



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA LINHA DE COSTA E
INDICADORES DE EROSÃO NA PRAIA DA PONTA
D'AREIA, ILHA DO MARANHÃO: DIAGNÓSTICO DOS
IMPACTOS DE OBRAS COSTEIRAS**

Dissertação apresentada por:

ALESSANDRO FERREIRA DOS SANTOS

Orientadora: Prof. Dra. Leilanne Almeida Ranieri (UFPA)

Coorientador: Prof. Dr. Leonardo Gonçalves de Lima (UFMA)

BELÉM - PARÁ

2024

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

S237a Santos, Alessandro Ferreira dos.
Análise multitemporal da linha de costa e indicadores de erosão na praia da Ponta D'Areia, ilha do Maranhão: diagnóstico dos impactos de obras costeiras / Alessandro Ferreira dos Santos. — 2024.
xvii, 107 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^ª. Dra. Leilanne Almeida Ranieri
Coorientador(a): Prof. Dr. Leonardo Gonçalves de Lima
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em
Oceanografia, Belém, 2024.

1. Vulnerabilidade costeira. 2. Zona costeira. 3. Obras de proteção costeira. I. Título.

CDD 551.45709811



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA LINHA DE COSTA E INDICADORES DE
EROSÃO NA PRAIA DA PONTA D'AREIA, ILHA DO MARANHÃO:
DIAGNÓSTICO DOS IMPACTOS DE OBRAS COSTEIRA**

Dissertação apresentada por

ALESSANDRO FERREIRA DOS SANTOS

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Oceanografia na Área
de Concentração: Linha 1 – Sistemas Costeiros e Oceânicos e Linha de
pesquisa em Processos em Sistemas Costeiros e Oceânicos

Data da defesa: 29/08/2024

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
LEILANHE ALMEIDA RANIERI
Data: 17/12/2024 19:06:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Dra. Leilanne Almeida Ranieri – Orientadora

Universidade Federal do Pará – UFPA



Documento assinado digitalmente
LEONARDO GONCALVES DE LIMA
Data: 11/12/2024 14:41:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Leonardo Gonçalves de Lima – Coorientador

Universidade Federal do Maranhão – UFMA



Documento assinado digitalmente
ESTEVAO JOSE DA SILVA BARBOSA
Data: 17/12/2024 17:41:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Estêvão José da Silva Barbosa- Membro
interno

Universidade Federal do Pará – UFPA



Documento assinado digitalmente
MAAMAR EL ROBRINI
Data: 16/12/2024 14:00:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Maâmar El Robrini - Membro interno

Universidade Federal do Pará – UFPA



Documento assinado digitalmente
MILENA MARILIA NOGUEIRA DE ANDRADE
Data: 12/12/2024 10:11:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Milena Marília Nogueira de Andrade -
Membro externo

Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

Aos meus Pais,

Roberto Nonato dos Santos e Dalva Ferreira dos Santos

AGRADECIMENTOS

A conclusão dessa dissertação de mestrado não seria possível sem fé, atropelos, escolhas certas e muitas más, em meio a abalos psicológicos e financeiros, insegurança e dúvida este trabalho termina. Afinal, as pedras no caminho são matéria prima para o castelo, portanto, não poderia deixar meus sinceros agradecimentos:

Primeiramente, agradeço a Deus, nosso pai maior, a quem me apeguei nos momentos difíceis e de angústia, onde a tristeza me impedia de escrever. Mas a quem eu recorria forças para continuar. Aos guias pelos caminhos abertos e por atender meus pedidos de orações.

Agradeço a minha família, meu maior pilar, pelo carinho, compreensão e força para alcançar lugares jamais acessados. Amo vocês.

A professora Leilanne, pelas oportunidades de realização desse mestrado, pelo ensinamento, pelas chamadas de atenção e pela confiança. Por me levar a lugares que jamais iria como pesquisador, pelas novas praias e pelas pedras (literalmente) desses lugares que guardo. Muito obrigado por não desistir.

Ao professor Leonardo por aceitar esta coorientação, pelos textos, pelo apoio em São Luís, por nos apresentar a praia da Ponta D'Areia e nos dá aulas em campo.

Agradeço ao Laboratório de Oceanografia Geológica (LABOGEO), pelo espaço acolhedor, pelos amigos. Vocês são muito incríveis.

A Universidade Federal do Pará (UFPA), uma mãe com as portas abertas para nos receber sempre que pode e proporcionar experiência acadêmicas e humanas inesquecíveis.

A FAPESPA - Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisa - pelo fomento a esta pesquisa, pois assim foi possível as idas ao Maranhão.

Ao Programa de Pós-graduação em Oceanografia (PPGOC), pela oportunidade de pesquisa, pelas aulas, pelas idas à Bragança, pelos inúmeros conceitos adquiridos.

A minha turma (2022) que somos pequenos. Adrielle pelo acompanhamento em campo, por ouvir meus choros, pelo incentivo e amizade. Elaine, pela companhia, por conversas sobre finalizar as dissertações, pelo incentivo. Jessica, pela animação. Lorena “tu já viste teu e-mail?”.

A professora Sury, pela conversa. Muito grato.

A todos os professores do PPGOC.

Agradeço também aos meus excelentíssimos amigos do MPEG pelo espaço, pelas conversas e incentivos. Anderson Leonardo, Cauã, Julinho, Cristina Senna.

E por fim, meu agradecimento a minha rede de Apoio, que em diversos momentos estamos juntos dando forças na caminhada um ao outro, Rafaele e Alesy, amo muito vocês! Obrigado pelas madrugadas acordados, pelas chamadas de vídeo e pelas gargalhadas.

“Quando as teias de aranha se juntam, elas podem amarrar um leão. Aquele que não cultiva seu campo, morrerá de fome. O conhecimento é como um jardim: se não for cultivado, não pode ser colhido. Uma flor de morango não adoçará pão seco.”

Provérbio africano

RESUMO

A zona costeira é definida como o espaço geográfico de transição entre o oceano e o continente. No Estado do Maranhão ela possui 5 setores, dentre eles o Golfão Maranhense. A praia da Ponta D'Areia se localiza a noroeste da ilha do Maranhão, compondo este setor onde ocorrem marés de até 7,2 m de amplitude. A praia possui aproximadamente 2,5 km de extensão, sendo limitada pelo Rio Anil e pela praia de São Marcos. Em 2014 houve o término da construção de um espigão costeiro na praia da Ponta D'Areia, com o intuito de conter a erosão nela e impedir o assoreamento em direção ao Rio Anil. Neste contexto, para esta pesquisa foram feitos os seguintes questionamentos: (a) Como variou a linha de costa no decorrer de 27 anos? (b) Quais os setores erosivos, deposicionais e estáveis do ponto de vista morfodinâmico, considerando o período antes e depois da construção do espigão costeiro na praia? A construção da obra de engenharia rígida visou reduzir o assoreamento na embocadura do Rio Anil, o que não ocorreu, sendo necessário a complementação do término do espigão em "L" para tentar conter ainda mais o assoreamento. Contudo, implicou na ação erosiva no extremo nordeste da praia. Sendo assim, o objetivo desta pesquisa foi a análise multitemporal da linha de costa da Ponta D'Areia no período de 1996-2022 e a sua vulnerabilidade atual à erosão. A metodologia consistiu na: (1) análise observacional *in loco* para o preenchimento de tabelas pré-definidas, referentes aos geoindicadores de erosão costeira, e coleta de sedimentos superficiais de praia em novembro/2022 e abril/2023, estação climática seca e chuvosa, respectivamente; (2) levantamento da topografia praial e obtenção de ortofotos por meio de sobrevoo com drone em abril/2023; (3) análise multitemporal da linha de costa de 1996 a 2022, por imagens do satélite Landsat, software ArcGIS e extensão *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), bem como a previsão da linha de costa para 10 e 20 anos posteriores; (4) aplicação de índice de vulnerabilidade costeira à erosão (IVC) em três setores da costa, por meio da avaliação dos parâmetros naturais e de parâmetros antrópicos; e (5) avaliação dos impactos das obras de engenharia costeira na praia da Ponta D'Areia. Os resultados mostram variações na linha de costa de -64,63 m (-3,46 m/ano: erosão) a 32,15 m (2,39 m/ano: acreção) de 1996 a 2022, com previsão estimada para 2032 de 157,76 m (4,94 m/ano) de avanço e -123,26 m (-3,68 m/ano) de recuo e, a previsão para 2042 de 101,93 m (1,48 m/ano) de avanço e -141,35 m (-1,63m/ano) de recuo. Identificou-se o estado morfodinâmico de praia dissipativa através do mapeamento topográfico com drone e vulnerabilidade moderada à erosão costeira no setor I, o setor da marina, que apresentou o menor IVC: 4. No setor II, setor espigão, obteve-se IVC: 6,37

(vulnerabilidade moderada) e, no setor III, setor do Farol, IVC: 6,8 apontando vulnerabilidade alta à erosão. Foi possível observar como os processos meteo-oceanográficos (ondas, deriva litorânea, correntes de maré, ventos e descarga estuarina) estão resultando na variação da linha de costa, assim como as interferências humanas (ocupação na linha de costa e construção de estruturas rígidas). A acreção costeira se intensificou na praia após a intervenção antrópica com a construção do espigão. Conclui-se que a análise multitemporal da linha de costa da área de estudo entre 1996 e 2022, revelou variações significativas, influenciadas por fatores naturais e antrópicos. Mesmo com as interferências humanas para alterar a resultante sedimentação provocada pelos agentes meteo-oceanográficos, esses processos naturais continuam modelando com intensidade a dinâmica costeira da região e são os principais responsáveis pelas variações na linha de costa da praia.

Palavras-chave: vulnerabilidade costeira; zona costeira; obras de proteção costeira.

ABSTRACT

The coastal zone is defined as the geographical transition space between the ocean and the continent. In the state of Maranhão, it comprises five sectors, including the Maranhão Golfão. Ponta D'Areia beach is located northwest of the Maranhão Island, making up this sector where tides can reach up to 7.2 meters in height. The beach is approximately 2.5 km long, bounded by the Anil River and São Marcos Beach. In 2014, the construction of a coastal groin was completed at Ponta D'Areia beach, aimed at containing erosion and preventing sedimentation towards the Anil River. In this context, the research addressed the following questions: (a) How did the shoreline change over 27 years? (b) What are the erosional, depositional, and stable sectors from a morphodynamic perspective, considering the period before and after the construction of the coastal groin at the beach? It was believed that the rigid engineering structure was intended to stop the sedimentation at the mouth of the Anil river, which did not occur. As a result, it was necessary to extend the groin to an "L" shape to attempt to curb sedimentation, but this led to continued erosional activity at the northeastern end of the beach. Therefore, the objective of this research was to conduct a multitemporal analysis of the Ponta D'Areia shoreline from 1996 to 2022 and assess its current vulnerability to erosion. The methodology included: (1) on-site observational analysis to fill out pre-defined tables related to coastal erosion geoindicators and collection of surface beach sediments in November 2022 and April 2023, during the dry and rainy seasons, respectively; (2) beach topography survey and orthophoto acquisition through drone flights in April 2023; (3) multitemporal shoreline analysis from 1996 to 2022 using Landsat satellite images, ArcGIS software, and the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) extension, as well as shoreline projections for 10 and 20 years into the future; (4) application of the Coastal Erosion Vulnerability Index (CEVI) in three coastal sectors, through the evaluation of natural and anthropogenic parameters; and (5) assessment of the impacts of coastal engineering works on Ponta D'Areia beach. Results showed variations in the shoreline from -64.63 meters (-3.46 m/year: erosion) to 32.15 meters (2.39 m/year: accretion) from 1996 to 2022, with a projected advance of 157.76 meters (4.94 m/year) and retreat of -123.26 meters (-3.68 m/year) by 2032, and a projected advance of 101.93 meters (1.48 m/year) and retreat of -141.35 meters (-1.63 m/year) by 2042. The morphodynamic state of the beach was identified as dissipative through topographic mapping with a drone, and moderate vulnerability to coastal erosion in Sector I, the marina sector, which had the lowest CEVI of 4. Sector II, the groin sector, had CEVI of 6.37 (moderate

vulnerability), while Sector III, the Lighthouse sector, had a CEVI of 6.8, indicating high vulnerability to coastal erosion. It was possible to observe how meteo-oceanographic processes (waves, littoral drift, tidal currents, winds, and estuarine discharge) are influencing shoreline variation, as well as human interventions (coastal occupation and construction of rigid structures). Coastal accretion intensified at the beach after the anthropogenic intervention with the groin construction. It is concluded that the multitemporal analysis of the shoreline in the study area between 1996 and 2022 revealed significant variations influenced by natural and anthropogenic factors. Even with human interventions to alter the resulting sedimentation caused by meteo-oceanographic agents, these natural processes continue to intensely shape the region's coastal dynamics and are mainly responsible for variations in the shoreline.

