersa, sendo sua superfície destacada por cristas e calhas longitudinais associadas a bancos sedimentares. Apresenta uma movimentação máxima de sedimentos, reflexo dos processos litorâneos mais atuantes como corrente longitudinal induzida por ondas ou pelas próprias ondas (REINECK, SINGH, 1975). Nessa região podem ser encontrados os *beach rocks*, dispostos em cordões paralelos a linha de costa, segundo Melo (2000) *apud* Almeida (2008).

Zona de transição: estende-se da base média da onda de tempestade à base média da onda de bom tempo e é, por essa razão, caracterizada por alternâncias de condições de alta e baixa energia (DUARTE, 2002 *apud* ALMEIDA, 2008).

O estado morfodinâmico praias depende de uma série de fatores interdependentes que condicionam o “equilíbrio morfológico-dinâmico” do sistema. As características do regime de ondas incidentes, configuração morfológica da região costeira e plataforma continental adjacente, variáveis do estoque sedimentar disponível e processos harmônicos produzidos pela ação das marés e correntes derivadas, são condicionantes dos processos erosivos deposicionais atuantes no sistema (WESCHENFELDER e ZOUAIN, 2002).

Conforme o modelo proposto por Wright & Short (1985) que classifica o perfil morfodinâmico praias para as praias com constituição arenosas por ondas, e também de acordo com Short (2006) para praias bordejadas por plataformas rochosas ou recifais. Diante destes modelos é possível determinar que a partir das condições ambientais, dos sedimentos e das ondas, as praias e zonas de superfície associadas, podem ser enquadradas nos estágios dissipativo, intermediário e refletivo (ALMEIDA, 2008).

### **2.3.2 Processos sedimentares praias**

A erosão é um fenômeno físico que possui consequências socioambientais e econômicas, o que exige e justifica maior atenção da comunidade e empenho dos gestores públicos no que se refere ao ordenamento da ocupação e ao desenvolvimento local, considerando as potencialidades e as limitações de aproveitamento da orla (FRANÇA, 2020).

O aumento da erosão marinha é perceptível principalmente nas zonas urbanas e regiões metropolitanas, pela perda social e dos investimentos financeiros públicos e privados nestas áreas. Nos impactos físicos, construções de estruturas na faixa de praia alteram os estoques de areia disponíveis, o que induz a alterações na estrutura da praia. Onde se retira areia, que outrora amortizava a força das ondas, para substituí-la por construções rígidas, surgem condições potenciais para se instalar a erosão. Na maioria dos casos, as construções ocupam uma área onde estariam a vegetação de restinga e outras feições como dunas, sendo essas, importantes componentes da regulação dos estoques de areias para as praias (CIRM, 2018).

Para Souza (2009), os processos erosivos que ocorrem na zona costeira podem ser considerados naturais, pois podem ser acometidos pelos seguintes agravantes entre eles a

relação da dinâmica da circulação costeira, que é o caso do transporte litorâneo, assim como o estágio morfodinâmico da praia, que por sua vez possui fatores recorrentes de erosividade, entre eles o aporte de sedimentos que não é suficiente ou não possui, obstáculos como fossas, naturais ou ocasionadas de forma artificial, quando ocorre a atuação de sistemas frontais, no caso de ciclones, faz com que seja gerada o aumento do nível do mar, movimentando esses sedimentos em direção ao mar.

O transporte transversal é o responsável pelas variações na geometria da praia, que migra dos estágios extremos reflectivos até os dissipativos, dependendo da altura e do período das ondas, bem como do nível das marés. Segundo Mafra (2005), no estágio reflectivo a face praial terá alta declividade, com a presença comum de cúspides praiais e sedimentos de textura relativamente grossa, e as ondas são geralmente pequenas enquanto a zona de arrebenção é estreita, apresentando berma acentuada (ALMEIDA 2008).

A respeito do transporte longitudinal de sedimentos Muehe (2013) descreve em seu trabalho que esse processo ocorre em estreita faixa que é constituída entre a zona de arrebenção e a linha de praia, este processo por sua vez é tido como o agente primordial na deposição e/ ou erosão que acomete as praias, isso por que tem grande potencial de carrear os sedimentos. O transporte longitudinal é provocado por meio da obliquidade da ocorrência das ondas, dessa forma a linha de arrebenção mostra um ângulo sobre a face praial.

Logo, segundo Almeida (2008), o equilíbrio de uma praia depende da relação entre o aporte de sedimentos e a capacidade de transporte litorâneo. Se uma quantidade de areia, maior que a capacidade de transporte das ondas é levada até a costa, a praia tenderá a acumular areia (como, por exemplo, na desembocadura de rios). Caso contrário, se o aporte de sedimentos for menor, a praia tenderá a ser erodida. Alguns fatores externos, como mudanças no nível do mar ou a construção de obras de engenharia que interrompem o transporte litorâneo de sedimentos, podem modificar sensivelmente o balanço sedimentar, e, conseqüentemente, o equilíbrio praial (MAFRA, 2005).

## **2.4 Erosão e Progradação praial**

Em seu estudo Nascimento (2018), enfatiza que o processo de progradação costeira ou praial é identificado como o avanço dos sistemas de deposições de sedimentos, esse avanço possui características positivas e negativas provocados pelo mar, quando são

depositados sedimentos ocorre a ampliação da praia, desse modo é considerada como positiva, quando o mar faz o contrário, o seja a retirada desse material a região é prejudicada, e neste caso, ocorre a progradação de forma negativa.

As modificações na posição da linha de costa decorrem em grande parte da falta de sedimentos, provocado pelo esgotamento da fonte, principalmente a plataforma continental. O processo se dá pela transferência de sedimentos para campos de dunas ou por efeitos decorrentes de intervenção do homem, principalmente a construção de barragens ou obras que provocam a retenção do fluxo de sedimentos ao longo da costa (MUEHE, 2006).

A circulação das águas costeiras apresenta características complexas devido à interação de vários fatores, como a morfologia da plataforma, ondas superficiais, ondas internas, correntes de maré, correntes geradas pelos ventos e interação com as correntes oceânicas. Para a região de Maceió existe uma carência de medições de correntes, de ondas e outros parâmetros oceanográficos. A compreensão desses fatores é essencial para a solução de problemas em ambientes ameaçados (SANTOS, 2004).

De forma genérica os registros apontam que os segmentos costeiros sob efeito de erosão predominam em relação aos trechos em progradação, com cerca de 40% do total dos registros de erosão concentrados nas praias, 20% nas falésias sedimentares e 15% nas desembocaduras fluviais. Registros de progradação indicam que 10% se concentram nas praias e 15% nas desembocaduras fluviais ou estuarinas (MUEHE, 2006).

Para Almeida (2008), a mudança constante da linha de costa também é inferida pela direção da intensidade e direção do transporte ao longo do litoral em razão do clima e ondas (direção, período e ângulo de incidência).

A área costeira brasileira é bastante vasta e abrange boa parte do território do nosso país e no Estado de Alagoas não é diferente. Com 15 municípios, fazendo parte da zona litorânea, incluindo a capital Maceió, é normal ver uma variedade de construções à beira mar, que vão desde edifícios a simples quiosques. É de grande importância se ter em mente que a própria praia é um dissipador de energia natural e que a erosão também é um processo que ocorre com ou sem a ação do homem, já que o ambiente em questão é um local dinâmico, ou seja, sofre alterações constantemente em sua forma, uma vez que as ondas levam e trazem areia, mesmo em pequenas quantidades (SILA *et al.*, 2018).

No litoral do Brasil a erosão ocorre ao longo de toda a costa com predomínio sobre os processos de acreção considerando-se que de fato, predomina a situação de estabilidade. Por um lado, a baixa declividade de grande parte da plataforma continental

interna sinaliza uma ampla resposta erosiva, no caso de uma elevação do nível do mar. Enquanto que por outro lado, grande parte do relevo costeiro, como as falésias e os recifes, reduz esse impacto (MUEHE, 2006).

A zona costeira de Maceió tem sido ocupada de maneira acelerada, desde a década de 80, sendo a área que apresenta maior densidade demográfica do Estado. É nessa área que se concentram atividades econômicas, industriais, de recreação e turismo, tendo como consequência problemas de impactos ambientais. A posição da linha de costa do município tem sido afetada nas últimas décadas por fatores naturais, como dinâmica costeira, transporte de sedimentos, variação do nível do mar e fatores antrópicos, como retirada da linha de recife natural, aterros, atividade imobiliária, dragagens de rios e obras costeiras (SANTOS, 2004).

Estudos referentes às praias e à erosão no litoral do Estado de Alagoas são ainda bastante escassos. Entretanto, nos últimos anos começaram trabalhos sistemáticos no litoral norte do Estado, além da intensificação dos estudos na região de Maceió (ALMEIDA *et al.*, 2012).

## **2.5 As consequências das mudanças climáticas sobre a costa litorânea**

Segundo o IPCC (2021), o índice que vem sendo utilizado para serem estimados resultados é o recuo da linha costeira, pois através de um valor que é pré-definido de planejamento futuro, este por sua vez costuma ser de cerca 50 ou 100 anos. Essas métricas são aplicadas para situações de erosões costeiras. O relatório também aponta que a distribuição ou capotamento de ilhas de barreiras podem acarretar em mudanças irreversíveis modificando assim a estrutura física e até mesmo de ecossistemas que compõem a costa. Também pode-se afirmar que o degelo do permafrost (tipo de solo que tem em sua constituição terras, gelo e rochas que são permanentemente congeladas, esse tipo de solo pode ser encontrado na região do Ártico) e o declínio do gelo em regiões como o mar Ártico podem sofrer interferências negativas, aumentando ainda mais a vulnerabilidade aos feitos erosivos provocados pelas ondas em regiões costeiras.

Impactos da mudança do clima já são observados na atualidade sobre a costa. O Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) sistematizou dados e informações indicando que as diferentes regiões do Brasil já vêm experimentando alterações em seus climas característicos. Um aumento da temperatura poderá conduzir a um incremento na frequência de eventos extremos nas diferentes regiões do Brasil, bem como uma alteração

no regime de chuvas, com maior ocorrência de secas, inundações, alagamentos, deslizamentos de encostas e consequentes deslocamentos populacionais das regiões atingidas. Essas alterações terão consequências na sociedade, nos ecossistemas e nos diferentes setores da economia (PLANO NACIONAL DE ADAPTAÇÃO À MUDANÇA DO CLIMA, 2016).

As mudanças climáticas podem também desencadear ou agravar o processo erosivo, em decorrência de alterações na distribuição das chuvas e na frequência direcional e intensidade dos ventos e ondas, fatores estes que afetam a hidrodinâmica, o balanço e a dispersão dos sedimentos ao longo da costa (RODRIGUES, 2014).

Os processos de ocupação costeira reduzem a capacidade de adaptação da linha de costa, uma vez que impedem o deslocamento e a realocação destes ambientes. Assim, ao mesmo tempo em que a erosão compromete e causa a supressão, ou eliminação desses habitats, impactando a biodiversidade e os serviços associados a eles, como proteção da costa contra tempestades e inundações, a própria ocupação humana também é afetada, tanto pela perda de território, quanto pelas maiores magnitudes e frequências desses eventos oceanográficos, cujas consequências passam a ser mais severas, principalmente em planícies costeiras de baixa altitude que sofrem com as inundações (JACOBI *et al.*, 2015).

As ondas, juntamente com marés e ventos, tornam a zona costeira um setor altamente dinâmico, intervindo de maneira significativa na mobilização, circulação e transporte de sedimentos, definindo as características morfológicas das praias. As condições da agitação marítima são influenciadas por fatores climáticos com variabilidades em diferentes escalas temporais, por processos não-lineares que controlam os Estados de mar no decorrer de décadas, estações do ano e pelas flutuações de curto prazo de condições de climas locais (REGUERO *et al.*, 2012).

Em seu trabalho Jacobi *et al.* (2015) enfatizam os impactos que a elevação do nível do mar trazidos com as mudanças climas podem causar, chamam atenção para os processos de salinização dos estuários, assim como a entrada de água do oceano em zonas de água doce. Quando o nível do mar continua subindo cria-se mais resistência para o fluxo dos rios, ou avança em direção ao continente alterando a salinidade e causando impactos na biota que não está susceptível a tolerar tais alterações.

Conforme Peres *et al.* (2020) ao realizarem uma pesquisa sobre os impactos que as mudanças climáticas vem causando e ainda causarão à região costeira de São Paulo, foi confirmado que a alteração de parâmetros, físicos, químicos e biológicos são um

indicativo de que tais mudanças estão interferindo no aumento da temperatura do ar, nas correntes marinhas, frequência de inundações, tempestades, e multiplicação excessiva de algas nos mares, assim como mudança na qualidade das águas costeiras, entre outros fatores que irão aumentar estando previstos para os próximos trinta a quarenta anos.

## 2.6 Gerenciamento costeiro

Diante do delineamento recente de uma nova perspectiva com foco nas questões concernentes às mudanças socioambientais associadas à crise ambiental da contemporaneidade, nas zonas costeiras e nas comunidades aí inseridas, especialmente no que se refere às mudanças do clima. É fundamental a compreensão das interações entre as zonas costeiras e as variáveis relacionadas a essas mudanças, com o intuito de promover a gestão territorial adequada e delinear medidas de adaptação diante de novos cenários de aquecimento global, elevação do nível do mar, erosão costeira, inundações, perda da biodiversidade, dentre outros (PINHO *et al.*, 2019).

A Gestão Integrada da Zona Costeira pode ser considerada como um compartilhamento de responsabilidades voltadas para um conjunto de recursos e sistemas conectados. De forma prática é a gestão feita por muitos, integrando os diferentes instrumentos e saberes de cada um. O Decreto nº5.300, de 7 de dezembro de 2004, que regulamenta a Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988, constitui seu embasamento legal (GUIA DE DIRETRIZES DE PREVENÇÃO E PROTEÇÃO À EROSÃO COSTEIRA, 2018).

Em termos de gestão costeira, o Artigo 14 da Lei nº 13.240, de 30 de dezembro de 2015, autoriza a transferência de gestão das praias marítimas urbanas, estabelecendo uma gestão compartilhada entre a União e município. Este último assina o termo de adesão que será analisado pela Secretaria do Patrimônio da União (SPU), e, igualmente, são estabelecidos critérios de garantia da equidade socioambiental das praias, como o uso e ocupação de acordo com o suporte do meio físico, ou seja, estabelecendo os critérios de Ordenamento Territorial e Turístico desses espaços (SOBREIRA, 2018).

A base ecossistêmica para a gestão tem, como concepção fundamental, a consideração de que os sistemas marinhos e costeiros são entendidos como um conjunto de ecossistemas compostos por elementos ecológicos (naturais), econômicos e sociais. Numa versão tradicional, o sistema costeiro seria descrito como o empilhamento de informações físicas, biológicas e socioeconômicas, na expectativa de serem integradas e

gerarem possíveis unidades de análise e de gestão. Essa integração tem se demonstrado muito difícil, quando não impossível, levando cientistas ou gestores a optarem por definir um critério de classificação da costa que não necessariamente reflete uma integração da informação considerada (ASMUS *et al.*, 2018).

O litoral alagoano possui aproximadamente 230 km de linha de costa e está localizado na região nordeste do Brasil, entre as latitudes 8°8'12" S e 10°29'12" S. As praias em Alagoas são amplamente utilizadas pela população como áreas de lazer, com banhos de sol e mar, passeios pela areia e pesca esportiva. Estas atividades devem ser ordenadas para que todos possam usufruir os muitos quilômetros de praias que o Estado possui, como os passeios motorizados (bugres, motocicletas e outros veículos automotivos), saída e chegada de embarcações (barcos, lanchas, jangadas, bananas-boat, jet-skis) e de ultraleves (CORREIA e SOVIERZOSKI, 2005).

A caracterização histórica da zona costeira do Estado de Alagoas demonstra que, desde o início da ocupação humana, os ecossistemas costeiros alagoanos vêm sofrendo inúmeros impactos antrópicos, diretos e indiretos, decorrentes de desmatamentos, implantação da agroindústria canavieira e poluição. Somam-se a estes problemas os impactos decorrentes do crescimento desordenado das cidades, incluindo os aspectos populacionais e industriais, principalmente devido à ausência de infraestrutura e de saneamento básico (CORREIA e SOVIERZOSKI, 2008).

Apesar da falta de eficiência dos instrumentos de gestão de praias, esta gestão é necessária e importante para muitas atividades na orla, sendo o turismo uma das atividades mais presentes. Para a estruturação de um destino turístico de sol e praia, com boa gestão das praias, há que se identificar os pontos críticos a serem vencidos (SCHERER, 2013).

O processo acelerado de degradação nas últimas décadas compromete a sustentabilidade ecológica, econômica e social de diversas destas atividades no Brasil e no planeta. Portanto, é importante traçar estratégias de conservação como a gestão costeira integrada, planos diretores, reservas legais, áreas de preservação permanente e estratégias territoriais mais amplas como o planejamento espacial marinho e o zoneamento ecológico-econômico (RIBEIRO *et al.*, 2020).

As Unidades de Conservações Marinhas podem ser criadas em instâncias privadas, municipais, estaduais e federais por diferentes razões políticas, culturais, sociais, econômicas e ambientais. Estes ecossistemas são responsáveis por fornecer bens e serviços ambientais, culturais e econômicos imprescindíveis à sobrevivência humana e

diminuição da enorme desigualdade social brasileira. Diante desse cenário desafiador, faz-se necessário o uso de abordagens inter e transdisciplinares visando a proposição de soluções para as Unidades de Conservação Costeiras e Marinhas (UCM) e inovar na criação, efetividade e gestão destas UCs (RIBEIRO *et al.*, 2020).

Houve um avanço considerável de UCM, na região amazônica, em uma zona que possui os mais importantes manguezais brasileiros (FERREIRA e LACERDA 2016).

A gestão costeira torna-se uma questão central que visa unir o desenvolvimento econômico, protegendo e garantindo os recursos naturais para gerações futuras, incluindo o bem-estar da população. Ela tem como resultado a promoção de ações para minimizar os impactos negativos envolvendo a comunidade nas tomadas de decisões. Planos de ações que objetivam a melhoria da gestão da zona costeira no Brasil são abundantes, incluindo os Planos Estaduais de Gerenciamento Costeiro (CHUEIRI e FORTUNATO, 2021).

## **2.7 Sistemas Digitais de Análise de Linha de Costa**

Com o surgimento de ferramentas de informações geográficas e que auxiliam no detalhamento da interface mar-terra, tornou-se possível a sua representação cartográfica em consonância, há atualmente uma necessidade de redefinição de critérios e regras para a Delimitação da Linha de Costa (LDC), como habitualmente é entendida (traço de separação entre o mar e a terra) trazendo assim a perspectiva linear de como a linha de costa é representada por meio do elemento gráfico ao qual pode ser apresentada em um mapa (ALVES-DA-SILVA e VENTURA, 2011).

O uso de técnicas de geoprocessamento e Processamento Digital de Imagens (PDI) são aliados importantes nos estudos voltados ao gerenciamento de ecossistemas costeiros. No intuito de auxiliar o monitoramento dos impactos ambientais gerados pelos processos erosivos da linha de costa com base na análise de dados multifonte, a maioria deles procedente de séries temporais de produtos de sensoriamento remoto (SOUSA *et al.*, 2017).

A utilização de imagens multitemporais de satélites, de radares, fotografias aéreas e cartas, aliadas à Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) possibilita, portanto, o monitoramento de paisagens que respondem a diversas perturbações e efeitos complexos e difíceis de serem previstos, tais como as paisagens contidas nos ambientes costeiros,

que sofrem mudanças constantes em função da instabilidade das linhas de costas (RANIERI e MAÂMAR, 2015).

### 2.7.1 Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil)

O Sistema de Modelagem Costeira (SMC) desenvolvido pelos pesquisadores do IH-Cantábria para o Ministério de Meio Ambiente Espanhol, é uma ferramenta que inclui um conjunto de metodologias e modelos numéricos, que permitem estudar os processos costeiros e quantificar as variações que sofre o litoral como consequência de eventos naturais ou de atuações humanas na costa (RODRIGUES, 2014).

O modelo SMC possui como uma das premissas que a direção principal da propagação de ondas é em x, ou seja, entrando de forma transversal às isolinhas de batimetria, e que o giro máximo de entrada de ondulações é de até 50°, não cumprindo assim as premissas básicas do modelo, sendo importante ressaltar que quando as premissas são descumpridas, o modelo não é confiável (KIEIN *et al.*, 2016).

Para Silva *et al.* (2017), esse sistema foi adaptado no Brasil e trabalhado diretamente na administração pública, onde a SMC refere-se a uma ferramenta de modelagem computacional que atrelada a metodologias diversificadas bem como bases de dados geográficos, náuticos, e modelos matemáticos, que processem resultados para a problemática envolvida, assim como sugestões de ações mitigatórias para a gestão de zonas costeiras.

Os modelos evoluíram incorporando mais variáveis e dimensões, avançando por anos e décadas de simulações, na medida em que crescia a capacidade de processamento dos computadores. A difusão de supercomputadores permitiu que centros de climatologia se formassem em diferentes países, cada um desenvolvendo seus próprios modelos de circulação atmosférica (LEITE, 2015).

Conforme Klein *et al.* (2016), em seu estudo notaram que o modelo SMC-Brasil apresentou uma capacidade satisfatória em propagar as ondas até a costa das praias onde realizam sua pesquisa. Consequentemente de posse dos resultados foi possível denotar a influência dos promontórios e ilhas presentes na área bem como o grau de exposição das ondas ao longo das praias. Contudo, em razão de algumas limitações do Modelo SMC-Brasil, não foi possível expressar aptidão em relação a propagação de ondas em relação as áreas abrigadas nessas praias.

Segundo Santos (2010), ao realizar análises através de fotografias aéreas verticais correspondentes a 1965, sobre as linhas de costa na área que foram do Rio Persinunca, divisa entre os Estados de Alagoas e Pernambuco e seguiu até o Pontal do Pega, evidenciou respostas nas modificações no posicionamento da linha de costa, em que principalmente através da obtenção dos dados de campo foi possível detectar tais modificações, o que não ocorreu no Pontal do Peba. O estudo serviu de embasamento para que pudessem serem traçadas diferentes linhas de costa, fornecendo assim informações para a geração dos mapas de acompanhamento da evolução das erosões através do *software* ArcMap 9.2®.

Em um de seus estudos Almeida *et al.* (2021), puderam obter através de análise utilizando modelagem, primordialmente três pontos importantes, sendo eles: definição dos níveis de retrogradação litorânea, que correspondem as (áreas com maior potencial erosivo), categorização de grau de vulnerabilidade da costa a erosão marinha, e indicação de regiões de preservação da paisagem, essas que possuam vez fazem parte do desenvolvimento da recuperação das zonas costeiras com a atuação das mudanças climáticas, em área sem urbanização, localizadas no município de Barra de São Miguel Estado de Alagoas.

De acordo com Santos (2010), alguns impactos ligados as mudanças climáticas puderam ser apontadas em seu estudo, em que ele relaciona com a distribuição anual dos ventos, assim como a maior frequência nos avanços nos sistemas frontais. Tendo em vista tais parâmetros, resultados relacionados ao maior contraste térmico entre as massas de ar levantados no estudo demonstraram as marés, e a condição sizígia como fator fundamental para a ocorrência de agente erosivos registrados na costa de Alagoas, representando 93% dos casos. Se for considerado apenas os eventos ocorridos sobre condições de marés de sizígia em períodos equinociais, ou seja, nos meses de março e setembro, estes corresponderam a 30% dos casos.

### **2.7.2 Digital Analyses System (DAS)**

O uso de técnicas de geoprocessamento é um importante aliado em estudos voltados ao gerenciamento de ecossistemas costeiros, no intuito de minimizar os impactos ambientais gerados pela erosão da linha de costa com base na análise de dados multifontes, a maioria deles são procedentes de produtos de sensoriamento remoto

multitemporais. Estas ferramentas geram informações que são manipuladas no ambiente Sistema de Informações Geográficas (SIG), (MEDEIROS *et al.*, 2008).

De acordo com Magalhaes *et al.* (2017), o *Digital Analyses System* (DAS) serve para realizar cálculos de taxas relacionadas a mudanças com bases em metodologias estatísticas diversificadas, ao qual permite a confiabilidade para produção de mapas das áreas de estudo, em sua maioria de caráter detectáveis de riscos e vulnerabilidade.

A maioria dos trabalhos sobre a aplicação de modelos geostatísticos aos processos de mudanças a linha de costa, baseados nos algoritmos do DSAS (*Digital Shoreline*

*Analysis System*) foram realizados nos Estados Unidos, mas o modelo geostatístico permite adequações que melhor se adaptem à área de estudo. Logo, a melhor forma de utilização dos métodos depende dos objetivos específicos e das variáveis de tempo especificamente para cada trecho de praia (MEDEIROS *et al.*, 2008).

O DSAS versão 4.4 é uma extensão de *software* do Esri ArcGIS v.10.4 e 10.5 que permite ao usuário calcular estatísticas de taxa de mudança da linha costeira a partir de várias posições históricas da linha costeira. Uma interface amigável de botões e menus simples orienta o usuário através das principais etapas da análise da mudança da linha costeira (THIELER *et al.*, 2009).

### 2.7.3 End Point Rate (EPR)

Determinar a resposta física da linha costeira ao aumento do nível do mar é um dos problemas mais importantes na geologia costeira atualmente, e a capacidade de prever o recuo da linha costeira e as taxas de perda de terra é crítica para o planejamento de estratégias de gestão da zona costeira. Para estimar a vulnerabilidade costeira à erosão, ao longo dos anos vários métodos têm sido usados. Em resumo, esses métodos levam em consideração cada parâmetro em relação com as mudanças climáticas futuras e como essa mudança afetará o nível do mar (KOTINAS *et al.*, 2013).

O método relaciona o espaço e tempo, fazendo o cálculo dividindo a distância do movimento pelo tempo transcorrido entre a linha mais antiga e a mais atual, já o método de regressão linear (LRR) utiliza todos os transectos para a execução do cálculo aplicando conceitos estatísticos (THIELER *et al.*, 2005)

O EPR é a distância em metros da linha de costa mais antiga para a mais nova, dividido pelo período da análise (m/ano), ou seja, é uma média. Permite em geral uma média de variação anual em metros (positiva ou negativa) por ano ao longo do período. Pode servir como parâmetro para projeção de cenários. Considera somente duas linhas de

costa (extremas temporalmente). Pode mascarar ciclos ou tendências erosivas e/ou deposicionais ao longo do período (SOUZA, 2016). O método de EPR leva em consideração apenas a linha de costa mais antiga e a mais atual, neste cenário realmente pode-se observar um estado erosivo.

Para quantificar a evolução da linha de costa, faz-se necessário definir inicialmente a linha de costa, podendo esta ser a linha do máximo espraiamento da onda, elevação do mar, ou a linha de vegetação, ou ainda, outro traço evolutivo evidente. Para observar tais feições e demarcar a posição das linhas de costa pretéritas e atuais emprega-se o método de posicionamento por satélites artificiais GPS-RTK e/ou fotografias aéreas verticais e imagens de satélite (KIEIN *et al.*, 2016).

#### **2.7.4 Coastal Analyst System from Space Imagery Engine - CASSIE**

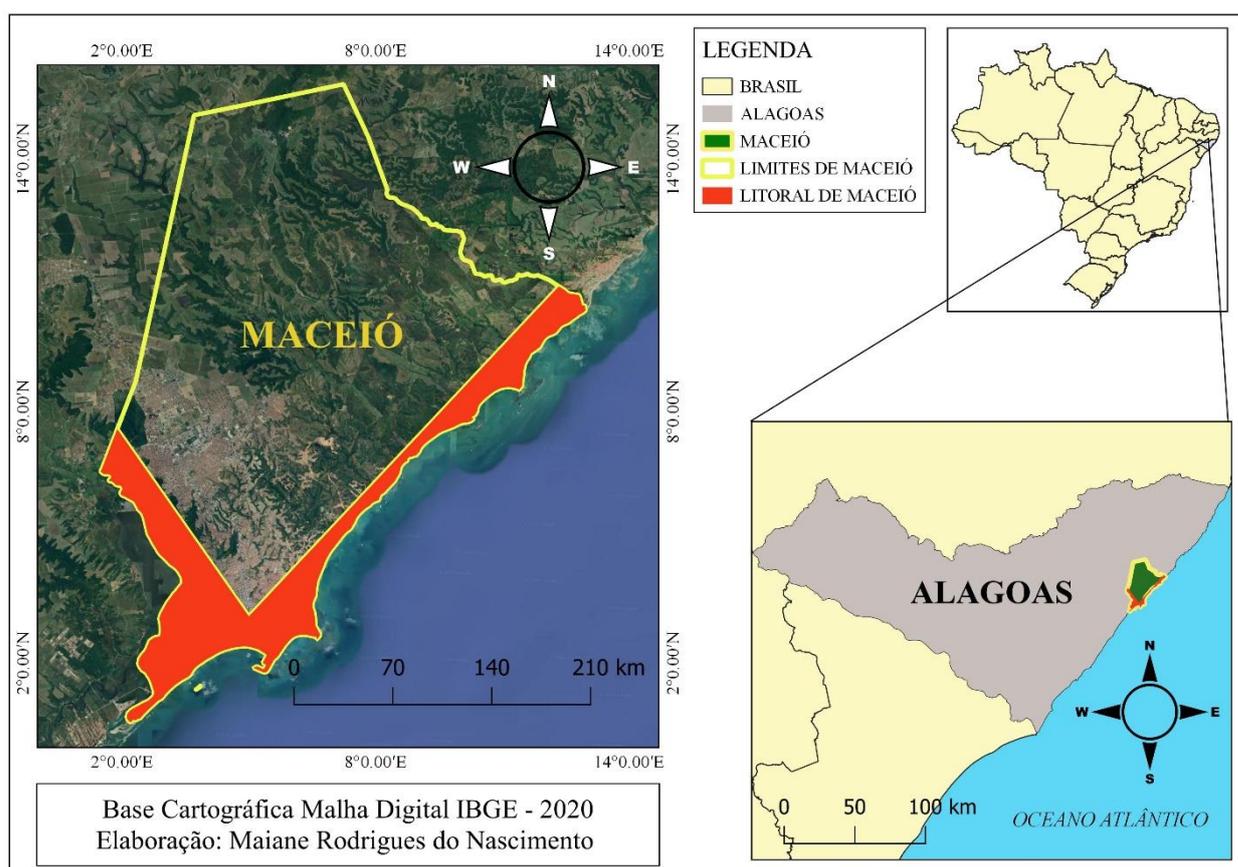
O módulo ShoreAnalyst do CASSIE é uma interface gráfica de usuário (GUI) construída com JavaScript GEE API e pode ser usado para carregar e visualizar imagens de satélite, e para conduzir detecção e análise automática da linha costeira para qualquer local na Terra onde haja uma fronteira entre água e terra existe. Com o CASSIE é possível realizar análises de linhas costeiras e exportar os produtos (linhas costeiras, linha de base, transectos e resultados estatísticos) para o formato de arquivo de forma ESRI, que permite ao usuário final explorar ainda mais seus conjuntos de dados em ferramentas GIS (ALMEIDA, *et al.*, 2021).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Área de estudo

A cidade de Maceió é a capital do Estado de Alagoas e está localizada no litoral do Nordeste brasileiro entre as latitudes 9° 45' Sul e longitude 35° 42' Oeste (Figura 2). Segundo o IBGE (2022), Maceió possui área total de 512,8 km<sup>2</sup> e população de cerca de 1.031.597 habitantes, sua geográfica tem características diversificadas, influenciada pela presença do Oceano Atlântico e também pela presença de várias formações de lagoas.

**Figura 2** – Localização da área de estudo, Litoral de Maceió -AL



Fonte: Autora, 2023.

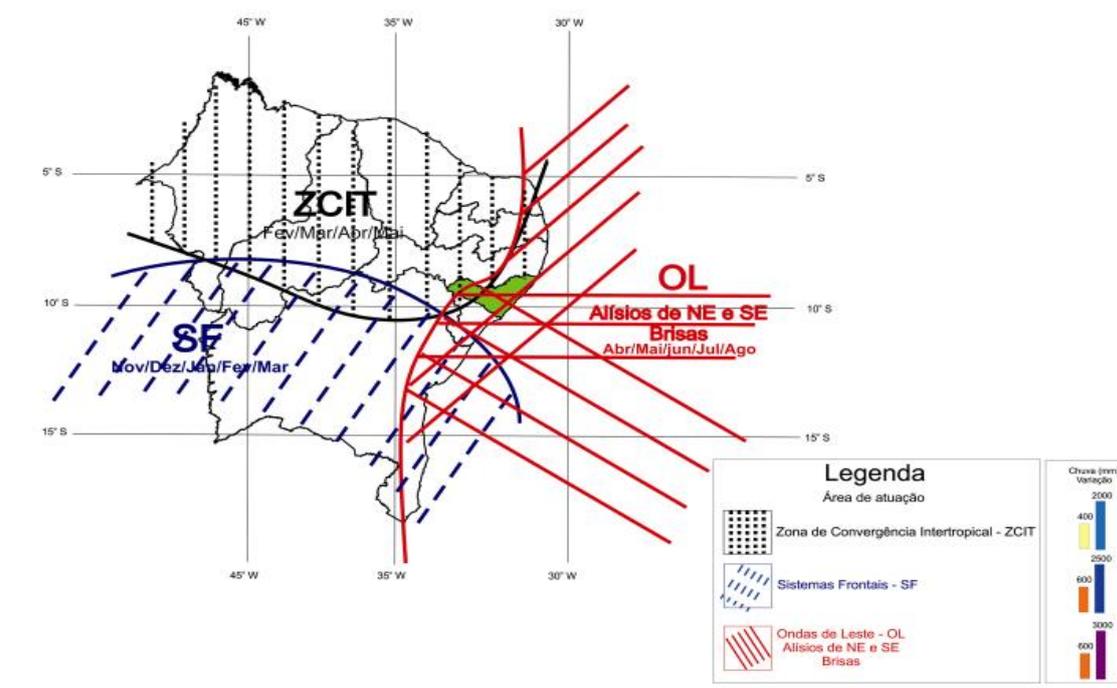
A cidade de Maceió apresenta clima quente e úmido. Caracterizado segundo a classificação climática de Köppen. Suas temperaturas médias mensais variam em torno de 25,1°C. Tendo uma máxima mensal de 29,9°C e a mínima de 20,8°C. A umidade relativa do ar é em média de 80,5 %, sendo julho o mês mais úmido do ano e novembro o mês mais seco. Seu índice pluviométrico é superior a 1410 milímetros anuais. Na região

costeira, as chuvas ocorrem mais frequentes nos meses de abril a junho, com ventos vindos do Sudeste (SANTIAGO e GOMES, 2016).

O regime de chuvas no Estado de Alagoas está diretamente relacionado com as configurações da circulação atmosférica e oceânica em grande escala sobre os trópicos, dentre os quais destacam-se a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); os Sistemas Frontais (SF), alimentados pela umidade do Atlântico Sul, que definem a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS); as Perturbações Ondulatórias no campo dos ventos Alísios (POAS), que são agrupamentos de nuvens que se movem no Atlântico, de leste a oeste; e dos Ventos Alísios de Nordeste e Sudeste (BARROS *et al.*, 2011).