Keywords: coastal vulnerability; coastal zone; coastal protection structures.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da praia da Ponta d'areia.	5
Figura 2 - Espigão costeiro na praia da Ponta d'areia..	6
Figura 3 – Unidades geológicas da ilha do Maranhão -MA.	7
Figura 4 – Unidades geomorfológicas da ilha do Maranhão -MA.	8
Figura 5 – Carta de correntes de maré portos de São Luís e Itaqui, Maranhão -MA.	10
Figura 6 – Fluxograma dos materiais e métodos referentes à análise da morfologia costeira por geoprocessamento..	11
Figura 7 – Distribuição dos setores praias da Ponta d'areia, ilha de Maranhão.	13
Quadro 1 – Características das imagens de satélite utilizadas na pesquisa.	14
Quadro 2 – Erro de georreferenciamento das imagens e erro acumulativo do sensor TM.....	15
Quadro 3 – Erro de georreferenciamento das imagens e erro acumulativo do sensor OLI	15
Figura 8 - Variação da linha de costa na praia da Ponta d'areia.....	18
Figura 9 - Variação da linha de costa por setores. A: setor I - Marina. B: setor II - Espigão. C: setor III – Ponta do farol.....	20
Figura 10 - Dunas frontais com vegetação na praia da Ponta d'areia.....	21
Figura 11 – Área à jusante do espigão costeiro, com bancos arenosos, formados por baixa sedimentação em zona de “sombra”. A: preamar. B: baixa-mar.....	22
Figura 12 – Dados obtidos nos transectos gerados para a praia da Ponta d'areia com os parâmetros EPR (m/ano) (a) e NSM (b) do DSAS; período de 1996 a 2009. Valores negativos indicam erosão e valores positivos indicam acreção. Direção dos transectos 1: Ponta do farol e 79: Ponta d'areia.	24
Figura 13 – Taxas de mudanças da LC calculadas pelos parâmetros EPR, NSM e LRR, considerando avanço ou recuo da lc para o período de 1996 a 2009.	25
Figura 14 – Dados obtidos nos transectos gerados para a praia da Ponta d'areia com os parâmetros EPR (m/ano) (a) e NSM (b) do DSAS; período de 2013 a 2022. Valores negativos indicam erosão e valores positivos indicam acreção. Direção dos transectos 1: Ponta do farol e 76: Ponta d'areia.	27
Figura 15 – Taxas de mudanças da LC calculadas pelos parâmetros EPR, NSM e LRR, considerando avanço ou recuo da LC para o período de 2013 a 2022.	28
Figura 16 – Projeção da linha de costa para os anos de 2032 e 2042.....	30
Figura 17- Mapa de localização da praia da Ponta d'areia, São Luís do Maranhão, região nordeste de Brasil.	45

Quadro 4- Matriz de avaliação de impactos ambientais no meio físico decorrentes de obras de engenharia costeira..	51
Figura 18- Ortomosaico da praia da Ponta D'areia.	53
Figura 19- Modelo digital de elevação da praia da Ponta D'areia.....	54
Figura 20- Perfis transversais à praia, gerados a partir do MDE.....	55
Figura 21 – Distribuição dos setores praias e pontos de coleta em campo, Ponta D'areia, ilha de Maranhão.	56
Figura 22 – Distribuição dos indicadores do setor da Marina (I).	57
Quadro 5- Indicadores de vulnerabilidade costeira encontrados no setor I: Marina.	59
Figura 23 – Distribuição dos indicadores do setor do Espigão (II).	61
Quadro 6- Indicadores de vulnerabilidade costeira encontrados no setor..	62
Figura 24 - Dunas frontais com vegetação na praia da Ponta D'areia.....	63
Figura 25 – Área à jusante do espigão costeiro, com bancos arenosos, formados por baixa sedimentação em zona de “sombra”. A: preamar. B: baixa-mar.....	63
Figura 26 – Distribuição dos indicadores do setor da Ponta do farol.	65
Quadro 7- Indicadores de vulnerabilidade costeira encontrados no setor..	67
Figura 27 – Vulnerabilidade costeira da praia da Ponta D'areia, ilha de Maranhão.	68
Quadro 8- Aplicação da matriz de avaliação de impactos ambientais no meio físico decorrentes de obras de engenharia costeira no setor da Marina.	70
Quadro 9- Aplicação da matriz de avaliação de impactos ambientais no meio físico decorrentes de obras de engenharia costeira no setor do Espigão.....	72
Quadro 10- Aplicação da matriz de avaliação de impactos ambientais no meio físico decorrentes de obras de engenharia costeira no setor do Ponta do farol.	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Taxa do ponto final (EPR), movimento líquido (NSM) e taxa de regressão linear (LRR) para o período de 1996 a 2009.	25
Tabela 2 – Taxa do ponto final (EPR), movimento líquido (NSM) e taxa de regressão linear (LRR) para o período de 2013 a 2022.	28
Tabela 3 – Valores em metros de avanço e recuo das projeções para os anos de 2032 e 2042.	30
Tabela 4 – Valores em metros quadrados de avanço e recuo das projeções para os anos de 2032 e 2042.	31
Tabela 5 – Valores de avanço e recuo médio e taxa de variação da linha de costa para os anos de 2032 e 2042.	32
Tabela 6 – Valores totais dos polígonos (m ²) de recuo e avanço para os anos de 2032 e 2042.	33
Tabela 07 – Quantificação de avanço e recuo para os setores I, II e III, com base nas projeções para o ano de 2032.	33
Tabela 08 – Quantificação de avanço e recuo para os setores I, II e III das projeções para o ano de 2042.	34
Tabela 9- Indicadores de vulnerabilidade costeira.	48
Tabela 10- Indicadores de vulnerabilidade costeira, pesos e índice de vulnerabilidade costeira e classificação (setor I Marina).	57
Tabela 11- Indicadores de vulnerabilidade costeira, pesos e índice de vulnerabilidade costeira e classificação. Setor II Espigão.	61
Tabela 12- Indicadores de vulnerabilidade costeira, pesos e índice de vulnerabilidade costeira e classificação. Setor III Ponta do farol.	66

LISTA DE SIGLAS E ABREVEATURAS

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico Brasileiro

DSAS- Digital Shoreline Analysis System

EPR- Taxa do Ponto Final

GPS – Global’ Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)

LC- Linha de Costa

LRR- Taxa de Regressão Linear

MDE - Modelo Digital de Elevação

MMA- Ministério do Meio Ambiente

NSM- Movimento Líquido da Linha Costeira ODS Objetivos de Desenvolvimento sustentável

RGB - Red Green Blue xvi

RMSE - Root Mean Squared Error

SIG - Sistema de Informações Geográficas ou Georreferenciadas

SIRGAS 2000 - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas do Ano 2000

UTM- Universal Transversa de Mercator

ZC- Zona Costeira

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

PNGCII- Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro II

ZCEM- Zona Costeira do Estado do Maranhão

SR- Sensoriamento Remoto

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
EPÍGRAFE	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	xii
LISTA DE TABELAS	xiv
LISTA DE SIGLAS E ABREVEATURAS	xv
SUMÁRIO	xvi
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GERAL	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3 ÁREA DE ESTUDO	5
3.1 GEOLOGIA.....	6
3.2 GEOMORFOLOGIA	7
3.3 CLIMA E METEOROLOGIA.....	8
3.4 OCEANOGRAFIA	9
4 MÉTODOS	11
5 ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA (26 ANOS) DA PRAIA DA PONTA D'AREIA (COSTA NORTE DE BRASIL), ANTES E APÓS A CONSTRUÇÃO DO ESPIGÃO COSTEIRO NA ORLA	12
5.1 INTRODUÇÃO.....	12
5.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	13
5.2.1 Aquisição de imagens	13
5.2.2 Composição colorida	14
5.2.3 Vetorização das linhas de costa	14
5.2.4 Digital Shoreline Analysis System – DSAS.....	16
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5.3.1 Taxa de variação da linha de costa para o período anterior à construção do espigão costeiro (antes de 2013).....	23

5.3.2	Taxa de variação da linha de costa para o período posterior à construção do espigão costeiro (após 2013)	26
5.3.3	Projeção da Linha de Costa para os anos de 2032 e 2042	29
5.3.4	Projeção por setor para o ano de 2032	32
5.3.5	Projeção por setor para o ano de 2042	34
5.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
6	ANÁLISE DA VUNERABILIDADE A EROSÃO COSTEIRA NA PRAIA DA PONTA D’AREIA, ILHA DO MARANHÃO, NORDESTE DO BRASIL	42
6.1	INTRODUÇÃO	42
6.2	ÁREA DE ESTUDO	44
6.3	MATERIAL E MÉTODOS	46
6.3.1	Coleta de dados	46
6.3.2	Análise Laboratorial	46
6.3.2.1	Análise da variação da linha de costa.....	46
6.3.2.2	Análise topográfica e granulométrica	47
6.3.2.3	Classificação quanto à vulnerabilidade costeira à erosão	47
6.3.2.4	Avaliação dos impactos das obras de engenharia costeira.....	49
6.3.2.5	Levantamento planialtimétrico: ortomosaico e MDE para avaliação da zona costeira ...	52
6.4	RESULTADOS	52
6.4.1	Modelo Digital de Elevação da Ponta D’Areia	52
6.4.2	Vulnerabilidade Costeira à Erosão	56
6.4.2.1	Setor I (Marina)	56
6.4.2.2	Setor II (Espigão).....	61
6.4.2.3	Setor III (Farol)	65
6.4.3	Matriz de impactos de obras costeiras no setor 1 MARINA	69
6.4.4	Matriz de impactos de obras costeiras no setor 2 ESPIGÃO	71
6.4.5	Matriz de impactos de obras costeiras no setor 3 PONTA DO FAROL	73
6.5	DISCUSSÃO	75
6.6	CONCLUSÃO	78
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
	REFERÊNCIAS	81
	ANEXO A – Indicadores ambientais de vulnerabilidade costeira	87

1. INTRODUÇÃO

A Lei Nº 7.661, de 16 de maio de 1988, considera a zona costeira como o espaço de interação entre o ar, o mar e a terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, abrangendo uma faixa marítima e outra terrestre (Brasil 1988). Inclui todo o mar territorial de 12 milhas náuticas, contadas da linha de base da costa, e a faixa terrestre que compreende o território político-administrativo dos municípios costeiros, de acordo com o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro II de 1997 (Pngc II), elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente.