Além disso conforme a Figura 3, o Estado de Alagoas fica também submetido à influência de sistemas meteorológicos, que organizam a convecção em escala sinótica, os quais interagem entre si, tais como os vórtices ciclônicos de altos níveis que provocam precipitação durante a primavera, verão e outono (setembro a abril), com ocorrência máxima no mês de janeiro (KOUSKY; GAN, 1981) e, a oscilação 30- 60 dias ou oscilação de Madden-Julian (KOUSKY; KAYANO, 1994) *Apud* (BARROS *et al.*, 2011).

**Figura 3** – Sistemas meteorológicos que provocam chuvas na região Nordeste. A área em verde mostra a localização do Estado de Alagoas.



Fonte: Adaptado de Nobre (1986); Molion e Bernardo (2002).

Já para Barbosa e Vecchia (2009), sobre Maceió, que está localizada na faixa costeira do Nordeste brasileiro, entre a latitude 9°39'57" Sul e longitude 35°44'07" Oeste, tem gênese climática relacionada com a flutuação do equador térmico, conceito similar ao da Zona de Convergência Inter-tropical (ZCIT), que condiciona os sistemas atmosféricos atuantes sobre essa região do Brasil. Esses sistemas, por sua vez, são afetados pelos fatores geográficos de modificação das condições iniciais do clima. No caso específico de Maceió, têm-se a presença de grandes massas de água, correspondentes ao oceano Atlântico e Laguna Mundaú, além da reduzida latitude que lhe garante maior número de horas de Sol, ao longo do ano, o que, devido a esse fator, confere-lhe especial balanço energético, garantindo-lhe maior incidência de radiação solar.

Maceió possui relevo de solos urbanizáveis, compartimentado em planícies costeiras e baixos planaltos em tabuleiro, resultantes respectivamente de dois períodos geológicos distintos, o quaternário e o terciário, contribui para conformar duas situações urbanas principais: cidade-baixa e cidade-alta. Uma terceira situação urbana corresponde à formação de uma cidade-das-grotas-e-encostas, compreendendo o conjunto de ocupações, usualmente de baixa renda, que se desenvolveu nas encostas e vales de riachos e nas encostas de falésias (FARIA, 2016).

A formação territorial acidentada da cidade esconde a maioria das ocupações irregulares existentes, especialmente nas encostas dos vales, também denominadas grotas. As grotas de Maceió são áreas de fundo de vale que funcionam como as calhas naturais da cidade, levando as águas da chuva até a planície marítima (CERQUEIRA, *et al.*, 2021).

Ocorreu a verticalização da orla maceioense, de forma acelerada incentivada pelo desenvolvimento do setor turístico, e inicialmente desordenada. Desde então as alterações nos mecanismos legais de ordenamento do solo se mostraram assertivas, ainda que devam ser questionadas, estudadas e testadas para que as alterações continuem se convertendo em melhorias. Os bairros litorâneos da cidade tornaram-se alvo de especulação imobiliária. Encontrando-se extremamente ocupados, apresentaram uma tendência de expansão para o litoral norte, regulamentado pelos parâmetros construtivos que permitem edifícios verticais de até 20 pavimentos, ocasionando tipologias construtivas diferentes dos bairros vizinhos, passíveis de estudos de impactos climáticos visto que o agrupamento desse tipo de edifícios na orla são uma novidade, da qual não se conhecem as consequências (NASCIMENTO e BARBOSA, 2021).

### **3.2 Dados Meteorológicos**

Os dados utilizados para realização das análises correspondem aos das estações convencionais da cidade Maceió localizada na parte alta da cidade, Latitude: -9.551, Longitude: -35.770 para o período de 1991 a 2021, e foram obtidos por meio da base de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As variáveis usadas foram dados mensais de precipitação total mensal, temperatura média mensal, velocidade do vento média mensal, e as falhas identificadas em alguns períodos foram preenchidas pela média climatológica mensal em todas as variáveis que possuíam falhas.

Também foram utilizados dados para a variável de precipitação total mensal das estações pluviométricas nos bairros Cruz das Almas e Ipioca, em Latitude: -9,632°, Longitude: -35,707 ° e Latitude: -9,529 °, Longitude: -35,608 °, respectivamente, pois estão localizadas no litoral de Maceió a qual é a área de estudo, os dados foram obtidos através da Defesa Civil Municipal (CEMADEN), para o período de 2015 a 2021, o curto período se deve ao fato da escassez de dados para as essas estações localizadas nos bairros que compõem o litoral do município, as variáveis não apresentaram falhas, mesmo se tratando de um período relativamente curto foi realizada análise de tendência da precipitação e verificação do comportamento se é semelhante aos dados da estação de Maceió do INMET localizada na parte alta, para que a partir da tendência de temperatura média mensal e velocidade do vento mensal, seja possível estimar como se comportariam tais variáveis nas estações do litoral de Maceió já que não há dados de tais variáveis para a análise da região litorânea.

Foram também realizados os mesmos procedimentos estatísticos para as análises das variáveis de níveis de marés no litoral, os dados brutos foram obtidos junto a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil e a Administração do Porto de Maceió. Devido à ausência de marégrafos instalados de forma permanente no Estado de Alagoas, os dados da DHN representaram curtos períodos de observação em que a Marinha revisitou o Porto e reinstalou um marégrafo na região. Os dados mais antigos correspondem ao ano de 2003 e os mais recentes ao ano de 2019.

### **3.3. Análise de tendências**

Para o desenvolvimento da pesquisa foi utilizada a análise de tendência de precipitação total, temperatura média, e velocidade média do vento para que assim, possa ser verificado se nas séries há tendências, e estimar comportamento futuro das mesmas.

O teste de Mann-Kendall é um teste de cunho estatístico não paramétrico o qual é utilizado para analisar e identificar tendências, este que por sua vez é indicado pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM) para estudos que trabalham com tendências com séries temporais mais extensas (MARENGO e ALVES, 2005; FOLHES e FISCH, 2006; OBREGÓN e MARENGO, 2007; BLAIN, 2010, HIERA *et al.*, 2019; Apud CAVALCANTE, 2022). Esse teste é largamente usado para testar tendências em séries temporais hidrológicas e climatológicas (CHATTOPADHYAY E EDWARDS, 2016; Apud BOMFIM, *et al.*, 2020).

Neste trabalho algumas variáveis não possuíam séries mais robustas como de 30 anos, devido às estações meteorológicas da defesa civil de Maceió terem sido instaladas mais recentemente (variável precipitação, estações Cruz das Almas e Ipioca, período de 2015/2021). Ainda assim, é importante utilizar essas séries para analisar o comportamento da variável ao longo do tempo e como esse comportamento tende a ser nos próximos anos, por isso mesmo com um curto período, foi aplicado o teste de Mann-Kendall nas mesmas.

No estudo da avaliação das tendências o teste não paramétrico Mann-Kendall realiza a interpretação da ocorrência ou não de correlação das séries pelo teste não paramétrico de sequências, no qual é responsável por analisar a existência de uma tendência imprevista dentro das séries do estudo submetido. No caso de séries que são submetidas e tendem a passarem no teste é necessário que o processo seja realizado pelo teste Mann-Kendall modificado, assim tem-se em consideração a autocorrelação, em que as tendências significativas são removidas inicialmente, conforme a Equação 1 a estatística do teste (HAMED e RAO, 1998; SANSIGOLO e KAYANO, 2010, LOPES e DA SILVA, 2013, Apud CAVALCANTE, 2022):

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(x_i - x_j) \quad (1)$$

Em que  $x_j$  são os dados estimados da sequência de valores,  $n$  e o número de elementos da série temporal e o sinal  $(x_i - x_j)$  é igual a  $-1$  para  $(x_i - x_j) < 0$ ,  $0$  para  $(x_i - x_j) = 0$ , e  $1$  para  $(x_i - x_j) > 0$ . Kendall mostrou que  $S$  é normalmente distribuída com média  $E(S)$  e variância  $\text{Var}(S)$ , que para uma situação na qual pode haver valores iguais de  $x$ , são calculadas pelas equações:

$$E[S] = 0 \quad (2)$$

$$Var[S] = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad (3)$$

Em que ( $t_p$ ) é o número de dados com valores iguais em certo grupo ( $p$ th) e  $q$  é o número de grupos contendo valores iguais na série de dados em um grupo  $p$ ; o segundo termo representa um ajuste para dados censurados. Usando-se a Eq. 1, tem-se que o valor positivo de  $S$  indica tendência também positiva dos dados que crescem com o tempo; por outro lado, o valor negativo indica tendência decrescente. Sabendo-se que  $S$  é normalmente distribuída e que tem média zero e variância dadas pelas Eqs. 2 e 3, respectivamente, pode-se testar se a tendência positiva ou negativa é significativamente diferente de zero; se  $S$  é significativamente diferente de zero, a hipótese nula  $H_0$  pode ser rejeitada para certo nível de significância apontando para a existência de tendência; inversamente, a hipótese alternativa ( $H_1$ ) é aceita. O teste estatístico parametrizado (ZMK) é computado pela seguinte equação:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

A presença de uma tendência estatisticamente significativa é avaliada usando-se o valor de  $Z$ ; tal estatística é empregada para testar a hipótese nula, isto é, que nenhuma tendência existe. Um valor positivo de ZMK indica um aumento da tendência e, quando negativa, aponta tendência decrescente (SILVA *et al.*, 2010). Para testar a tendência monotônica crescente ou decrescente no nível de significância de  $p$ , a hipótese nula é rejeitada se o valor absoluto de  $Z$  for maior que  $Z_{1-p/2}$ , utilizando-se a tabela da distribuição normal cumulativa padrão. Os níveis de significância de  $p = 0,01$  e  $0,05$  foram aplicados neste estudo.

A análise de tendências também foi utilizada para realizar o comparativo do comportamento das variáveis climáticas em função do deslocamento da linha de costa. Dessa forma foi possível identificar se a redução ou aumento delas exerceu impacto nas

erosões da linha de costa do litoral de Maceió, e até mesmo em seu quadro evolutivo, desencadeando ou não, a vulnerabilidade de determinados trechos do litoral.

Para essa análise foram associados os resultados das variáveis meteorológicas à duas imagens de satélites, e essas imagens foram adquiridas por meio da plataforma Google Earth. Essa plataforma tem disponibilidade de imagens dos satélites Landsat 4 e 8, foi adotada a imagem do ano de 2002, como sendo o referencial mais próximo do ano de 1991, período inicial das análises, visto que há indisponibilidade de imagens anterior a esse ano. A imagem mais recente para o comparativo refere-se ao ano de 2021, período mais longo registrados por algumas das séries analisadas. Tal procedimento teve como objetivo identificar de forma multitemporal como se encontrava o ponto mais crítico do litoral de acordo com os resultados encontrados pelo CASSIE. Dessa forma, foi possível avaliar do ponto de vista espaço-temporal a erosão no ponto mais erodido da linha de costa de Maceió.

As tendências das variáveis meteorológicas juntamente com a análise das imagens de satélites serviram para evidenciar se o litoral sofreu a interferência da variabilidade climática, desencadeando processos erosivos na linha de costa do litoral de Maceió.

Esse comparativo de subidas e declínios das tendências aliados a imagem mais antiga e comparada à imagem mais recente, puderam definir como as variáveis meteorológicas influenciaram na modificação das praias do litoral.

### **3.4 Teste de Significância de T-Student**

O teste de significância T-Student foi aplicado para realizar a validação dos dados temporais, como foi o caso das variáveis hidrometeorológicas, pois a partir da aplicabilidade do teste foi possível evidenciar se os valores das tendências obtidas por meio do teste de Mann-Kendall possuíam significância estatística.

A utilização de testes paramétricos são preferencialmente empregados em análises de dados quantitativos, isso devido a maior propensão a identificação de diferenças, portanto, testes como o T-Student são alternativas estatísticas aplicáveis principalmente quando se tratam de dados quantitativos (WAGNER, 1998; *Apud* CAVALCANTE, 2022).

Este teste se aplica a planos amostrais em que se deseja comparar dois grupos independentes, não se exige que as amostras tenham o mesmo tamanho. Segundo (MONTGOMERY, 2001; *Apud* SILVA, 2020), uma hipótese estatística é uma afirmação

sobre os parâmetros de uma ou mais populações. Também pode ser pensada como uma afirmação acerca da distribuição de probabilidade de uma variável aleatória.

Para amostras de tamanho  $N > 30$ , denominadas de grandes amostras, as distribuições das amostras de variadas estatísticas são quase normais e melhores com o aumento de  $N$ . Já para as amostras pequenas, as distribuições amostrais de diversas estatísticas não são boas, tornando-se piores com o decréscimo de  $N$ , de tal maneira que devem ser introduzidas as modificações adequadas (CAVALCANTE, 2022).

O teste de T-Student é um teste de significância de extrema relevância, principalmente utilizado em análises de pesquisas na área da meteorologia, para assim estimar e validar tais dados (KAYANO e KOUSKY, 1996; FIGUEROA, 1997; CASTRO, 2002; DA SILVA, 2009; SOUZA NETO, 2019; BONFIM, 2018; CAVALCANTE, 2022), para o cálculo aplica-se a equação 5:

$$t_c = \frac{t}{\sqrt{n-2}} + t^2 \quad (5)$$

Sendo:  $t_c$  = valor do percentil e  $c$  é o grau de liberdade;  $c = 0,95$  ou  $95\%$ ;  $t$  = valor do percentil tabelado de acordo com  $v$  ( $n-1$ );  $n$  = número de dados.

### 3.5 Análise de Ondeletas/Ondaletas ou Wavelet (AO)

As séries temporais das variáveis meteorológicas de Maceió foram submetidas à AO com o objetivo de identificar as escalas temporais presentes nas séries e isso levará à identificação do sistema ou fenômeno que ocorre ou influencia as variáveis locais. Desse modo, fica mais claro quais fenômenos climáticos atuam sobre as variáveis e assim, se o local sofre comprovadamente interferência climática.

O termo Ondaleta refere-se a um conjunto de funções com forma de pequenas ondas que são geradas por dilatações,  $\Psi(t) \rightarrow \Psi(2t)$ , e translações,  $\Psi(t) \rightarrow \Psi(t+1)$ , de uma função base geradora simples  $\Psi(t)$ , assim, através da ondeleta-mãe, pode ser gerada as chamadas ondeletas-filhas. A base da Transformada de Fourier é contatada que cada função base é obtida a partir de simples dilatações na frequência, conciliando as propriedades de dilatação e translação em um exemplo de função base, sendo obtida as chamadas funções ondeletas, em que as dilatações e translações são dadas por duas variáveis nomeadas  $\mathbf{j}$  e  $\mathbf{k}$ , respectivamente (BOLZAN, 2006).

Primeiramente os índices para cada variável devem ser tratados, e em seguida, submetidos à AO. Os índices são as anomalias das variáveis, que são calculadas a partir da climatologia mensal e normalizada pelo desvio padrão, como na Equação 6 (DA SILVA, 2009):

$$AVar_{i,j} = (Var_{i,j} - \overline{Var}_i / \sigma_i) \quad (6)$$

Em que:  $AVar_{i,j}$  é a anomalia da variável, no ano  $j=1, 2, 3, \dots, N$  e mês  $i=1, 2, 3, \dots, 12$ ;  $Var_{i,j}$  é a variável no ano  $j=1, 2, 3, \dots, N$  e mês  $i=1, 2, 3, \dots, 12$ , o qual foi calculado sua anomalia;  $\overline{Var}_i$  é a média climatológica do mês a ser calculado a anomalia e  $\sigma_i$  é o desvio padrão utilizado para cada mês  $i$  específico.

A Ondaleta de Morlet é definida como uma exponencial complexa modulada por uma Gaussiana, que é dada pela Equação 7 (ANDREOLI *et al.*, 2004, Da Silva, 2017, *Apud* CAVALCANTE, 2022):

$$\psi(t) = e^{i\omega_0 \eta e^{-\eta^2/2}} \quad (7)$$

Em que  $\eta = t/s$ , onde  $t$  é o tempo,  $s$  é a escala da ondaleta em função do tempo ( $= 2/dt$ ) e  $\omega_0$  é uma frequência não-dimensional ( $\log_1 = 0,7$ ), escolhidos conforme Andreoli *et al.* (2004); todos introduzidos no “script” de programação do Software Matlab®.

### 3.6 Análise posicional da linha de costa

Para a determinação da dinâmica posicional da linha de costa do litoral do município de Maceió foi adotada a ferramenta gratuita de código aberto, denominada de *Coastal Analyst System from Space Imagery Engine - CASSIE*.

Essa ferramenta foi elaborada por Almeida *et al.* (2021) em linguagem de programação JavaScript, usando a *Application Programming Interface* (API) do *Google Earth Engine* (GEE) e pode ser aplicada a qualquer região costeira da Terra onde exista uma fronteira entre a água e a terra.

A escolha por esta ferramenta se deve ao fato de que a mesma utiliza as imagens de satélite Landsat e Sentinel-2, disponíveis gratuitamente no (GEE), e implementa uma detecção automática da linha costeira usando o *Normalized Difference Water Index* (NDWI) junto com o algoritmo de segmentação de imagem Otsu, em que os resultados

são compostos por dados e tabelas obtidos automaticamente através de análise estatística das informações extraídas em cada imagem de satélite, de forma semelhante à ferramenta *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS, da USGS).

Além disto, o CASSIE permite o acesso a todas as imagens de refletância de superfície (SR) das coleções Landsat 5 (TM), Landsat 7 (ETM+) e Landsat 8 (OLI) Nível 1 e produtos Sentinel-2 (MSI) Nível 1C disponíveis no GEE. Os produtos Landsat SR corretos para efeitos atmosféricos de iluminação, e geometria de visualização, são o mais alto nível de processamento de imagem disponível para dados Landsat (MASEK *et al.*, 2006; VERMOTE *et al.*, 2016; *Apud* ALMEIDA *et al.*, 2021). O Sentinel-2 (MSI) Nível-1C é fornecido em refletância no topo da atmosfera (TOA) junto com os parâmetros para transformá-los em radiâncias. A tabela 1 resume os dados de satélite disponíveis no GEE que podem ser usados no CASSIE.

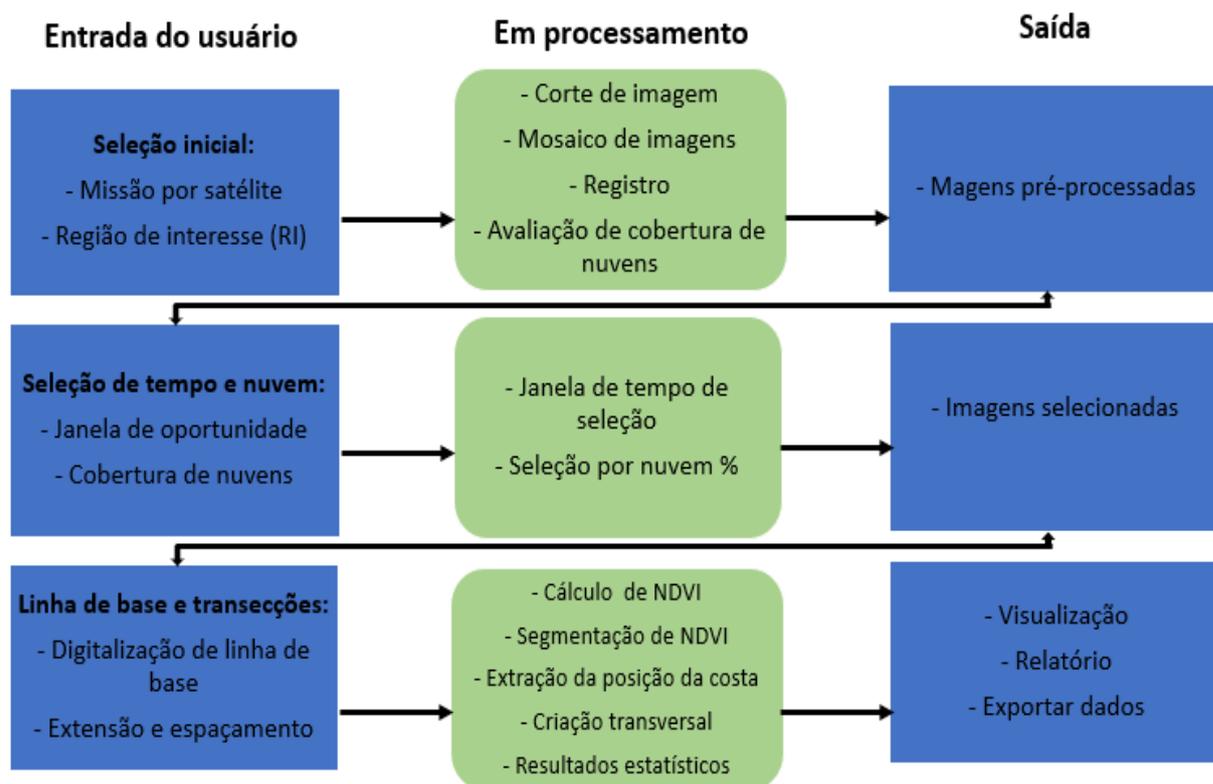
**Tabela 1** – Imagens de satélite disponíveis no GEE que podem ser usadas no CASSIE

Missão	Produtos	Cobertura (anos)	Tempo de revisão (dias)	Resolução de pixel (m)
Landsat 5 (TM)	SR	1984 – 2013	15	30
Landsat 7 (ETM+)	SR	Presente de 1999	15	30
Landsat 8 (OLI)	SR	2013-presente	15	30
Sentinela 2 (MSI)	TOA	Presente de 2015	5	10

Fonte: (ALMEIDA *et al.*, 2021).

O fluxo de trabalho dos diferentes processos que envolvem a interação do usuário com a Interface Gráfica de Usuário (GUI) do CASSIE, o processamento interno e resultados são apresentados e descritos na Figura 4.

**Figura 4** – Fluxograma de etapas dos processos de usuário CASSIE



Fonte: ALMEIDA *et al.* (2021).

Após a seleção da missão do satélite e definição do Região de Interesse (RI), o CASSIE realiza um conjunto de operações sequenciais para pré-processar as imagens disponíveis. Os processos de pré processamento incluem o mosaico de imagens (processo de montagem espacial de conjuntos de dados de imagens para produzir uma imagem contínua); quando o RI cruza mais de um bloco, realiza o registro de imagem (correção de deslocamentos horizontais entre as imagens) e porcentagem de nuvem calculado sobre o RI usando o algoritmo *C Function of Mask* (CFMask) (FOGA *et al.*, 2017; Apud ALMEIDA *et al.*, 2021).

Logo que o pré-processamento inicial é realizado o usuário determina o intervalo de tempo ao qual é realizada a análise e também definir a porcentagem de nuvens presentes nas imagens escolhidas.

Antes do CASSIE realizar a detecção automática de linha costeira nas imagens pré-selecionadas, uma linha de base é necessária. As estatísticas da linha costeira CASSIE

(por exemplo, taxa de mudança) serão baseadas no método de distância da linha de base (LEATHERMAN e CLOW, 1983; THIELER *et al.*, 1994; *Apud* ALMEIDA *et al.*, 2021).

De acordo com Almeida *et al.* (2021) a linha de base é digitalizada pelo usuário de forma manual fazendo com que seja criado um ponto de partida para que dessa forma siga para todos os transectos lançados pelo CASSIE. A linha de base é inserida do lado da terra e posicionada a uma determinada distancia da linha de costa, para que assim possa se impedir a convergência de quaisquer linhas de costa históricas. Posteriormente a esse processo de definição do desenho da linha de base o usuário pode inserir o espaçamento bem como o comprimento dos transectos no decorrer dos quais as estatísticas de mudanças da linha de costa serão analisadas.

O CASSIE funciona por meio de detecção automática, desse modo ocorre a aplicação de um algoritmo que realiza a detecção da linha de costa às margens pré-processadas, esse procedimento ocorre porque é utilizado o Índice de Diferença Normalizada (NDWI) que é aplicado em cada imagens que foi selecionada para a análise que é definida pela Equação 8:

$$NDWI = \frac{(NIR - VERDE)}{(NIR + VERDE)} \quad (8)$$

Sendo o NIR e VERDE a refletância SR do pixel na faixa do infravermelho próximo e na faixa verde, respectivamente. Quando o resultado da imagem NDWI tem um histograma bimodal claro (as duas classes, terra e água, são bem distinguidas na imagem), o corpo d'água e a terra são classificados, usando um *Otsu* de duas classes algoritmo de limiarização. Embora quando o histograma da imagem do NDWI apresenta três picos, como por exemplo em ambientes estuarinos, em que as características intertidais (normalmente compostas por sedimentos de areia lamacenta ou fina com alto teor de água) criam um pico entre a terra e a água, as duas classes *Otsu* Limiar produz uma classificação ruim de terra / água (ALMEIDA *et al.*, 2021).

Quando CASSIE finaliza todos os cálculos estatísticos, os resultados serão adicionados a um mapa final, onde a linha de base, linhas costeiras e transectos podem ser visualizados sobre uma imagem de satélite de alta resolução ou mapa de base do Google Maps (para escolher o tipo de mapa de base dois botões estarão disponíveis no canto superior esquerdo do mapa final). Os transectos são coloridos de acordo com a

classificação do LRR resultados, para facilitar uma avaliação qualitativa preliminar da variabilidade espacial das tendências da linha costeira. O usuário pode realizar uma consulta a todo o transecto, individualmente, que abrirá automaticamente um gráfico de dispersão da série temporal das posições da linha costeira (distância à linha de base) usadas na análise estatística, juntamente com um breve relatório dos resultados calculados para o transecto selecionado. Um relatório final contendo todos os resultados estatísticos, em forma de tabela, também é adicionado automaticamente ao mapa (ALMEIDA *et al.*, 2021).

Posteriormente à essa etapa os dados quantitativos referentes a ocorrência de processos erosivos foram refinados para uma melhor organização dos resultados em formato de tabelas em ambiente Excel. A elaboração dos *layouts* foi realizada no *software* livre Qgis versão 3.22 Białowieża para representação dos resultados na área de estudo.

As regiões costeiras sofrem influência da circulação local das brisas marítima e terrestre, devido ao gradiente horizontal de pressão provocado pelo contraste da temperatura diária entre o continente e o oceano. Essa circulação tem uma importante influência para amenizar a temperatura do ar diária e distribuir umidade para o interior do continente, provocando chuvas esporádicas durante todo o ano (BARROS *et al.*, 2011) O litoral de Maceió possivelmente pode estar sofrendo com estas influências de forma a notar que a chuvas de curta duração, mas com alta intensidade podem propiciar alterações na linha costeira.

Foi utilizada a análise espacial juntamente com a análise climática para que fosse possível evidenciar a influência da variabilidade climática sobre a linha de costa do litoral de Maceió. Nesse contexto ambas as análises consistiram em séries temporais que datam do mesmo período, isso permitiu realizar a verificação do comportamento das tendências encontradas, comparando-as com a evolução das taxas de variação da linha costeira. Acerca das ondaletas e com o auxílio das taxas de variação encontradas, facilitaram na identificação de quais fenômenos atmosféricos demonstram maior interação e intensificação, confrontando os resultados das médias e imagens da situação da região litorânea encontrada pelo CASSIE para o mesmo período entre de 1991 a 2021.

De posse das variações da linha de costa pode ser demonstrado como o litoral esteve ou não estar sofrendo evolução conforme a variabilidade climática no decorrer dos anos. Dessa maneira destacando assim os anos aos quais obtiveram maiores e menos índices de variação das variáveis meteorológicas analisadas.

Após a identificação multitemporal das áreas com processos erosivos na linha de costa do litoral utilizando as imagens do Landsat 4 e 8, foi realizada a visita *in loco* dos setores e seus respectivos trechos. Para esse procedimento foram utilizados máquina fotográfica e drone como ferramenta de captura de imagens do local. As imagens integraram a visualização da situação do litoral em relação à sua degradação, dessa forma possibilitando avaliar a realidade de cada trecho determinando sua vulnerabilidade, podendo ser comparadas com os resultados da análise espacial para adquirir a coerência entre os métodos. Com base nesses parâmetros, serão sugeridas possíveis medidas mitigadoras para a vulnerabilidade e os riscos que a zona costeira apresentou, sendo descrito por meio da tabela de impactos encontrados e medidas aplicáveis à situação de cada grau de risco ou vulnerabilidade

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

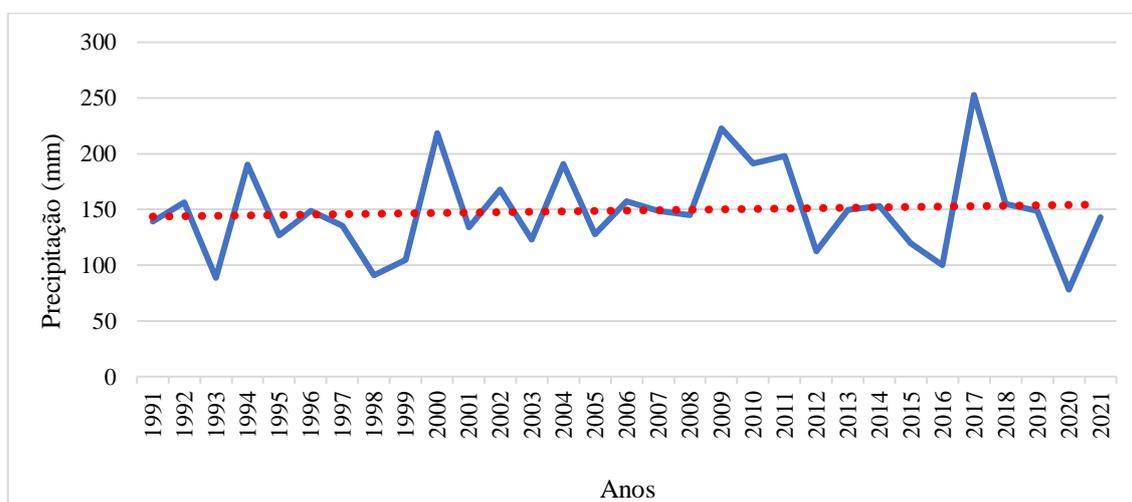
### 4.1 Tendências de Mann Kendall para as variáveis meteorológicas

A tendências, tornou-se uma ferramenta crucial de interpretação de dados, conforme pode ser visto na Figura 4, na qual é possível observar as tendências de precipitação para a cidade Maceió, correspondente ao ano de 1991 a 2021, por meio do teste de Mann Kendall. Em seus estudos López *et al.* (2020), também utilizaram do método estatístico para investigar o comportamento de dados pluviométricos e através das análises encontrando as tendências.

Na Figura 5 observa-se através da linha vermelha a tendência da série durante os 30 anos, estando nítida a oscilação da precipitação ao longo dos anos, além da leve tendência. Neste intervalo, foi obtida uma tendência interanual positiva de 0,0178 mm, a tendência total para a série foi de 0,5546 mm. Sua positividade está relacionada com a oscilação dos picos de precipitação acima de 50 mm, essa relação está intimamente ligada a taxa de precipitação, assim como Scofield *et al.* (2014), apontaram tal relação utilizando os testes Mann Kendall para determinar as tendências de precipitação total e do número de dias chuvosos para a região norte litorânea de São Paulo.

Assim como as tendências acima encontradas, resultados expressivos de índices de precipitação foram evidenciados por Barbosa *et al.* (2018) para a região do Agreste Setentrional, o que resultou em tendências positivas, em que foram obtidos resultados semelhantes com os do estudo para Maceió.

**Figura 5** – Tendência anual de precipitação para o período de 1991 a 2021 em Maceió (estação INMET)



Fonte: Autora, 2023.

De acordo com os valores de tendências para todas as variáveis analisadas (Tabela 2) atribui-se os seus níveis de significância para validação dos dados, visto que algumas variáveis possuíam dados com séries inferiores a 30 anos. Conforme expresso a série de precipitação e de temperatura do INMET apresentaram significância estatística ao nível de 5%, contudo as demais não obtiveram, devido o curto período. Para as séries de precipitação notou-se a diminuição segundo os resultados das estações localizadas no litoral, já no caso da estação do INMET foi registrado aumento, isso se deve ao fato de a estação se localizar na parte alta de Maceió, tal fator que pode ter contribuído para a verificação desse aumento. Também foram evidenciados aumentos na temperatura, diminuição na velocidade do vento e nível de marés.

**Tabela 2** – Tendências nas séries das variáveis meteorológicas

<b>Local</b>	<b>Tendência interanual</b>	<b>Tendência para toda série</b>	<b>Status da tendência</b>	<b>Resultado do Teste T</b>
Maceió (precipitação)	0,0178 mm/ano	0,5546 mm	Aumento	<b>Com significância estatística</b>
Bairro Cruz das Almas (precipitação)	-0,0238 mm/ano	-0,1668 mm	Diminuição	Sem significância estatística
Bairro Ipioca (precipitação)	-0,0447 mm/ano	-0,3131mm	Diminuição	Sem significância estatística
Maceió (Temperatura média)	0,0319 °C/ano	0,9891 °C	Aumento	<b>Com significância estatística</b>
Maceió (Velocidade do Vento)	-0,0007 m/s	-0,0123 m/s	Diminuição	Sem significância estatística
Litoral de Maceió (Nível de maré)	0,2535 cm/ano	1,2677 cm	Aumento	Sem significância estatística

Fonte: Autora, 2023.

Ao aplicar análise de tendências para os dados de precipitação no bairro de Cruz das Almas localizado na região litorânea de Maceió (Figura 6), foi obtido uma tendência interanual de -0,0238 mm, enquanto que para a série toda foi de -0,1668 mm, ou seja, notou-se através desses resultados que no decorrer desses 7 anos, com o declínio do índice de precipitação na região, neste bairro as chuvas estão diminuindo e espera-se que

continuem a diminuir ao longo do tempo, mesmo os dados sendo de um período curto estima-se a tendência nesse bairro litorâneo.

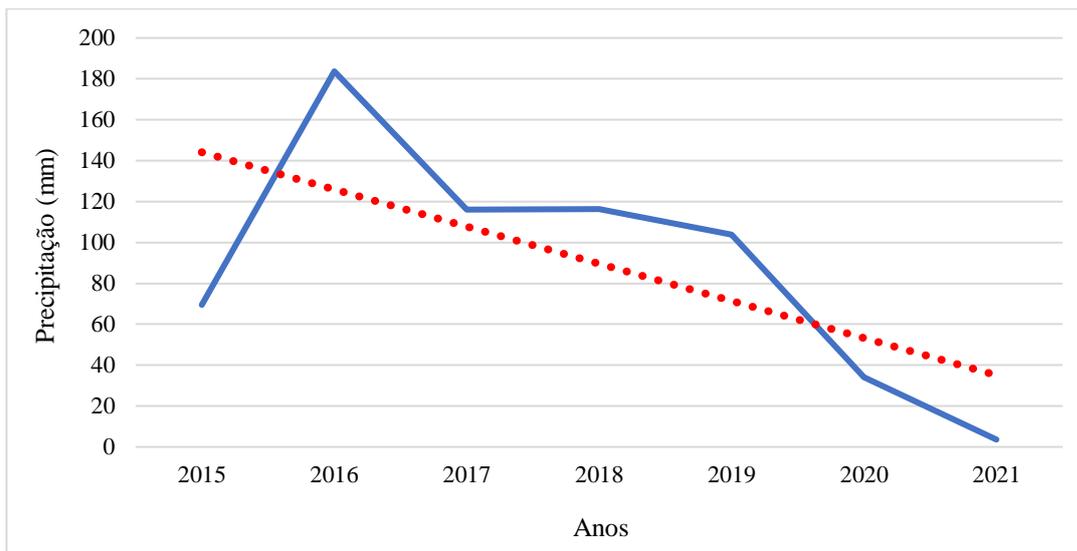
Folhes e Fisch (2006) também realizaram o teste Mann Kendall para uma série curta, e assim como nas análises para os bairros litorâneos, também encontraram valores de tendências negativas de precipitação anual em seu estudo para a cidade de Taubaté em São Paulo.

Em Baldo *et al.* (2018) ao analisarem as tendências para a Bacia do Rio Piquiri no Paraná, com um estudo que considerava 37 postos, observaram uma variação de tendências positivas assim como negativas, em que também ressaltaram que os postos estudados pertenciam a pontos diferentes da área da Bacia. Isso endossa a afirmativa de que a ocorrência de tendências negativas e positivas em localidades de uma mesma região pode ocorrer.

Em uma análise usando o mesmo teste estatístico, Ferreira *et al.* (2017) aplicaram o método para avaliar possíveis mudanças no clima, aos quais referiam-se a análise anual, e encontram também em cinco dos seis postos tendências negativas, evidenciando mudanças que iniciaram entre 1970 e 1980, na região semiárida de Pernambuco.

Fazendo uma comparação com os resultados de tendências de precipitação de Maceió (estação INMET) com os dados do bairro de Cruz das Almas, mesmo com uma série curta é possível verificar o comportamento da diminuição da precipitação nos últimos anos, o que é um fator a ser considerado para a verificação de como a precipitação anual vem se comportando na região litorânea do município de Maceió. Dessa forma, pode-se dizer que as tendências apresentadas no gráfico apontam semelhanças das quedas nos picos de desenvolvimento de redução.

**Figura 6** – Tendência anual de precipitação para o período de 2015 a 2021 de Cruz das Almas região litorânea de Maceió

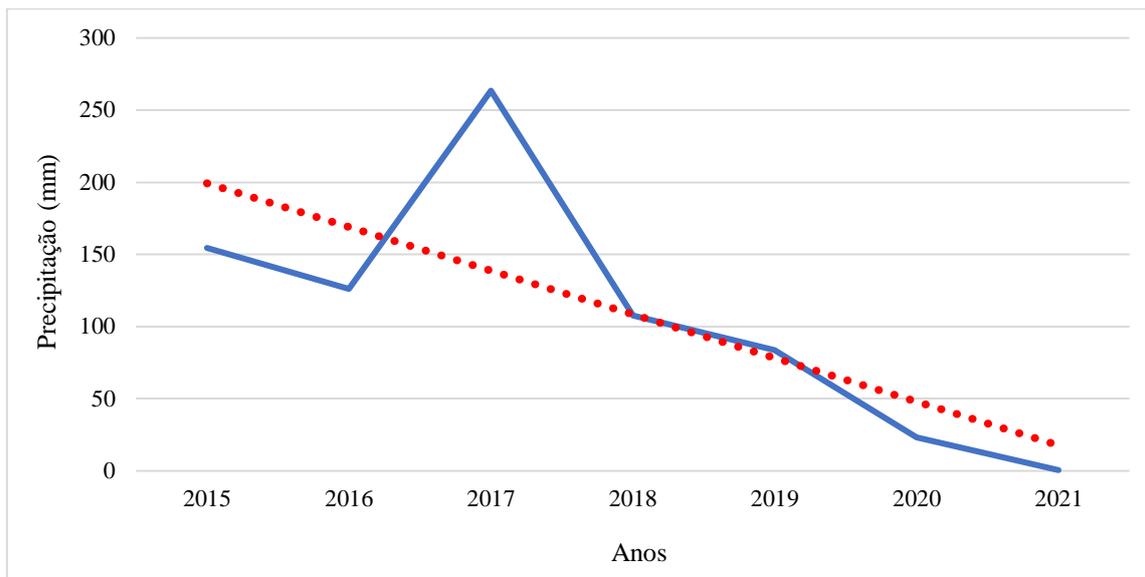


Fonte: Autora, 2023.

Nas análises de tendências para o bairro de Ipioca (Figura 7) foi notado que a precipitação anual se diferiu dos anteriores com apenas um pico entre os anos de 2016 a 2018 e continuou caindo até 2021, apresentando um valor de tendência interanual de -0,0447 mm, e para a série toda de -0,3131 mm. De acordo com Ferreira *et al.* (2021), também observaram que ao analisar o comportamento das tendências das precipitações para uma determinada região do Ceará ocorreu também uma leve redução na precipitação conforme as tendências negativas evidenciadas em sua pesquisa.

Percebeu-se também ao comparar os resultados das estações dos dois bairros diferentes e para o mesmo período, que os dois apresentam proximidade de valores de tendências negativas, neste caso, os dois podem de certa forma estarem sob atuação dos mesmos eventos/fenômenos que corroboram para uma influência semelhante da variabilidade climática. Os resultados do INMET em alguns anos apresentaram alguns picos de precipitação na margem de milímetros parecidos com os dos bairros litorâneos, a diferença é que a redução é mais nítida por se tratar de dados mais específicos para a área litorânea, evidenciando assim a redução por meio da tendência negativa.

**Figura 7** – Tendência anual de precipitação para o período de 2015 a 2021 no bairro Ipioca região litorânea de Maceió



Fonte: Autora, 2023.

Analisando as tendências para os índices que correspondem a temperatura média mensal compensada para a série com dados do INMET, (Figura 8), observou-se a existência de uma tendência interanual de  $0,0319\text{ }^{\circ}\text{C}$ , enquanto a tendência para a série toda chegou a  $0,9891\text{ }^{\circ}\text{C}$ , resultado bastante significativo ao passo que esse resultado é referente a uma série temporal que abrange todo município de Maceió. Diante dos resultados e conforme é apontado pela oscilação dos picos de temperatura de 1991 a 1999, (Figura 8) a temperatura apresentava uma variação entre aproximadamente  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ , no entanto, esse quadro passou a mudar com a queda dos valores durante 2000 a 2004, e nos anos seguintes a temperatura no município sofreu um crescente aumento. Evidenciou-se que o comportamento das retas demonstraram temperaturas elevadas se compradas ao início da análise, até o último ano 2021, a temperatura diminuiu, porém conforme visto no valor da tendência, a temperatura ainda permanece acima dos valores mais baixos nos últimos anos. Diante dessa conjuntura analisada e com base no aumento dessa tendência positiva ficou nítida como a temperatura média no município de Maceió está aumentando com o passar dos anos.

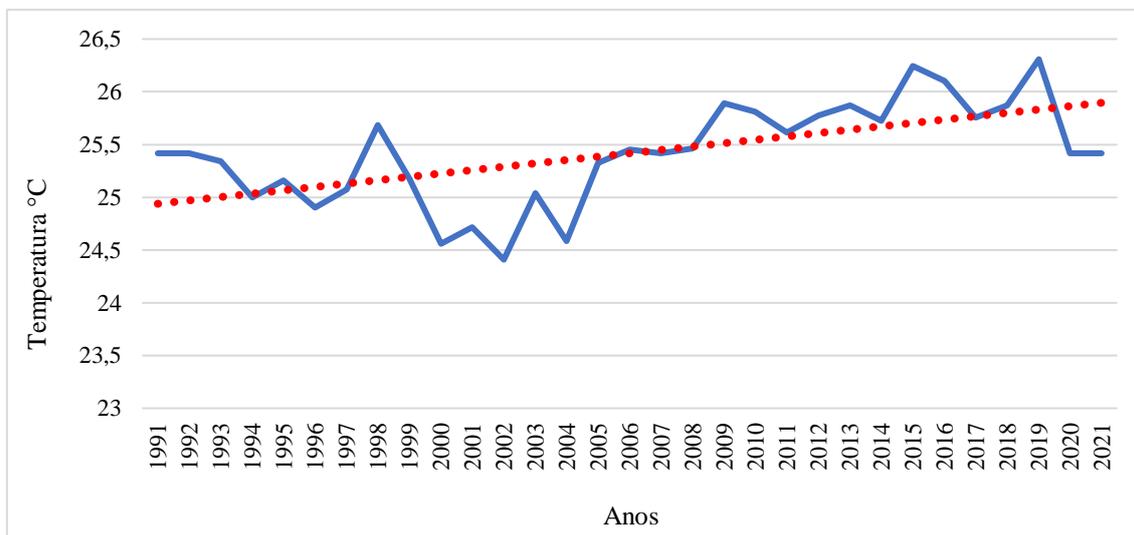
A região Nordeste em muitos casos convive com aumentos de temperatura e assim como os resultados expressados nas análises para Maceió, Castelhana e Siqueira Pinto (2022), ao realizarem um estudo para o Estado de Sergipe, também evidenciaram tendências positivas e significativas na fronteira com o Estado de Alagoas.

Conforme afirmaram Carvalho *et al.* (2020) as mudanças no quadro padrão da temperatura tem se modificado devido às atividades antrópicas desempenhadas diariamente, mais precisamente às ações ligadas a emissões de gases de efeitos estufa, vindouros também da agricultura, pecuária e indústria, sendo essas causas intensificadoras do aquecimento global de acordo com Mahlstein e Knutti, (2010); Carvalho *et al.* (2020).

Segundo Salviano *et al.* (2016) a maior parte do Brasil evidenciou tendências positivas para temperatura média não só em alguns períodos, mas para o ano todo, algumas das áreas estudadas com tendências positivas com significância de 5% variando entre 36 e 78% do território brasileiro.

As tendências para a temperatura média mensal compensada obtidas por meio do INMET, serviram como um padrão de embasamento de verificação de como a temperatura se comporta nas áreas litorâneas, e como elas influenciam como variável climatológica em abrangência litorânea.

**Figura 8** – Tendência anual de temperatura para o período de 1991 a 2021 em Maceió



Fonte: Autora, 2023.

De acordo com Costa e Lyra (2012), o Estado de Alagoas pode ser dividido por três subdivisões climáticas, com diferentes características pluviométricas, sendo essas o Litoral, Agreste e Sertão. Tais regiões apresentam distinção não apenas em sua pluviometria, mas também em topográfica, relevo e clima. Uma dessas variáveis climáticas que apresenta variações é o vento. Sua velocidade que tende a aumentar quando o verão está se aproximando, alcança seu pico máximo na primavera (setembro),

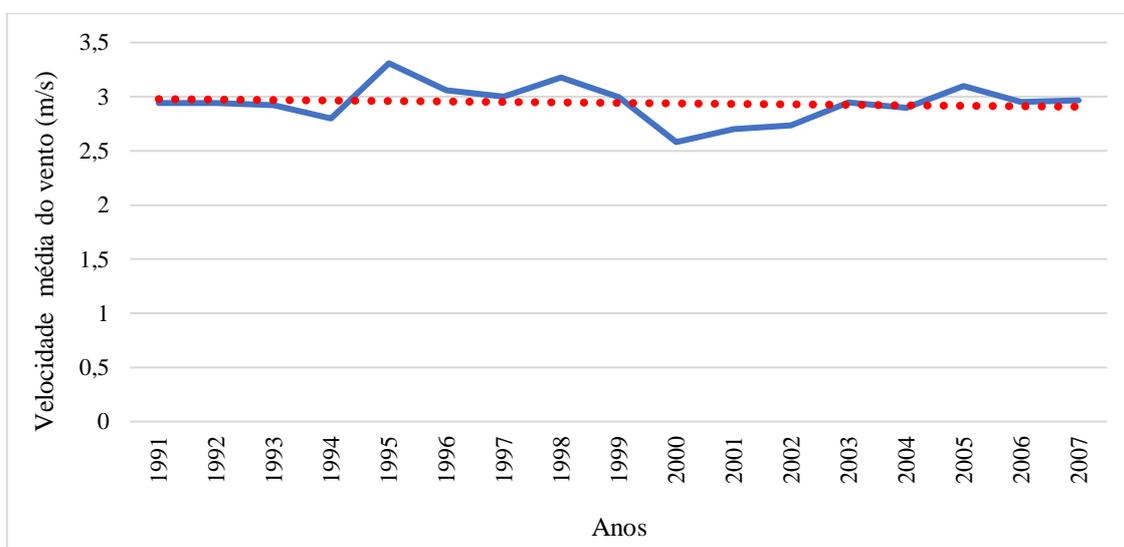
e cai ao se aproximar do inverno, tem a ocorrência de seu pico mínimo no outono (abril). Normalmente a direção do vento no litoral em sua predominância é entre E e SE. Os ventos na região litorânea apresentam uma média mensal de  $5,3 \text{ m.s}^{-1}$ , com máximo de  $6,7 \text{ m.s}^{-1}$  e mínimo de  $3,9 \text{ m.s}^{-1}$ .

Analisando a tendência para velocidade média do vento para Maceió (Figura 9), percebe-se que a oscilação dos resultados se dá a partir de 1993 e 1994 expressando cerca de quase  $3,5 \text{ m/s}$  e com o passar nos anos até 2007 essa velocidade diminui. Com base nos resultados da tendência interanual de  $-0,0007 \text{ m/s}$  o mesmo que  $0,00252 \text{ km/h}$ , na tendência para a série foi de  $-0,0123 \text{ m/s}$ , o equivalente a  $-0,0442 \text{ km/h}$ , os resultados implicaram dizer que a velocidade média do vento com o passar dos anos sofreu redução.

Conforme apontaram Almeida *et al.* (2020) ao realizarem análise de tendências para a variável de velocidade média compensada também obtiveram resultados que sugeriram essa diminuição, tal redução foi notada de  $-0,35$  a  $0,03$ ; no entanto ao comparar com os dados para Maceió as tendências indicaram uma redução bem menor dessa variável. A redução da velocidade do vento também foi evidenciada por Densk e Back (2015) por meio do teste não paramétrico utilizado no estudo.

O vento é uma das variáveis climáticas que tem grande influência no clima, e as tendências negativas encontradas para Maceió demonstram que ocorreu a diminuição, considera-se também que tal redução tenha sido estendida para a região litorânea.

**Figura 9** – Tendência anual de velocidade do vento para o período de 1991 a 2021 em Maceió



Fonte: Autora, 2023.

Os resultados de nível maré (Figura 10), revelaram dados com uma cronologia limitada, devido à extinção da estação principal e a instalação de nova régua maregráfica na estação secundária do porto de Maceió, deste modo, o estudo se baseou em dados mais antigos de 2003 e mais recentes de 2019.

Adotando os dados iniciais de 2003 como o início da série de maré observada, que obtinha cerca de quase 216 cm no litoral. Espera-se que para níveis de maré próximos ao nível de 180 cm, pode ocorrer a presença de alagamento de lote em algumas regiões com vulnerabilidade, causando assim possibilidade de danos materiais (NEGRI *et al.*, 2021). Em 2006 o nível foi para quase 214 cm, como indicado pelo pico no gráfico em 2007 esse aumento passou para pouco mais de 218 cm. O ano que apresentou uma queda foi 2018, mas mesmo com a queda ainda apresentava superioridade aos anos iniciais. Em 2019 o nível da maré observada chegou a 222 cm no litoral de Maceió. Os resultados das tendências confirmaram essa elevação e inclinação no aumento do nível de maré, com uma tendência interanual de 0,2535 cm, equivalente a 0,0025 m, quando a série toda foi considerada a tendência apontou um resultado de 1,2677 cm, o que significou aumento de 0,01267 m, confirmando o aumento dos níveis da maré observada.

Segundo Aguiar *et al.* (2019) a elevação do nível do mar tem sido bastante debatida principalmente em âmbito internacional e a elevação nas regiões litorâneas são alguns dos resultados dos impactos causados pelas mudanças climáticas, e conforme os anos se passam os níveis tendem a aumentar, alguns desses resultados foram projetados até 2100. A necessidade de se abordar o assunto faz com que diversos estudos se concentrem na investigação dos impactos que as mudanças vão causar, fazendo com que possam ser criadas adaptações para medidas que embasem mitigações para áreas vulneráveis e de riscos locais.

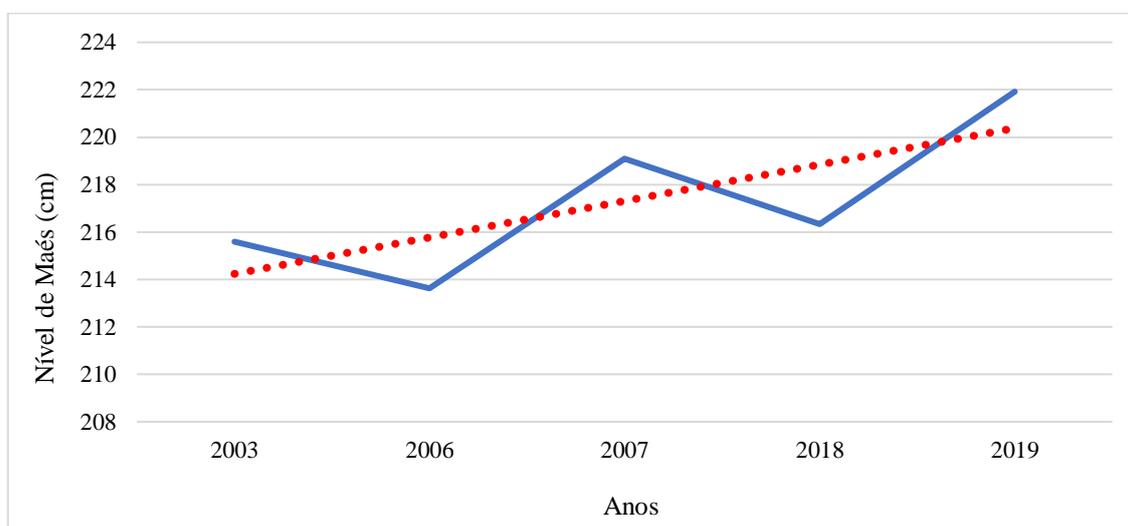
Como os resultados das tendências de precipitação nos bairros foram negativos e apontaram uma queda no índice de precipitação na região litorânea, mesmo assim os índices pluviométricos em alguns anos expressaram precipitação acima de 100 mm, e podem ter influenciado os resultados das tendências positivas nos níveis de marés. Segundo Cabral *et al.* (2021) que realizaram um estudo recente para a cidade de Recife o aumento do nível das marés está associado a chuvas maiores ( $\geq 100$  mm) e concentradas em 24h no período que corresponde aos últimos 60 anos. Assim, como eventos extremos registrados que ocorreram foram um forte indicativo para a elevação.

O nível do mar também pode ser drasticamente alterado por um fenômeno, que amplifica as marés astronômicas, associado ao movimento das massas de água devido a

fatores climáticos, principalmente ventos, denominado Maré Meteorológica. O movimento do ar sobre a superfícies líquidas dos mares, dá origem a um escoamento superficial (“ondas”), que quando possui a mesma direção e período da onda de escoamento astronômico, possibilita a sua combinação, dando origem a níveis de marés muito mais elevados que os inicialmente previsto (NEGRI *et al.*, 2021).

No caso da região litorânea de Maceió assim como os resultados apontados pelas tendências evidenciaram esse aumento de marés, Silva *et al.* (2022) inferiram que os meses de março a junho que possuem estações climáticas do outono ao inverno apresentaram os níveis médios mensais com a maior amplitude, indicando assim a atuação de eventos meteorológicos, que por sua vez contribuem na amplitude das marés, os quais também encontraram resultados que em um intervalo de 13 anos o nível médio do mar aumentou cerca de 5,69 cm, evidenciando assim um crescimento de 0,438 cm/ano.

**Figura 10** – Tendência anual de nível de marés região litorânea de Maceió



Fonte: Autora, 2023.

#### 4.2 Análise de Ondaletas para identificação de influências climáticas

A análise de ondaletas foi aplicada nas séries de dados meteorológicos com o intuito de investigar quais fenômenos e sistemas meteorológicos estão atuando, a partir da identificação de suas escalas temporais, e também suas influências em diferentes escalas na região do estudo. Identificando assim fatores como períodos cíclicos, variações sazonais, interanuais e variações aleatórias.

De acordo com o método empregado nas séries com dados de precipitação, temperatura média e velocidade do vento, houve indícios de que o litoral de Maceió sofreu influência de fenômenos que interferem em seu meio, através das ondaletas foi possível aferir as escalas e intensidades delas durante o período analisado.

Com base na análise de ondaletas para a série de precipitação de Maceió do período de 1991 a 2021, foram encontradas escalas para um melhor entendimento do comportamento da precipitação. Conforme pode ser analisado (Figura 11 b) encontrou-se a ocorrência de escala sazonal, que compreende o período de (0,25 anos), semestral (0,5 anos), e interanual (1 ano). Também ocorreu a influência do ENOS de (1 a 2 anos) com núcleos intensos entre os anos de 2000 a 2015, como apontado pela análise (Figura 11 a), podendo ser visto através dos picos de aumentos do índice de precipitação. Assim como também ocorreu a presença do ENOS estendido entre (2 e 8 anos). A escala de maior predominância foi do ENOS estendido.

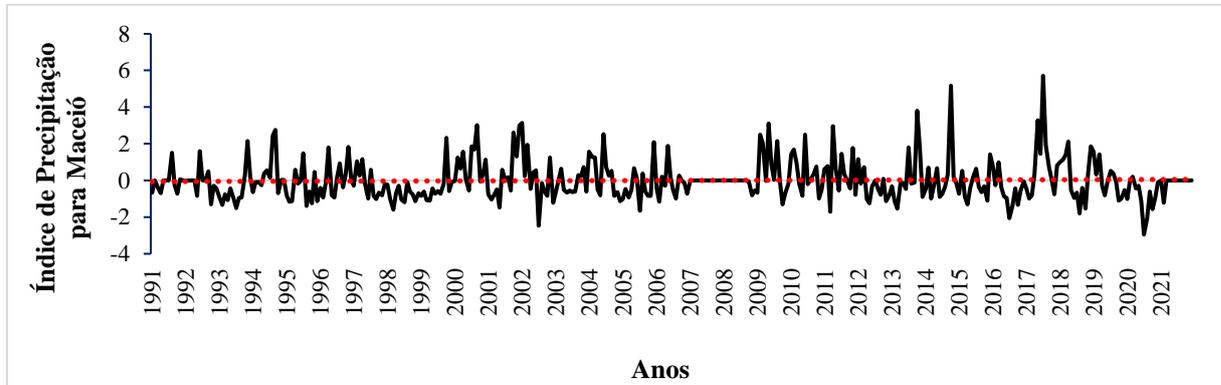
Os resultados encontrados por meio da análise de ondaletas foram semelhantes aos fenômenos e as escalas evidenciadas por outros autores sendo: sazonalidade encontrado por (COSTA *et al.*, 2016), escala semestral (0,5 anos) de acordo com (CAVALCANTE e DA SIVA, 2021), interanual (1 ano) em (DA SILVA *et al.*, 2021), ENOS, (entre 1, 2 anos) corroboraram com (CARVALHO *et al.*, 2013), ENOS estendido (entre 2 a 8 anos) como evidenciou (OLIVEIRA, 2020), Dipolo do Atlântico, 8 a 11 anos (SANTOS *et al.*, 2015) e Manchas Solares (entre 8 e 16 anos) (SIQUEIRA e MOLION, 2012).

O Estado de Alagoas em si, demonstra alta variabilidade no quesito eventos de precipitação, isso devido ao El Niño como reforçam Fernandes e Carvalho (2013). Segundo o (CPTEC, 2022) a ocorrência moderada do fenômeno se deu em 2002 a 2003, podendo assim, associar os resultados da análise com o fenômeno.

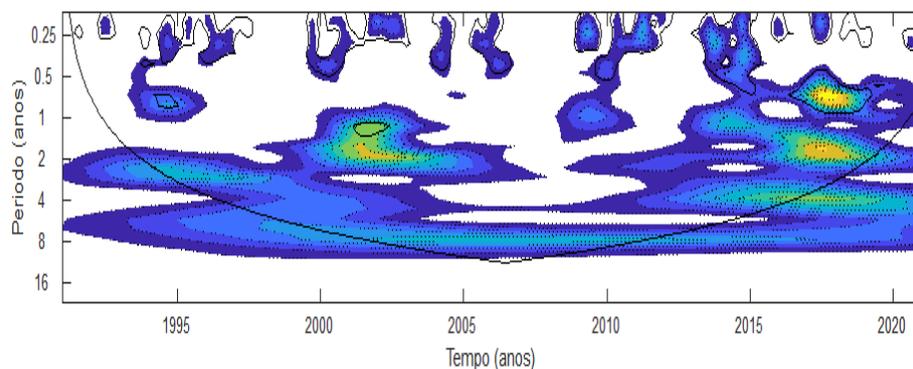
O aumento da precipitação nos anos citados se refere a ocorrência do fenômeno La Niña que de acordo com o (CPTEC, 2022) se deu de forma moderada até 2018. Conforme Costa e Araujo (2021), também evidenciaram a ocorrência de eventos chuvosos ou muito chuvosos nessa mesma escala temporal no Ceará, os associando a presença do La Niña.

**Figura 11** – (a) Índice de precipitação normalizado para Maceió (1991 a 2021) pelo desvio padrão; (b) Espectro de energia (EPW) local para Precipitação. Contornos amarelados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante e (c) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%

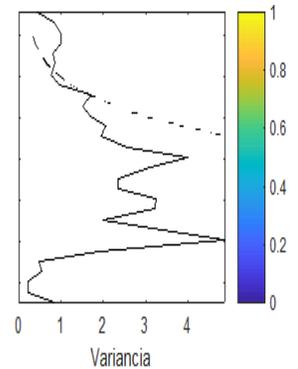
(a)



(b)



(c)



Fonte: Autora, 2023.

Ao analisar por meio da ondaleta a precipitação para o bairro de Cruz das Almas (Figura 12 b) utilizando a série de 2015 a 2021, evidenciou-se a ocorrência de escala semestral (0,5 anos), e interanual (1 ano), essas por sua vez demonstraram significância estatística (Figura 12 b) e maior variância (Figura 12 c).

A ondaleta também permitiu encontrar escalas atuantes de ENOS estendido (2 a 8 anos), Dipolo do Atlântico (8 a 11 anos). A escala do ENOS estendido foi a escala secundária, já a escala de Manchas Solares foi a escala dominante, no entanto, não está localizada dentro do cone de influência.

Assim como Cavalcante e Da Silva (2021) também analisaram escalas sazonal, semestral e interanual para o Estado de Alagoas por meio da detecção de ondaletas, para a parte do litoral.

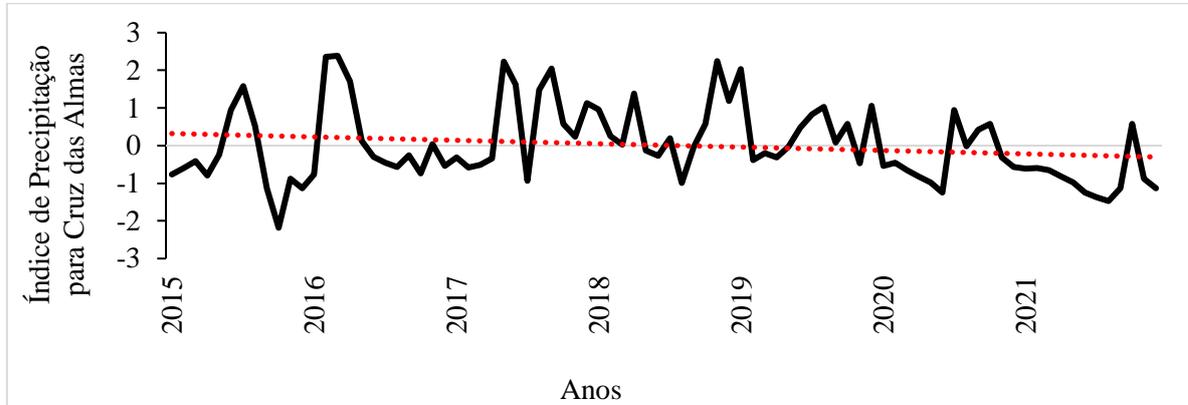
Da mesma forma a técnica foi utilizada por Nóbrega (2019) para a identificação dos fenômenos que ocorreram na série histórica abordada, em que buscou explicar a variabilidade interanual e interdecenal da precipitação pluvial das regiões hidrográficas da parte Setentrional Oriental. Foram identificadas escalas semelhantes às encontradas na ondaleta para o bairro de Cruz das Almas, mesmo a série tendo sido relativamente curta, pode-se associar a ocorrência de fenômenos que determinam a variabilidade climática.

De acordo com Da Silva *et al.* (2020) também evidenciaram a presença da escala de 11 anos como a dominante, o sinal da ondaleta demonstrou a influência dessa escala no regime de precipitação da região leste do Nordeste.

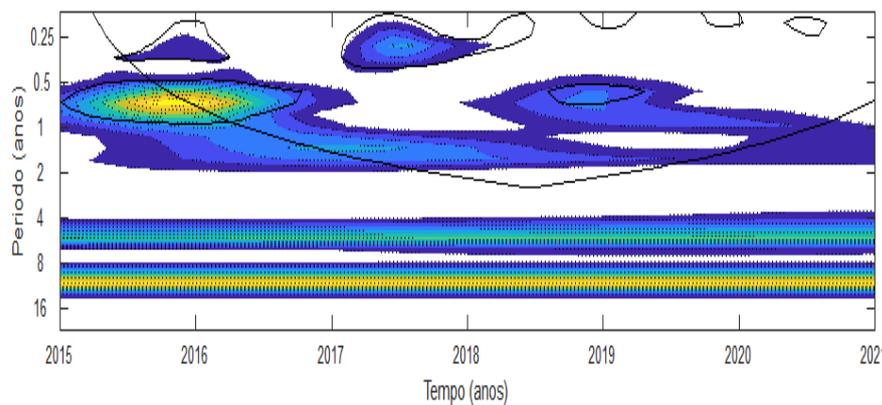
Conforme Rocha *et al.* (2022) ao aplicarem análise de ondaletas para a Bacia do Rio São Francisco encontraram escalas semelhantes, as quais associam a influência da ausência ou ocorrências dos fenômenos ou sistemas envolvidos, como agentes que contribuem para o aumento ou redução da precipitação na região.

**Figura 12** – (a) Índice de precipitação padronizada para o bairro de Cruz da Almas (2015 a 2021) normalizado pelo desvio padrão; (b) Espectro de energia (EPW) local para Precipitação. Contornos amarelados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante e (c) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%

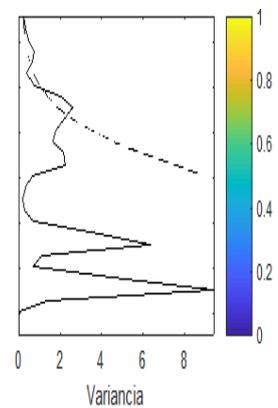
(a)



(b)



(c)



Fonte: Autora, 2023.

A ondaleta que representa a precipitação para o bairro de Ipioca no litoral de Maceió (Figura 13 b) utilizou a série de 2015 a 2021, e apresentou a ocorrência de escala sazonal (0,25 anos), no ano de 2016 e 2018, visto que nesses mesmos períodos observou-se também picos positivos de precipitação. A análise também demonstrou escala semestral (0,5), interanual (1 ano) com significância estatística estando dentro do cone de influência (Figura 13 c). Notou-se que houve ocorrência do ENOS, de maneira moderada de 2016 até meados de 2018, (Figura 13 a) ao qual demonstrou picos positivos de precipitação no bairro Ipioca, podendo estar sob influência do fenômeno La Nina. A ondaleta também permitiu detectar escalas de ENOS (1 a 2 anos) Dipolo do Atlântico (8

a 11 anos) também de modo moderado e com sinal forte, as Manchas Solares (na escala de 11 anos) que foi a escala dominante, (Figura 13 c).

Conforme Cavalcante (2021) por meio da AO, identificou escalas semelhantes ao avaliar a influência e identificação de fenômenos e quais escalas estão relacionadas a variabilidade da precipitação no município de Maceió.

Assim como Da Silva *et al.* (2020) evidenciou escalas semelhantes para o índice de precipitação para a região nordeste, destacando a escala de 11 anos como a dominante.

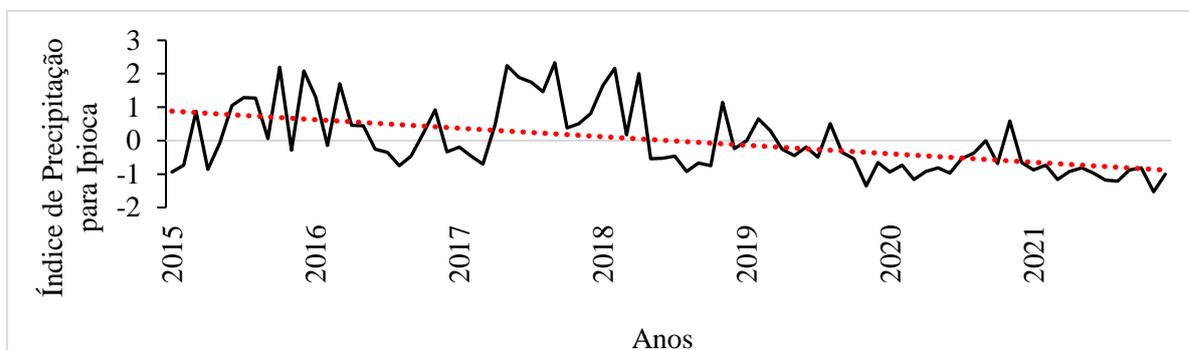
Segundo Pereira *et al.* (2018) ao analisarem as ondaletas correspondentes a precipitação em um estudo de caso para a Laguna de Mundaú, notaram que a variabilidade pluviométrica sofreu interferência em escalas acima de 10 anos com significância estatística.

Ao investigar o comportamento do regime de chuvas e quais fenômenos e escalas ocorriam, Santos (2011) notou a presença de escalas semelhantes para a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, ao qual enfatizou a influência do El Niño e La Niña como destaque da variabilidade climática durante a série histórica analisada.

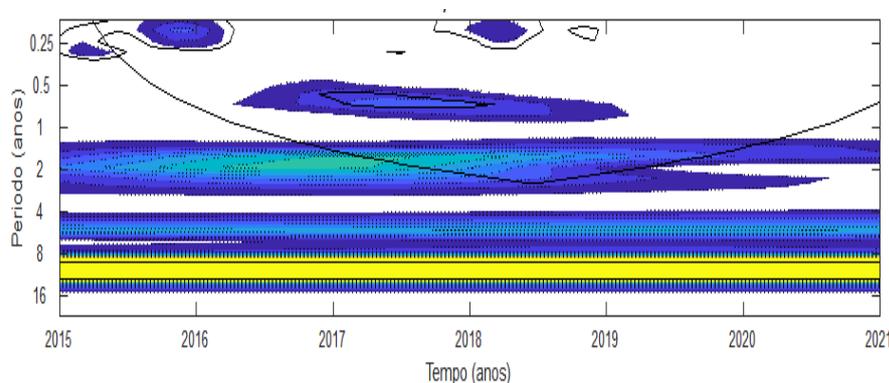
De acordo com a Lyra *et al.* (2018) que observaram por meio de ondaletas uma série temporal de 1961 a 2015 para Maceió, identificaram, a presença de escalas de (0,25-0,5 anos) para precipitação. O comportamento do espectro do período final da série do autor corroborou com o início da série analisada nesta pesquisa ao qual foi semelhante ao encontrado nas ondaletas dos bairros Cruz das Almas e Ipioca.