A Zona Costeira do Estado do Maranhão (ZCEM) possui 5 setores, sendo eles: (1) Golfão Maranhense, (2) Litoral Oriental, (3) Litoral Ocidental, (4) Baixadas Maranhense e (5) Parque Marinho do Parcel Manuel Luís. Segundo El-Robrini *et al.* (2018), a ZCEM se constitui de “falsas rias” com vales fluviais pleistocênicos afogados pela Última Transgressão Marinha Pós-Glacial.

No setor 1 (Golfão Maranhense) está inserida a praia da Ponta D’Areia, limitada pelo Rio Anil e pelas falésias da Ponta do Farol. Exemplos de trabalhos já realizados neste setor São de Pinheiro (2002), Chagas (2013), Coelho (2018), Araújo (2018), El-Robrini *et al.* (2018), Franco (2018), Lima *et al.* (2020); Cardoso (2020) e Lima *et al.* (2022).

Lima (2020) apontou intervenções antrópicas que interferiram no balanço sedimentar na Ponta D’Areia, como a implantação da Barragem do Bacanga, o aprisionamento do Igarapé da Jansen e a construção de um espigão transversal à linha de costa, inaugurado no ano de 2014.

Sabe-se que a construção de obras de engenharia, como espigões costeiros, modifica a circulação das correntes litorâneas, com o intuito de solucionar problemas pontuais, tal como conter a erosão em pontos específicos das praias, causando ampliação da sua faixa de areia de um lado do espigão (sentido barlar da corrente); ou mesmo reduzindo o volume sedimentar numa área adjacente, causando déficit de deposição no lado oposto do espigão (sentido sotamar da corrente).

Diante disto, é importante que haja o monitoramento do empreendimento implantado, de modo que se observe a sua evolução e eficácia, bem como fazer uma comparação da área antes da implantação do empreendimento, visando compreender as mudanças na dinâmica costeira.

O uso do Sensoriamento Remoto (SR) é de grande valia nestes monitoramentos, pois é capaz de obter informações de objetos da superfície terrestre sem a necessidade de medições diretas. Tal atividade permite a detecção, aquisição e análise de informações extraídas de energia eletromagnética emitida ou refletida por objetos, registradas por sensores remotos (Moraes 2002, Meneses 2012). Segundo Florenzano (2007), o SR é uma tecnologia que utiliza destes artifícios para gerar imagens ou dados que podem ser processados e analisados para diversos fins.

Dependendo das características dos sensores remotos, eles podem ser instalados em diferentes plataformas do tipo aéreas ou orbitais (Florenzano 2007). Os sensores captam diversos espectros eletromagnéticos, há sensores que registram a energia visível e região do infravermelho próximo, e há sensores que produzem energia em micro-ondas para obter imagens durante o dia ou a noite (radar).

A utilização de sensores orbitais em satélites artificiais que realizam a obtenção de dados a bordo permite a repetitividade das informações, bem como um melhor monitoramento dos recursos naturais para grandes áreas da superfície terrestre (Moraes 2002). Os sensores orbitais, segundo Steffen (2006), são instrumentos capazes de produzir imagens da superfície terrestre em diversas bandas simultâneas, estes sensores imageadores funcionam como câmeras digitais.

Para a análise de variações de Linhas de Costa (LC), estes sensores são bastante utilizados, visando a observação de processos de erosão e acreção costeira. A LC delimita o contato entre o oceano e o continente, onde as ações das ondas e das marés têm seu alcance máximo (Ranieri & El-Robrini 2015). Segundo França (2003), ela funciona como um marcador da amplitude, frequência e intensidade das mudanças costeiras, visto que sua delimitação multitemporal nos permite analisar a dinâmica morfossedimentar. Essa análise se dá pelo monitoramento da mobilidade da LC, cujo deslocamento pode ser de dois tipos: avanço ou recuo, além da estabilidade.

Com a aplicação de métodos de análises multitemporais, através do uso de SR e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é possível mapear e monitorar a variação da LC, principalmente para gerar informações que auxiliam na gestão e no planejamento do uso e ocupação na zona costeira.

Outro importante método de avaliação da estabilidade da LC é o uso de índices ou classificações de vulnerabilidade costeira à erosão. Esta é compreendida como o estado ao qual determinados setores da costa são identificados como afetados ou não ao processo de erosão (Gornitz 1991), diante da ação de agentes de natureza física ou antrópica.

Sendo assim, o intuito desta pesquisa é a análise multitemporal da LC (26 anos) e a vulnerabilidade atual à erosão numa praia de macromaré, a Ponta D'Areia - MA, que nos últimos 10 anos vem sofrendo modificações por obras de engenharia, inclusive com a instalação do único espigão da costa norte do Brasil. Busca-se compreender como os processos oceanográficos modificam a costa e, como a interferência antrópica intensifica estas modificações naturais, em função da ocupação, uso e construções sobre os ecossistemas costeiros. A motivação desse estudo está relacionada com a implantação da obra de engenharia transversal à LC, visto que tal estrutura de contenção de erosão é ainda escassa neste litoral de macro-hipermarés.

Para este estudo elencou-se as seguintes questões: (a) Como variou a LC no decorrer de 26 anos? (b) Quais os setores erosivos, deposicionais e estáveis do ponto de vista morfodinâmico, considerando o período antes da construção do espigão costeiro na praia da Ponta D'Areia e após sua construção? A hipótese é de que o espigão conteve parte da erosão costeira na praia da Ponta D'Areia, assim como o assoreamento na embocadura do rio Anil, mas implicou na continuidade da ação erosiva no extremo nordeste da praia.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Análise multitemporal da LC no período de 26 anos na praia da Ponta D'Areia/MA, a sua vulnerabilidade atual à erosão e os impactos de obras de engenharia costeira.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Análise da posição da LC nos anos de 1996, 2003, 2005, 2013, 2017 e 2022, através de imagens LANDSAT 5 TM e LANDSAT 8 OLI;
- Quantificar as taxas de variações da LC (metros e m/ano) de 1996 a 2022 e a previsão para 2032 e 2042, através da aplicação de métodos estatísticos do *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*;
- Avaliar o grau de vulnerabilidade costeira à erosão através da implantação de índices para este fim e observações em campo de indicadores ambientais de erosão;
- Analisar o comportamento morfodinâmico da praia da Ponta D'Areia após a implantação do espigão costeiro.

3. ÁREA DE ESTUDO

A praia da Ponta D'Areia, localizada a sudoeste da ilha do Maranhão, (Figura 1), setor do Golfão Maranhense, possui aproximadamente 2,5 km de extensão, sendo limitada pelo rio Anil e pelas falésias da Ponta do Farol. A praia é caracterizada por Albuquerque (2018) e Lima *et al.* (2022) como ultra dissipativa na baixa-mar e dissipativa sem bancos na preamar. Na direção sudoeste tem-se um espigão costeiro transversal a linha de costa (Figura 2).

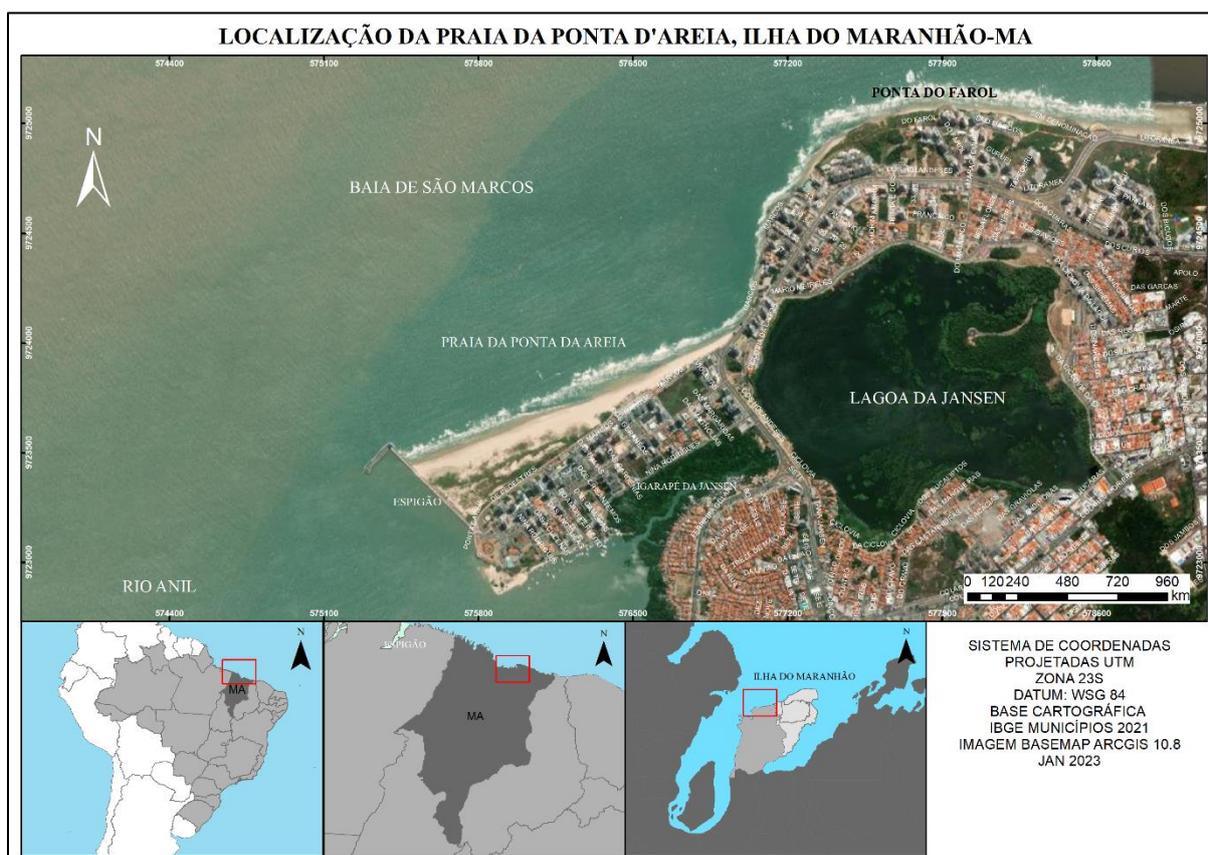


Figura 1 - Mapa de localização da praia da Ponta D'Areia.



Figura 2 - Espigão costeiro na praia da Ponta D'Areia. Fotografia retirada em: 15jul2022.

3.1. GEOLOGIA

A formação geológica de São Luís (Figura 3), segundo o Serviço Geológico do Brasil, se divide em quatro unidades estratigráficas: (1) Depósitos Litorâneos compostos por areias quartzosas de ambientes transicionais costeiros (dunas costeiras, praias, planície arenosa e cordões litorâneos antigos); (2) Depósitos de Pântanos e Mangues formados por siltes e argilas não adensados, maciços e bioturbados; (3) Formação Barreiras com arenitos, arenitos ferruginosos, cascalhos, sedimentos areno-argilosos de ambiente continental a transicional, depositados em sistemas fluviais, canais de maré e planícies de inundação; e (4) Grupo Itapecuru formado por arenitos arcoseanos estratificados, grossos a conglomeráticos, com níveis pelíticos ambiente de canal fluvial e de maré (Crpm 2012).