**Figura 13** – (a) Índice de precipitação padronizada para o bairro de Ipioca (2015 a 2021) normalizado pelo desvio padrão; (b) Espectro de energia (EPW) local para Precipitação. Contornos amarelados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante e (c) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%

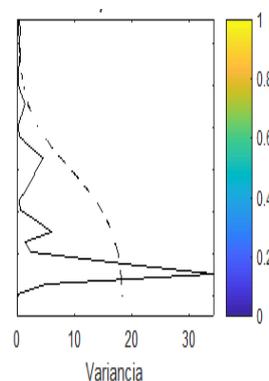
(a)



(b)



(c)



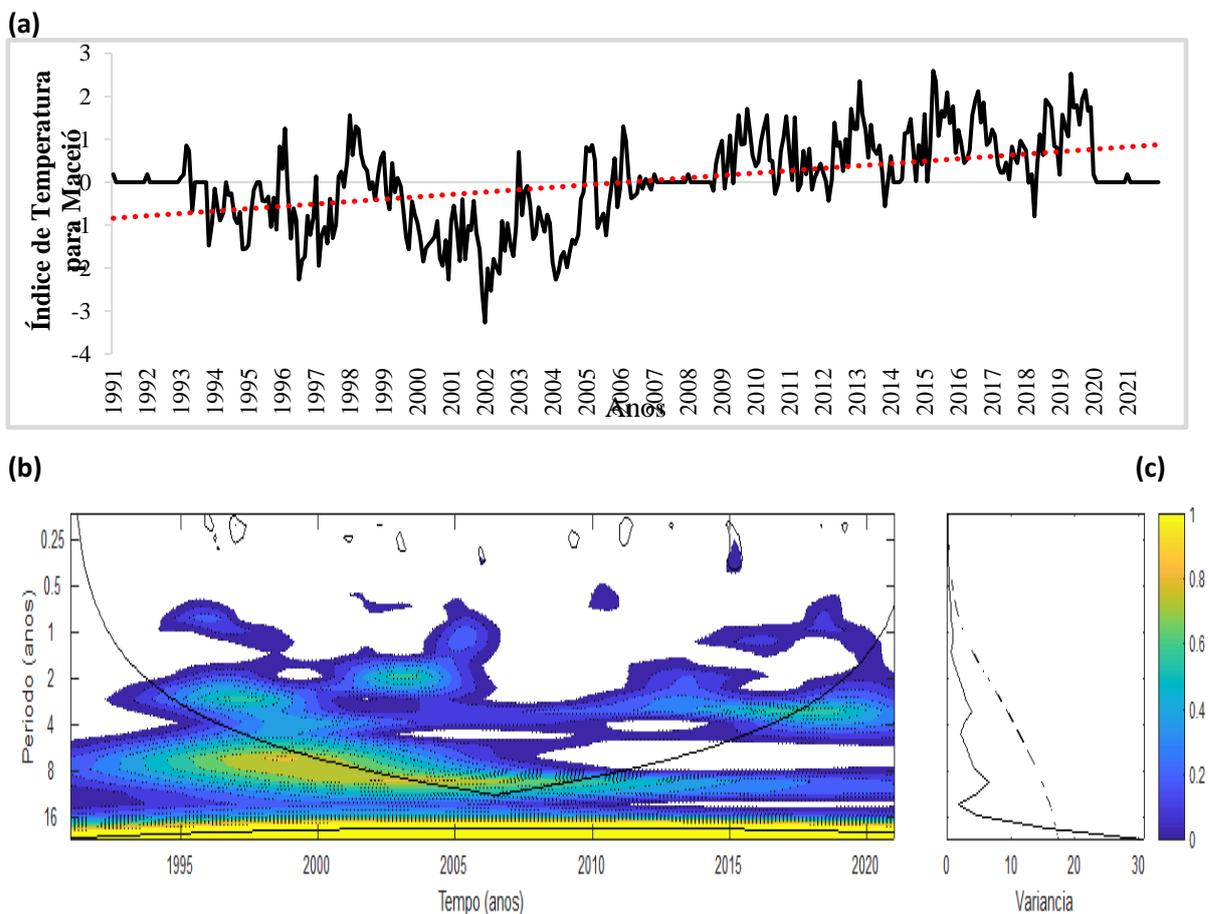
Fonte: Autora, 2023.

A série de temperatura média (Figura 14 b) apresentou escala de sazonalidade (0,25 anos), analisando o pico do aumento da temperatura (Figura 14 a), percebeu-se tal evidência no ano de 2015, bem como a presença das escalas: semestral (0,5 anos), e interanual (1 ano). Contudo, notou-se a ocorrência de outras escalas mais prolongadas, sendo estas o ENOS, que normalmente ocorre de (1 a 2 anos), ENOS estendido (2 a 8 anos), e que apresentou temperaturas mais baixas de 2000 a 2006 segundo a (Figura 14 a), a série ainda demonstrou conforme a análise a presença de Dipolo do Atlântico (8 a 11 anos) e a atuação de Manchas Solares (11 anos) mesmo tendo pouca significância estatística dentro do cone de influência, evidenciou escala dominante para a série de acordo com a (Figura 14 c).

A série de temperatura também foi analisada por (GOMES e SILVA, 2019; VILANE e SANCHES, 2013) que observaram sazonalidade, semestral e interanual (ROCHA, 2018). Assim como escalas temporais de (1 a 2) anos ENOS e (1 a 8) anos estão ligadas ao ENOS estendido. A relação de escala de (8 anos) com a ocorrência do Dipolo do Atlântico, e a de (11) anos com o ciclo de manchas solares também foram encontradas por Da Silva *et al.* (2013).

Ao acompanhar o registro do maior índice negativo, notou-se que ocorreu em meados de 2002, em que a anomalia normalizada de temperatura em Maceió diminuiu cerca de quase -4 graus em relação à média. Em Gomes e Silva (2018) também foi identificado registro de temperatura diminuindo.

**Figura 14** – (a) Índice de temperatura para Maceió (1991 a 2021) normalizado pelo desvio padrão; (b) Espectro de energia (EPW) local para Precipitação. Contornos amarelados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante e (c) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%

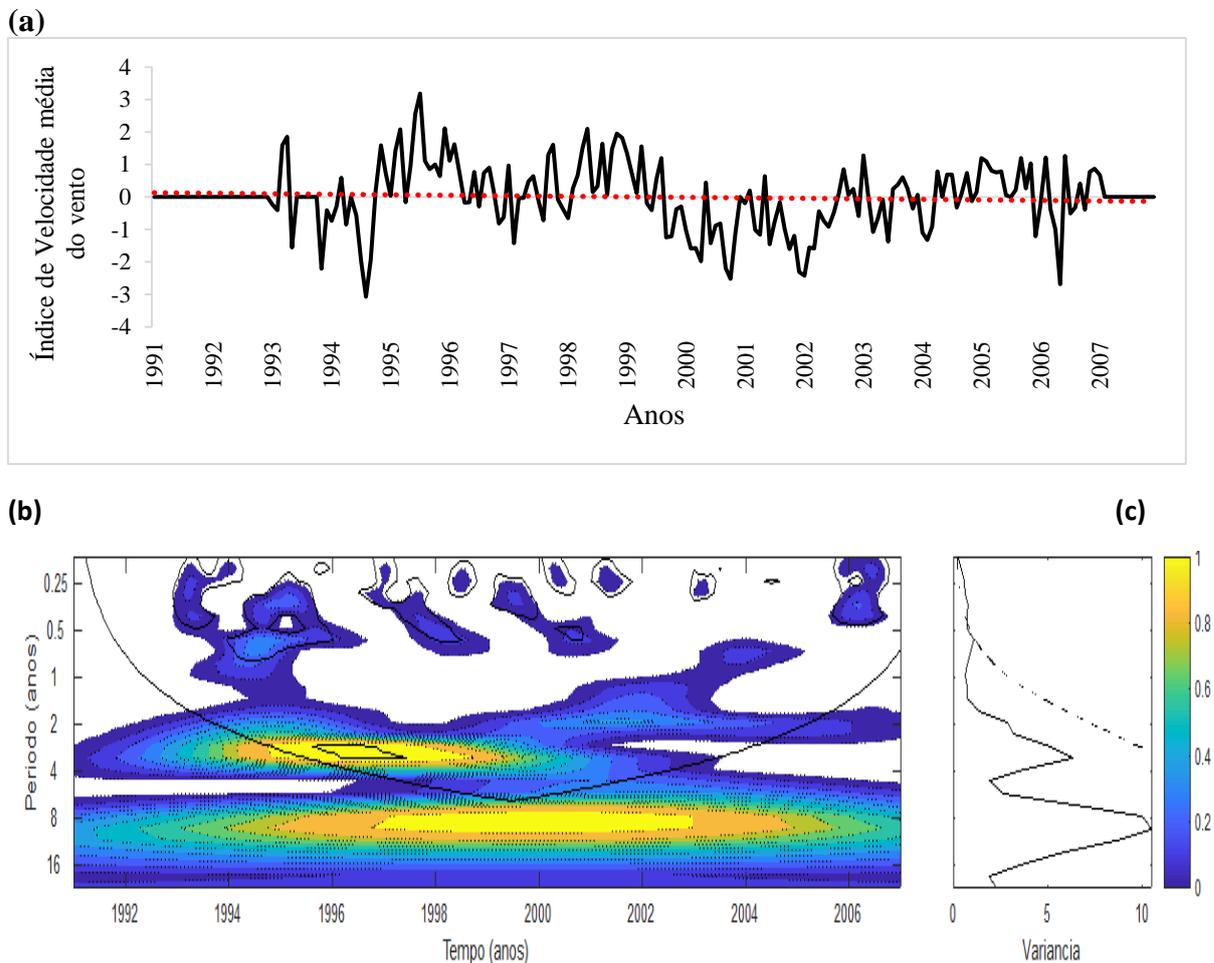


Fonte: Autora, 2023.

A ondaleta analisada para a série de velocidade do vento (Figura 15 b) evidenciou escala sazonal (0,25 anos), semestral (0,5 anos) e interanual (1 ano) de acordo com a ondaleta nota-se, que por volta de 1994 a 1995, os fenômenos que atuaram nessa escala causaram queda nos níveis de velocidade do vento no litoral de Maceió (Figura 15 a). A análise também notou ENOS (de 1 a 2 anos) que também atuou de maneira moderada no período citado e em 2003 a 2005, causando o mesmo efeito sob a velocidade do vento. Ainda foi possível visualizar através do espectro da ondaleta o ENOS estendido com forte sinal de 1997 a 2007 (2 a 8 anos) de acordo com os picos da velocidade do vento nesse período (figura 15 a). Observou-se também a presença do Dipolo do Atlântico (8 a 11 anos) e Manchas Solares (11 anos) muito embora ambos respectivamente tenham se posicionado fora do cone de influência, ou seja, sem significância estatística, ambos por sua vez atuaram como escalas dominantes na análise de ondaletas para a velocidade média do vento.

Resultados semelhantes de escalas e fenômenos atuantes foram encontrados em trabalhos que utilizaram do método para determinar interferências meteorológicas em determinado meio, sendo estes: presença de sazonalidade, (0,25 anos), escala semestral, (0,5 anos) ocorrência de ENOS (entre 1 e 2 anos) bem como ENOS estendido (de 2 a 8 anos), manchas solares na escala de 11 anos, e Dipolo do Atlântico, na escala temporal de (8 a 11 anos), DA SILVA *et al.* (2020).

**Figura 15** – (a) Índice de velocidade do vento para Maceió (1991 a 2007) normalizado pelo desvio padrão; (b) Espectro de energia (EPW) local para Precipitação. Contornos amarelados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante e (c) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%



Fonte: Autora, 2023.

A análise da ondaleta para o nível de marés no litoral de Maceió (Figura 16 a) demonstrou a ocorrência de sinais da escala sazonal, (0,25 anos), também notou-se a escala semestral (0,5 anos), entre 2004 a 2006 estando com sinal mais forte durante os anos de 2007 a 2017 conforme com a ondaleta (Figura 16 b). Também foi evidenciado um fraco sinal de escala interanual (1 ano) no final da série em 2019, assim como a escala de ENOS (1 a 2 anos) entre 2019 e 2018. A série também apresentou fraca ocorrência do ENOS estendido (2 a 8 anos) entre o período de 2014 a 2019. A escalas do Dipolo do Atlântico de (8 a 11 anos) e ciclo de Manchas solares (11 anos) coincidindo com o período (em branco), influente de 2015 a 2019.

Conforme Da Silva (2017) ao utilizar a análise de ondaletas encontrou escalas de sazonal a mais longas, sendo essas de (0,25 anos a 22 anos), tendo escalas de 4- 8 anos, 11 anos e 16 anos como as dominantes para a região Leste do Nordeste do Brasil.

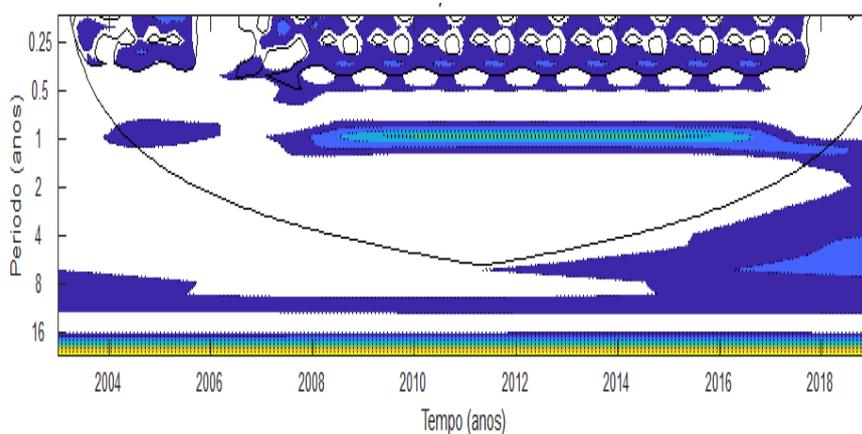
Assim como em Rocha *et al.* (2022) que também evidenciaram escalas 4- 8 anos, 11 anos e 16 anos e até mais longínquas para a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, utilizando a análise de ondaletas para a identificação de sinais de influência de fenômenos e sistemas meteorológicos por meio de variáveis climáticas.

**Figura 16** – (a) Índice de nível de marés para Maceió (1991 a 2021) normalizado pelo desvio padrão; (b) Espectro de energia (EPW) local para Precipitação. Contornos amarelados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante e (c) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%

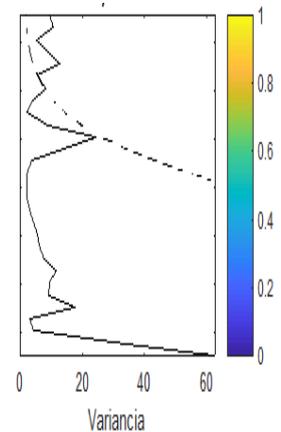
(a)



(b)



(c)



Fonte: Autora, 2023.

### **4.3 Avaliação da taxa de variação da linha de costa do litoral de Maceió**

Conforme a Tabela 3 o litoral de Maceió foi dividido em 5 setores para melhor efeito de análises, dessa forma, o setor 1 inicia do final do bairro Ipioca até o limite final da faixa litorânea do município de Maceió, onde está situada a estação da CEMADEN, assim como o setor 2 inicia no bairro Cruz das Almas. No caso dos demais setores como o 3, 4 e 5 o critério para o recorte consistiu no melhor aspecto de distribuição espacial das grandes praias de Maceió.

As análises tiveram a extração de 208 a 33 transectos que variaram por setor, sendo estes contabilizados segundo a situação em que se encontrou o aspecto espacial das praias do litoral de Maceió.

Ao analisar os resultados da Tabela 3 notou-se os valores das médias das taxas de variação da linha de costa de todos os setores, esses valores correspondem a análise multitemporal que levou em consideração uma distribuição de anos com início em 1991 a 2021 dando coerência as séries mais antigas empregadas na maioria das análises climatológicas.

Os resultados referem-se as taxas e as imagens que originaram a representação da situação da linha de costa do litoral de Maceió, utilizando a ferramenta CASSIE, esses se relacionam com os resultados das análises dos dados meteorológicos. O comportamento das tendências encontradas pode demonstrar que a variabilidade climática vem desencadeando o quadro de comportamento do recuo da linha costeira de Maceió, ou seja, o surgimento de erosão e progradação praial. Com o auxílio das ondaletas pode-se identificar e avaliar a interação e a intensidade dos fenômenos meteorológicos que resultaram em tal variabilidade no período submetido a análise.

**Tabela 3** – Setorização e distribuição espacial das taxas de recuo no litoral de Maceió

Setores e divisões	Total de transectos	Classificação do status da área	Total de status	TVE <sup>(1)</sup>	r <sup>(2)</sup>	LRR <sup>(3)</sup>	SCE <sup>(4)</sup>	NSM <sup>(5)</sup>	EPR <sup>(6)</sup>
<b>Setor 1- Bairro Ipioca até Cruz das Almas</b>	208	Criticamente Erodida	1	-0,0028	0,7227	-10,338	432,043	-336,02	-11,552
		-Erodida	8	-0,0017	0,3055	-0,6307	534,2971	-187,6111	-3,0600
		-Acrescida	157	0,0039	0,3221	11,5438	1037,3340	88,2167	0,8569
		- Estável	42	0,0001	0,0533	0,0530	672,2016	-104,0006	-3,1277
<b>Setor 2- Bairro Cruz das Almas</b>	41	Erodida	1	-0,0015	0,1113	-0,5432	639,6120	-193,1760	-0,6572
		-Acrescida	4	0,0020	0,1023	0,7230	976,6975	251,3455	8,2884
		- Estável	36	0,0000	0,0455	0,0012	765,2753	62,4536	0,5391
<b>Setor 3- Região da praia Pajuçara</b>	33	Criticamente Erodida	1	-0,0057	0,0719	-20,6830	2472,0800	-1752,2030	-59,6100
		-Acrescida	17	0,0052	0,1664	17,7235	2827,6092	295,9545	8,1481
		- Estável	15	0,0004	0,0538	0,1389	446,7340	2,0387	0,0069
<b>Setor 4- Região Ponta da Barra</b>	184	Criticamente Erodida	11	-0,0132	0,3650	-48,0258	2437,3745	-345,8255	-45,1893
		-Erodida	16	-0,0020	0,2992	-0,7159	762,4174	-211,2550	-3,2789
		-Acrescida	49	0,0028	0,1097	6,1437	982,9727	-227,2786	-5,6771
		- Estável	29	0,0002	0,0159	0,0597	789,9017	-422,5684	-13,1333
<b>Setor 5- Laguna Mundaú</b>	172	Criticamente Erodida	32	-0,0095	0,1411	-34,6837	3793,7826	-638,6858	-22,6680
		-Erodida	9	-0,0018	0,0428	-0,6735	2797,8111	-724,3113	-24,1042
		-Acrescida	44	0,0050	0,2760	17,4112	2110,2570	530,7042	17,1154
		- Estável	37	0,0001	0,0294	0,0230	2438,0168	129,9972	4,4679

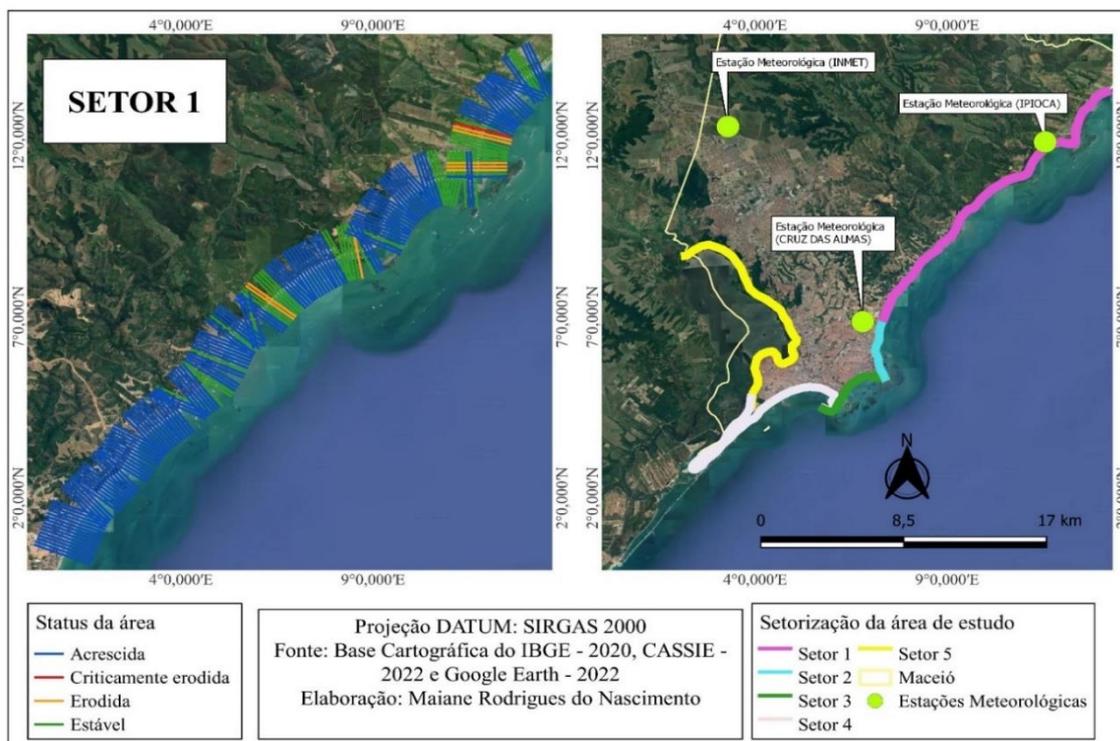
<sup>(1)</sup> TVE = Taxa de Variabilidade Espacial; <sup>(2)</sup> r = Coeficiente de correlação; <sup>(3)</sup> LRR = Taxa de regressão linear; <sup>(4)</sup> SCE = Envelope de mudança da linha costeira; <sup>(5)</sup> NSM = Movimento da linha de costa; <sup>(6)</sup> EPR = taxa do ponto de terminação.

Fonte: Autora, 2023.

Conforme a análise realizada (Figura 17) a área do setor 1 evidencia a região litorânea que inicia no bairro Ipioca, e finaliza de encontro ao bairro de Cruz das Almas. O setor 1 por sua vez retrata um total de 208 transectos, representado pela cor rosa a direita e projetado com todos os transectos extraídos. Foram encontrados dois tipos de processos erosivos de acordo com a classificação do próprio CASSIE, áreas foram classificadas como criticamente erodidas no qual o processo de erosão evoluiu ao ponto de a paisagem estar fisicamente prejudicada, já a área erodida demonstra a área em processo de erosão evidente, no entanto não tão evoluído como no primeiro caso. Contudo, Garcia *et al.* (2022) salienta que o avanço da erosão costeira desencadeia grandes prejuízos em virtude da invasão da água do mar sobre a infraestrutura urbana.

A área acrescida apresenta a constante transgressão de seu ponto inicial avançando ao longo dos anos e de acordo com fatores que contribuem para tal. Dentre os processos encontrados notam-se áreas estáveis com alterações físicas quase imperceptíveis e que estão fora de vulnerabilidade ou riscos. Dessa forma, o setor 1 demonstrou em sua maioria trechos acrescidos na linha de costa.

**Figura 17** – Setor 1 com todos transectos e processos encontrados por meio da ferramenta CASSIE



Fonte: Autora, 2023.

Em relação aos resultados médios correspondentes ao método LRR, que considera todos os dados da série temporal, e que por sua vez compreende que a taxa equivalente a inclinação da reta da regressão, gerou os valores de tendência para todos os pontos analisados em cada status no setor. Ao longo da série temporal analisada a área criticamente erodida teve um recuo ou variação de cerca de -10,3380 m/ ano e a erodida -0,6307 m/ano, a área acrescida demonstrou em sua taxa de variação 0,0039 m/ano e a estável de 0,0001 m/ano. Para fácil interpretação dos resultados tem-se que os valores negativos correspondem aos recuos em direção a costa classificados como erosões, e até mesmo erosões em um nível mais severo, e os valores com sinal positivo implicam nos avanços em direção ao mar originando o assoreamento (MARINO e FREIRE, 2013; GARCIA *et al.*, 2022).

Os valores adquiridos expressaram de certo a evolução do quadro erosivo no litoral de Maceió, com base em todos os transectos extraídos ano após ano. O método EPR foi calculado através da distância dos movimentos da linha costeira mais antiga 1991 e a mais recente 2021. Por meio do EPR os resultados médios para área criticamente erodida teve recuo de -11,5520 m/ano, a erodida -3,0600 m/ano, e acrescida 0,8569 m/ano, indicando a evolução do processo de acréscimo da praia ao longo da série, de acordo com Araujo *et al.* (2009). Em relação as áreas estáveis sua média foi de -3,1277 m/ano. Se forem comparados ambos os métodos a taxa de variação pelo EPR demonstrou resultados mais altos em relação ao LRR.

Conforme Santos *et al.* (2020) também evidenciaram as mesmas características de diferenças de valores médios entre os métodos LRR e EPR em uma análise pra trechos de linhas de costa em Sergipe ao utilizar a ferramenta CASSIE.

As taxas de vulnerabilidade espacial encontradas no setor 1 do litoral de Maceió foram baseadas na média para cada tipo de processo extraído dos transectos que compuseram o setor. A média da área criticamente erodida apresentou uma taxa de vulnerabilidade espacial negativa de -0,0028 m/ano, Mazzer e Dillenburg (2009) acreditam que se tratando de séries a longo prazo essa relação negativa indica taxa de vulnerabilidade espacial erosiva. Assim como a erodida -0,0017 m/ano, já a área acrescida apresentou uma taxa positiva de 0,0039 m/ano, em sua variação (Figura 17).

Mesmo o setor 1 se tratando de uma área bastante ampla comparada aos demais setores por vir, este possui poucos trechos com denominação estável, e apresentou taxa de vulnerabilidade espacial positiva de 0,0001 m/ ano, valor relativamente baixo, isso

indica que as áreas estáveis ao longo da série temporal analisada obtiveram alterações físicas praticamente imperceptíveis.

O SCE que é a distância (em metros) entre a linha de costa mais distante e mais próxima da linha de base em cada transecto, corresponde aos valores médios do total da variação ocorrida de 1991 a 2021, em função da linha de base traçada no processo inicial de extração dos resultados, os valores estão expressos de forma a demonstrar tal distância percorrida (Tabela 4). Com base no NSM distância (em metros) entre as linhas costeiras mais antigas e mais novas para cada transecto, percebeu-se que existe a variação de valores negativos vão de -336,0200 m/ano a -104,0006 de acordo com o status dos transectos. Para Muehe e Klumb-Oliveira (2014) a variabilidade morfodinâmica pode estar relacionada com a variação da sua largura na ordem de dezenas de metros.

Percebeu-se que o coeficiente de correlação da linha de costa mais antiga e a mais recente apresentaram alta e moderada correlação nas áreas criticamente erodidas, erodidas e acrescidas, exceto as áreas estáveis com ausência de correlação (Tabela 4).

**Tabela 4** – Médias dos valores da variação da linha de costa no setor 1 obtidos por meio do método da taxa do ponto de terminação (EPR) e taxa de regressão linear (LRR) em metros

Status dos transectos	TVE <sup>(1)</sup>	r <sup>(2)</sup>	LRR <sup>(3)</sup>	SCE <sup>(4)</sup>	NSM <sup>(5)</sup>	EPR <sup>(6)</sup>
Criticamente Erodida	-0,0028	0,7227	-10,3380	432,0430	-336,0200	-11,5520
Erodida	-0,0017	0,3055	-0,6307	534,2971	-187,6111	-3,0600
Acrescida	0,0039	0,3221	11,5438	1037,3340	88,2167	0,8569
Estável	0,0001	0,0533	0,0530	672,2016	-104,0006	-3,1277

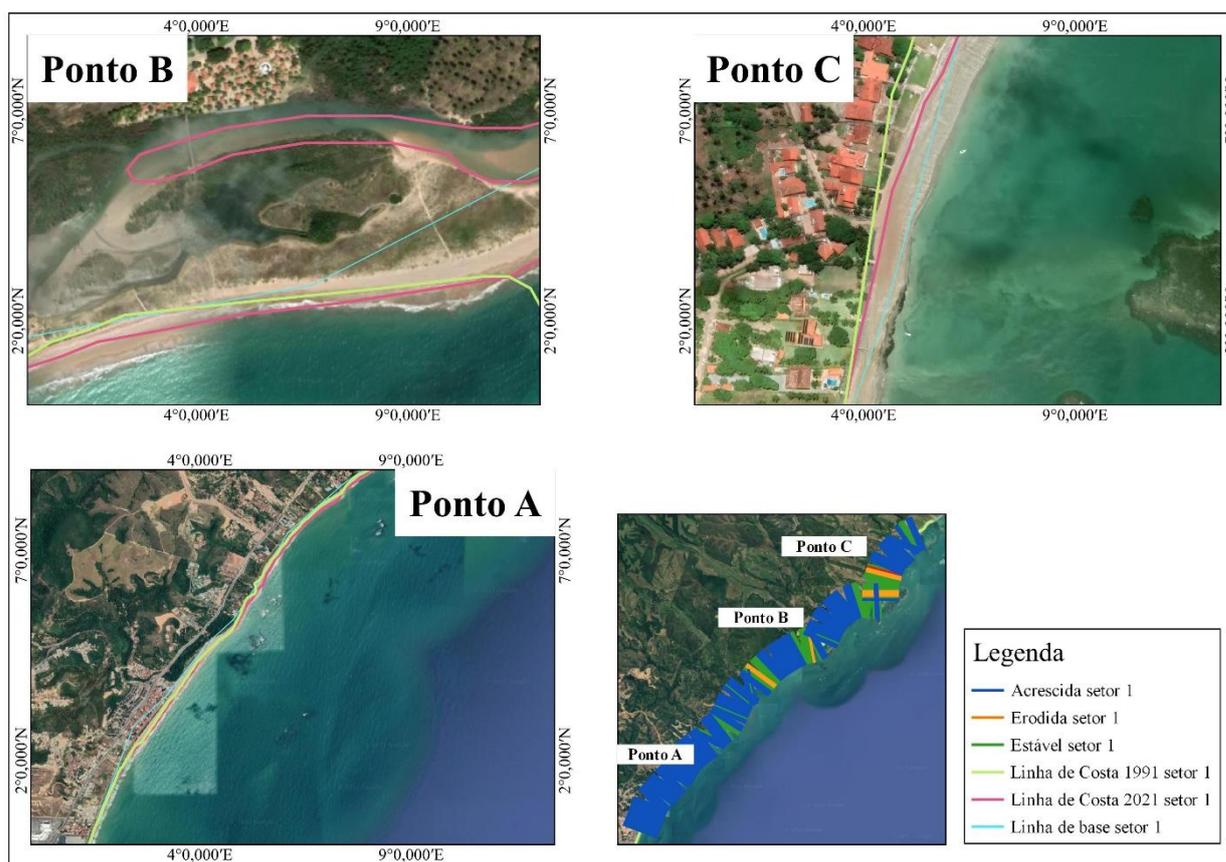
<sup>(1)</sup> TVE = Taxa de Variabilidade Espacial; <sup>(2)</sup> r = Coeficiente de correlação; <sup>(3)</sup> LRR = Taxa de regressão linear; <sup>(4)</sup> SCE = Envelope de mudança da linha costeira; <sup>(5)</sup> NSM = Movimento da linha de costa; <sup>(6)</sup> EPR = taxa do ponto de terminação.

Fonte: Autora, 2023.

Avaliando a situação em alguns trechos específicos dentro do setor 1 (Figura 18) notou-se a identificação de áreas com recuo, como no caso do trecho A, este representado por uma extensa área em processo de acréscimo da praia, indicativo do processo constante do movimento transcorrido na linha de costa ao longo dos anos que originou a linha de costa de 2021. Ao analisar divisões de trechos da linha costeira de ambientes litorâneos

no Ceará, Farias e Maia (2010) no tocante das análises identificaram o recuo da praia e descobriram processos erosivos também classificados como críticos. No trecho B foi observado uma distribuição de pontos estáveis, erodidos e acrescidos, conforme a linha de costa de 1991 foi transgredida pela de 2021, mostrando assim o nítido avanço da linha de costa. No caso do trecho C tem-se área erodida e criticamente erodida, as linhas afastadas demonstraram ainda mais a evolução do quadro crítico, isso devido a linha de costa de 2021 avançar expressivamente para mais perto da costa indicando que processos mais intensos atuaram para corroborar para essa evolução.

**Figura 18** – Evolução da linha de costa em trechos vulneráveis do setor 1

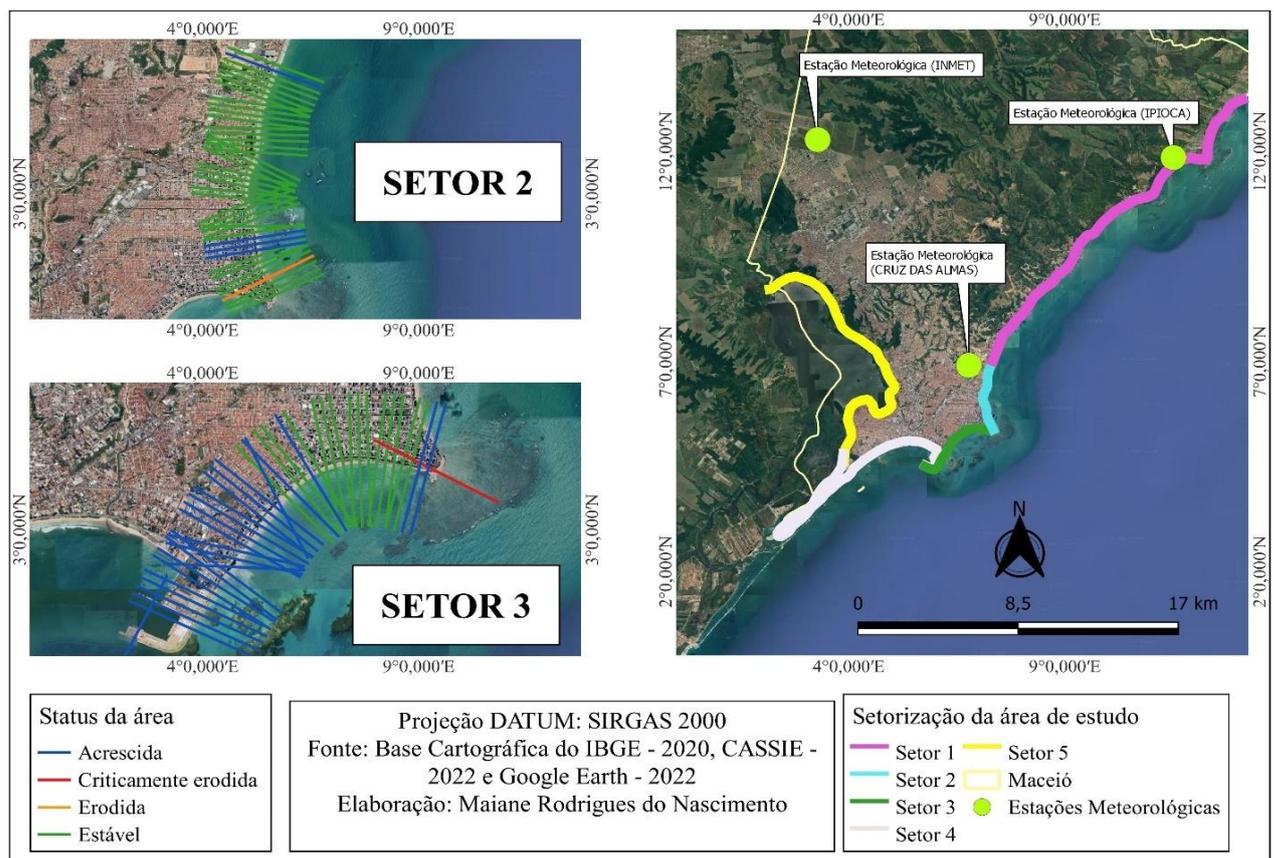


Fonte: Autora, 2023.

Os setores 2 e 3 (Figura 19) representam setores importantes para o litoral de Maceió, cada um com 40 e 47 transectos respectivamente, os dois setores possuem áreas criticamente erodidas, erodidas, acrescidas e estáveis. Ambos os setores estão próximos da estação meteorológica no bairro Cruz das Almas. O setor 2 possui a maioria de seus transectos estáveis, em contra partida, existem trechos em acréscimo na praia, e a

detecção de um transecto com classificação de área erodida. O setor 3 evidenciou a maioria de seus trechos como áreas acrescidas, revelando suscetibilidade ao quadro evolutivo de sua progradação, também apresentou área criticamente erodida. Segundo Baía *et al.* (2021) ao analisarem a taxa de variação em praias estuarinas de macromaré na Amazônia oriental também identificaram em muitos trechos a presença de áreas acrescidas.

**Figura 19** – Setor 2 e 3 com todos transectos e processos encontrados por meio da ferramenta CASSIE



Fonte: Autora, 2023.

Os valores médios para LRR (Tabela 5) a área erodida demonstraram recuo de -0,5432 m/ano, para a acrescida 0,7230 m/ano ao observar esse movimento da linha de costa notou-se que o litoral vem gradativamente desenvolvendo seu acréscimo, possivelmente pelas influências constantes da elevação do nível do mar e/ou das variáveis meteorológicas, indicado assim a constante modificação das praias do litoral de Maceió.

Para Santos e Bonetti (2018) tal acréscimo está ligado ao clima de ondas que promovem o processo de transporte sedimentar constante. A área estável teve 0,0012 m/ano, quase nenhuma alteração. O método EPR teve valores para a área erodida de -0,6572 m/ano, acrescida 8,2884 m/ano e estável com 0,5391 m/ano. Ao comparar os dois métodos notou-se valores mais elevados em EPR.

No setor 2 os valores médios observados da taxa de vulnerabilidade espacial (Tabela 4) em áreas erodidas foram -0,0015m/ ano, acrescida de 0,0020 m/ano, isso indicou que a cada ano, esse setor sofreu com o desenvolvimento do quadro erosivo nessas áreas. Nesse contexto Moreira *et al.* (2020) ressaltam que as mudanças das linhas de costas indicam por meio das taxas, os impactos costeiros, como é o caso dos processos erosivos. Uma diversidade de fatores pode influenciar na dinâmica de regiões litorâneas, como as ondas (dominantes e tempestade), as marés incluindo atividades de cunho antrópico. Os valores médios para a área estável tiveram uma taxa de 0,0000 m/ano, ou seja, não sofreu nenhuma mudança estatisticamente pontual em seu meio.

O SCE demonstrou distância entre a linha de costa mais distante e a mais próxima da linha de base de cada transecto com valores médios entre 976,6975 m/ano a 639,6120 m/ano (Tabela 5). Pelo NSM a distância entre as linhas costeiras de 1991 e 2021 para cada transecto, foram entre 251,3455m/ano a -193,1760 m/ano de acordo com o status dos transectos (Tabela 5).

Segundo Spanghero *et al.* (2018) um fator a ser levado em consideração como agente agravante para a erosão costeira são as influências geradas pelas atividades humanas no balanço sedimentar, um exemplo dessas interferências seriam a desembocadura fluvial, que com modificações ao longo do seu curso tende a alterar a morfodinâmica costeira.

Considerando as duas linhas de costa da série histórica, notou-se que os coeficientes de correlação de cada status demonstraram em todos os status ausência de correlação com seus valores muito baixos, mesmo que tenham sido positivos (Tabela 5).

Para Santos et al. (2021) a dinâmica em ambientes costeiros ao longo de 3 décadas permite analisar e detectar como ocorre o comportamento hegemônico de acreção, quando se considera toda a série temporal.

**Tabela 5** – Médias dos valores da variação da linha de costa no setor 2 obtidos por meio do método da taxa do ponto de terminação (EPR) e taxa de regressão linear (LRR) em metros

<b>Status dos transectos</b>	<b>TVE <sup>(1)</sup></b>	<b>r <sup>(2)</sup></b>	<b>LRR <sup>(3)</sup></b>	<b>SCE <sup>(4)</sup></b>	<b>NSM <sup>(5)</sup></b>	<b>EPR <sup>(6)</sup></b>
Erodida	-0,0015	0,1113	-0,5432	639,6120	-193,1760	-0,6572
Acrescida	0,0020	0,1023	0,7230	976,6975	251,3455	8,2884
Estável	0,0000	0,0455	0,0012	765,2753	62,4536	0,5391

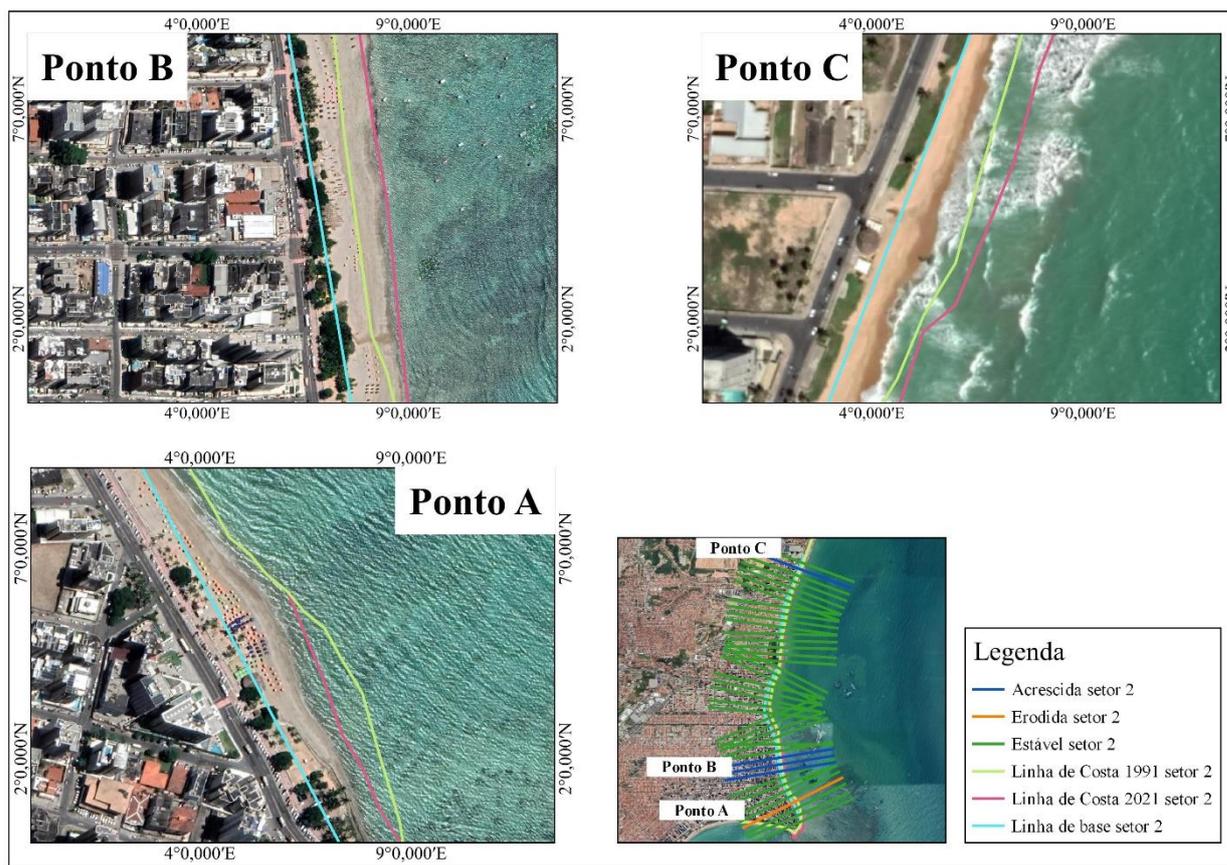
<sup>(1)</sup> TVE = Taxa de Variabilidade Espacial; <sup>(2)</sup> r = Coeficiente de correlação; <sup>(3)</sup> LRR = Taxa de regressão linear; <sup>(4)</sup> SCE = Envelope de mudança da linha costeira; <sup>(5)</sup> NSM = Movimento da linha de costa; <sup>(6)</sup> EPR = taxa do ponto de terminação.

Fonte: Autora, 2023.

O trecho A em evidência (Figura 20) corresponde a área erodida em que a linha de costa de 1991, que está mais próxima do mar e a linha mais jovem está mais próxima da praia, possui em seu meio o movimento de transgressão de uma linha para outra, neste trecho houve a detecção da erosão. No trecho B a linha de costa de 1991 comportada próxima da mais recente evidenciou a progradação, ou seja, o desenvolvimento do acréscimo da praia conforme os anos se passaram. Em C pode-se observar o início do setor com um transecto estável e entre ele há uma área em crescimento. Isso evidenciou que a variação de cada setor se baseia no estado da linha costeira mais recente em função da mais antiga.

De acordo com Almeida (2021) ao realizar uma análise para uma série de 20 anos também identificou a ocorrência de movimentos de linha de costa semelhantes para a região litorânea do Delta do Rio Paraíba do Sul, resultando em acréscimos e erosões nas praias.

**Figura 20** – Evolução da linha de costa em trechos vulneráveis do setor 2



Fonte: Autora, 2023.

Ao analisar os processos encontrados no setor 3 em um total de 74 transectos (Figura 20), foi notória a presença de áreas criticamente erodidas, e áreas erodidas bem próximas, no entanto, o setor salientou a predominância de áreas acrescidas, que coloca o setor em situação de alerta quanto aos riscos e aumento da vulnerabilidade. Negrão *et al.* (2022) destacam que a ocorrência de eventos como tempestades, a presença de instabilidades ocasionadas pelos ventos e ondas nas zonas costeiras ocorrem devido a elevados índices de precipitação que impulsionam maiores descargas fluviais dos estuários nas regiões litorâneas consequentemente influenciam na elevação dos níveis de marés.

A média da taxa de variação do setor 3 a partir do LRR para a áreas em estado criticamente erodidas foi de -20,6830 m/ano, acrescida 17,7235 m/ano e a estável 0,1389 m/ano (Figura 20). No caso do EPR os valores médios para a criticamente erodida foram -59,6100 m/ano, para acrescida 8,1481 m/ano e estável 0,0069 m/ano. A diferença da taxa

de variação para a área estável se mostrou mais elevada pelo método LRR do que pelo EPR.

Acerca dos resultados, Novak e Lamour (2021) acreditam que as linhas de costa em avanço ou em equilíbrio sugerem que a praia não é afetada com os efeitos da erosão costeira, em contrapartida as linhas de costa que realizam o recuo demonstram que o estoque sedimentar está em deficiência e a erosão já se encontra em estado crítico, pondo em risco o ambiente costeiro seja público e/ou privado.

O setor 3 apresentou taxa de vulnerabilidade espacial negativa para áreas criticamente erodidas de  $-0,0057$  m/ano, Franco (2021) associa tais resultados a indicadores de vulnerabilidade. As áreas acrescidas tiveram aumentos de  $0,0052$  m/ano, a área estável obtida foi cerca de  $0,0004$  m/ano, quase inalterado (Tabela 6).

O SCE evidenciou distância entre a linha de costa mais distante e mais próxima da linha de base de cada transecto, com valores médios entre  $2827,6092$  m/ano a  $446,7340$  m/ano demonstrando a distância percorrida (Tabela 6). Pelo NSM a distância entre as linhas costeiras de 1991 e 2021 para cada transecto, foram entre  $-1752,2030$  m/ano a  $2,0387$  m/ano de acordo com o status dos transectos (Tabela 6).

Segundo Santos *et al.* (2021) o recuo nas praias oceânicas tem relação direta com o balanço sedimentar, este que por sua vez resulta no desenvolvimento da acreção por meio da barlamar, sentido de onde vem as correntes e os sedimentos, o déficit de sedimentos através da sotamar direção para onde vão os sedimentos ou alterações com base na intensidade do transporte dos sedimentos.

Quanto a correlação das linhas de costa de 1991 e 2021 foram obtidos os valores médios que expressaram ausência de correlação, sendo relativamente muito baixos (Tabela 6).

**Tabela 6** – Médias dos valores da variação da linha de costa no setor 3 obtidos por meio do método da taxa do ponto de terminação (EPR) e taxa de regressão linear (LRR) em metros

Status dos transectos	TVE <sup>(1)</sup>	r <sup>(2)</sup>	LRR <sup>(3)</sup>	SCE <sup>(4)</sup>	NSM <sup>(5)</sup>	EPR <sup>(6)</sup>
Criticamente Erodida	-0,0057	0,0719	-20,6830	2472,0800	-1752,2030	-59,6100
Acrescida	0,0052	0,1664	17,7235	2827,6092	295,9545	8,1481
Estável	0,0004	0,0538	0,1389	446,7340	2,0387	0,0069

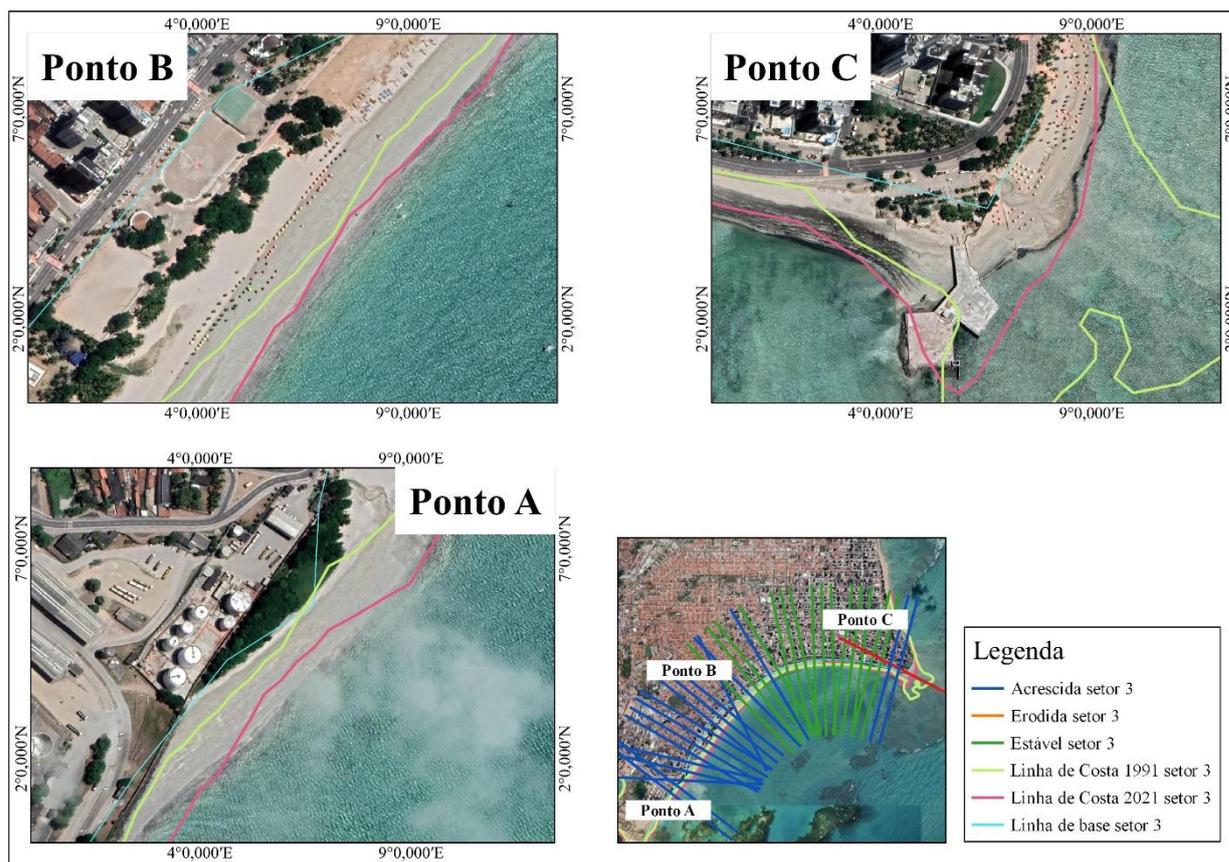
<sup>(1)</sup> TVE = Taxa de Variabilidade Espacial; <sup>(2)</sup> r = Coeficiente de correlação; <sup>(3)</sup> LRR = Taxa de regressão linear; <sup>(4)</sup> SCE = Envelope de mudança da linha costeira; <sup>(5)</sup> NSM = Movimento da linha de costa; <sup>(6)</sup> EPR = taxa do ponto de terminação.

Fonte: Autora, 2023.

Na análise dos processos encontrados com ênfase em alguns trechos específicos (Figura 21) demonstrou que no trecho A, o status de acréscimo revelou a transgressão da linha de costa mais jovem em uma distância significativa da mais antiga, corroborando para o processo de progradação nesse ponto da praia. Nesse sentido Matos *et al.* (2022) endossaram que a variabilidade espacial e temporal das linhas de costa, local estão ligadas à heterogeneidade dos aspectos geomorfológicos e sedimentológicos costeiros que possuem uma conexão com à diversidade de ações antropogênicas que originam alterações com grande relevância na morfologia da orla.

No trecho B teve-se a mesma situação do trecho A, foi evidente a transgressão nesse trecho, a maioria dos processos encontrados neste setor foi de acréscimo. No trecho C a ocorrência de área criticamente erodida, exibiu a linha de costa de 2021 estando mais próxima da praia, e a de 1991 de encontro ao mar, tornando perceptível o afastamento das duas, indicando as alterações sofridas ao longo dos anos.

**Figura 21** – Evolução da linha de costa em trechos vulneráveis do setor 3



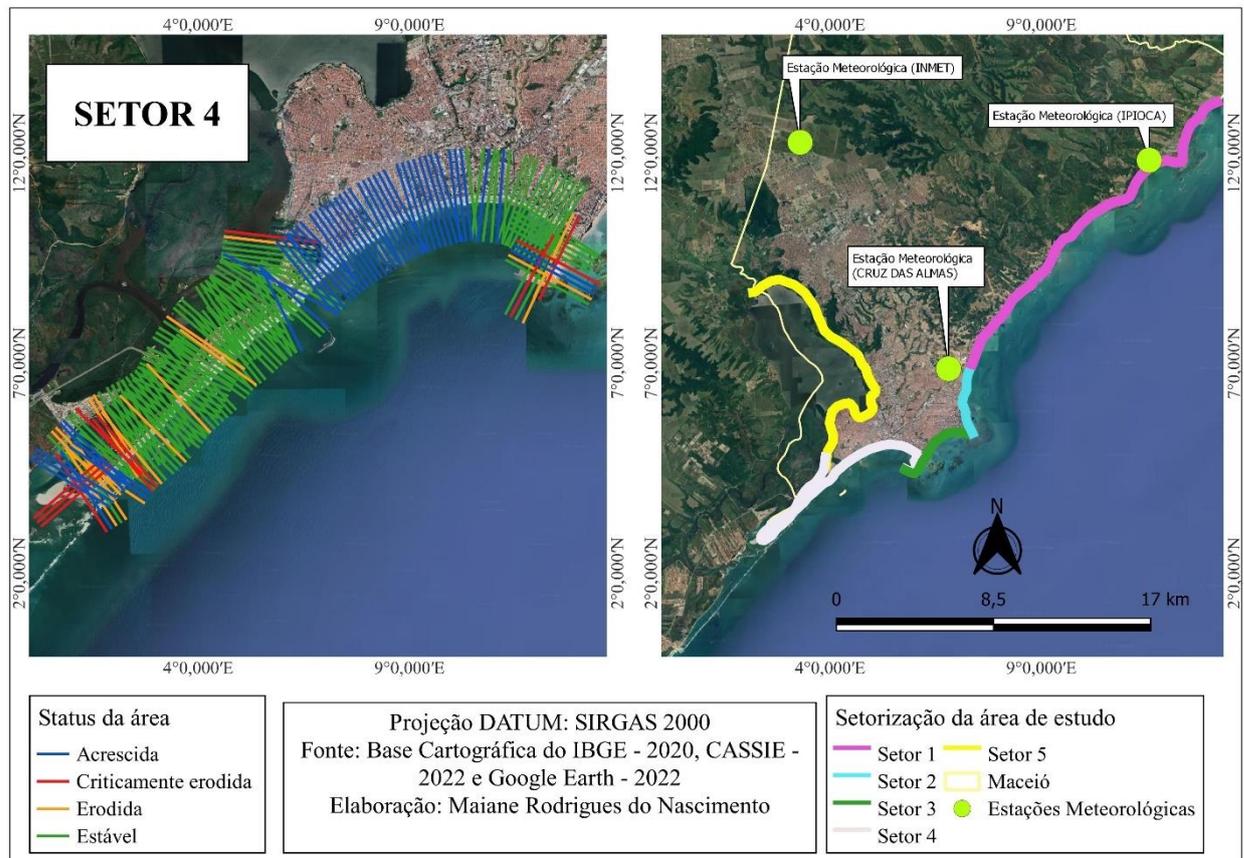
Fonte: Autora, 2023.

A partir dos resultados encontrados no setor 4 com 184 transectos (Figura 22) percebeu-se a ocorrência de áreas em processos caracterizados como criticamente erodida, erodida, acrescida e estável. A área crítica em alguns trechos demonstrou vulnerabilidade, podendo gerar riscos à área costeira do litoral naquele ponto, assim como a já erodida. Para Lopes *et al.* (2021) o quadro erosivo ocorre por meio da dinâmica intensiva do transporte de sedimentos promovido pela ação massiva das ondas. Em relação ao quadro de área em acréscimo de praia, que também apresentou um longo trecho neste setor, entende-se que existe um quadro de vulnerabilidade em desenvolvimento, decorrentes dos processos erosivos severos encontrados no setor 4.

Na escala interanual/sazonal, a dinâmica da linha de costa pode ser influenciada por dois fatores: a mobilidade associada à morfodinâmica de praia e a ocorrência de eventos de tempestade. Nas escalas intersecular e interdecadal, também conhecida como escala histórica, as alterações da linha de costa tendem a ser reflexos dos processos que ocorrem na escala de eventos, podendo também responder a mecanismos associados à

escala geológica, configurando-se como uma escala de interseção entre elas (STIVE *et al.*, 2002; ROCHA *et al.*, 2021).

**Figura 22** – Setor 4 com todos transectos e processos encontrados por meio da ferramenta CASSIE



Fonte: Autora, 2023.

Os valores médios do setor 4 (Figura 22), por meio do método LRR (Tabela 7), revelaram que a taxa de variação da linha de costa para situações com áreas criticamente erodidas tiveram recuo de  $-48,0258$  m/ano, para as áreas erodidas  $-0,7159$  m/ano, a acrescida  $6,1437$  m/ano, o aumento desse quadro leva a crer que essas áreas em constante mudança podem evoluir para os processos severos - notados em alguns trechos. Nas áreas estáveis neste setor o valor médio foi de  $0,0159$  m/ano. Quanto ao método EPR os valores médios evidenciaram  $-45,1893$  m/ano para criticamente erodida, já a erodida de  $-3,2789$  m/ano, a área acrescida com  $-5,6771$  m/ano a área estável teve  $-13,1333$  m/ano. Os valores de área erodida e estável apresentaram médias mais altas no EPR do que no LRR, o que normalmente não ocorreu em alguns dos outros setores analisados (Tabela 7).

Conforme apontado por Vianna *et al.* (2022) o aumento das áreas erodidas nos litorais ocorre quando a ressaca (elevação incomum do nível do mar) acomete a costas acarretando em ondas acima da média na região atingida, a inundação provocada por esse fenômeno gera a erosão e agrava a situação de vulnerabilidade dependendo das localidades. Esse processo tem como agentes contribuidores a atuação de sistemas atmosféricos de baixa pressão no oceano com a presença de ventos de intensas magnitudes acompanhados de fortes tempestades.

Considerando os valores médios de taxa de vulnerabilidade espacial para os status dos transectos (Tabela 7) foi obtida uma taxa negativa de -0,0132 m/ano para as áreas criticamente erodidas, nos casos de áreas erodidas o valor também exibiu taxa de vulnerabilidade espacial negativa de -0,0020 m/ano, enquanto que para as acrescidas o valor foi positivo de 0,0028 m/ano, as áreas estáveis 0,0002 m/ano. Valores semelhantes foram encontrados por Estevam *et al.* (2021) para setores com status críticos, erodidos, acrescidos e estáveis.

De acordo com Matos *et al.* (2021) as tendências das mudanças das linhas de costas, são influenciadas pelas condicionantes naturais (oceânicas e climáticas) e antropogênicas, que compreendem as modificações da orla marítima, que por sua vez podem desenvolver resultados diferentes com base no estado que se encontram.

Ao avaliar o SCE notou-se a distância entre a linha de costa mais distante e mais próxima da linha de base de cada transecto com valores médios entre 2437,3745 m/ano a 762,4174 m/ano (Tabela 7). Por meio do NSM a distância entre as linhas costeiras de 1991 e 2021 para cada transecto, foram entre -422,5684 m/ano a -211,2550 m/ano de acordo com o status dos transectos (tabela 6). Os métodos também foram utilizados por Fernandes (2021) visando aferir a taxa de mobilidade nas zonas costeiras entre barra de Maxaranguape e Ponta Gorda, Litoral Oriental do Rio Grande do Norte em um curto período de avaliação.

Quanto ao coeficiente de correlação, (Tabela 7) os resultados relacionados as linhas de costa de 1991 e 2021 apresentaram médias para as áreas criticamente erodidas com presença de correlação positiva de fraca a moderada (0,36), as áreas erodidas ausência de correlação, assim como as áreas acrescidas e estáveis.

**Tabela 7** – Médias dos valores da variação da linha de costa no setor 4 obtidos por meio do método da taxa do ponto de terminação (EPR) e taxa de regressão linear (LRR) em metros

Status dos transectos	TVE <sup>(1)</sup>	r <sup>(2)</sup>	LRR <sup>(3)</sup>	SCE <sup>(4)</sup>	NSM <sup>(5)</sup>	EPR <sup>(6)</sup>
Criticamente Erodida	-0,0132	0,3650	-48,0258	2437,3745	-345,8255	-45,1893
Erodida	-0,0020	0,2992	-0,7159	762,4174	-211,2550	-3,2789
Acrescida	0,0028	0,1097	6,1437	982,9727	-227,2786	-5,6771
Estável	0,0002	0,0159	0,0597	789,9017	-422,5684	-13,1333

<sup>(1)</sup> TVE = Taxa de Variabilidade Espacial; <sup>(2)</sup> r = Coeficiente de correlação; <sup>(3)</sup> LRR = Taxa de regressão linear; <sup>(4)</sup> SCE = Envelope de mudança da linha costeira; <sup>(5)</sup> NSM = Movimento da linha de costa; <sup>(6)</sup> EPR = taxa do ponto de terminação.

Fonte: Autora, 2023.

De acordo como foi evidenciado no trecho A (Figura 23) o setor 4 demonstrou em seu entorno a junção de diversos processos, sejam de erosão ou de acréscimo, o que foi notado a partir do atual posicionamento da linha de costa mais recente, no caso a de 2021, essa linha se estende frente ao mar pairando em uma superfície de areia, onde observa-se evidências de erosão crítica se misturando com áreas acrescidas na superfície costeira. No trecho B uma extensão de área acrescida pode ser observada, ao acompanhar o afastamento da linha de costa de 1991 e comparar com a de 2021, percebeu-se nitidamente esse crescimento. Já no trecho C, por se tratar de uma área portuária foram evidenciadas áreas erodidas, isso devido a pouca faixa de linha costeira demarcada, porém mesmo assim houve a detecção de 4 transectos com status de área erodida.

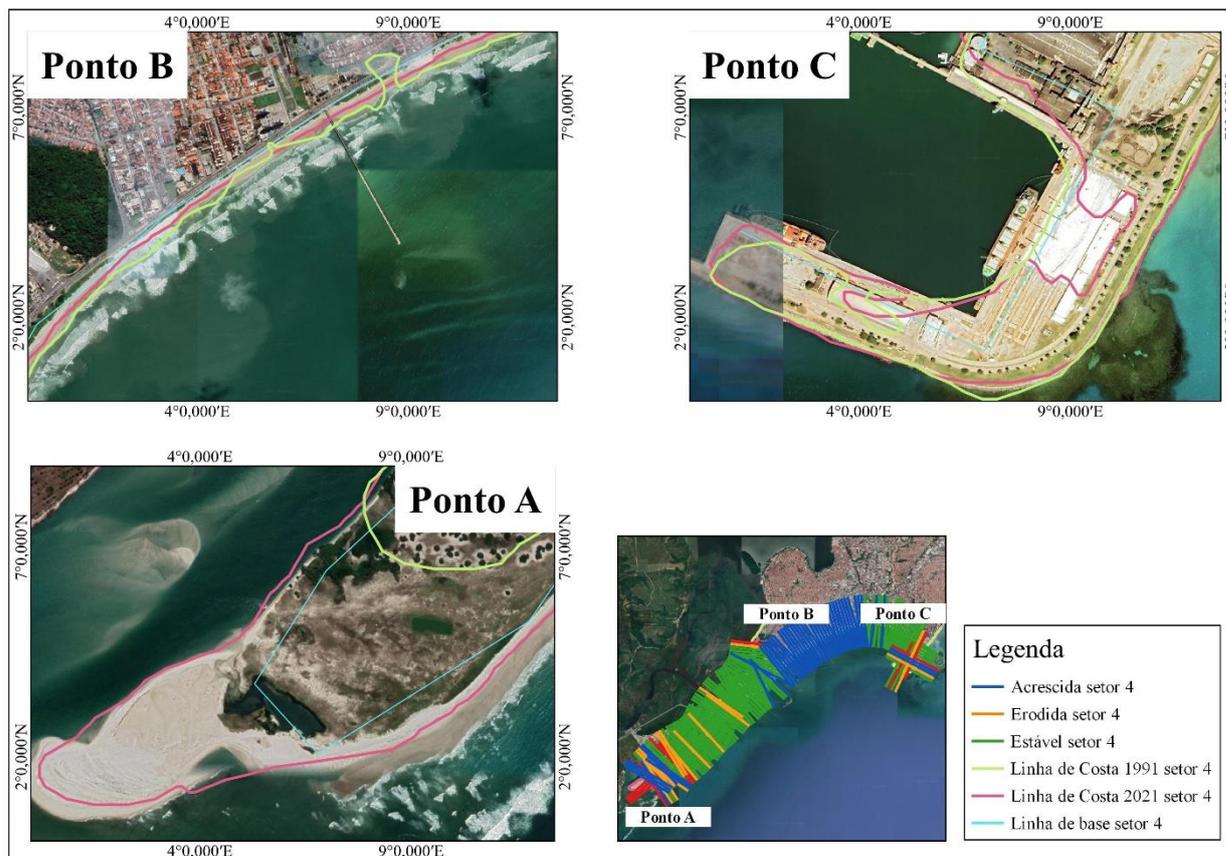
Ao analisar trechos distintos da linha costeira de Beberibe, no estado do Ceará, para uma série temporal considerável, Teixeira *et al.* (2021) detectaram resultados semelhantes aos encontrados para os trechos A, B e C no setor 5.

Levando em consideração a série temporal analisada e a frequência dos eventos climáticos submetidos à zonas costeiras, deve-se aplicar ações atenuantes, visto que a área agravada só tende a se desenvolver à medida que os anos vão se passando. A preocupação mediante as modificações provindas das mudanças climáticas norteiam cenários que impactarão diretamente no desenvolvimento dos processos erosivos.

Frente ao atual cenário de mudanças climáticas, com o aumento do nível relativo do mar e maior frequência de eventos climáticos extremos, a dinâmica costeira vem

sofrendo alterações ao redor do planeta, principalmente na movimentação e balanço dos sedimentos, ou relação entre erosão e deposição nas linhas de costa. A erosão costeira aparece como uma questão de alta relevância em virtude da ocupação antrópica que aconteceu, no decorrer dos séculos, na orla marítima sobre sistemas geomorfológicos como campos de dunas, praias arenosas, estuários e deltas (WEINER *et al.*, 2021).

**Figura 23** – Evolução da linha de costa em trechos vulneráveis do setor 4

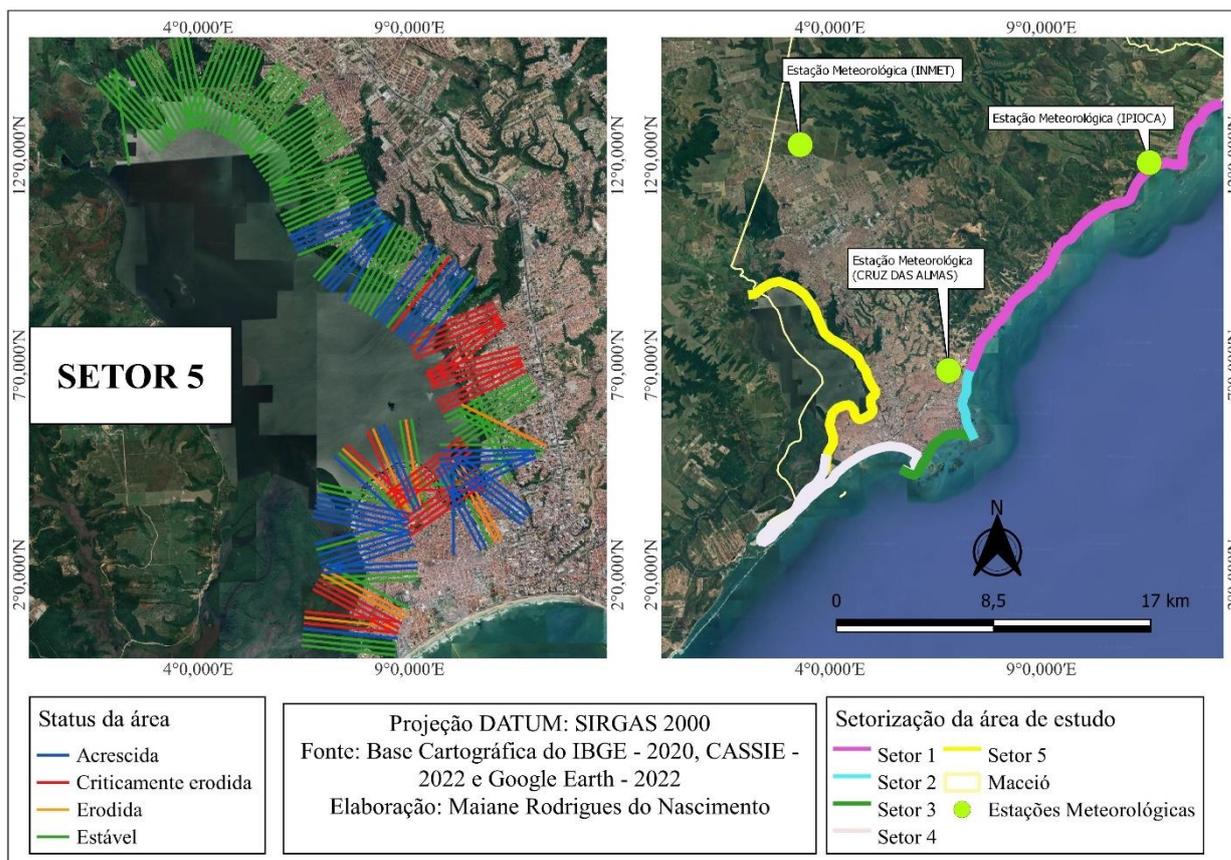


Fonte: Autora, 2023.