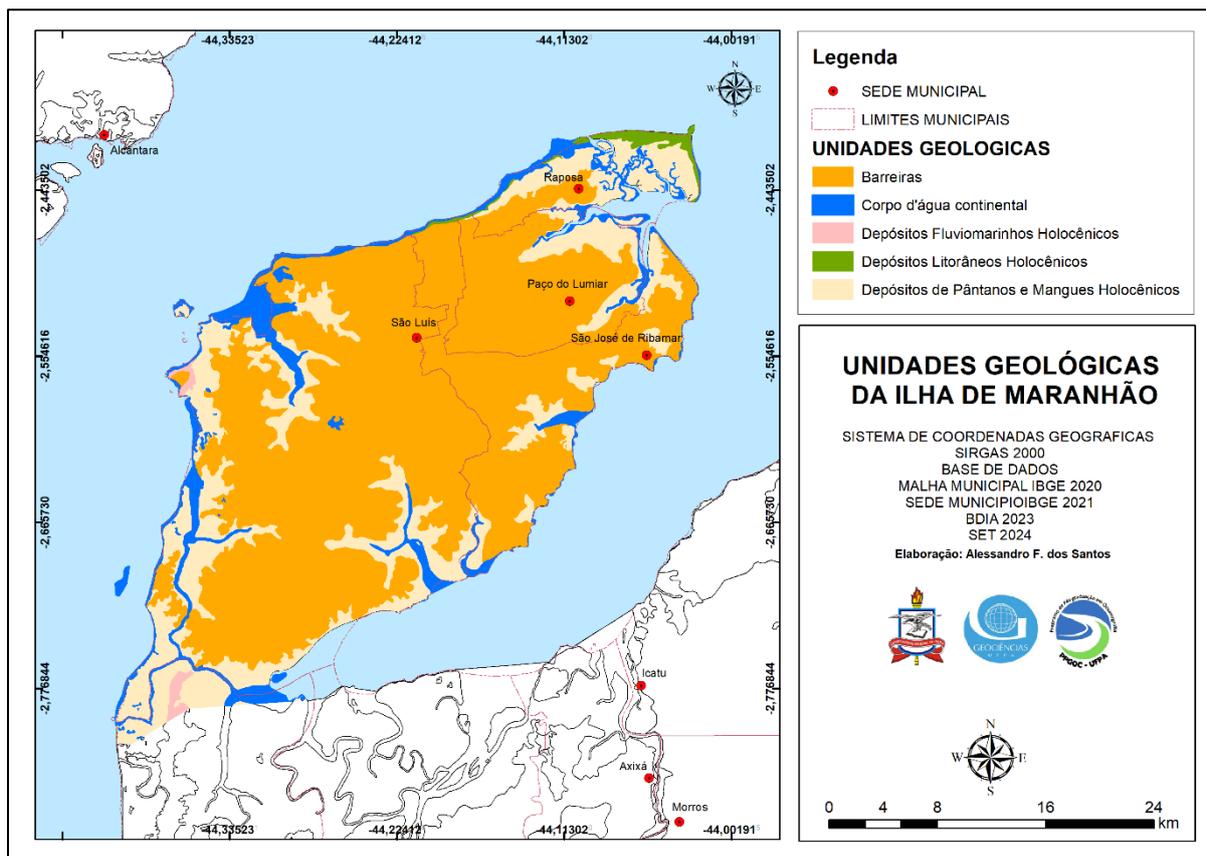


Figura 3 – Unidades Geológicas da ilha do Maranhão -MA.

3.2. GEOMORFOLOGIA

O setor do Golfão Maranhense possui aspectos geológicos composto pela Baixada Maranhense, que são representadas por relevo plano suavemente ondulado que possuem áreas rebaixadas alagáveis nos períodos de maior pluviosidade. Outras formas que compõem a geologia da ZCEM, são os terrenos aluviais e planícies fluviais, estas que formam o litoral maranhense em “falsas rias” (El-Robrini *et al.* 2018).

Neste setor se encontra a baía de São Marcos, uma das baías mais importantes da ZCEM, devido sua hidrodinâmica. Ela possui rios importantes e está em um contexto de ocupação densa, com 1.779,87hab/km² (Ibge 2022). Essa baía é uma vasta zona estuarina e possui dois tipos de morfologia: costa subretilínea com dunas frontais e praias arenosas e costa recortada “falsas rias” El-Robrini *et al.* (2018).

As barreiras costeiras da Ilha de São Luís foram classificadas por Lima *et al.* (2020) em dois tipos de acordo com sua evolução geomorfológica em barreiras de praias anexadas

(*mainland beach*) e barreiras de esporões arenosos (*spits*). As praias do Araçagi, Caolho e Calhau são praias anexadas limitadas por falésias da formação Itapecuru e Cujupe e as praias Panaquatira e Ponta D'Areia são formadas por esporões arenosos (Franco 2018).

A praia da Ponta D'Areia se apresentava geomorfologicamente como um pontal, com forma alongada paralela à costa (Silva 2012; EL-Robrini *et al.* 2006). A praia possui dunas embrionárias ou frontais caracterizadas por depósitos eólicos holocênicos. Segundo El-Robrini *et al.* (2018), a praia possui distintos depósitos sedimentares sendo deslocados de dunas.

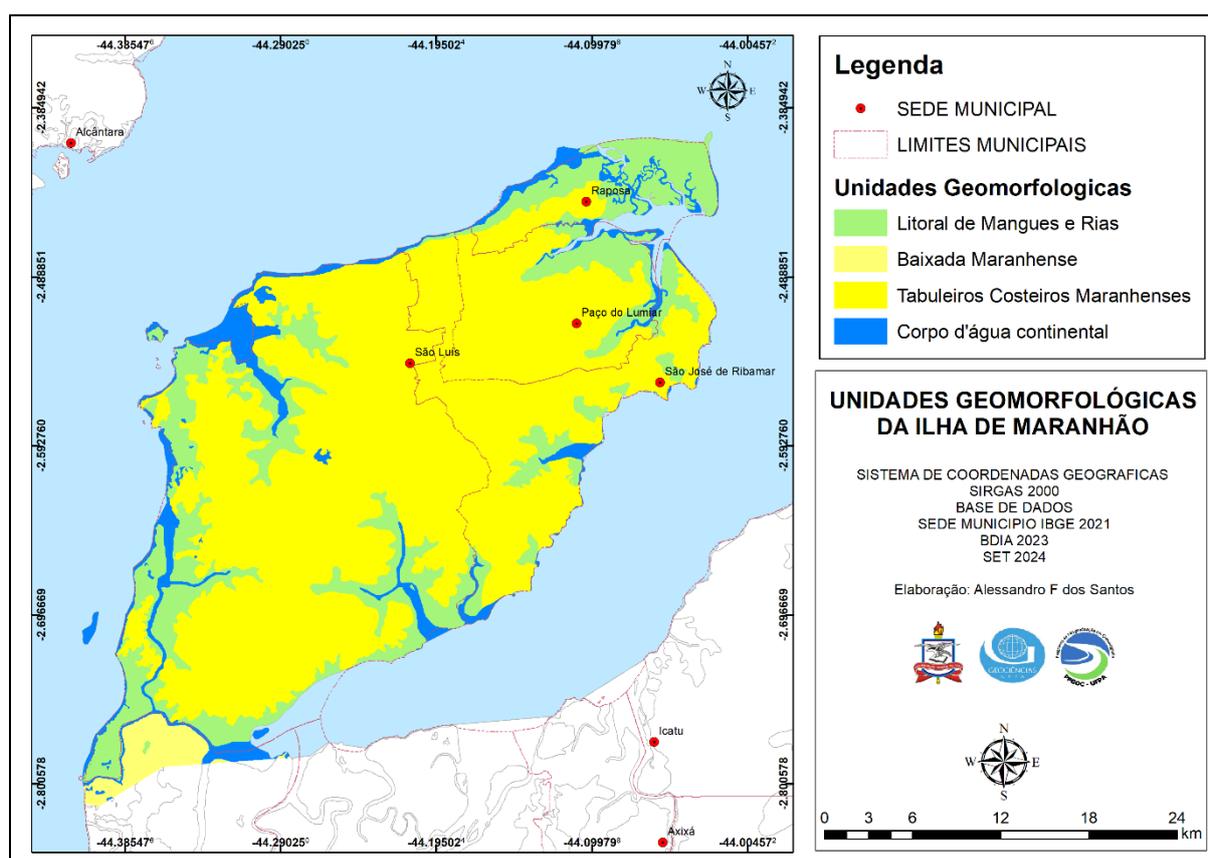


Figura 4 – Unidades Geomorfológicas da ilha do Maranhão -MA.

3.3. CLIMA E METEOROLOGIA

De acordo com Nascimento (2017), no estado do Maranhão o clima tropical é predominante com temperaturas anuais superiores a 26°C. Além disso, as condições atmosféricas são influenciadas pelos Oceanos Atlântico e Pacífico Tropical que são responsáveis pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), regulando o regime de chuvas da região durante o verão e outono austral; e a Zona de Convergência do Atlântico Sul e Frentes

Frias, que são responsáveis pelas chuvas na parte Sul da região nos meses de novembro e dezembro.