De acordo com o setor 5 que trata-se da área da laguna (Figura 24) e exibiu diversos trechos com áreas criticamente erodidas, erodidas, acrescidas bem como estáveis, essa configuração foi extraída de um total de 172 transectos, tendo sido identificados os processos pela análise somente em 122 deles. Mesmo não apresentando linha costeira, a área de laguna também é caracterizada como parte litorânea. O setor 5 foi um dos setores que mais apresentou transectos com estabilidade, ou seja, áreas com pouco desenvolvimento de processos erosivos ou mudança nítida em seu meio.

Segundo Luz *et al.* (2020) problemas ligados a erosão na área da Laguna de Mundaú do litoral de Maceió, já foram destacados, isso devido a única entrada oceânica que muda de posição dinamicamente, resultando assim em modificações na sua estrutura compartimentaria.

**Figura 24** – Setor 5 com todos transectos e processos encontrados por meio da ferramenta CASSIE



Fonte: Autora, 2023.

Considerando os valores médios da taxa de variação pelo método LRR (Tabela 8), teve-se que a área criticamente erodida alcançou um recuo de  $-34,6837$  m/ano e a erodida obteve  $0,6936$  m/ano, ao analisar as áreas acrescidas notou-se o valor de  $17,4112$  m/ano, no caso das estáveis  $0,0230$  m/ano. Quanto ao método EPR os valores para a criticamente erodida chegaram a  $-22,6680$  m/ano inferior ao LRR, porém a área erodida teve  $-27,0067$  m/ano, bastante superior em comparação ao método anterior. A área acrescida foi  $17,1154$  m/ano, esta por sua vez se manteve equiparada, a estável com  $4,4679$  m/ano (Tabela 8). De acordo com Moreira *et al.* (2020) a proximidade de valores

de taxas de recuo dos dois métodos se deve ao fato de o processo erosivo observado ao longo do setor ter ocorrido de forma homogênea.

Tendo como base a média dos valores de taxa de vulnerabilidade espacial do setor 5, que apresentou áreas criticamente erodidas com taxa de vulnerabilidade espacial negativa  $-0,0095$  m/ano, no caso das áreas erodidas a taxa também foi negativa  $-0,0019$  m/ano, já para as acrescidas foi  $0,0050$  m/ano, notou-se que a área de laguna com presença de vegetação no entorno da laguna não sofreu tanta progradação quanto as áreas de praia, nos outros setores demonstraram valores em constante mudança e variação. A área estável apresentou  $0,0001$  m/ano, valor que corrobora para a estabilidade da área extraída, determinando assim a quase imperceptível alteração em seu meio.

Acerca dos resultados, Toldo Jr. *et al.* (2003) e Lemke *et al.* (2021) salientam que regiões costeiras de lagunas sofrem influência do transporte longitudinal, isso indica que quando ocorre a erosão os sedimentos são transportados para o corpo da laguna enquanto que ao longo da margem oeste os sedimentos normalmente são movimentados rumo à linha costeira, a deriva litorânea é majoritariamente em direção ao norte na margem leste, e para o sul na margem oeste.

Ao analisar o SCE obteve-se a distância entre a linha de costa mais distante e mais próxima da linha de base de cada transecto, valores médios que variaram entre  $3793,7825$  m/ano, a  $2110,2570$  m/ano, (Tabela 8). De acordo com o NSM a distância entre as linhas costeiras de 1991 e 2021 para cada transecto, foram entre  $-786,0358$  m/ano a  $129,9972$  m/ano, de acordo com o status dos transectos (Tabela 8).

Conforme Weiner (2021) as análises de SCE e NSM se mostram como grande auxílio para entendimento das modificações com base nas linhas de costas antigas e recentes, elas avançam para o continente induzidos pelos processos erosivos acompanhadas de deposição sedimentar restrita ao pós-praia, sobretudo nos transectos posicionados mais próximos a desembocadura de áreas de lagoas, em sua análise foi possível confirmar o aporte fluvial na dinâmica costeira ocorrida no setor estudado por ele.

O coeficiente de correlação das linhas de costas de 1991 e 2021 em ambos os status, apresentaram ausência de correlação ( $< 0,3$ ), conforme os seus resultados médios (Tabela 8).

**Tabela 8** – Médias dos valores da variação da linha de costa no setor 5 obtidos por meio do método da taxa do ponto de terminação (EPR) e taxa de regressão linear (LRR) em metros

Status dos transectos	TVE <sup>(1)</sup>	r <sup>(2)</sup>	LRR <sup>(3)</sup>	SCE <sup>(4)</sup>	NSM <sup>(5)</sup>	EPR <sup>(6)</sup>
Criticamente Erodida	-0,0095	0,1411	-34,6837	3793,7826	-638,6858	-22,6680
Erodida	-0,0018	0,0428	-0,6735	2797,8111	-724,3113	-24,1042
Acrescida	0,0050	0,2760	17,4112	2110,2570	530,7042	17,1154
Estável	0,0001	0,0294	0,0230	2438,0168	129,9972	4,4679

<sup>(1)</sup>TVE = Taxa de Variabilidade Espacial; <sup>(2)</sup>r = Coeficiente de correlação; <sup>(3)</sup>LRR =Taxa de regressão linear; <sup>(4)</sup>SCE = Envelope de mudança da linha costeira; <sup>(5)</sup>NSM = Movimento da linha de costa; <sup>(6)</sup>EPR = taxa do ponto de terminação.

Fonte: Autora, 2023.

Observa-se que no setor 5 (Figura 25) o trecho A é composto por transectos com áreas estáveis, estes por sua vez estão situados na área da lagoa, os transectos deste trecho não apresentaram quaisquer valores relacionados a alguma alteração. Em B percebeu-se que muitos transectos apresentaram área criticamente erodida, mesmo que na laguna não tenham sido detectadas linhas de costas nem antiga ou recente. De acordo com a análise desse trecho fica claro que não só a área de praia apresenta evidências de erosão, como serviu também para detecção de processos ligados a erosões ou vulnerabilidade em áreas componentes de regiões costeiras, como é o caso da Laguna Mundaú situada na região litorânea de Maceió.

No trecho C (Figura 25) foi observado também mais pontos em de erosão e erosão de classificação crítica. Isso revela os riscos que não só a área de praia está sujeita, mas também áreas adjacentes como lagoas com ligação litorânea.

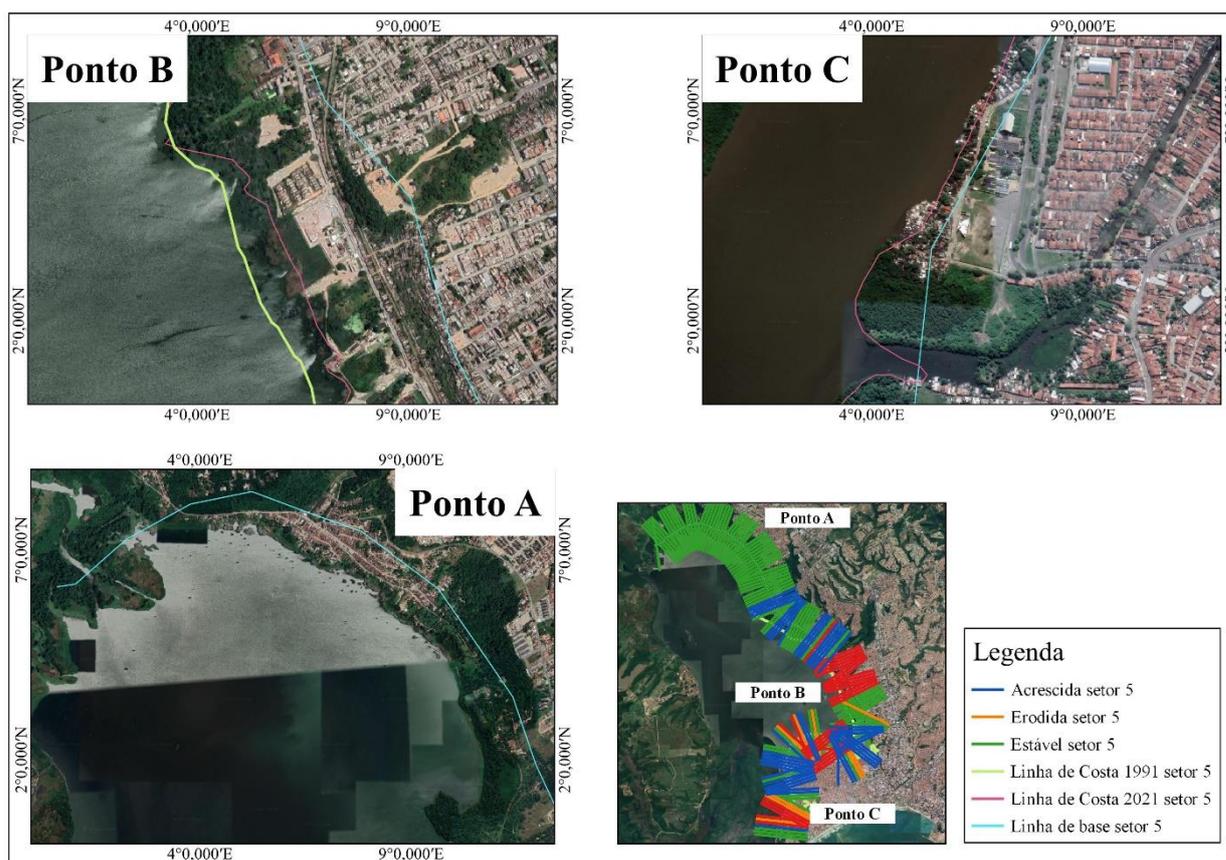
Em Scudelari *et al.* (2020) processos erosivos impulsionaram o quadro de vulnerabilidade na embocadura lagunar na Lagoa de Guaraíras no Estado do Rio Grande do Norte, ao longo dos anos também foi observado processos severos de erosão, à margem à direita da embocadura apresentou uma maior dinâmica com períodos erosivos, deposicionais e um pouco de estabilidade comparado a outra margem.

No caso da Laguna de Mundaú assim como a presença de recuos também foi notada a evidencia de áreas com estabilidade em boa parte da região observada.

Com a presença de cobertura vegetal há menor susceptibilidade do solo à erosão, enquanto na variável uso e cobertura do solo estão refletidas as mudanças rápidas ocorridas no contexto físico de dada região (AMARO *et al.*, 2021).

A região da Laguna de Mundaú apresenta característica vegetativas, que podem ser associadas a área com maior índice de estabilidade, salvaguardada pela cobertura natural, e o distanciamento da dinâmica direta das correntes de marés mais intensas que adentram a região da laguna no setor 5.

**Figura 25** – Evolução da linha de costa em trechos vulneráveis do setor 5



Fonte: Autora, 2023.

Os processos erosivos encontrados em diversos pontos dos setores do litoral de Maceió demonstraram que em áreas erodidas e criticamente erodidas, sofrem evolução contínua, tal prosseguimento se dá devido a influência de agentes modeladores, esses agentes podem ser caracterizados pelas variáveis meteorológicas, como a precipitação, temperatura, vento e nível de marés, abordadas na pesquisa. Conforme as análises climatológicas, notou-se por meio das tendências de Mann Kendall o aumento ou a

redução de algumas dessas variáveis no litoral, durante o período de 1991 a 2021, assim como o emprego das ondaletas que investigaram quais fenômenos e sistemas estavam influenciando essas variáveis. As análises espaciais também correspondem ao mesmo período a fim de examinar a influência da atuação desses agentes naturais na linha costeira do litoral.

**Tabela 9** – Variáveis meteorológicas e evolução dos processos erosivos no litoral de Maceió

<b>Local</b>	<b>Tendência total precipitação</b>	<b>Tendência total temperatura média</b>	<b>Tendência total velocidade do vento</b>	<b>Tendência total nível de marés</b>	<b>Status da área</b>	<b>LRR *</b>
<b>Setor 1- Bairro Ipioca até Cruz das Almas)</b>	-0,3131mm	0,9891 °C	-0,0123 m/s	1,2677 cm	Crítica	-10,338
					Erodida	-0,630
<b>Setor 2- Bairro Cruz das Almas</b>	-0,1668 mm	0,9891 °C	-0,0123 m/s	1,2677 cm	Erodida	-0,6572
<b>Setor 3- Região da praia Pajuçara</b>	0,5546 mm	0,9891 °C	-0,0123 m/s	1,2677 cm	Crítica	-59,6100
<b>Setor 4- Região Ponta da Barra</b>	0,5546 mm	0,9891 °C	-0,0123 m/s	1,2677 cm	Crítica	-45,1893
					Erodida	-3,2789
<b>Setor 5- Laguna Mundaú</b>	0,5546 mm	0,9891 °C	-0,0123 m/s	1,2677 cm	Crítica	-22,6680
					Erodida	-24,1042

LRR\* =Taxa de regressão linear

Fonte: Autora, 2023.

Conforme pode ser observado (Tabela 9) um comparativo das tendências de Mann Kendall com a análise de linha de costa em áreas com erosão e erosão crítica, foram analisadas as médias utilizando os resultados de LRR, para investigar essa comparação. O método LRR, baseia-se no cálculo de taxas de recuo da linha costeira por meio da regressão linear simples, portanto, considera para isso inflexões já existentes ao longo da

linha de costa. Farias e Maia (2010) reiteram que o método utiliza de conceitos estatísticos aceitados, considerando todos os transectos para a realização do cálculo. Dessa forma faz com que a comparação dos valores de tendências para a série toda possam ser observadas, para melhor entender como o comportamento das variáveis meteorológicas acompanharam o deslocamento das taxas de recuo da linha de costa.

Diante dos resultados do comportamento das tendências (Tabela 9) foi observado que a variável de precipitação do INMET apresentou aumento durante toda a série analisada exceto a precipitação dos bairros litorâneos, que apresentaram tendência de diminuição, neste caso sem significância estatística pelo teste T, já que a série possui um período limitado. Outra variável que também teve o mesmo status foi a de velocidade média do vento, no entanto, variáveis como temperatura e nível de marés demonstraram aumento. Ao levar em consideração os setores com mais variáveis com tendência de aumento e comparar com a taxa LRR, notou-se que os setores 3, 4 e 5 apresentaram altas taxas, e as variáveis meteorológicas podem estar influenciando a evolução da erosão e também seu agravamento. Principalmente pelo fato de as tendências terem demonstrado o aumento em função da série toda, e a taxa de recuo expressar estatisticamente o comportamento da linha de costa durante os anos aos quais essas variáveis foram aumentando.

De acordo com as análises o setor que apresentou a maior média de LRR foi o 3, em uma área com transecto de status de área criticamente erodida (Figura 26 a) com valor de -59,6100 m/ano, isso implica dizer que a taxa de recuo da linha mais jovem se afastou da linha mais antiga e foram se agravando ao longo dos anos, visto que ao ligar os fatores que interferiram para tal podem ser notados nas figuras das tendências em que, precipitação, temperatura, vento e nível de marés (Figura 26 a, b, c, d e f) que demonstraram aumento, relacionando assim influência em seu quadro de evolução. Essa influência também foi relacionada a erosão costeira por Krelling (2004) que enfatiza a climatologia do local como fator determinante de erosões costeiras.

Para realização da análise multitemporal foram obtidas duas imagens dos satélites Landsat 5 e 8 as quais datam os anos de 2002, período mais próximo do início da série, e 2021 conforme proposto pela série em análise.

Nesse caso foram levados em consideração o movimento das linhas de tendências no gráfico, em que percebeu-se que o deslocamento das linhas de costa que ocorreram ao longo dos anos interagiram diretamente com o meio costeiro do litoral de Maceió (Figura 26 a, b, c, d e f). Dessa forma, notou-se ainda a modificação da paisagem

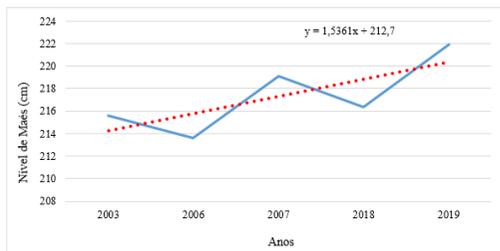
entre uma imagem e outra, ao qual pode ser observada espacialmente como esse ponto foi modelado por anos, e como a associação de agentes climáticos podem ter interferido significativamente em sua dinâmica.

Variáveis meteorológicas exercem influência direta na estrutura física das praias, a redução ou aumento das tendências, na região litorânea de Maceió possivelmente promoveram o desenvolvimento dos riscos e agravamentos das áreas vulneráveis. O vento é um agente modelador, e sua velocidade influencia na deposição e deslocamento dos sedimentos, assim como a tendência de nível de maré, que por sua vez, evidenciou aumento, demonstrando que o avanço do mar rente as praias exerceu forte participação para alterações na estrutura do solo do litoral. O aumento da precipitação também demonstrou que a chuva pode ter viabilizado o aumento dos riscos de erosão nos setores analisados, principalmente no setor 3, tido como o mais atingido por processos de perda de sedimentos. Em virtude do papel atuante de cada variável, pode-se visualizar como cada uma delas auxiliou nos processos encontrados na zona costeira do litoral de Maceió.

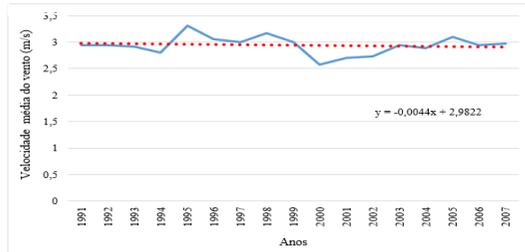
**Figura 26**– (a) Variação da linha de costa de 2002 a 2021 (b) Tendência de precipitação para Maceió 1991 a 2021 (c) Tendência de temperatura 1991 a 2021 (d) Tendência de velocidade do vento (f) Tendência de nível de marés



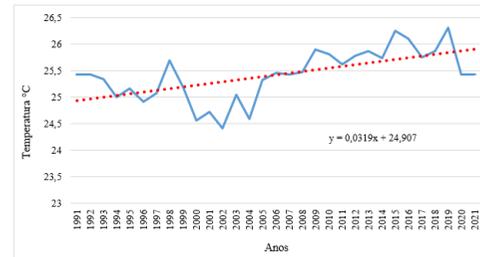
**Figura 26 f**– Tendência de nível de marés para Maceió



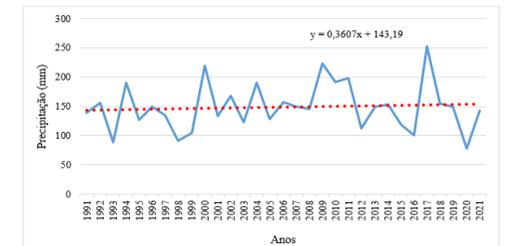
**Figura 26 d**– Tendência de velocidade do vento para Maceió



**Figura 26 c**– Tendência de temperatura para Maceió

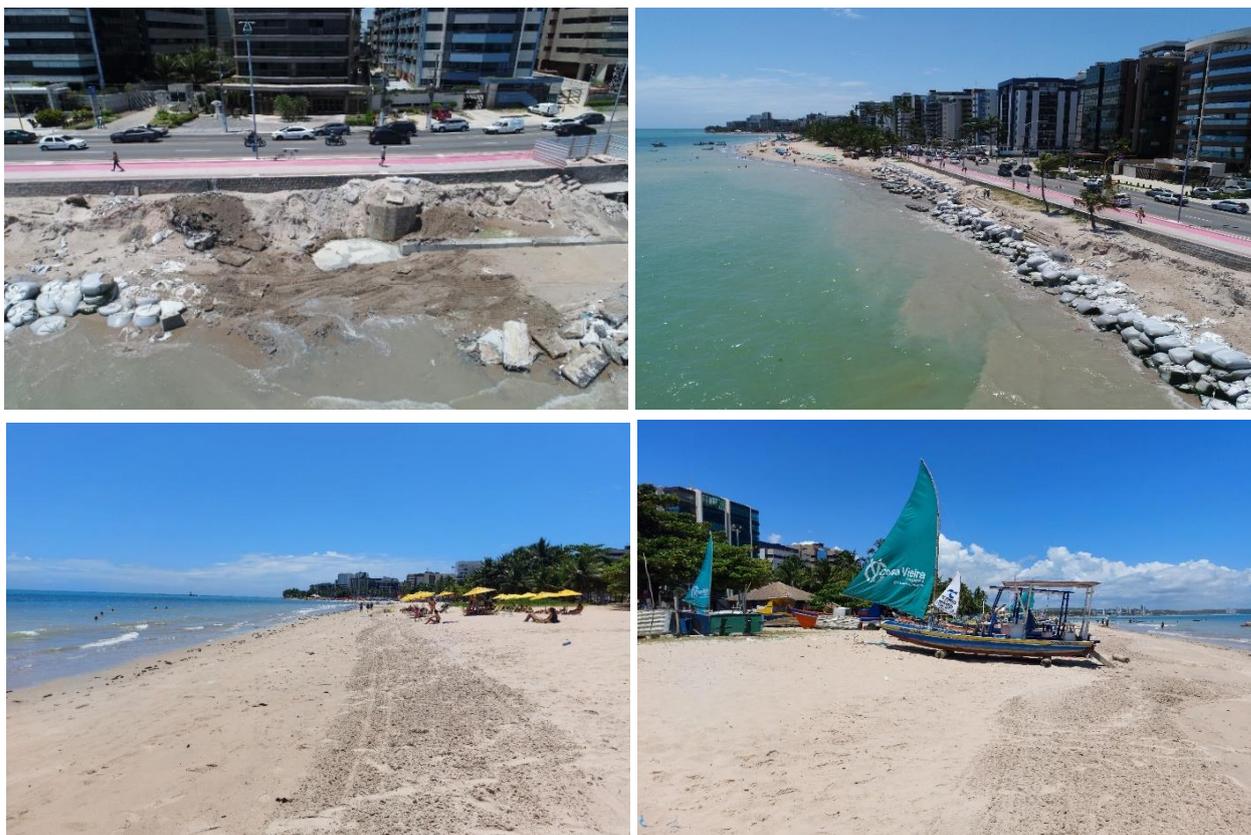


**Figura 26 b**– Tendência de precipitação para Maceió



Conforme observa-se nas fotos da área do setor 1 (Figura 27) notou-se que esse trecho possui obras de contenção, contudo, evidencia ainda degradação, nas proximidades do calçadão, ainda pode-se visualizar o avanço eminente do mar nos trechos das duas fotos acima, podendo ser caracterizadas como área bastante vulneráveis, e propícias ao agravamento do processo erosivo, indicando que a contenção instalada não foi eficaz. Nas fotos abaixo, o setor apresentou também trechos estáveis, demonstrando assim pouca alteração em sua estrutura litorânea. Esse setor apresentou tendência de redução na variável de precipitação, aumento de temperatura e redução do vento, contudo, o local apresentou características de influência do nível de marés, que pode ter avançando, degradando a estrutura do solo da praia, mesmo com as barreiras de contenção o avanço provocou o desprendimento dos sedimentos. As imagens demonstram em alguns trechos alta vulnerabilidade, apresentando riscos ambientais, que podem evoluir, se não mitigadas, para um grau extremo de voçorocas.

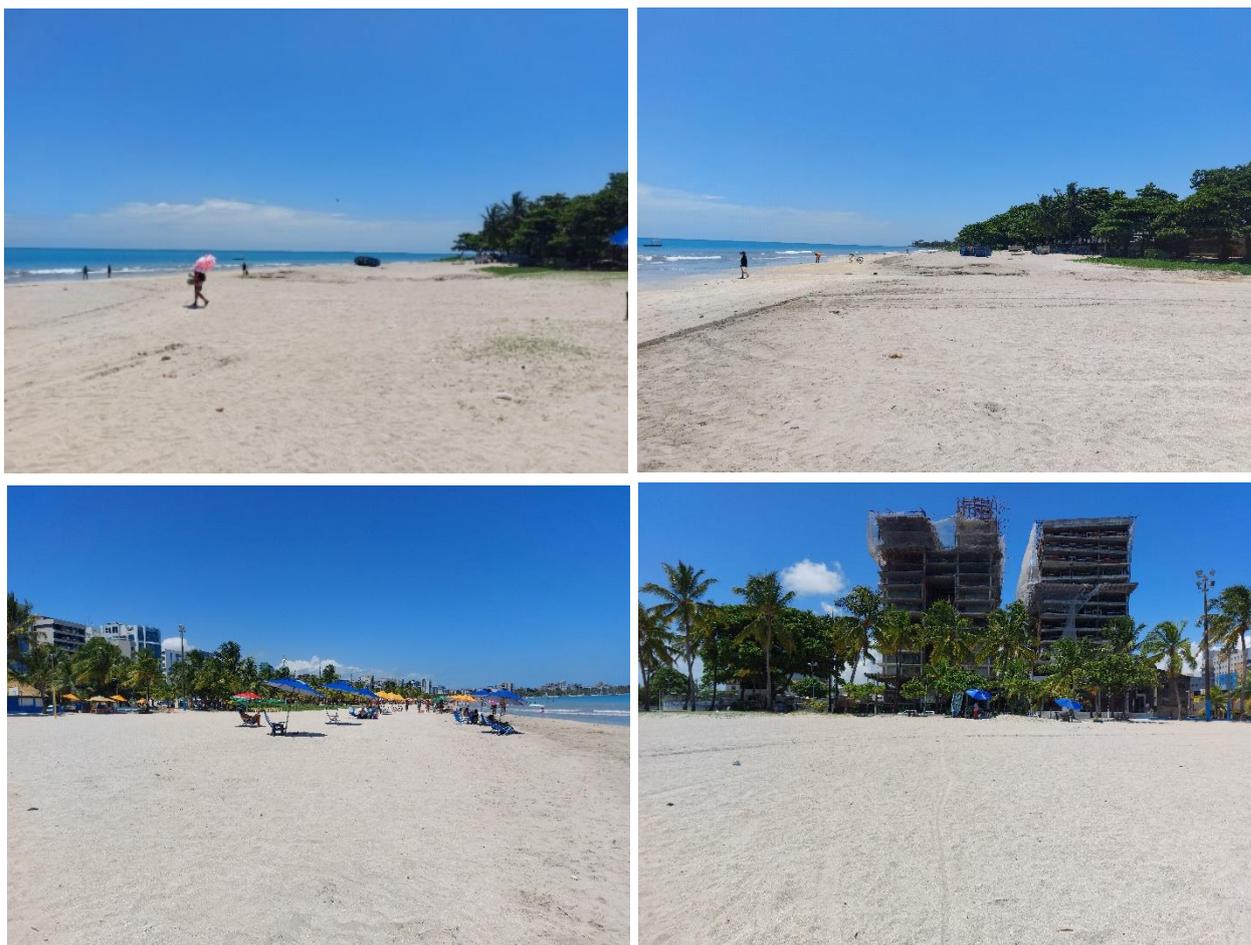
**Figura 27** – Imagens terrestres e aéreas do setor 1



Fonte: Autora, 2023.

Observa-se que as fotos correspondentes ao setor 2 demonstram pouca alteração visual em suas praias, (Figura 28) percebeu-se que o setor 2 é um ambiente frequentemente turístico, com construções e forte interação antrópica. Evidenciou-se por meio das fotos provindas da visita *in loco* que as variáveis meteorológicas influenciaram com menos intensidade os processos erosivos nesse setor se comparado com o setor 1. A estrutura do solo das praias do setor 3 demonstrou mais estabilidade e pouco riscos em relação a perda severa de sedimentação.

**Figura 28** – Imagens terrestres e aéreas do setor 2

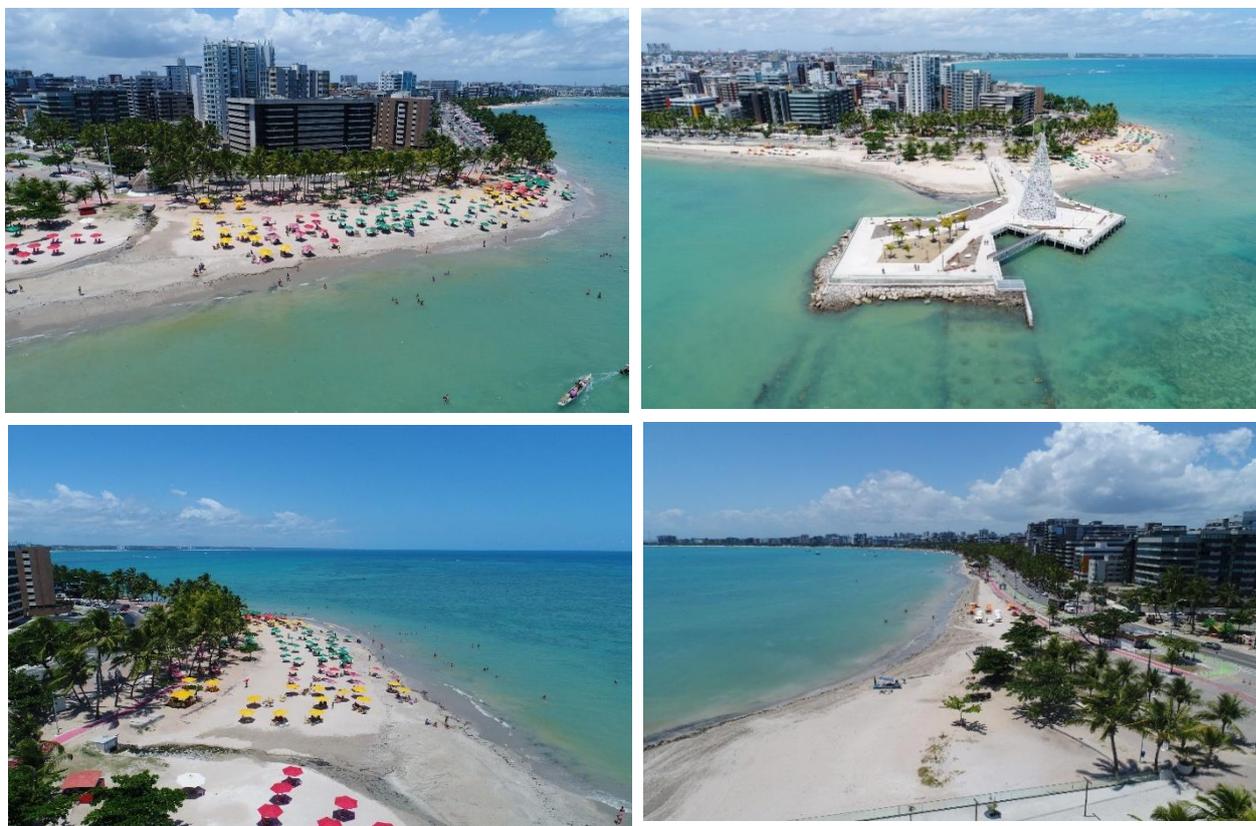


Fonte: Autora, 2023.

As fotos que correspondem ao setor 3 (Figura 29) demonstraram como as praias do litoral tiveram sua linha de costa acrescida, assim como também trechos estáveis. O setor 3 também evidenciou situações de erosão crítica na estrutura praias mais próximas do mar. Levando em consideração a precipitação, vento e nível de marés, notou-se que essas variáveis podem ter provocado o crescimento em alguns trechos da praia, o nível

de maré, por sua vez, pode ter excedido, essa movimentação arrastando os sedimentos e provocando a vulnerabilidade em trechos já fragilizados pela chuva e a movimentação constante do vento nas praias. O nível de marés também expressou aumento conforme notado pela tendência, o que também pode ter proporcionado riscos à erosão.

**Figura 29** – Imagens terrestres e aéreas do setor 3



Fonte: Autora, 2023.

O resgisto do setor 4 (Figura 30) evidenciou trechos com áreas acrescidas, ao qual foi possível observar conforme o avanço desses processos podem ter progredido para processos erosivos mais aparentes. Notou-se ainda que existem obras de contenção para atenuar os processos de degradação costeira, no entanto, o avanço do mar tende a dificultar o desempenho das barreiras criadas como medida de mitigação. As imagens do local demonstram forte atuação do vento, visto que a movimentação e deslocamentos da areia da areia pôde ser notada, assim como o nível de marés que também ultrapassaram as barreiras instaladas em alguns trechos. No setor 4 percebeu-se que a atuação do vento foi responsável por propiciar o deslocamento da granulometria em alguns trechos, pois a área é caracterizada pelo acréscimo da praia rente à vegetação gramínea. No trecho ainda

foi possível observar que o aumento do nível de máres avançou sobre a barreira, outra variável que possivelmente pode estar associada à essa mudança de sedimentos é o aumento da temperatura, que pode contribuir para o encrostamento da areia nos buracos causados pelas erosões em algumas áreas afetadas pelas erosões.

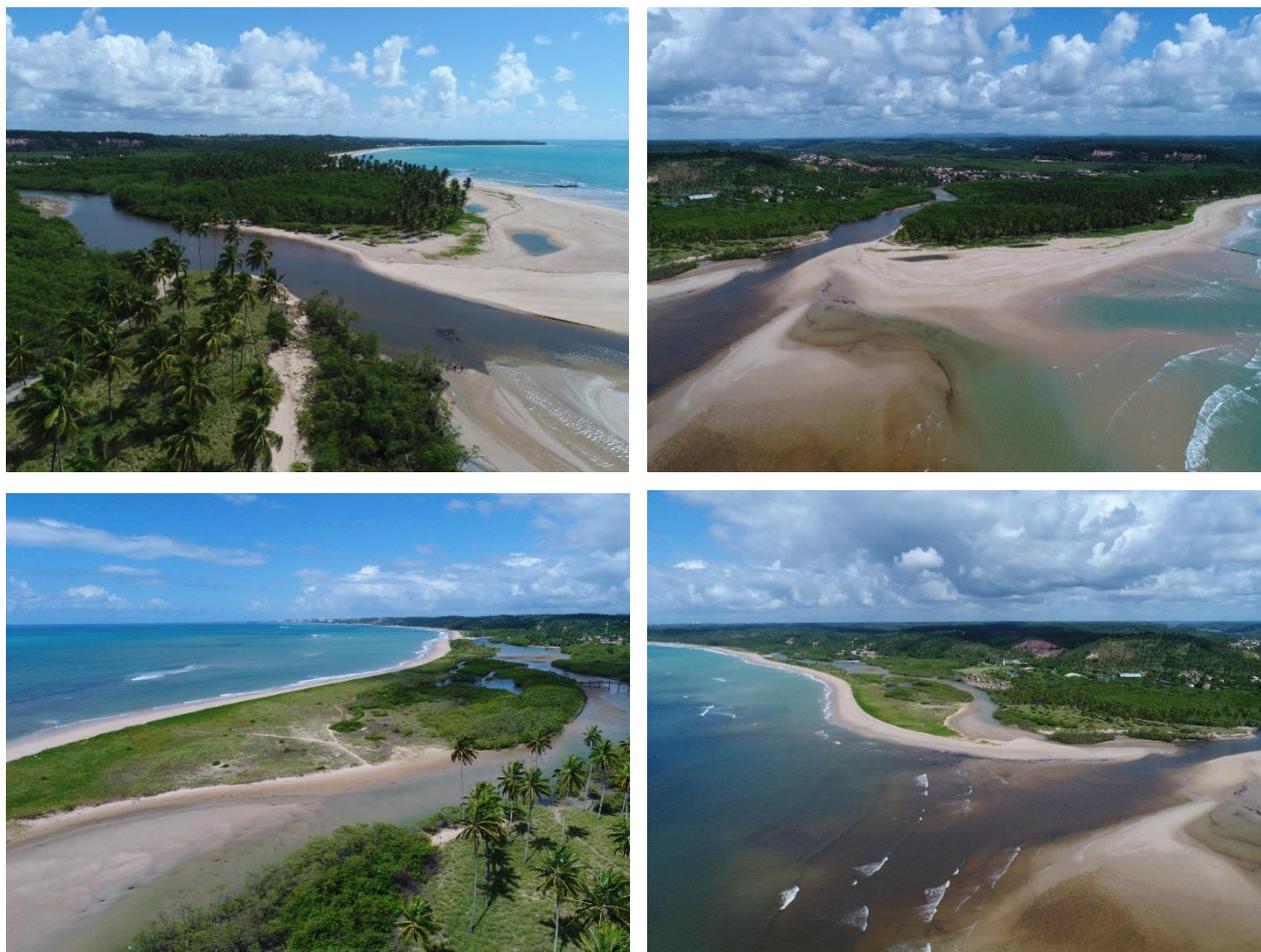
**Figura 30** – Imagens terrestres e aéreas do setor 4



Fonte: Autora, 2023.