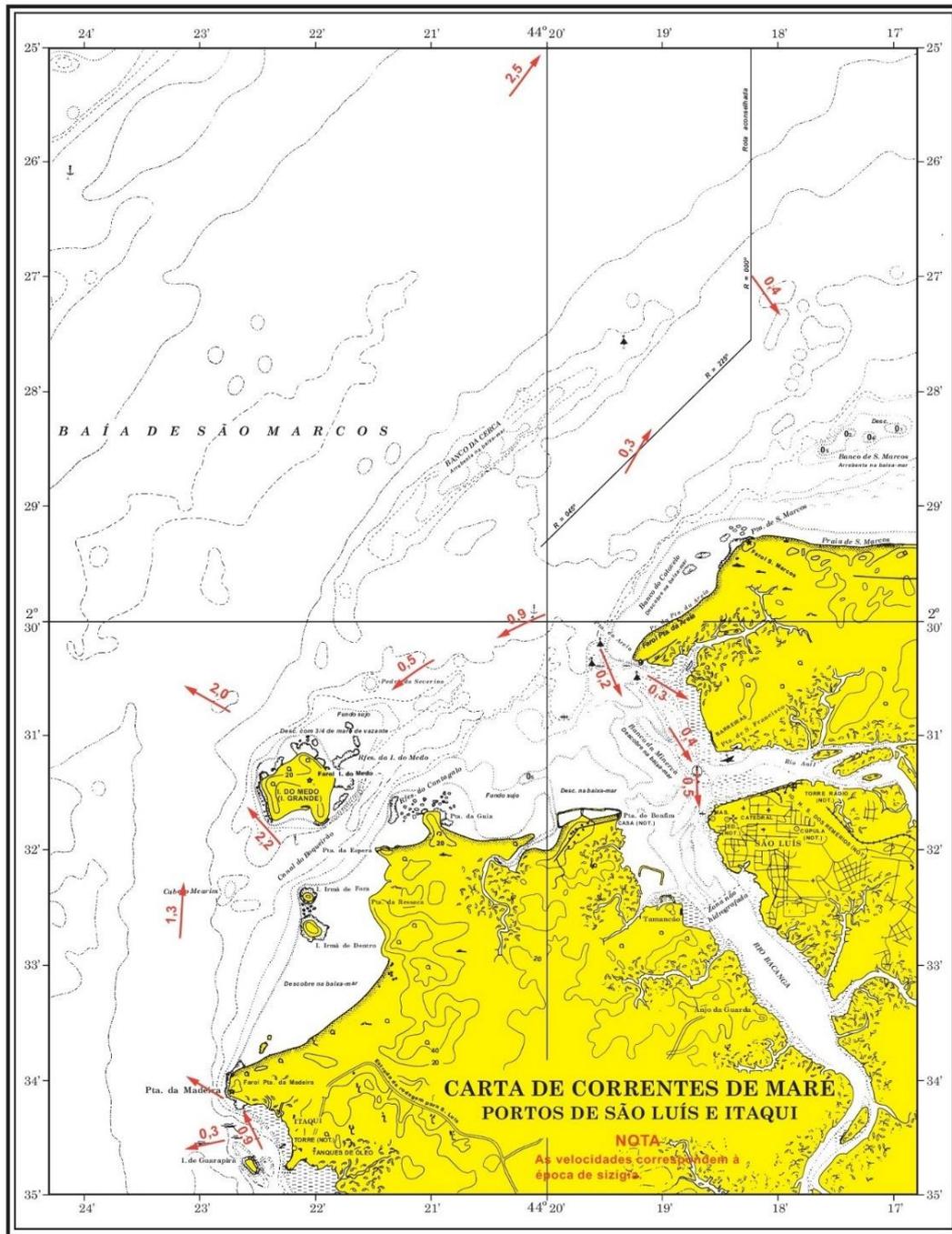
O clima de São Luís, possui dois períodos delimitados, o de chuvas intensas de janeiro a junho, e o seco de julho a dezembro, com média pluviométrica anual de 1.800mm e 2.000 (Santos 2019). O período chuvoso é marcado por elevados valores de umidade relativa do ar (80%), baixa insolação e maior nebulosidade. O período seco há uma forte subsidência provocada pela entrada do sistema de alta pressão subtropical e alta insolação. Isto também intensifica as correntes eólicas. Os ventos alísios de NE são dominantes na região, apresentando velocidade média de variam de 2,1 a 5,9 m/s (EL-Robrini *et al.* 2018).

3.4. OCEANOGRAFIA

O setor do Golfão Maranhense está inserido em um grande cenário hidrodinâmico. De acordo com Chagas (2013), a região possui a presença do regime de maré com periodicidade semidiurna e macro maré com um alcance de 150 km continente adentro. Feitosa (1989) e Muehe (2018) aponta as amplitudes de marés que variam de 4,9m a 7,2m, médias de 6,6 m.

As marés enchentes são responsáveis pela arrebentação das ondas sobre o estirâncio praial, enquanto na maré vazante, as correntes fluem sobre a zona sublitorânea e ao longo dos canais internos da baía de São Marcos (Sobrinho 1998; EL-Robrini *et al.* 2018). As ondas apresentam altura média de 1,5 m de altura. (Lima 2024).

A baía de São Marcos possui um canal central bem desenvolvido e dominado por correntes de vazante seguidos de bancos de areia por todo interior do estuário. De acordo com Chagas (2013); Pereira & Harari (1995), a velocidade das correntes atinge valores acima de 3m/s costa afora. A deriva litorânea tem sentido longitudinal na praia da Ponta D'Areia (Figura 5).



6 HORAS ANTES DA PREAMAR DE SÃO LUÍS

Figura 5 – Carta de Correntes de Maré Portos de São Luís e Itaqui, Maranhão -MA.

4. MÉTODOS

O desenvolvimento desse trabalho foi realizado em três etapas (Figura 6): (1) trabalhos em campo para coleta de dados topográficos e indicadores de vulnerabilidade à erosão costeira; (2) trabalhos em laboratório para processamento de imagens de satélite, criação de vetores de LC, desenvolvimento de perfis topográficos, obtenção de granulometria dos sedimentos e classificação da LC quanto à vulnerabilidade à erosão; (3) integração dos dados para discussão e conclusão acerca dos resultados do comportamento da LC.

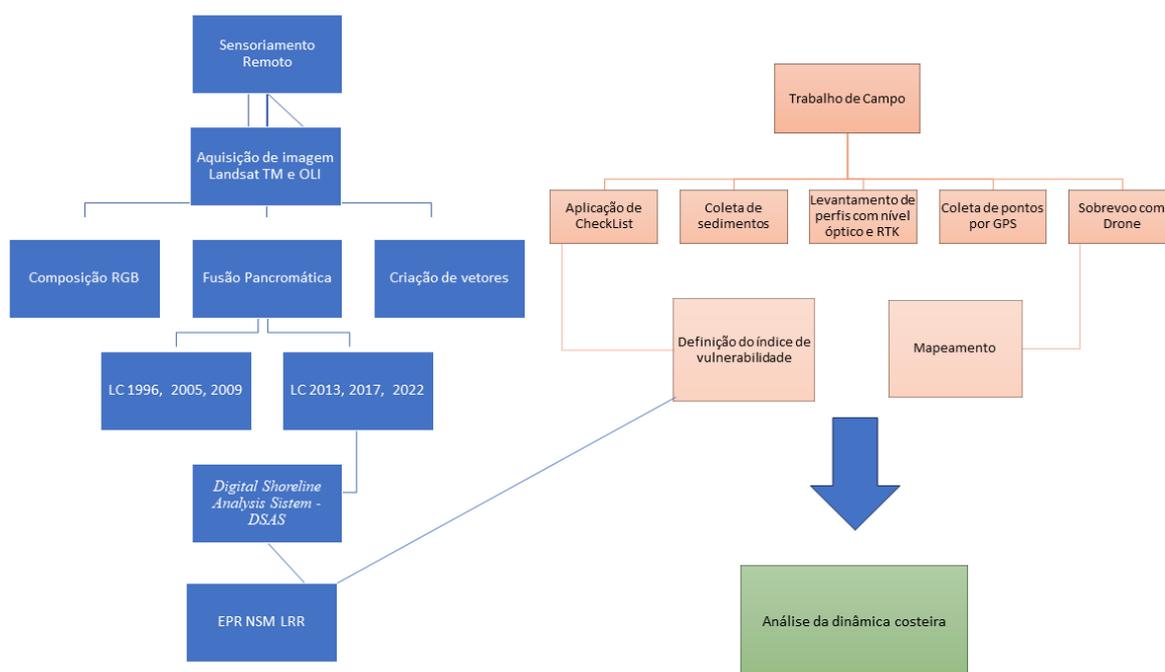


Figura 6 – Fluxograma dos materiais e métodos referentes à análise da morfologia costeira por geoprocessamento. Organizado pelo autor.

5. ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA (26 ANOS) DA PRAIA DA PONTA D'AREIA (COSTA NORTE DE BRASIL), ANTES E APÓS A CONSTRUÇÃO DO ESPIGÃO COSTEIRO NA ORLA

5.1. INTRODUÇÃO

A zona costeira é definida como o espaço de interação entre o ar, o mar e a terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, abrangendo uma faixa marítima e outra terrestre (Brasil 1988). Ela pode ser marcada por um conjunto de processos dinâmicos de erosão, transporte e sedimentação, que ocorrem em várias escalas espaciais, observadas em curto, médio ou longo período, envolvendo um tempo de duração em dias, dezenas e milhares de anos, respectivamente (França 2013).

Na interface de contato entre a terra e o mar se encontra a Linha de Costa (LC) e está sujeita a mudanças provocadas pelas forçantes marinhas (ondas, mares e correntes), continentais (neotectônica, descarga fluvial), atmosféricas (ventos e precipitação) e antrópicas (alteração dos ecossistemas por ação humana). A LC é, portanto, afetada por processos naturais que resultam em erosão, transporte e deposição sedimentar, além das diversas atividades humanas de moradia, lazer, atividades industriais, comerciais, portuárias, turísticas e energéticas (Silva *et al.* 2004; Ranieri & EL-Robrini 2015).

Guerra (1979) denomina a LC como uma zona de contato entre terras emersas e águas do oceano (Guerra 1979), onde os processos físicos e morfodinâmicos são capazes de exercer mudanças (Silva *et al.* 2004), sendo a ação desses processos em diferentes magnitudes e frequências. Assim, a posição da LC é considerada um geoindicador de dinâmica costeira.

França (2003) destaca que ela funciona como um marcador das mudanças costeiras, podendo apontar acreção e/ou erosão. A erosão costeira ocorre pelo recuo da LC devido à erosão. É o deslocamento da LC na direção do interior do continente ou da ilha. Já a avanço costeiro é representada pelo avanço da LC em direção ao mar ou à baía em decorrência de acúmulo sedimentar muitas vezes seguido de crescimento vegetativo. (França 2003). São processos geológicos de longo período, mas que decorrem de uma sequência de ciclos de erosão, acreção e estabilidade da LC que ocorrem em escalas de tempo menores (décadas e anos).

Esta pesquisa teve como objetivo a análise multitemporal de médio período (anos de 1996 a 2022) da LC da praia da Ponta D'Areia (São Luís/MA), que nos últimos 10 anos passou

por modificações oriundas de obras de engenharia, inclusive com a instalação do único espigão da costa norte do Brasil. Destaca-se a importância de se analisar a resposta da evolução costeira com a implantação de tal empreendimento.

5.2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo foi dividida em 3 setores para uma melhor análise, visto que existem distintas feições morfológicas e sedimentares na praia da Ponta D’Areia. Sendo assim, considera-se A: Setor I - Marina. B: Setor II - Espigão. C: Setor III - Ponta do Farol (Figura 7).

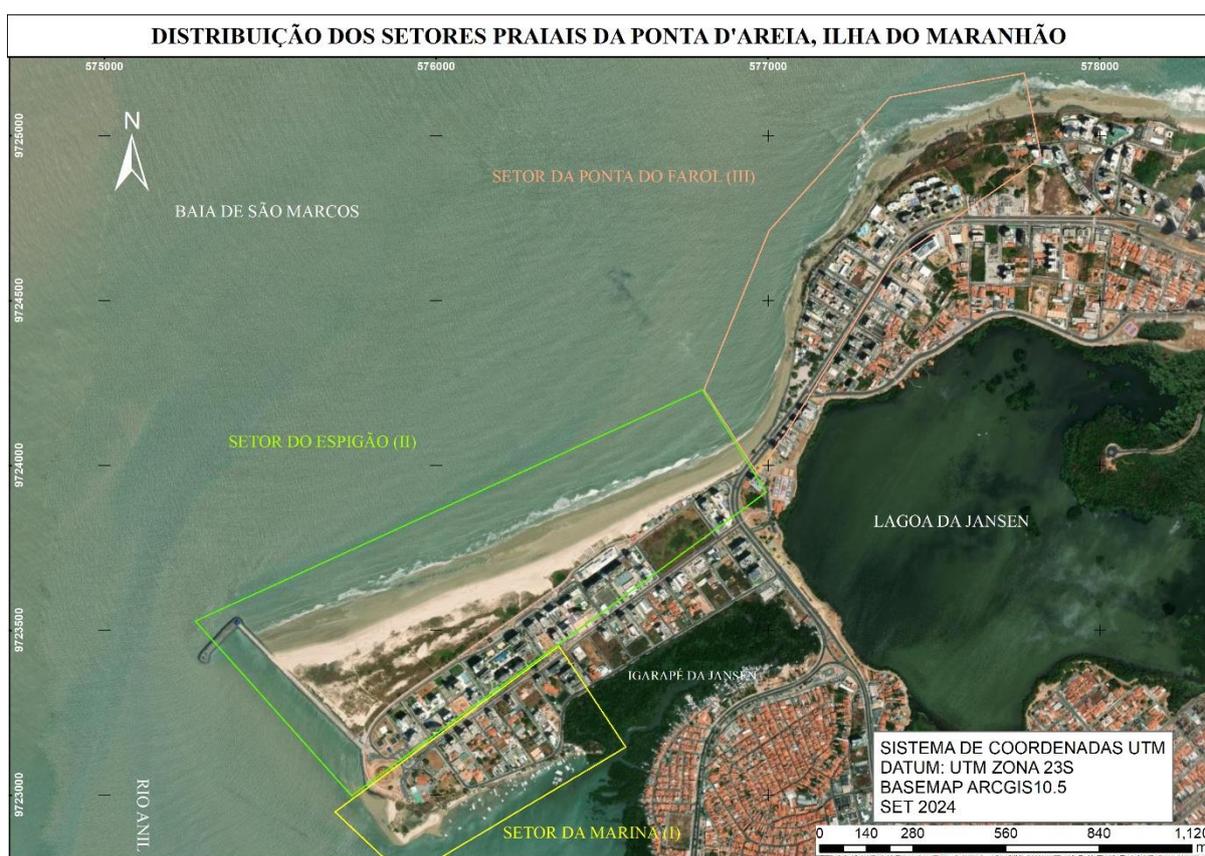


Figura 7 – Distribuição dos setores praias da Ponta D’Areia, ilha de Maranhão.

5.2.1. Aquisição de imagens

Foram selecionadas e adquiridas imagens orbitais georreferenciadas (Quadro 1) do satélite LANDSAT-5 TM dos anos de 1996, 2005 e 2009 e imagens do satélite LANDSAT-8 OLI dos anos de 2013, 2017 e 2022, para o critério da escolha das imagens foram selecionadas as que tinham com pouca cobertura de nuvens, além disso o programa LANDSAT é um dos que apresentam uma série temporal grande que abarca o anos mais antigos, as imagens foram

adquiridas através do site *Global Visualization Viewer (Glovis)* da USGS (*United States Geological Survey* - Serviço Geológico dos Estados Unidos). Após a aquisição das imagens, realizou-se o tratamento digital no programa *ArcMap versão 10.5* e interpretação visual das imagens, abrangendo uma escala temporal de 26 anos.

Satélite/ Sensor	Órbita ponto	Ano	Resolução espacial (m)	Bandas	Condição da maré
LANDSAT 5 TM	220 / 062	18/04/1996	Multiespectral: 30	432	baixa
LANDSAT 5 TM	220 / 062	21/06/2005	Multiespectral: 30	432	Enchente/ vazante
LANDSAT 5 TM	220 / 062	14/05/2009	Multiespectral: 30	432	Enchente/ vazante
LANDSAT 8 OLI	220 / 062	13/07/2013	Multiespectral: 30 Pancromática: 15	543	Enchente/ vazante
LANDSAT 8 OLI	220 / 062	10/06/2017	Multiespectral: 30 Pancromática: 15	543	Enchente/ vazante
LANDSAT 8 OLI	220 / 062	11/11/2022	Multiespectral: 30 Pancromática: 15	543	baixa

Quadro 1 – Características das imagens de satélite utilizadas na pesquisa. Fonte: Organizado pelo autor com base nos metadados das imagens e observação visual das marés.

5.2.2. Composição colorida

Após a seleção das imagens foi realizada a técnica de processamento digital de imagem (PDI), que inclui fazer a composição das imagens (RGB). Nas bandas R4G3B2 para LANDSAT 5 TM e R5G4B3 para LANDSAT 8 OLI, a fim de realçar as feições superficiais e auxiliar a interpretação delas. Isto facilita também na vetorização das imagens em um Sistema de Informação Geográfica-SIG.

5.2.3. Vetorização das linhas de costa

Para maior precisão do trabalho de laboratório foi considerado o erro geométrico de cada imagem LANDSAT, fornecido nos metadados disponíveis no site *Glovis* - USGS para assim, obter o erro geométrico cumulativo linear e areolar, essa etapa é importante pois se

considera o erro do georreferenciamento RMSE disponível no metadados das imagens. A partir de regra de três simples, estabeleceu-se a margem de erro geométrico acumulativo para as imagens, somando os erros (Quadros 2 e 3).

Ano	Satélite/ Sensor	Erros RMSE (m)	Erro para medidas lineares (m)
18/04/1996	LANDSAT 5 TM	7,876	
21/06/2005	LANDSAT 5 TM	4,534	
14/05/2009	LANDSAT 5 TM	4,798	
-	-	Erro geométrico acumulativo entre as imagens	17,208

Quadro 2 – Erro de georreferenciamento das imagens e erro acumulativo do Sensor TM.

Fonte: Organizado pelo autor

Ano	Satélite/ Sensor	Erros RMSE (m)	Erro para medidas lineares (m)
13/07/2013	LANDSAT 8 OLI	7,430	
10/06/2017	LANDSAT 8 OLI	7,493	
11/11/2022	LANDSAT 8 OLI	8,095	
-	-	Erro geométrico acumulativo entre as imagens	23,018

Quadro 3 – Erro de georreferenciamento das imagens e erro acumulativo do Sensor OLI.

Fonte: Organizado pelo autor

Somaram-se os erros lineares e obtiveram-se 17,2 m para o sensor TM e 23,01 m para o sensor OLI como parâmetro para as medidas lineares, a quantificação linear e as medidas areolares que estiverem abaixo do parâmetro estabelecido através dos erros geométrico acumulativo foram desconsideradas, pois estes auxiliam nas análises de taxas de variação (metros e m/ano), sendo possível identificar os valores confiáveis para a análise.

Com a composição RGB foram criadas linhas vetoriais (*polylines*) em formato *shapefile* no *Software ArcMap 10.5*. Adotou-se como parâmetro principal de referência da LC, a linha de vegetação de remanescentes de mangue e da vegetação de restinga das dunas, considerou-se também, para as áreas urbanizadas, o lado esquerdo do espigão costeiro, os muros de arrimo e as calçadas e passarelas, permitindo a delimitação dos vetores (LC de 1996, 2003, 2005, 2013, 2017 e 2022). Além disso, houve a quantificação de áreas de acreção e de erosão costeira classificadas através do *Digital Shoreline Analysis System (DSAS 5.0)*. Os resultados incluíram cálculo de áreas (m²), taxas de avanço e recuo da LC (m e m/ano) e porcentagens (%) por comparações dos resultados entre setores da LC, todos organizados em tabelas e ilustrados em mapas temáticos.

5.2.4. Digital Shoreline Analysis System – DSAS

O DSAS é uma extensão desenvolvida pela *United States Geological Survey – USGS*, que opera no *software ArcGIS*. Ele tem a função de calcular as mudanças da posição da LC, que ocorre ao longo dos anos. A partir dos vetores de LC digitalizados, é gerado uma série de transectos a partir de uma linha de base (*baseline*) criada para medir com uma maior precisão as taxas referentes a variação da LC (Ranieri & El-Robrini 2015).

O DSAS permite medir as distâncias de deslocamento da LC através dos seguintes métodos estatísticos: 1) *Shoreline Change Envelope (SCE)* – Envelope de Mudança da Costa: responsável por calcular a distância entre as linhas extremas (a mais distante e a mais próxima da linha de base); 2) *Net Shoreline Movement (NSM)* – Movimento Líquido da Costa: calcula a distância entre a linha mais recente e a mais antiga; 3) *End Point Rate (EPR)* – Taxa de ponto final: calcula a variação espacial das linhas de costa dividindo pelo tempo total da análise; 4) *Linear Regression Rate (LRR)* – Taxa de regressão linear: realiza um cálculo de regressão linear simples; 5) *Weighted Linear Regression Rate (WLR)* – Taxa de regressão linear ponderada: calcula a taxa de regressão linear ponderada, Intervalo de Confiança (LCI/WCI), Erro padrão (LSE/WSE) e R-quadrado (LR2 WR2). O DSAS possibilita também a previsão de

linhas futuras, pois segundo Brindeiro (2018), a partir de uma linha de base (*baseline*) é possível estimar tendências à erosão e à deposição/acrecção costeira.

Para esta pesquisa foram utilizados os parâmetros NSM, EPR e LRR. O recuo da LC se dá devido à erosão e é representado nesses parâmetros por valores negativos após a estatística do DSAS. O avanço da LC em direção ao mar, estuário ou baía ocorre em decorrência de acúmulo sedimentar ou pelo crescimento vegetativo. É representado por valores positivos após a estatística do DSAS.

Para o estudo da projeção da LC foi aplicado a função da ferramenta DSAS 5.0 que utiliza os parâmetros de LRR para simular o comportamento da linha de costa em dois períodos, 10 e 20 anos futuros. Esse modelo é chamado de Filtro de Kalman.

Portanto, para a LC desses estudos, a projeção é para os anos de 2032 e 2042. Após a aplicação do filtro são utilizadas técnicas de pós-processamento para a avaliação poligonal de acresção e erosão costeira, traçando transectos perpendiculares para o cálculo de medidas lineares e poligonais da avaliação das áreas acrescidas e recuadas.

5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O deslocamento da LC na praia da Ponta D'Areia, segundo El-Robrini et al. (2018) pode ser de 4 tipos dinâmicos: erosivo, progradacional, estável e estável por obra de engenharia. As faces praias erosivas anteriormente identificadas por Vasconcelos (2016) situam-se após a área acrescida pelo espigão, devido o bloqueio das correntes, sendo as áreas erosivas representadas apenas por 3,76%, em comparação às áreas acrecionais na praia. Esse deslocamento erosivo da LC atingiu taxas de recuo entre 0,5 e 4 m/ano. Quanto ao processo de deposição, nas proximidades do espigão, houve o avanço das dunas embrionárias e frontais. Elas são desenvolvidas pelo bloqueio do transporte eólico causado pelo espigão, ocupando o espaço de acomodação adjacente a ele na praia.

O monitoramento da LC utilizando imagens multitemporal possibilitou o estudo de sua evolução nos últimos 26 anos na praia da Ponta D'areia. De modo geral, ao vetorizar as Linhas de Costa dos anos 1996, 2003, 2005, 2013, 2017 e 2022 e fazer a sobreposição delas, notou-se dois intervalos dinâmicos da LC (1996 a 2005 e 2013 a 2022) expressos nas Figura 8 e Figura 9.