As imagens *in loco* do setor 5 (Figura 31) demonstram o curso rio da Laguna Mundaú de encontro com o Oceano Atlântico, notou-se por meio das fotos que trata-se de um ambiente de alta intensidade dinâmica. Esse setor evidenciou bancos de areia que se deslocam conforme a dinâmica natural do rio e oceano, a movimentação de sedimentos é frequente. A presença de vegetação nas encostas da laguna promove ações atenuantes sob os impactos ambientais, principalmente em relação a processos de erosão. Ao visualizar as imagens observou-se que variáveis como precipitação, velocidade do vento e níveis de marés podem ser agentes que influenciaram na modelação dessa área, e que ainda continuam a alterar conforme a intensidade aos quais ocorrem.

**Figura 31** – Imagens terrestres e aéreas do setor 5



Fonte: Autora, 2023

#### **4.4 Avaliação e mitigação dos impactos ambientais**

Conforme a Tabela 10, notou-se que ao analisar a situação do uso e ocupação do litoral de Maceió, tem-se uma visão dos impactos ambientais que cada setor sofreu e vem sofrendo, isto devido a não somente os processos antrópicos, mas também de fenômenos naturais provenientes de agentes modeladores de ambientes costeiros como o mar, os ventos e etc. Demonstrou também recomendações de ações e medidas mitigatórias que visam a manutenção e gestão do local afetado pelos processos erosivos e seu agravamento local.

Nesse contexto, a aplicação de um plano de manejo torna-se uma das principais demandas para os impactos encontrados nas regiões erodidas. Conforme sugerido por Da Silva (2009) um plano de manejo com medidas mitigadoras implementado com iniciativa pública e com auxílio da população, permite que ações de educação ambiental atinjam resultados promissores, já que em parceria com a sociedade promovem a conservação de ambientes naturais. Ainda destacando que atividades sustentáveis em zonas turísticas merecem apoio e atenção da sociedade, poder público, e meio acadêmico, a fim de favorecer ações que embasem soluções para problemas atuais e futuros nesses ambientes.

No que se refere a projetos de contenção e proteção contra o assoreamento acarretado pelo mar, Maia *et al.* (2020) salienta a existência de alguns métodos que podem ser empregados, tais métodos funcionariam para trechos mais afetados de zonas costeiras com processos erosivos. A implantação de plantio de proteção, pode ser uma das soluções já que a vegetação em alguns desses pontos pode absorver a energia que impacta diretamente na estrutura da praia, tal dinâmica pode ser amenizada com uma cobertura vegetal em alguns pontos de uma zona costeira.

**Tabela 10** – Divisão do litoral de Maceió, uso da área, impactos ambientais e medidas mitigatórias

<b>Setores e divisões</b>	<b>Uso da área</b>	<b>Impactos ambientais</b>	<b>Medida mitigatórias</b>
<b>Setor 1- Bairro Ipioca até Cruz das Almas</b>	Vegetação, praias com amplo espaço entre os manguezais com conjuntos residenciais e comércios, lazer e atividade de pesca, alta atuação antrópica.	Ocorrência de deposição de sedimentos e assoreamento devido a erosão, e área com erosão mais severa, e acréscimo das praias na área da costa, com modificação da paisagem, bem como exposição de barreiras ineficientes.	Organização e planejamento do espaço biofísico, urbano e turístico, manejo e educação ambiental. Projetos de manutenção das estruturas já instaladas, e construção de muros de proteção, diques, quebra-mares, gabiões, esporões e outras técnicas de contenção e gerenciamento costeiro adequado para cada área vulnerável.
<b>Setor 2- Bairro Cruz das Almas</b>	Vegetação, praias com amplo espaço entre os manguezais com conjuntos residenciais e comércios, lazer e atividade de pesca, alta frequência de atividades antrópicas.	Ocorrência de deposição de sedimentos e assoreamento devido a erosão, e acréscimo das praias na área da costa, com poucas modificações da paisagem natural costeira.	Organização e planejamento do espaço biofísico, urbano e turístico, manejo e educação ambiental. Projetos como Construção de paredões, esporões e quebra de mares, e bem como o ordenamento do litoral, para que seja possível estabelecer faixa de proteção destinada a absorver o recuo da linha de costa/erosão costeira, deve considerar ainda a avaliação de cenários de atuação em determinados trechos costeiros, considerando a remoção ou o recuo de construções na linha de costa versus a sua

			proteção por meio do gerenciamento costeiros adequados para cada área vulnerável.
<b>Setor 3- Região da praia Pajuçara</b>	Vegetação, praias com amplo espaço entre os manguezais com conjuntos residenciais e comércios, lazer e atividade de pesca, o setor apresenta área com alta frequência turística.	Ocorrência de deposição de sedimentos e assoreamento devido a área com erosão mais severa, e acréscimo das praias na área da costa, com modificação da paisagem.	Organização e planejamento do espaço biofísico, urbano e turístico, manejo e educação ambiental. Projetos como Construção de paredões, esporões e quebra de marés, neste setor recomenda-se medidas que visem a necessidade baseadas no reordenamento do litoral bem como estabelecer as condições naturais dos ecossistemas que que mitigam a erosão costeira. Dessa forma recomenda-se a remoção de construções na linha de costa, e posteriormente a recuperação de dunas, isso pode evitar que a erosão costeira se agrave em determinada região e gerenciamento costeiros adequados para cada área vulnerável
<b>Setor 4- Região Ponta da Barra</b>	Vegetação, praias com amplo espaço entre os manguezais com conjuntos residenciais e comércios, lazer e atividade de pesca.	Ocorrência de deposição de sedimentos e assoreamento devido a erosão, e área com erosão mais severa, e acréscimo das praias na área da costa,	Organização e planejamento do espaço biofísico, urbano e turístico, manejo e educação ambiental. Implementação de o estruturas constituídas por blocos de rocha ou concreto armado, que visam refletir, direcionar ou dissipar a energia das ondas

		barreiras de contenção ineficazes, estrutura do calçadão com danificações e modificação da paisagem neste setor.	que acometem a linha de costa. As estruturas devem ser paredões, esporões e quebra de mares, e gerenciamento costeiro adequado para cada área vulnerável.
<b>Setor 5- Laguna Mundaú</b>	Área da Laguna com alta dinâmica natural do mar, presença de vegetação, com interação direta com as praias e amplo espaço entre os manguezais com conjuntos residenciais e comércios, lazer e atividade de pesca	Ocorrência de deposição de sedimentos e assoreamento devido a erosão, e área com erosão mais severa, e acréscimo das praias na área da costa, com modificação da paisagem natural.	Organização e planejamento do espaço biofísico, urbano e turístico, manejo e educação ambiental. Realocação/ retirada de estruturas, Retirada de pontos de drenagem da praia, Recuperação da vegetação de pós-praia e Permacultura aplicada a linha de costa - <i>living shoreline techniques</i> , bem como a efetivação do gerenciamento costeiro adequado para cada área vulnerável.

Fonte: Autora, 2023.

Ao avaliar a situação de cada setor percebeu-se que cada um possui ocupações semelhantes, assim como também diagnósticos do quadro erosivo, no entanto, cada setor merece um estudo *in loco* de quais medidas mitigatórias devem ser aplicadas, cabe ressaltar ainda que, o plano de manejo deve conter ações que visem o entendimento de cada setor baseado em estudos e ferramentas que propiciem a efetividade e melhoria da erosão costeira no litoral de Maceió.

Assim como enfatizam Silva Junior *et al.* (2020) ao realizarem o emprego de alguma intervenção estrutural deve-se levar em consideração todos os fatores para seu dimensionamento, assim como a viabilidade, sem esquecer das leis que regem os ambientes e o tipo de projeto empregado. Para que assim, haja concordância com a realização de estruturas que atendam a demanda atribuída a erosão em zonas costeiras.

## 5. CONCLUSÕES

Na análise notou-se a ocorrência de impactos erosivos sob a linha de costa do litoral de Maceió, e esses impactos tiveram influência das variáveis meteorológicas, pois notou-se que a precipitação, vento, temperatura e nível de marés provocaram ações na estrutura das praias da zona costeira. Visto que as análises empregadas comprovaram as modificações, em seu comportamento durante a série temporal de 1991 a 2021. Foi verificado que em Maceió as tendências totais na série de; precipitação com aumento de 0,5546 mm, e diminuição nos bairros Cruz das Almas e Ipioca com 0,1668 mm, 0,3131 mm, respectivamente. O aumento da temperatura média foi de 0,9891 °C, para toda a série, e diminuição as velocidade média do vento -0,0123 m/s, e nível de marés 1,2677 cm. Os resultados das tendências de Mann Kendall apresentam que o comportamento das variáveis no decorrer dos anos pode estar associado com a dinâmica do meio físico no litoral de Maceió conforme observado pela comparação multitemporal. Ao adotar a AO foi verificada a influência dos fenômenos e sistemas meteorológicos que ocorreram no litoral durante o período analisado e sobre as variáveis meteorológicas, identificando assim a duração temporal e a intensidade em que ocorreu tal influência. Cabe destacar que a AO notou influência do ENOS, ENOS estendido e Dipolo do Atlântico, assim como escalas mais duradouras como a de 11 anos ligadas ao ciclo de Manchas solares, que atuaram sob as variáveis antes destacadas.

Por meio da ferramenta de identificação de processos de posicionamento da linha de costa CASSIE, foi possível verificar os processos erosivos encontrados no litoral de Maceió. O emprego da ferramenta determinou a localização dos trechos os classificando-os e quantificando. A ferramenta permitiu diferenciar sua classificação conforme o seu estágio, sendo esses, processos de erosão e progradação praial. Na região litorânea de Maceió foram detectadas trechos classificados como áreas criticamente erodidas, onde foram encontrados processos em situação de erosão extremamente severa, assim como áreas erodidas, essas áreas referem-se aos processos de erosão em estágios não tão avançadas, também foram identificadas áreas acrescidas, essas áreas correspondem ao crescimento da área da praia, contudo, também foram observadas áreas estáveis, ou seja, áreas com pouquíssimas alterações em relação a mudança de sedimentos da praia. As principais taxas para a classificação em relação ao grau de vulnerabilidade do litoral de Maceió foram determinadas pelos métodos LRR e EPR, através deles foi possível evidenciar quantitativamente e qualitativamente os trechos mais e menos vulneráveis.

Observou-se ainda que o trecho tido como o mais erodido foi localizado no setor 3, região da praia Pajuçara, que obteve média de -59,6100 m/ano, classificado como área criticamente erodida pelo método LRR. Dessa forma, notou-se através da análise comparativa do período mais antigo ano de 2002 a 2021 que a paisagem desse trecho foi altamente modificada, demonstrando a modificação física do ambiente, que pode ter sofrido alterações mediante a interferências meteorológicas/climáticas atuantes no litoral de Maceió neste período.

As imagens adquiridas por meio de drone auxiliaram na visualização dos processos encontrados, corroborando assim para a coerência da determinação dos graus de vulnerabilidade estabelecidas pelo CASSIE e seus métodos de avaliação de processos de erosão. A visita *in loco* foi crucial para o desenvolvimento da pesquisa, pois através das imagens registradas obteve-se a visualização da realidade costeira, evidenciando as algumas medidas de contenção já instaladas, porém sem grande efetividade, para a redução ou agravamento das modificações causadas pelos avanços das linhas de costa.

Diante dos resultados assimilados, a pesquisa visou avaliar impactos ambientais encontrados no litoral de Maceió, conforme sua situação, foram elencados por meio da tabela de impactos ambientais, assim como também, foram sugeridas medidas mitigadoras que viabilizem melhorias para o quadro de impactos evidenciados.

A dissertação evidencia a importância da investigação de processos que ocorrem gradativamente em regiões costeiras, e que estão susceptíveis a sofrerem diversos impactos, na maioria das vezes essas regiões requerem a tomada de medidas que previnam o desencadeamento e agravamento de situações mais críticas. Neste caso, fez-se necessária a investigação de processos erosivos e explicações sobre a decorrência dos fatores aos quais a eles estão relacionados, a fim de serem desenvolvidas medidas que promovam sua mitigação, auxiliando e ajudando a sanar a vulnerabilidade que as zonas costeiras estão ligeiramente propensas, principalmente com o desencadear da situação presente e futura provindas das mudanças climáticas. Mediante a pesquisa elaborada, busca-se que o conteúdo sirva para embasar e nortear trabalhos futuros, assim como atender de forma estratégica iniciativas funcionais de gerenciamento ambiental, auxiliando o poder público local. Desse modo, visou-se estimular o desenvolvimento socioambiental e salientar a importância da preservação e manutenção do ambiente costeiro.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, S. L., AMARO, V. E., ARAÚJO, N. P. V., SANTOS, A. L. S. Geotecnologias de baixo custo aplicadas à avaliação de risco por inundação em áreas urbanas costeiras em cenários de mudanças climáticas. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 1, p. 267-290, 2019.
- AGUIAR, T. M. C. B; ERVATTI, M. Vulnerabilidade costeira frente a mudanças climáticas e políticas públicas na cidade do Rio de Janeiro: estamos prontos? **Novos Cadernos NAEA**, v. 23, n. 2, 2020.
- ALCÂNTARA, L. R. P; DA SILVA, M. E. R; SANTOS NETO, S. M; LAFAYETTE, F. B; COUTINHO, A. P; MONTENEGRO, S. M. G. L; ANTONINO, A. C. D. Mudanças climáticas e tendências do regime pluviométrico do Recife. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 3, p. e178932583-e178932583, 2020.
- ALMEIDA, E. M. A. **A cidade como um sistema complexo: transformações morfológicas e climáticas em Maceió**. 2020. 210p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió.
- ALMEIDA, F. F. M. **Geologia e Petrologia do Arquipélago de Fernando de Noronha**. Departamento Nacional de Produção Mineral, Div. de Geol., Monografia, 1995. (13): 181 p.
- ALMEIDA, H. R. R. C. A. **Séries Temporais de Imagens Suborbitais e Orbitais de Alta Resolução Espacial na Avaliação da Morfodinâmica Praial no Município do Cabo de Santo Agostinho – PE**. Recife, 2008, 115p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.
- ALMEIDA, H. R. R. C. A; JUNIOR, J. B. L; QUEIROZ, W. W. C; PERDIGÃO, Y. M. Avaliação da Morfodinâmica praial-estudo de caso: Praia de Riacho Doce-AL. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 29, n. 3, 2012.
- ALMEIDA, K. C. **Mapeamento da linha de costa do delta do rio Paraíba do Sul entre 1984 e 2020 através do Google Earth Engine**. 2021. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2021.
- ALMEIDA, L. P., DE OLIVEIRA, I. E., LYRA, R., DAZZI, R. L. S., MARTINS, V. G. FONTOURA KLEIN, A. H. Coastal Analyst System from Space Imagery Engine (CASSIE): Shoreline management module. **Environmental Modelling & Software**, v. 140, p. 105033, 2021.
- ALMEIDA, L. R., ROSSE, V. P., VIOLA, M. R., VIEIRA-FILHO, M. Tendências meteorológicas e anomalias de evapotranspiração de referência no período de 2011-2017 para o Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, 2020.

ALMEIDA, L. R.; AMARO, V. E.; MARCELINO, A. M. T.; SCUDELARI, A. C. Avaliação do clima de ondas da praia de Ponta Negra (RN, Brasil) através do uso do SMC-Brasil e sua contribuição à gestão costeira. **Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 15, n. 2, p. 135-151, 2015.

ALVES, J. M. B.; CHAVES, R. R.; SERVAIN, J.; SOUZA, E. B. D.; SILVA, E. M. D.; SANTOS, A. C. S. D.; BARBOSA, A. C. B.; OLIVEIRA, C. J. D.; SOMBRA, S. S.; COSTA, A. A.; MELO PINHEIRO; F. G. D. M. Modelos acoplados do IPCC-AR4 e o gradiente meridional de temperatura da superfície do mar no Atlântico Tropical: relações com a precipitação no norte do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, p. 568-578, 2014.

ALVES-DA-SILVA, A. A. M. e VENTURA, J. E. E. S. (2011). “**Cartografia da linha de costa: reflexões e propostas**” VI Congresso de Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, Ilha da Boa Vista. Cabo Verde [online]. Disponível em: [http://www.igeo.pt/eventos/comunicacoes/Cabo\\_Verde/VICong\\_PGZCPEP\\_CLC\\_AntonioSilva.pdf](http://www.igeo.pt/eventos/comunicacoes/Cabo_Verde/VICong_PGZCPEP_CLC_AntonioSilva.pdf). Acedido a 1 de agosto de 2012, 12 p.

AMARO, V. E., SCUDELARI, A. C., DE OLIVEIRA, D. S., DE LACERDA, I. L. C., DE MATOS, M. D. F. A. Análise de Índices de Vulnerabilidade Física com uso de Geotecnologias na Região da Barreira do Inferno/RN. **Revista de Geociências do Nordeste**, p. 179-192, 2021.

ANGULO, R. J.; GIANNINI, P. C. F.; KOGUT, J. S.; PRAZERES FILHO, H. J.; SOUZA, M. C. Variação das características sedimentológicas através de uma sucessão de cordões holocênicos, como função da idade deposicional, na ilha do Mel (PR). **Bol. Paranaense de Geociências**, 1996. 44: 77-86.

ARAÚJO, R. S., SILVA, G. D., FREITAS, D., KLEIN, A. H. F. Georreferenciamento de fotografias aéreas e análise da variação da linha de costa. **Métodos en teledetección aplicada a la prevención de riesgos naturales en el litoral**, p. 123-138, 2009.

ASMUS, M. L. A.; NICOLOD, J.; SCHERER, M. E. G.; GIANUCA, K.; COSTA, J. C.; GOERSCH, L.; HALLAL, G.; VICTOR, K. D.; FERREIRA, W. L. S.; RIBEIRO, J. N. A.; PEREIRA, C. R.; BARRETO, B. T.; TORMA, L. F.; SOUZA, B. B. G.; MASCARELLO, M.; VILLWOCK, A; Simples para ser útil: base ecossistêmica para o gerenciamento costeiro. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 44, 2018.

ASSIS, M. F. Mudanças climáticas globais: controvérsias, participação brasileira e desafios à ciência. **Humboldt-Revista de Geografia Física e Meio Ambiente**, v. 1, n. 2, 2021.

AZEVEDO, P. G. D., REHDER, R. C., COSTA FILHO, R. M. M., ISOGAI, R. C., REGO, S. B. **Avaliação dos impactos do ciclo solar nos índices pluviométricos da Estação Mirante de Santana (SP)**. 2022. Disponível em <https://dspace.mackenzie.br/handle/10899/29285> acesso em: 10 de agosto de 2022.

BAÍA, L. B., RANIERI, L. A., ROSÁRIO, R. P. Análise multitemporal da variação da linha de costa em praias estuarinas do Nordeste do Pará. **Geosciences= Geociências**, v. 40, n. 1, p. 231-244, 2021.

BALDO, M. C.; TOMMASELLI, J. T. G.; OIKAWA, S. M. Análise da Tendência do número de dias de chuva na bacia do rio Piquiri-PR. In: **XIII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica**, 2018, Juiz de Fora Anais [...] Minas Gerais: v.1. p.1418-1427. 2018.

BARBOSA, R. V. R., VECCHIA, F. Análise do comportamento térmico de diferentes arranjos urbanos na cidade de Maceió (AL) em escala de abordagem microclimática. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 1, n. 4, p. 61-74, 2009.

BARBOSA, V. V., DE SOUZA, W. M., GALVÍNCIO, J. D. SOBRAL, M. D. C. M. Influência da variabilidade climática na produção de leite na região semiárida do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, 2018.

BARROS, A. H. C. ARAUJO FILHO, J. C. SILVA, A. B. SANTIAGO, G. A. C. F. Climatologia do Estado de Alagoas. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPS)**. 2011. 1678-0892. pt\_BR. Folhetos. 2011.

BATISTA, B. A; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F; SANTIAGO, D. B; SANTOS, C. T. Avaliação da expansão urbana na Cidade de Maceió, Alagoas–Nordeste do Brasil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. e253101119537-e253101119537, 2021.

BIO, A; GONÇALVES, J. A; PINHO, J; VIEIRA, L; VIEIRA, J; SMIRNOV, G; BASTOD, L. Indicadores de vulnerabilidade de erosão costeira: Um estudo de caso no Norte de Portugal. **Journal of Integrated Coastal Zone Management/Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 20, n. 3, p. 197-209, 2020.

BISPO, E. C. N. **Mapeamento das condições meteorológicas adversas nas rotas Brasil-Europa da ZCIT com base nas cartas SIGWX de 2012 a 2021**. Trabalho de Conclusão de Curso Graduação em Ciências Aeronáuticas, Pontifícia Universidade Católica de Goiás Escola Politécnica Graduação em Ciências Aeronáuticas. 2021.

BLANK, D. M. P. O contexto das mudanças climáticas e as suas vítimas. **Mercator (Fortaleza)**, v. 14, p. 157-172, 2015.

BOLZAN, M. J. A. Transformada em ondeleta: Uma necessidade. **Revista Brasileira de Ensino em Física**, v. 28, n. 4, 2006.

BONFIM, O. E. T., DA SILVA, D. F., KAYANO, M. T., ROCHA, L. H. D. S. Análise dos Eventos Climáticos Extremos e de Suas Causas Climáticas para Redução de Riscos nas Bacias Hidrográficas Aguapeí e Peixe, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 755-768, 2020.

BRASIL, Metodologia para quantificação de perigos costeiros e projeção de linhas de costa futuras como subsídio para estudos de adaptação das zonas costeiras: litoral norte

da Ilha de Santa Catarina e entorno. **Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Extrativismo e Desenvolvimento Rural Sustentável; Laboratório de Oceanografia Costeira; Universidade Federal de Santa Catarina;** Elaboração Antonio Henrique da Fontoura Klein. Brasília: MMA, 2016.

BRASIL. Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro – GI-GERCO/CIRM **Guia de Diretrizes de Prevenção e Proteção à Erosão Costeira** – Brasília/DF, 2018. 111p: il ISBN 978-85-68813-13-3.

BRUUN, P. Coastal Erosion and the Development of Beach Profiles. Technical Memorandum N° 44, **Beach Erosion Board**, 1954.

CABRAL, J. J. D. S. P., GUSMÃO, A. D., ANTONIO, M., DA SILVA JUNIOR, B., BARROS, E. N. Mudanças climáticas e subsidência do terreno como dificuldades para a gestão urbana de uma avenida marginal de curso d'água em cidade costeira. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 38, n. 2, 2021.

CARLOS, S. M; CUNHA, D. A; PIRES, M. V. Conhecimento sobre mudanças climáticas implica em adaptação? Análise de agricultores do Nordeste brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 57, p. 455-471, 2019.

CARMO, E.L. População e Mudanças Ambientais Globais. **Revista Multiciência, Campinas**, ed. 8, Mudanças Climáticas. 2007.

CARVALHO, A. A. D., MONTENEGRO, A. A. D. A., SILVA, H. P. D., LOPES, I., DE MORAIS, J. E. , DA SILVA, T. G. Tendências da precipitação pluvial e da temperatura no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 15-23, 2020.

CARVALHO, A. L. D., SOUZA, J. L. D., LYRA, G. B., PORFIRIO, A. C. S. Ocorrência de períodos secos na região de Rio Largo, Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 2, p. 173-180, 2013.

CARVALHO, S.L; RIZZO, R. A; CARVALHO C.L. G. L. Vulnerabilidade à poluição da água subterrânea no núcleo urbano do Distrito de Monte Alto, Arraial do Cabo, RJ. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 15, n. 2, p. 01-13, 2021.

CASSIE, **Coastal Analysis System via Satellite Imagery Engine Manual de uso básico**. Disponível em: <https://www.cassiengine.com/> acesso em 16 de fevereiro de 2022.

CASTELHANO, F. J., SIQUEIRA PINTO, J. E. S. Tendências e alterações climáticas no Estado de Sergipe, nordeste do Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 42, p. e185565-e185565, 2022.

CAVALCANTE, I. B. S. **Análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação em Maceió-AL e de suas causas climáticas**. Maceió, 2022. Dissertação (mestrado) – UFAL, Instituto de Ciências Atmosféricas, Programa de Pós-graduação em Meteorologia.

- CAVALCANTE, I. S. B., DA SILVA, D. F. Período de retorno de eventos extremos em Alagoas e suas causas climáticas. **Revista Mineira de Recursos Hídricos**, v. 2, 2021.
- CERQUEIRA, M. A., SANTOS, P. O. C., DE FARIAS, V. N. C., JÚNIOR, V. F. C., BARBOSA, R. V. R. Análise temporal por sensoriamento remoto da supressão de vegetação nativa em vales na cidade de Maceió, Brasil. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 7, n. 1, p. 12151-01-11e, 2021.
- CHUEIRI, D. M. A.; FORTUNATO, R. A. Turismo e esgoto domésticos na Ilha Grande (RJ): uma análise exploratória nas praias de Abraão e Aventureiro. **Revista Brasileira de Ecoturismo (RBecotur)**, v. 14, n. 1, 2021.
- COBRA, R.L; SILVA, R.C.; OLIVEIRA, G.F.A; MIRANDA, D.L; LEONARDI, F.A; SILVA, M.L. Geoprocessamento aplicado ao levantamento e avaliação de solos: Proposta de avaliação de terras para fins agrícolas no Município de Inconfidentes – MG **Revista Brasileira de Geografia Física** v.12, n.02, p. 397-411. 2019.
- COI - IOC – **Intergovernmental Oceanographic Commission**. Hazard awareness and risk mitigation in integrated coastal area management. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Manuals and Guides No 50, ICAM Dossier No 5, 141p., Paris, França. 2010. Disponível em [http://www.loicz.org/imperia/md/content/loicz/stormsurges/sessione/3\\_barbiere\\_etal.pdf](http://www.loicz.org/imperia/md/content/loicz/stormsurges/sessione/3_barbiere_etal.pdf). Acesso em out 2011.
- COMISSÃO INTERMINISTERIAL PARA RECURSOS DO MAR (Brasil); Guia de diretrizes de prevenção e proteção à erosão costeira. Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro **GI-GERCO. Edição 2018**.
- CORRÊA, L. F; MACEDO, A. V; MADUREIRA, E. A L; CASTRO, R. O; SILVA, A. C; PINHEIRO, A. B; **Poluição por resíduos sólidos e microplásticos em ambientes costeiros. Avaliação, diagnóstico e solução de problemas ambientais e sanitários 1 /** Organizador Helenton Carlos da Silva. – Ponta Grossa, PR: **Atena**, 2020. Inclui bibliografia ISBN 978-65-5706-329-3 DOI 10.22533/at.ed.293202508, p. 1-388–416.
- CORREIA FILHO, W. L. F., SANTIAGO, D. B., OLIVEIRA JÚNIOR, J. F., SILVA JUNIOR, C. A. Impact of Urban Decadal Advance on Land Use and Land Cover and Surface Temperature in the City of Maceió, Brazil. **Land Use Policy**,87,1- 11. 2019.
- CORREIA, M. D., SOVIERZOSKI, H. H. Gestão e desenvolvimento sustentável da zona costeira do Estado de Alagoas, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 8, n. 2, p. 25-45, 2008.
- CORREIA, M. D; SOVIERZOSKI, H. H. **Ecossistemas marinhos: recifes, praias e manguezais**. Maceió: Edufal, 2005.
- COSTA, G. B., LYRA, R. F. D. F. Análise dos padrões de vento no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, p. 31-38, 2012.

COSTA, J. A ; SANTOS, M. A. C. M.; MENDES, K. P.; SILVA, G.; MIRANDA, V. G.; MONTEIRO, B. L.; DA SILVA, D. F. Ciclos, períodos de eventos extremos e escalas temporais na precipitação da bacia hidrográfica do Rio Jaguaribe (CE). **Revista Geonordeste**, v. 27, p. 132, 2016.

COSTA, M. S. D., ARAÚJO, R. A. F. D. Variabilidade Climática: A Precipitação como Parâmetro de Estudo Para os Casos de Dengue no Litoral, Sertão, Serra e Sul Cearense Entre 2007 e 2019. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, p. 591-601, 2021.

CPTEC-INPE, 2020. **Monitoramento do El Niño e La Niña**. negrito. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 04 maio. 2022.

DA SILVA, D. F. **Análise de aspectos climatológicos, agroeconômicos, ambientais e de seus efeitos sobre a Bacia hidrográfica do rio Mundaú (AL e PE)**. Tese de Doutorado (Recursos Naturais) - UFCG, Campina Grande-PB, 2009.

DA SILVA, D. F., COSTA, I. M., MATEUS, A. E., DE SOUSA, A. B. Previsão climática e de ciclos climáticos para o Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 4, p. 959-977, 2013.

DA SILVA, D. F. Aplicação de Análises de Ondaletas para Detecção de Ciclos e Extremos Pluviométricos no Leste do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 2, 2017.

DA SILVA, D., LIMA, M., SOUZA NETO, P., GOMES, H., SILVA, F., ALMEIDA, H., COSTA, R.; PEREIRA, M. Caracterização de Eventos Extremos e de suas Causas Climáticas com Base no Índice Padronizado de Precipitação Para o Leste do Nordeste. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, p. 449-464, 2020.

DA SILVA, D. F.; SOUZA NETO, P. F.; SILVA, S. D.; LIMA, M. J. S.; CAVALCANTE, I. B. S.; OLIVEIRA, S. T.; MENDONÇA, H. S.; BATISTA, B. A.; ROCHA, L. H. S.; ALMEIDA, H. R. R. de C; PEREIRA, M. P. S.; ARAUJO, L. E. Identificação das causas climáticas dos eventos extremos e dos impactos dos ENOS Canônico e Modoki nas macrorregiões de Alagoas. **Revista Brasileira De Geografia Física**, v. 14, p. 1880-1897-1897, 2021.

DENSKI, A. P. N., BACK, Á. J. Tendência climatológica nos elementos meteorológicos e na evapotranspiração de referência de urussanga-sc (climatological trends in weather elements and in evapotranspiration series of urussanga, santa catarina state). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, 2015.

DIAS, J. L. **Análise da configuração meridional de variáveis atmosféricas e oceânica para o monitoramento da posição latitudinal da ZCIT no Atlântico Tropical**. 2018. 64 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2018.

DUARTE, X. R. **Caracterização Morfo-Sedimentológica e Evolução de Curto e Médio Prazo das Praias do Pina, Boa Viagem e Piedade, Recife/ Jaboatão dos Guararapes – PE**. Recife. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação de Geociências/UFPE. 2002. P.

ELY, D. F; DEBREUIL, V. Análise das tendências espaço-temporais das precipitações anuais para o Estado do Paraná–Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, 2017.

ESPÍNDOLA, I. B; RIBEIRO, W. C. Cidades e mudanças climáticas: desafios para os planos diretores municipais brasileiros. **Cadernos Metr pole**, v. 22, p. 365-396, 2020.

ESTEVAM, C. N., OSAKO, L. S., FRANCISCO, J. A. A. Análise multitemporal da variação da linha de costa no setor centro-sul da Ilha de Santa Catarina, Brasil. **Geologia USP. Série Científica**, v. 21, n. 4, p. 73-90, 2021.

FARIA, G. M. G. **Proposta de macrozoneamento para Maceió: revisão do Plano Diretor -2015/2016. Maceió: Texto Produzido para o Conselho de Arquitetura e Urbanismo de Alagoas-CAU-** Disponível em: [http://www.cau.al.gov.br/wp-content/uploads/2016/04/PROPOSTA\\_MACROZONEAMENTO1.pdf](http://www.cau.al.gov.br/wp-content/uploads/2016/04/PROPOSTA_MACROZONEAMENTO1.pdf) Acesso em 18 de fevereiro 2022.

FARIAS, E. G. G., MAIA, L. P. Uso de técnicas de geoprocessamento para a análise da evolução da linha de costa em ambientes litorâneos do Estado do Ceará, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 10, n. 4, p. 521-544, 2010.

FARIAS, S. C. G. Acúmulo de deposição de lixo em ambientes costeiros: a praia oceânica de Piratininga–niterói–RJ. **Geo UERJ**, v. 2, n. 25, p. 276-296, 2014.

FERNANDES, R. C., CARVALHO, A. L. Espacialização da precipitação pluvial no município de Piranhas, Alagoas. **Ciência e Natura**, v. 35, n. 2, p. 295-303, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/2179-460X782>, ISSN: 2179-460X, v. 35 n. 2 dezembro, 2013, p. 295-303.

FERNANDES, T. M. M. **Dinâmica da linha de praia em curto prazo entre Barra de Maxaranguape e Ponta Gorda, litoral oriental do Rio Grande do Norte. 2021.** 95 f. Trabalho de Conclusão de Cursos (Graduação em Geologia) - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

FERREIRA, A. G., MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacíficos e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, vol 1, nº 1, 15-28p, 2005.

FERREIRA, A.C; LACERDA, L.D. Degradation and conservation of Brazilian mangroves, status and perspectives. **Ocean e Coastal Management**, v.125, p.38-46, 2016.

FERREIRA, F. E. P., LOPES, J. R. F., NERY, A. R. Análise espacial das tendências climáticas e sua influência na agricultura irrigada no Ceará, BRASIL. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 29, p. 602-625, 2021.

FERREIRA, S. P., GOMES, V. P., GALVÍNCIO, J. D., DOS SANTOS, A. M., DE SOUZA, W. M. Avaliação da tendência espaço-temporal da precipitação pluviométrica

em uma região semiárida do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, 2017.

FLEURY, L. C; MIGUEL, J. C. H; TADDEI, R. Mudanças climáticas, ciência e sociedade. **Sociologias**, v. 21, p. 18-42, 2019.

FOGA, S., SCARAMUZZA, PL, GUO, S., ZHU, Z., DILLEY JR, RD, BECKMANN, T., LAUE, B. Comparação e validação de algoritmos de detecção de nuvens para produtos de dados Landsat operacionais. **Sensoriamento remoto do ambiente**, v. 194, p. 379-390, 2017.

FOLHES, M. T., FISCH, G. Caracterização climática e estudo de tendências nas séries temporais de temperatura do ar e precipitação em Taubaté (SP). **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 1, n. 1, p. 61-71, 2006.

FRANÇA, C. F; PEREIRA, R. R; JÚNIOR, J. L. D. A. F; ARAÚJO, F.A. Erosão da orla costeira grande-bispo, ilha de Mosqueiro, Belém-PA, através da análise de indicadores. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 24, p. 20, 2020.

FRANCO, B. J. **Análise do Índice de Vulnerabilidade Costeira no setor Oeste da Região Metropolitana de Fortaleza. 2021.** 41 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Instituto de Ciências do Mar - LABOMAR, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

GARCIA, P. D., MENDES, M. G., KLEIN-GUNNEWIEK, ÁTILA F., GIRELI, T. Z., VENANCIO, K. K. Análise da evolução da linha de costa a partir de imagens de satélite. **Concilium**, v. 22, n. 3, p. 637-649, 2022.

GERMANO, S. A., AMORIM, R. F. C., DELGADO, J. R. Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis que provocaram precipitações extremas nas cidades de Recife, Maceió e Aracaju no período de 2011 a 2015. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 07, p. 2377-2389, 2016.

GOMES, M. L., SILVA, S. T. Padrões dominantes de oscilação da temperatura do ar no Estado de Mato Grosso por meio de ondeletas. **Revista Interdisciplinar Animus**, v. 1, n. 7, p. 5-23, 2019.

GONÇALVES, F. N; BACK, Á. J. Análise da variação espacial e sazonal e de tendências na precipitação da região sul do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 3, p. 592-602, 2018. DOI: <https://doi.org/10.19084/RCA17204>.

GRIMM, I. J. Impactos das mudanças climáticas no sistema turístico: O caso brasileiro. **Caderno Virtual de Turismo**, v. 19, n. 1, 2019.

HIERA, M. D.; LIMA JÚNIOR, A. F.; ZANELLA, M. E. Tendência da precipitação no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, 2019.

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades de Estados**. Alagoas, Maceió, IBGE, 2022.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações – 1:25.000**: Nota técnica explicativa 2014. 42p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). (2013) **Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, United Kingdom and New York: Cambridge University Press. 1.535 p.

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. O físico base científica (AR5). Contribuição do grupo de trabalho I para o quinto relatório de avaliação. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova York, NY, EUA, 2013. 1535p. Mahlstein, I.; Knutti, R. Padrões de mudanças climáticas regionais identificados por análise de cluster. **Climate Dynamics**, v.35, p.587-600, 2010. <https://doi.org/10.1007/s00382-009-0654-0>

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

IWAMA, A. Y. **Riscos e vulnerabilidades às mudanças climáticas e ambientais: análise multiescalar na zona costeira de São Paulo-Brasil**. CAMPINAS, 2014 – São Paulo, 353p. Tese de Doutorado, Ambiente e Sociedade. Universidade Estadual e Campinas (Unicamp) Instituto de Filosofia e Ciências Humanas (IFCH) CAMPINAS – São Paulo, 2014.

JACINTO, L. V., ELOI, W. M., SAKAMOTO, M. S. Características Climatológicas dos Sistemas Convectivos de Mesoescala no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, p. 69-80, 2022.

JACOBI, P. R., GRANDISOLI, R., COUTINHO, S. M. V. MAIA, R. A., TOLEDO, R. F. Temas atuais em mudanças climáticas: para os ensinos fundamental e médio São Paulo: IEE – USP, 2015. 112p. ISBN 978-85-86923-41-8.

JANDREY, S; AUMOND, J. J. Mudanças climáticas e planejamento urbano: cenários futuros de aumento do nível do oceano no município de Itapema/SC. **PerCursos**, v. 21, n. 46, p. 025-053, 2020.

KALIL, L; CHECCO, G. B. Segurança hídrica e mudanças climáticas no Brasil: uma entrevista cruzada com Jerson Kelman e João Paulo Capobianco. **IdeAs. Idées d'Amériques**, n. 15, 2020.

KLEIN, A. D. F., PRADO, M. F. V., DALINGHAUS, C., CAMARGO, J. M. Metodologia para quantificação de perigos costeiros e projeção de linhas de costa futuras como subsídio para estudos de adaptação das zonas costeiras: litoral norte da

Ilha de Santa Catarina e entorno. **Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Extrativismo e Desenvolvimento Rural Sustentável**, 2016.

KOTINAS, V; EVELPIDOU, N; KARKANI, A; POLIDOROU, M. **Modelling coastal erosion. Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union**, 2013.

KRELLING, A. P. **Caracterização sócio-ambiental da Ponta do Poço, Pontal do Paraná, PR**. Trabalho de conclusão de curso de Curso de Graduação em Oceanografia, Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. 2004.

Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências. **Presidência da República. Subchefia para Assuntos Jurídicos**. Brasília, DF, 16 mai. 1988. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L7661.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7661.htm)>. Acesso em: 04 fev. 2022.

LEITE, J. C. Controvérsias na climatologia: o IPCC e o aquecimento global antropogênico. **Scientiae Studia**, v. 13, p. 643-677, 2015.

LIMA, D. C. **Análise das possíveis relações entre os ciclos solares e as anomalias de TSM dos oceanos Pacífico e Atlântico tropicais**. 2017. 103 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2017. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/1442>

LINS-DE-BARROS, F. M. Análise integrada da vulnerabilidade costeira e riscos associados. In: **Anais do VI Congresso Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa. Ilha de boa Vista, Cabo Verde, CD-ROM**. 2011.

LOPES, D. N., DUARTE, C. R., DA SILVA, M. T., GRIGIO, A. M., FREIRES, E. V., DOS SANTOS, L. S. A. Evolução da linha de costa no município de São Gonçalo do Amarante-CE no período de 1984 a 2020. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 05, p. 3067-3077, 2021.

LOPES, J.R.F.; DA SILVA, D.F. Aplicação do teste de Mann Kendall para análise de tendência pluviométrica no Estado do Ceará. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 30, n. 3, p. 192-208, 2013.

LÓPEZ, O. L. O., UPEGUI, J. J. V., SALAZAR, J. P. M. HERNÁNDEZ, A. T. F. Análisis de tendencias climáticas con RCLimdex en el departamento de Caldas, Colombia. **Scientia et Technica**, v. 25, n. 4, p. 595-603, 2020.

LUZ, T. E. B., PINHEIRO, R. M. K., MATOS, M. D. F. A., AMARO, V. E., SCUDELARI, A. C. Alterações morfológicas na embocadura do complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba, Al/Brasil. **Anais do XIX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2020.

LYRA, M. J. A., BONFIM, O. E. T., JANUÁRIO, I. R., DA SILVA, Y. U., MESQUITA, G. A. L., CAVALCANTE, L. C. V. Aplicação de metodologias distintas

no comportamento pluviométrico de Maceió/AL. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 3, p. 104-112, 2018.

MADRUGA FILHO, J. D. **Aspectos Geoambientais entre as Praias do Paiva e Gaibu, Município do Cabo de Santo Agostinho (Litoral Sul de Pernambuco)**. Recife. Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Geociências/UFPE, 2004. 272 p.

MAFRA, L. C. A. **Estudo da Dinâmica Costeira da Região da Foz do Rio Piranhas-Açú para Geração de Mapas de Sensibilidade do Litoral ao Derramamento de Óleo**. Natal. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica/UFRN, 2005. 138 p.

MAGALHÃES, B. L.; BAPTISTA, T; FERNANDEZ, G. Dinâmica da linha de costa entre a praia da Tartaruga e a desembocadura do rio São João (RJ). **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 6504-6508, 2017.

MAHLSTEIN, I.; KNUTTI, R. Regional climate change patterns identified by cluster analysis. **Climate Dynamics**, v.35, p.587-600, 2010. <https://doi.org/10.1007/s00382-009-0654-0>.

MAIA, G. G. DE O., FONSECA, M. R. DE P. NETO, L. DE C. F., FERNANDES, L. B., LIMA T. V. A Engenharia Ambiental no estudo da erosão de praias associados aos impactos das construções na zona costeira no Estado do Ceará, Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 14002-14010, 2020. DOI:10.34117/bjdv6n3-318

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil. **Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS). Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil**. Disponível em: <http://www.fbds.org.br/fbds/IMG/pdf/doc-504.pdf>. Acesso em, v. 24, 2009.

MARENGO, J. A; ALVES, L. M; BESERRA, E. A; LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**, v. 1, p. 385-422, 2011.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas, impactos e políticas públicas para reduzir impactos. **ClimaCom Cultura Científica** - pesquisa, jornalismo e arte | Ano 5 - N 13 / Dezembro de 2018 / ISSN 2359-4705.

MARENGO, J. A; SOUZA JR, C. Mudanças Climáticas: impactos e cenários para a Amazônia. **São Paulo: ALANA**, 2018.

MARENGO, J. A; VALVERDE, M. C. Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. **Revista Multiciência**, v. 8, p. 5-28, 2007.

MARINO, M. T. R. D., FREIRE, G. S. S. Análise da evolução da linha de costa entre as Praias do Futuro e Porto das Dunas, Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), Estado

- do Ceará, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 13, n. 1, p. 113-129, 2013.
- MARO, V. E.; SCUDELARI, A. C.; OLIVEIRA, D. S.; LACERDA, I. L. C.; MATOS, M. de F. A. Análise de Índices de Vulnerabilidade Física com uso de Geotecnologias na Região da Barreira do Inferno/RN. **Revista de Geociências do Nordeste**, p. 179-192, 2021.
- MARQUEZ, M. R. K. **Morfodinâmica de um segmento da praia da ilha Comprida, litoral sul do Estado de São Paulo. São Paulo**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. 137 p. 2007.
- MARTELO, A. F.; NICOLODI, J. L. As dunas frontais e sua função frente às inundações da costa: validação de dois modelos de erosão como ferramenta para a gestão costeira aplicados na praia do Mar Grosso, RS. **Desenvolvimento e Meio ambiente**, v. 44, 2018.
- MATOS, M. D. F. A., AMARO, V. E., SCUDELARI, A. C., ROSADO, S. B. Estimativas das alterações de longo prazo na linha de praia do Litoral Oriental do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 23, n. 1, p. 1028, 2022.
- MAZZER, A. M., DILLENBURG, S. Variações temporais da linha de costa em praias arenosas dominadas por ondas do sudeste da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis, SC, Brasil). **Pesquisas em Geociências**, v. 36, n. 1, p. 117-135, 2009. 36(1), 117–135. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.17880>.
- MEDEIROS, F. C. G; AMARO, V. E; SOUTO, M. V. S. Prognóstico da Erosão Costeira no Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte para os anos de 2020, 2030 e 2040. **Geologia**, v. 25, n. 2, 2008.
- MEDEIROS, R. M., ARAÚJO, W. R., DE HOLANDA, R. M., SABOYA, L. M. F., FRANÇA, M. V., NETO, F. C. R. Oscilações climáticas e suas tendências para Lagoa Seca-Paraíba, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, p. e345101321506-e345101321506, 2021.
- MEDEIROS, R. M., DE FRANÇA, M. V., DE HOLANDA, R. M., PEREIRA, M. L. F., DE ARAÚJO, W. R., SABOYA, L. M. F. O El Niño e a La Niña e suas Influências no Clima de Bom Jesus Piauí-Brasil. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218**, v. 2, n. 6, p. e26484-e26484, 2021.
- MELO, F.T.L. **Aspectos Morfo-Dinâmicos do Complexo Lagunar Nísia Floresta-Papeba-Guarairas, Região Costeira Sul Oriental do RN**. Natal. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2000. 71 p.
- MENDONÇA, F. Mudanças climáticas globais: controvérsias, participação brasileira e desafios à ciência. Humboldt - **Revista de Geografia Física e Meio Ambiente**, 1, 1-28. 2021.

- MITTERSTEIN, M. R.; SEVERO, D.L. Análise de variabilidade intrasazonal e interanual da precipitação no vale do Itajaí com a transformada de ondaletas. **Revista Dynamis**, [S.l.], v. 13, n. 1, p. 01-10, jan. 2008. ISSN 1982-4866.
- MOLION, L.C.B; BERNARDO, S.O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira Meteorologia**, 17(1)1-10, 2002.
- MOREIRA, A. P. M; VIEIRA, A. L. C; CONSOLAÇÃO SILVA, J. Tendências climáticas e anomalias de precipitação em Caratinga-MG. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 2000-2009, 2017. DOI - 10.20396/sbgfa.v.1i2017.2412 - ISBN 978-85-85369-16-3.
- MOREIRA, T. F., DA GUIA ALBUQUERQUE, M., DE ALMEIDA ESPINOZA, J. M., DE PAULA, D. P., ALVES, D. C. L., BARROS, E. L., BENDÔ, A. R. R; CONCEIÇÃO, T. F. Estudo do comportamento da linha de costa na praia do Icaraí (Caucaia, Ceará), a partir dos métodos digital shoreline analysis system e do polígono de mudança. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 07, p. 3395-3411, 2020.
- MOURA, M. S. B., SOBRINHO, J. E., DA SILVA, T. G. F. Aspectos meteorológico do semiárido brasileiro. 2019. **Capítulo em livro técnico** (CPATSA), cap. 2, p. 85-104.
- MUEHE D. (2010). Brazilian Coastal Vulnerability to Climate Change. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, 5(2): 173-183.
- MUEHE, D. C. E. H. Erosão e progradação do litoral brasileiro. **Brasília: Ministério do Meio Ambiente**, v. 1, p. 475, 2006.
- MUEHE, D. Definição de Limites e Tipologias da Orla sob os Aspectos Morfodinâmicos e Evolutivo. In: Projeto Orla: Subsídios para um projeto de gestão. Brasília: MMA e MPO, 2004 (**Projeto Orla**), 104 p.
- MUEHE, D. Erosão costeira, mudança do clima e vulnerabilidade. In: GUERRA, A. J. T.; Jorge, M. C. O. (Orgs.). Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2013, p. 160-190.
- MUEHE, D. O. **Erosão e progradação do litoral brasileiro. 476p.** ISBN 85-7738-028-9. Brasília. 2006.
- MUEHE, D. O sistema praias: formas, termos, processos e medição. In: MUEHE, D. O; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L.S. (orgs.) **Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos**. Rio de Janeiro: PGGM, 2020. p. 27-55. ISBN 978-65-992571-0-0.
- MUEHE, D., KLUMB-OLIVEIRA, L. Deslocamento da linha de costa versus mobilidade praias. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 5, n. 2, 2014.
- NASCIMENTO JUNIOR, D. R. **Morfologia e Sedimentologia ao Longo do Sistema Praial – Duna Frontal de Ilha Comprida, SP**. São Paulo. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar/USP, 2006. 156 p.

NASCIMENTO, B. M. D. S., BARBOSA, R. V. R. Processo de verticalização nos bairros litorâneos de Maceió-AL **XVI ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO XII ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO PALMAS – TO. XVI ENCAC/XII ELACAC** - 20 a 23 de outubro de 2021.

NASCIMENTO, J. V. S. **Erosão e progradação da linha de costa de Icarai de Amontada - Ceará**. 2018. 78 f. TCC- Trabalho de Conclusão de Curso- (Graduação em Oceanografia) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

NEGRÃO, Y. DE S., SOUSA, H. C., RANIERI, L. A. Vulnerabilidade à erosão costeira em praias amazônicas e a ocupação populacional em áreas de riscos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 23, n. 2, p. 1264-1284, 2022.

NEGRI, R., RICHTER, M. A. B., REIMER, M. E., LUZ, G. DE A. DA., DREVEK, F. A., IZIDORO, C., NIEDZVIESKI, E., GOMES, V. E. A. Definição do Nível Altimétrico da Estação Maregráfica da EPAGRI-CIRAM e Proposição de Leitura de Alerta de Eventos de Alagamento por Maré para Joinville - SC. **Conhecimento Em Construção**, 8, 79–92. (2021. Recuperado de <https://unoesc.emnuvens.com.br/conheconstr/article/view/27190>).

NÓBREGA, J. N. **Estudos de variabilidades interanual e interdecenal da precipitação pluvial das regiões hidrográficas da parte setentrional oriental do Brasil utilizando a análise de ondaletas**. 2019. 160f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Pós-Graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2019. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/11514>.

NOVAK, L. P., LAMOUR, M. R. Avaliação do risco à erosão costeira em praias urbanizadas do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 22, n. 1, 2021.

OLIVEIRA, L. K; LEÃO, M. B. C. Mar sem fim: diversidade biológica e a proteção nacional e internacional dos oceanos. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 16570-16590, 2021.

OLIVEIRA, S. T. **Análise da variabilidade climática sobre grandes culturas cultivadas em Alagoas (AL)**. 2020. 119 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2020.

PAULA, D. P. D. **Análise dos riscos de erosão costeira no litoral de Fortaleza em função da vulnerabilidade aos processos geogênicos e antropogênicos**. Faro, 2012, 364p. Tese de doutorado, Ciências do Mar (Gestão Costeira), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve, 2012.

PBMC, 2016: Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: **Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas** [Marengo, J.A., Scarano, F.R. (Eds.)]. PBMC, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 184 p. ISBN: 978-85-285-0345-6.

PENEREIRO, J. C; MESCHIATTI, M. C. Variabilidades e Tendências Climáticas nos Máximos do Inverno e Verão no Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, 2017.

PEREIRA, C., COELHO, C. Mapas de risco das zonas costeiras por efeito da ação energética do mar. **Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 13, n. 1, p. 27-43, 2013.

PEREIRA, T.D.S, COSTA, D.D., FRAGOSO JÚNIOR, C.R., MONTENEGRO, S.M.G.L., UVO, C.B . Principais fatores de oscilação do clima controlando a variabilidade da precipitação durante a estação seca no nordeste brasileiro: estudo de caso das bacias dos rios mundaú e Paraíba do meio. **Revista Água** , v. 10, n. 11 de 2018.

PERES, A. P., NEVES, N. C. R. F., TADDEI, R. Atitudes e percepções de gestores ambientais da Zona Costeira de SP frente às mudanças climáticas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, 58(2), e191793. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2020.191793>, 2020.

PINHEIRO, Y. G. **Morfodinâmica das praias arenosas e riscos costeiros do setor leste da Ilha da Trindade, ES**. Rio Grande, 2017, 134p. Dissertação. Mestrado em Oceanografia Física, Química e Geologia Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande do Sul, 2017.

PINHO, R. M. L; GRANZIERA, M. L. M. Efeitos das Mudanças Climáticas na Zona Costeira: O Caso de Santos. **Leopoldianum**, v. 45, n. 125, p. 12-12, 2019.

PINHO, T. R. R; DANTAS, E. W. C; OLIVEIRA, S. J. Turismo e sustentabilidade em comunidades costeiras: reflexões sobre mudanças socioambientais em Jericoacoara (CE) e Barreirinhas (MA). **Revista Brasileira de Ecoturismo (RBEcotur)**, v. 12, n. 4, 2019.

**PLANO NACIONAL DE ADAPTAÇÃO À MUDANÇA DO CLIMA**: volume 1: estratégia geral: portaria MMA nº 150 de 10 de maio de 2016 / Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 2016.

QUINAMO, L. A. **Caracterização sedimentológica e aspectos geoambientais das praias do litoral Sul de Pernambuco**. Recife, 2013. 92 f. Dissertação (mestrado) - UFPE, Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-graduação em Geociências, 2013.

RAMOS, J. M. F; DOMINGUEZ J. M. L. O índice de vulnerabilidade costeira para a costa central do Estado da Bahia. In: **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 2004. Anais**. Disponível em: Acesso em: 20 nov. 2021.

RANIERI, L. A., MAÂMAR, E. R. Evolução da linha de costa de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 42, n. 3, p. 207-226, 2015.

RAUBER, L. P., SILVA, A. C., MANTOVANI, A., ZÍLIO, M. Influências na produção agrícola. **Seminário de Iniciação Científica e Seminário Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão**, p. e22133-e22133, 2019.

REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. **TERRA e DIDÁTICA** 8(1):34 - 50, 2012.

REIS, J. S. **Características dinâmicas e termodinâmicas dos vórtices ciclônicos de altos níveis no Nordeste do Brasil**. 2018. 76f. Dissertação (Mestrado em Ciências Climáticas) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

REGUERO, B.G; MÉNDEZ, F.J; LOSADA, I.J. Variability of multivariate wave climate in Latin America and the Caribbean. **Global and Planetary Change**, 100:70–84. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2012.09.005.

RIBEIRO, W.C, 2008: Impactos das mudanças climáticas em cidades no Brasil. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). **Parcerias Estratégicas**, v. 13, n 27.

RIBEIRO, E. M.; PAIVA, S. V.; LUCAS, C. C; VILLAVICENCIO, C. B; SOARES, M. O. Unidades de conservação costeiras e marinhas no Brasil. **Geografia marinha oceanos e costas na perspectiva de geógrafos**. 1ed.Rio de Janeiro: Caroline Fontelles Ternes, 2020, v. 1, p. 1-764.

ROCHA, A. F. **Espectro cruzado e coerência wavelet: um estudo de variáveis micrometeorológicas em frações urbanas na cidade de Cuiabá, MT**. 2018. 126 f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Cuiabá, 2018.

ROCHA, L.H.D.S, DA SILVA, D.F, KAYANO, M.T, BONFIM, O.E.T. Homogeneidade, Eventos Extremos e suas Causas Climáticas: Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Meteorologia** , v. 37, p. 199-212, 2022.

ROCHA, T. B., MAGALHÃES, B. L., FERNANDEZ, G. B. Escalas interdecadal e interanual na avaliação da dinâmica da linha de costa: Um estudo de caso nas praias de Rio Das Ostras (RJ). **Revista da ANPEGE**, v. 17, n. 33, p. 146-161, 2021.

RODRIGUES, M. R. C; SILVA, J. O. M. Panorama Geral da Zona Costeira do Estado do Amapá. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 03, p. 1664-1674, 2021.

RODRIGUES, T. K. **Impacto das mudanças climáticas na zona costeira do município de Aracaju-SE: estudo de caso utilizando o SMC (Sistema de Modelagem Costeira)**. Salvador, 2014, 144p. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geologia Área de Concentração: Geologia Marinha, Costeira e Sedimentar da Universidade Federal da Bahia, 2014.

SAES, R. V. S. T. **Princípios de oceanografia** .[et al.]. – Teresina: EDUFPI, 2018. 164 p. ISBN: 978-85-509-0288-3.

SALVIANO, M. F., GROppo, J. D., PELLEGRINO, G. Q. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, p. 64-73, 2016.

SANSON, F. E. G; **Florestas do antropoceno tensões no contexto das mudanças climáticas**. Florianópolis, 2016, 378p. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Ciências Humanas do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina. 2016.

SANTIAGO, B. D., GOMES, H. B. Estudo de ilhas de calor no município de Maceió/AL usando dados orbitais do Landsat 5. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 03, p. 793-803, 2016.

SANTOS, R. C. D. A. L. **Evolução da linha de costa a médio e curto prazo associada ao grau de desenvolvimento urbano e aos aspectos geoambientais na Planície Costeira de Maceió-Alagoas**. Recife, 2004, 1176p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

SANTOS, A. N. **A dinâmica costeira e seus efeitos sobre a ocupação urbana na orla marítima do Estado de Alagoas**. SALVADOR, 2010, 227p. Tese de Doutorado, Geologia. Universidade Federal da Bahia, 2010.

SANTOS, M. S. **Caracterização espaço-temporal de secas utilizando ondaletas e o Standardized Precipitation Index: uma aplicação para a parcela mineira da bacia Rio São Francisco**. 2011. Tese de Doutorado Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais.

SANTOS, M. A. C. M., COSTA, I. M., COSTA, J. A., MATEUS, A. E., DA SILVA, D.J., SOUSA, R. F. WITALO DA SILVA SALES, R. F., LOBO, J. T., SILVA, G., MIRANDA, V.G., MORENO, N. B. C., CALDAS, A. C. A., MONTEIRO. Tendências No Nível De Rio Das Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará e Suas Causas Climáticas (ISBN 1984-2295). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, p. 927-938, 2015.

SANTOS, E. C., BONETTI, J. Análise da taxa de variação da linha de costa da Enseada de Tijucas (SC) em diferentes escalas temporais como indicadora de suscetibilidade costeira. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 9, n. 2, 2018.

SANTOS, J. P. S, ANDRADE, A. C. S, NASCIMENTO, P. S. R., RAMOS, L. P. Erosão costeira e faixas de recuo em praias arenosas do Sul de Sergipe, BRASIL. **Geociências**, v. 40, n. 04, p. 1047-1061, 2021.

SANTOS, K. A. L.; Neves, K. M., Santos, W. A; VIEIRA. I. L; ALMEIDA, A. Q. Variação da linha de costa no litoral central de Sergipe entre os anos de 1988 a 2019. **Anais do XIII Encontro De Recursos Hídricos em Sergipe**. Aracaju-Sergipe, 2021.

SCHERER, M. Gestão de praias no Brasil: subsídios para uma reflexão. **Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 13, n. 1, p. 3-13, 2013.

SCOFIELD, G. B., DE ANGELIS, C. F., DE SOUSA JR, W. C. Estudo das Tendências do Total de Precipitação e do Número de dias chuvosos no Litoral Norte de São Paulo. **RBRH-Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 3, p. 19-31, 2014.

SCUDELARI, A. C.; ROSADO, S. B.; DE MATOS, M. D. F. A., AMARO, V. E. III-005-melhoria da qualidade da água tratada e aumento da capacidade de etas através da escolha adequada de coagulantes e auxiliares, em águas com alcalinidade alta (estudo de caso). **Anais do XIX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental 2020**.

SENADO FEDERAL (1988) - **Constituição da República Federativa do Brasil**. Senado Federal, Brasília, DF, Brasil. Disponível em: [http://www.senado.gov.br/legislacao/const/con1988/CON1988\\_10.10.2021/CON1988.pdf](http://www.senado.gov.br/legislacao/const/con1988/CON1988_10.10.2021/CON1988.pdf),

SERAFIM, M. B., SIEGLE, E., CORSI, A. C., e BONETTI, J. Coastal vulnerability to wave impacts using a multi-criteria index: Santa Catarina (Brazil). **Journal of Environmental Management**, v. 230, p. 21-32, 2019.

SHORT, A. D. Australian beach systems-nature and distribution. **Journal of Coastal Research**, [s.i.], v. 22, n. 1, p. 11-27, 2006.

SILA, I. G; MORAES, F. S; STRUMINSKI, E. Comparação de técnicas de contenção de ondas. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS**, v. 4, n. 3, p. 25, 2018.

SILVA, A. S. D., SILVA, E. M. D., LEAL JUNIOR, J. B. V., SALES, D. C., MOURA, I. J. M. , ALVES, J. M. B. Distúrbios Ondulatórios de Leste no Nordeste Brasileiro: Um Estudo de Caso Utilizando Modelagem Numérica de Mesoescala. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, p. 637-649, 2021.

SILVA, D. V. Gestão ambiental e sustentabilidade em áreas costeiras e marinhas: conceitos e práticas" Vol II [livro eletrônico] 1 ed. **IVIDES.org**. Rio de Janeiro, de novembro de 2021.

SILVA, D. V., MATA-LIMA, H., MARTINS, M. C. B. S., ARAÚJO, M. C. B., KERN, P., SILVA, M. C. G., FREITAS, A. C., OLIVEIRA, A. K., ULIANO, B. R., CRISTIANO, S. C., GATTO, D. B., ALMEIDA, H. R. R. C. A., FREITAS, M. C., AIRES, M., GANGUILHET, G., CARVALHO, M. C., COSTA, C. R., MARTINS, M. C. B. S., SILVA, M. C. G., LAMPARELLI, C. C., MINELLO, M., FREITAS, F. S., PINHEIRO, M. S. S., SCELZA, G. C., CRISTIANO, S. C., MARTINS, F. M. C.P.F., KUROSHIMA, K. N., ABESSA, D. M. S., SANTOS, A., gestão ambiental e sustentabilidade em áreas costeiras e marinhas: conceitos e práticas - volume II. **INVIDES- Instituto Virtual Para O Desenvolvimento Sustentável**. 2022.

SILVA, G. A. D. **Impactos do El niño-oscilação sul no potencial eólico do Nordeste brasileiro: uma análise em condições atmosféricas com e sem a influência do Atlântico Tropical Sul. 2021.** . Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas - UACA, Universidade Federal DE Campina Grande – UFCG, 2021.

SILVA JUNIOR, O. M., SANTOS, L. S., RODRIGUES, M. Panorama Dos Riscos Costeiros No Estado do Amapá: Conhecer Para Agir. **In: Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano. São Paulo**, pp. 454–472. 2020.

SILVA, R.A.; SILVA, V.P.R.; CAVALCANTI, E.P; DOS SANTOS, D.N. Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 5, p. 501-509, 2010.

SILVA, I. R; GUIMARÃES, J. K; BITTENCOURT, A. C; RODRIGUES, T. K; AN, G. F. Avaliação da dinâmica litorânea da região de Baixo/Barra do Itariri, litoral norte do Estado da Bahia, utilizando o Sistema de Modelagem Costeira (SMC Brasil). **Pesquisas em Geociências**, v. 44, n. 2, p. 221-234, 2017.

SILVA, M. T., ALCÂNTARA, C. R., SOUZA, E. P. D., OLINDA, R. A. D., GONÇALVES, W. A. Influência da temperatura da superfície do mar na ocorrência de linhas de instabilidade na costa norte e nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, p. 260-268, 2017.

SILVA, R. O. B; MONTENEGRO, S. M. G. L; SOUZA, W. M. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, p. 579-589, 2017.

SILVA, L. E. F. Análise de tendência em séries históricas de vazão: uso de teste estatístico paramétrico. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 3, p. 998-1018, 2020.

SILVA, G. M. de C.; GOZZO, L. F.; REBOITA, M. S. Etapas de uma Previsão Climática Sazonal. **Terrae Didactica**, Campinas, SP, v. 17, n. 00, p. e021026-e021026, 2021.

SILVA, C. W. T., BARBOSA, H. A. Avaliação da precipitação na produtividade agrícola da cana-de-açúcar: estudo de caso usina Coruripe para as safras de 2000/2005. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 03, p. 1352-1366, 2021.

SIQUEIRA, A. H. B., SOUZA, L. O., MOLION, L. C. B., BERNARDO, S. O., SALVADOR, M. A., OLIVEIRA, J. P. P. Impactos do ENOS no Norte e Nordeste Brasileiros e sua relação com a Oscilação Decadal do Pacífico. In: **Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, SBMET**. 2006.

SIQUEIRA, A. H. B., MOLION, L. C. B. Utilização do filtro Hodrick-Prescott nas análises de dados climáticos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 11, 2012.

- SOBREIRA, J. S; VILAR, J. W. C. Gestão de destinos turísticos costeiros: ordenamento territorial do turismo em Coruripe-Alagoas. **Revista Expressão Científica**, Aracaju, Ed. Especial ComTur, p. 46-49, 2018.
- SOUSA, W. R. N., SOUTO, M. V. S., MATOS, S. S., SILVA NETO, C. A. DUARTE, C. R., Extração automática de linhas de costa aplicada ao monitoramento de processos de erosão costeira. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XVIII SBSR**. 28 a 30 de maio 2017. ISBN 978-85-17-00088-1.
- SOUSA, M. F. **Erosão costeira da praia do Iguape: desafios e perspectivas**. 2018. 79 f. TCC- Trabalho de Conclusão de Curso- (Graduação em Oceanografia) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Fortaleza, 2018.
- SOUZA, C.R.G. A erosão costeira e os desafios da gestão costeira no Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 9, p. 17-37, 2009.
- SOUZA, W. F. D. **Sensoriamento remoto e SIG aplicados à análise da evolução espaçotemporal da linha de costa do município de Icapuí, Ceará-Brasil**. Fortaleza, 2016, 135p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Brasil.
- SOUZA, J. L; SILVA, I. R; SANTOS, R. A. Políticas de adaptação frente às mudanças climáticas globais: estratégias de gestão para as praias do município de mata de São João, litoral norte da Bahia, BRASIL. **Geociencias**, v. 39, n. 4, p. 1153-1166, 2020.
- SOUZA NETO, P. F., DA SILVA, D. F., ALMEIDA, H. R. R. ALMEIDA, H. R. R. C. A Análise da Variabilidade Climática dos Oceanos Atlântico e Pacífico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 04, p. 1861-1879, 2021.
- SPANGHERO, P., SOUZA, S. O., CHARLES, R., OLIVEIRA, R. C. Análise temporal da evolução da linha de costa do setor urbano do município de Alcobaca/BA. **Anais do XII Simpósio Nacional de Geomorfologia. Cráto-CE**, 2018.
- SPERLING, V., FERNANDES, V., MARQUES, J. R. Relação entre a oscilação decadal do pacífico (odp) e aprecipitação de verão no rio grande do sul. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTIFICA. 2009.
- STIVE, M. J. F; AARNINKHOF, S. G. J.; HAMM, L.; HANSON, H.; LARSON, M.; WIJNBERG, K. M.; NICHOLLS, R. J.; CAPOBIANCO, M. Variability of shore and shoreline evolution. *Coastal Engineering* 47, p. 211– 235. 2002.
- SUGUIO, K. **Dicionário de Geologia Marinha**. Queiroz T. A. Ed. São Paulo, 1992.
- TABAJARA L.L; MARTINS L.R. Classificação textural de sedimentos praias e a relação com os processos morfogenéticos eólicos e marinhos. **GRAVEL**, ISSN 1678-5975. Dezembro – 2006 N° 4 99-107. Porto Alegre.
- TEIXEIRA, C. P. B., SOUTO, M. V. S., PINHEIRO, L. R. D. S. G., de MATOS, M. D. F. A., GOMES, D. D. M. Análise da evolução costeira no município de Beberibe,

Estado do Ceará, entre os anos de 1979 A 2019. **Geosciences= Geociências**, v. 40, n. 04, p. 1005-1031, 2021.

THIELER, E. R; MARTIN, D; ERGUL, A. **The Digital Shoreline Analysis System, version 2.3**. Shoreline change measurement software extension ArcMap 9.0. USGS Open-File. 2005.

THIELER, E. R; HIMMELSTOSS, E. A; ZICHICHI, J. L; ERGUL, A. The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0-an ArcGIS extension for calculating shoreline change. **US Geological Survey**, 2009.

TOLDO JR., E. E., ALMEIDA, L.E.S.B. CORRÊA, I.C.S. Forecasting shoreline changes of Lagoa dos Patos lagoon, **Brazil. Journal of Coastal Research**, 35: 43-50. 2003.

VIANNA, H. D; CALLIARI, L. J. Diversidade morfológica das dunas frontais no litoral norte do Rio Grande Do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 2, 2019.

VIANNA, L. F., SALES ARAÚJO, C., VANS, A. Erosão de praias e ressacas na Ilha de Santa Catarina: causas, histórico recente e possibilidades de ação. **Agropecuária Catarinense**, v. 35, n. 1, p. 8-12, 2022.

VILANI, M. T., SANCHES, L. Análise de Fourier e Wavelets aplicada à temperatura do ar em diferentes tipologias de ocupação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1340-1346, 2013.

WEINER, D. M. **Análise da dinâmica costeira da foz do Rio Punaú, município de Rio do Fogo/RN, com o apoio de geotecnologias**. 2021. 91f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

WEINER, D. M., AMARO, V. E., DE CARVALHO, I. Q., NASCIMENTO A., P. V. Geotecnologias aplicadas na análise da dinâmica costeira na desembocadura do Rio Punaú-RN, Nordeste do Brasil. **REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 1, n. 15, p. 21-41, 2021.

WESCHENFELDER, J., ZOUAIN, R. A Variabilidade morfodinâmica das praias oceânicas entre Imbé e Arroio do Sal, RS, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 29, n. 1, p. 3-13, 2002.

WOLFFENBÜTTEL, A. O que é? IPCC, **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – Ipea Presidente. 2007. Ano 4. Edição 34 - 10/5/2007**. Disponível em URL: <http://www.ipea.gov.br> Acesso em 01 de novembro de 2021.

WRIGHT, L. D; SHORT, A. D.; GREEN, M. O. Short-term changes in the morphodynamic states of beaches and surf zones: an empirical predictive model. **Marine geology**, [s.i.], v. 62, n. 3-4, p. 339-364, 1985.