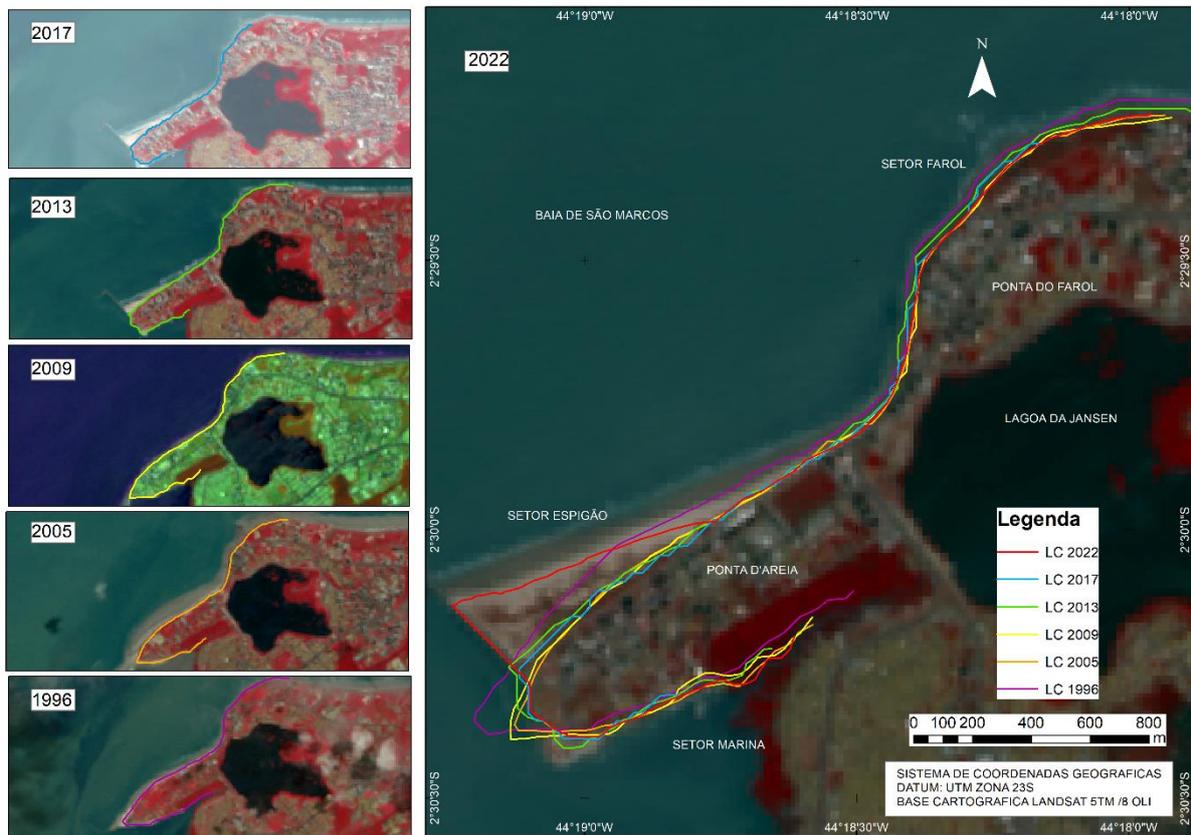


Figura 8 - Variação da linha de costa na praia da Ponta D'areia.



(A)



(B)

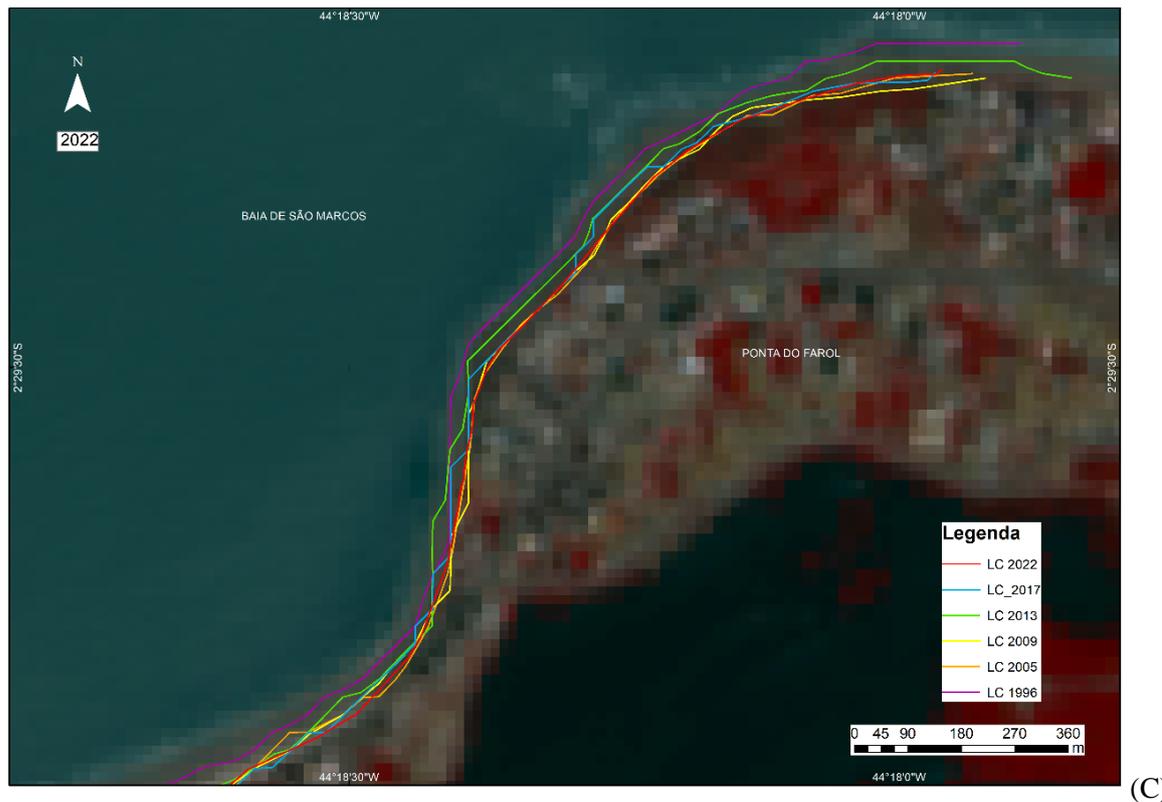


Figura 9 - Variação da linha de costa por setores. A: Setor I - Marina. B: Setor II - Espigão. C: Setor III – Farol.

Ao analisar a LC de 1996 (Figura 8), seus contornos e a morfologia de pontal arenoso, nota-se que a LC atual se apresentava avançada em relação as LC de anos posteriores (2003 a 2017), com recuo apenas nas margens do Igarapé da Jansen. Contudo, a LC de 2022 foi a que teve maior avanço em direção ao mar, devido a avanço e estabilização de dunas frontais sobre a faixa arenosa acrescida pelo espigão (Figura 10).

As obras de engenharia costeira exercem rápida influência na dinâmica costeira, podendo alterar o balanço sedimentar (Cirm 2018). Este balanço sedimentar positivo é favorecido pelas dunas com vegetação (Figura 10).



Figura 10 - Dunas Frontais com vegetação na praia da Ponta D'areia. Fotografia retirada em: 15jul2022.

As dunas frontais propiciam estabilidade ou acreção costeira. Elas podem apresentar ou não cobertura vegetal. São pequenos morros que não ultrapassam os 10m de altitude, compostos fundamentalmente pelos sedimentos oriundos do transporte eólico do sistema praia-duna e das superfícies de deflação ativas, principalmente, no período de escassez de chuvas no ano (Marques 2022)

As dunas na praia da Ponta D'Areia se estabilizaram por conta do anteparo artificial causado pelo espigão costeiro. Com o início das obras do espigão em 2011 e sua entrega em 2014, é possível notar, avanço nas LC dos anos de 2013, 2017 e 2022 (Figura 8).

Portanto, a praia possui tendência atual de acreção na porção adjacente ao espigão costeiro (Figura 9b), a barlamar da corrente longitudinal ou deriva litorânea de sedimentos. Anteriormente à construção do espigão, identificou-se o recuo da LC nos vetores de LC de 2003 e 2005, e entre o período 1996 e 2013. Este processo erosivo permaneceu no extremo nordeste do setor II (parte central) e no setor III da praia (Figuras 9b e 9c). Após o espigão (sotamar da corrente) a tendência também é erosiva (Figura 9a).

Neste extremo sudoeste da praia, nota-se indícios ainda baixos da erosão costeira, com redução do arco praial e da largura, sendo esta porção atualmente representada por bancos arenosos (Figura 11) formados por uma zona de sombra a jusante do espigão (zona de deposição após perda da energia de ondas refratadas no espigão).

Embora haja diminuição na sedimentação à sotamar do espigão costeiro, a sua localização em região de foz estuarina é ainda favorecida por aporte sedimentar fluviomarinho,

amenizando o processo erosivo que tende a se instalar nesta zona quando se tem um espigão costeiro interceptando a LC.



Figura 11 – Área à jusante do espigão costeiro, com bancos arenosos, formados por baixa sedimentação em zona de “sombra”. A: preamar. B: baixa-mar. Fotografia retirada em: 15jul2022.

Segundo Cirm (2018), a deriva litorânea é afetada com a construção de espigões costeiros, pois estes retem os sedimentos que estão disponíveis para o transporte longitudinal ou transversal na porção submersa e subaérea da praia. Por reter sedimentos, o espigão costeiro acumula sedimentos a balamar e erode a sotamar, sendo utilizado como obra de intervenção para alimentação secundária de praias para estabilizá-las.

Passos (2004), Farias (2008), Costa (2020) também destacaram o efeito de bloqueio da deriva litorânea nas praias de Camburi (SP), Iracema (CE) e Jaboatão do Guararapes (PE), respectivamente.

Em todos esses locais o comportamento dos efeitos do espigão costeiro como obra de proteção ocasionou mudanças à linha de costa, diminuindo ou intensificando os efeitos erosivos da costa, contudo quando comparado com a praia da Ponta D’Areia, destaca-se que esta teve uma rápida sedimentação, onde de 2013 a 2022 teve um aumento da extensão praial de cerca de 100,39 m, adjacente ao espigão costeiro. Isto se deve ao fato de que a Ponta D’Areia está localizada num contexto de hiper-macromarés, cujas correntes costeiras são potencializadas por tal fenômeno, bem como a capacidade no transporte de sedimentos finos vindos do estuário.

Além da praia apresentar uma posição geográfica contígua às incidências dos ventos alísios de NE, que transportam ainda mais sedimentos, depositados no anteparo artificial que é o espigão.

As mudanças provocadas pelas forçantes marítimas, atmosféricas e antrópicas são responsáveis pelo transporte sedimentar nos ambientes costeiros, sendo que, os principais agentes transformadores da morfologia praial são as ondas e marés que retrabalham e redistribuem sedimentos inconsolidados, além de transportá-los perpendicularmente ou longitudinalmente, depositando-o ou retirando-o ao longo da costa, sendo responsável pelos processos erosivos e deposicionais (Cirm 2018).

5.3.1. Taxa de variação da linha de costa para o período anterior à construção do espigão costeiro (antes de 2013)

Oitenta e um transectos foram gerados a partir das LC's dos anos estudados, visando obter o cálculo das taxas de variação da LC. Destes transectos, 67 indicaram erosão e 14 apontaram acreção costeira. Para as taxas negativas, a média foi de -3,46 m/ano, correspondente ao deslocamento médio da LC de -64,63 m em direção ao continente. Contudo, a acreção correspondeu a uma taxa média de 2,39 m/ano, aproximadamente 32,15 m de deslocamento em direção ao oceano (Figura 12). Em dados gerais a área possuía dois setores com recuo costeiro (erosão) e um setor de avanço (acresção) antes da construção do espigão.

Em uma zona costeira em equilíbrio ou sem ação estrutural, o balanço sedimentar natural é normalmente representado por uma melhor proximidade de equivalência entre entrada e saída de sedimentos ao longo dos sistemas costeiros (Cirm 2018).

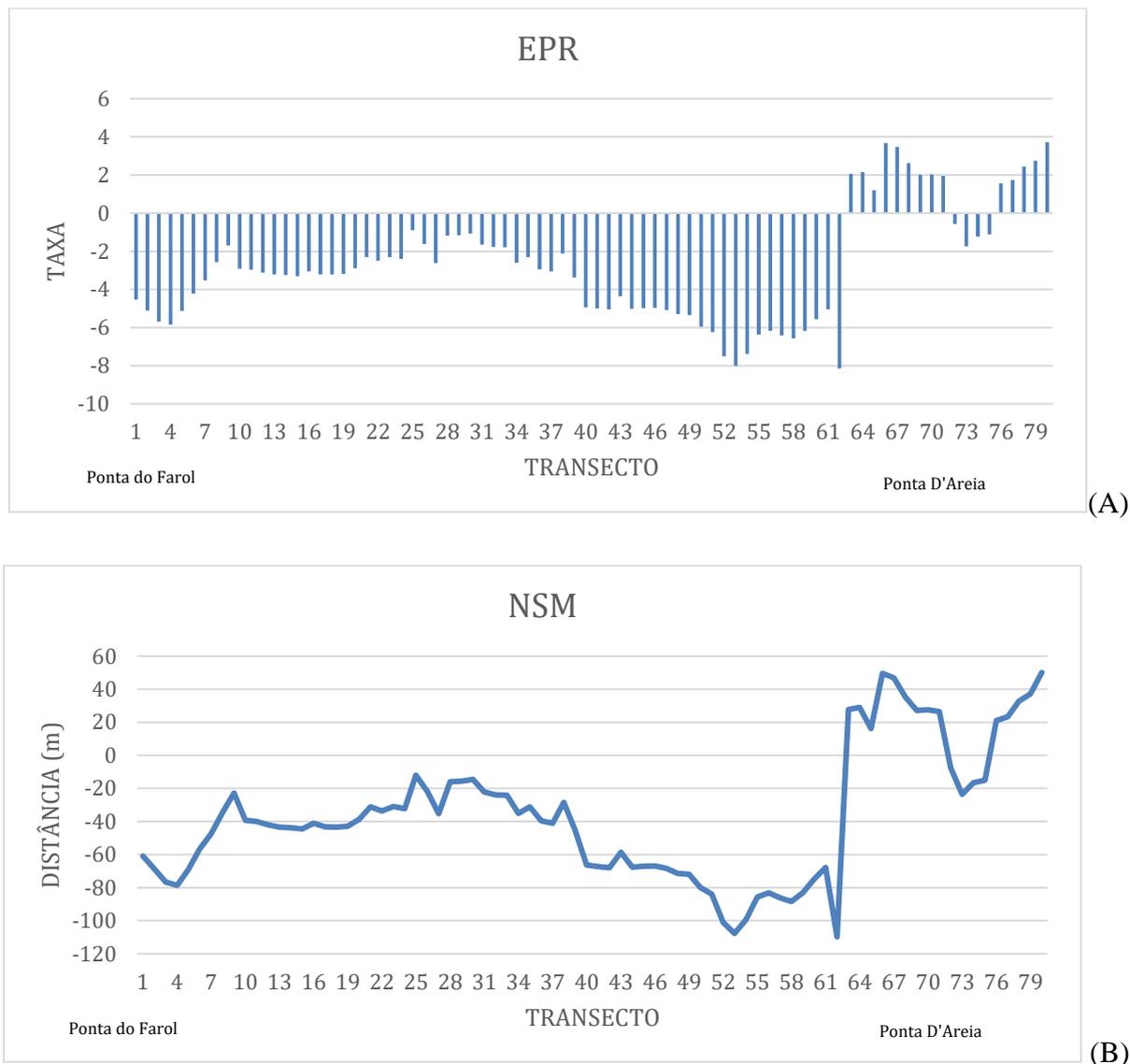


Figura 12 – Dados obtidos nos transectos gerados para a praia da Ponta D'Areia com os parâmetros EPR (m/ano) (A) e NSM (B) do DSAS; período de 1996 a 2009. Valores negativos indicam erosão e valores positivos indicam acresção. Direção dos transectos 1: Ponta do Farol e 79: Ponta D'Areia.

O parâmetro do NSM teve médias de recuo, indicada pelas taxas negativas de -64,63 m e, média de acresção de 32,15 m. Com 24 transectos indicando acresção, o que corresponde aos transectos localizados na zona de retenção de sedimentos do espigão.

No LRR (Figura 13), foram identificados 80 transectos sendo 66 com valores negativos e 14 com valores positivos, a erosão calculada foi de até -8,98 m/s, com uma taxa média de -3,49 m/ano. Já a média de avanço foi de 2,55 m/ano.

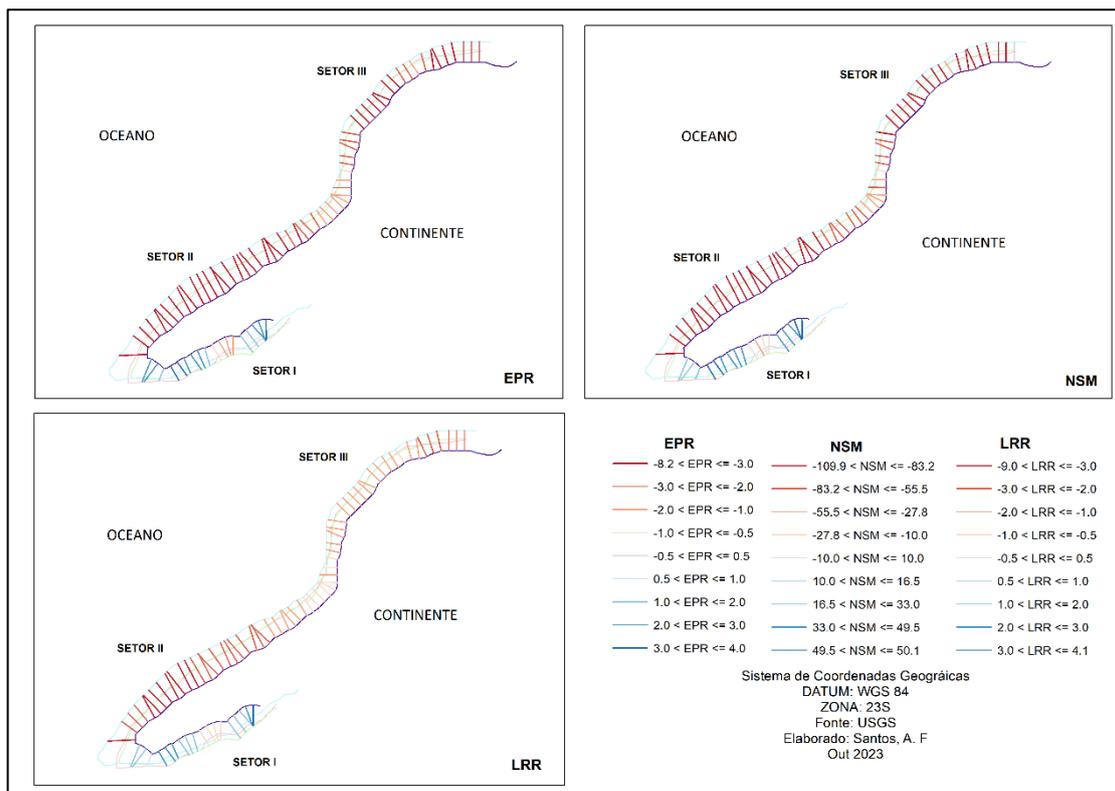


Figura 13 – Taxas de mudanças da LC calculadas pelos parâmetros EPR, NSM E LRR, considerando avanço ou recuo da LC para o período de 1996 a 2009. Fonte: Organizado pelo autor.

De acordo com os dados estatísticos dos parâmetros do DSAS, a área estudada é predominantemente erosiva, contudo, ao setorizar a área notamos as seguintes dinâmicas conforme a tabela abaixo:

Tabela 1 – Taxa do Ponto Final (EPR), Movimento Líquido (NSM) e Taxa de Regressão Linear (LRR) para o período de 1996 a 2009.

	SETOR I MARINA	SETOR II ESPIGÃO	SETOR III PONTA DO FAROL
EPR (m/ano)			
AVANÇO	2.39	-	-
RECUO	-2.56	-4.81	-3.02
MÁXIMO AVANÇO	3.72	-	-
MÁXIMO RECUO	-8.15	-8	-5.84
NSM (m)			
AVANÇO	32.15	-	-

RECUO	-34.47	-64.71	-40.71
MAXIMO AVANÇO	49.49	-	-
MAXIMO RECUO	-109.81	-107.73	-76.57
LRR (m/ano)	SETOR I MARINA	SETOR II ESPIGÃO	SETOR III PONTA DO FAROL
AVANÇO	2.55	-	-
RECUO	-2.30	-4.80	-3.38
MAXIMO AVANÇO	4.09	-	0
MAXIMO RECUO	-8.98	-8.24	-6.03

Fonte: Organizado pelo autor

No setor da Marina (I), dos transectos gerados pelo DSAS, 77,78 % representaram acreção e 22,22 % erosão, com isso o avanço médio possui taxa de 3,72 m/ano. As taxas médias de acreção foram de 32,15 m (NSM) e 2,55 m/ano (LRR) (Tabela 1 e Figura 14). É o setor que apresenta uma dinâmica de acreção segundo a variação da Linha de Costa.

No setor do espigão (II), conforme a Figura 13 e os dados da tabela 1, nota-se que majoritariamente as taxas dos parâmetros acusaram tendência erosiva de 1996 a 2009, com taxa média de -4,81 m/ano (EPR), recuo de -64,71 m (NSM) e -4,80 m/ano (LRR).

No setor da Ponta do Farol (III), todos os parâmetros acusaram tendência erosiva, com taxa média de -3,02 m/ano (EPR), recuo/erosão foram de -40,71 m (NSM) e -3,38 m/ano (LRR).

5.3.2. Taxa de variação da linha de costa para o período posterior à construção do espigão costeiro (após 2013)

Comparando ao período anterior à implantação do espigão costeiro (1996-2009), nota-se no período mais recente (2013-2022) que a sudoeste da praia está se intensificando a erosão.

De modo geral, 83 transectos foram gerados a partir das LC's dos anos estudados, visando obter o cálculo das taxas de variação da LC. Destes transectos (Figura 14), 42 indicaram erosão e 41 apontaram acreção costeira. Para as taxas negativas, a média foi de -2,00 m/ano, correspondente ao deslocamento da LC de cerca de -16,62 m em direção ao continente. Contudo, a acreção correspondeu a uma taxa média de 5,59 m/ano, aproximadamente 59,04 m de deslocamento em direção ao oceano. Portanto, os setores do espigão (II) e da marina (I)

foram os setores que apresentaram avanço da Linha de Costa, destacando o setor do Espigão com a maior acumulação entre os setores (Figura 15).

Cirm (2018), explica que o transporte de sedimentos e o balanço sedimentar podem sofrer alterações por causas antrópicas, resultando em processos mais erosivos e/ou deposicionais, sendo a deposição como o maior ganho de sedimentos do que perda num dado ambiente.

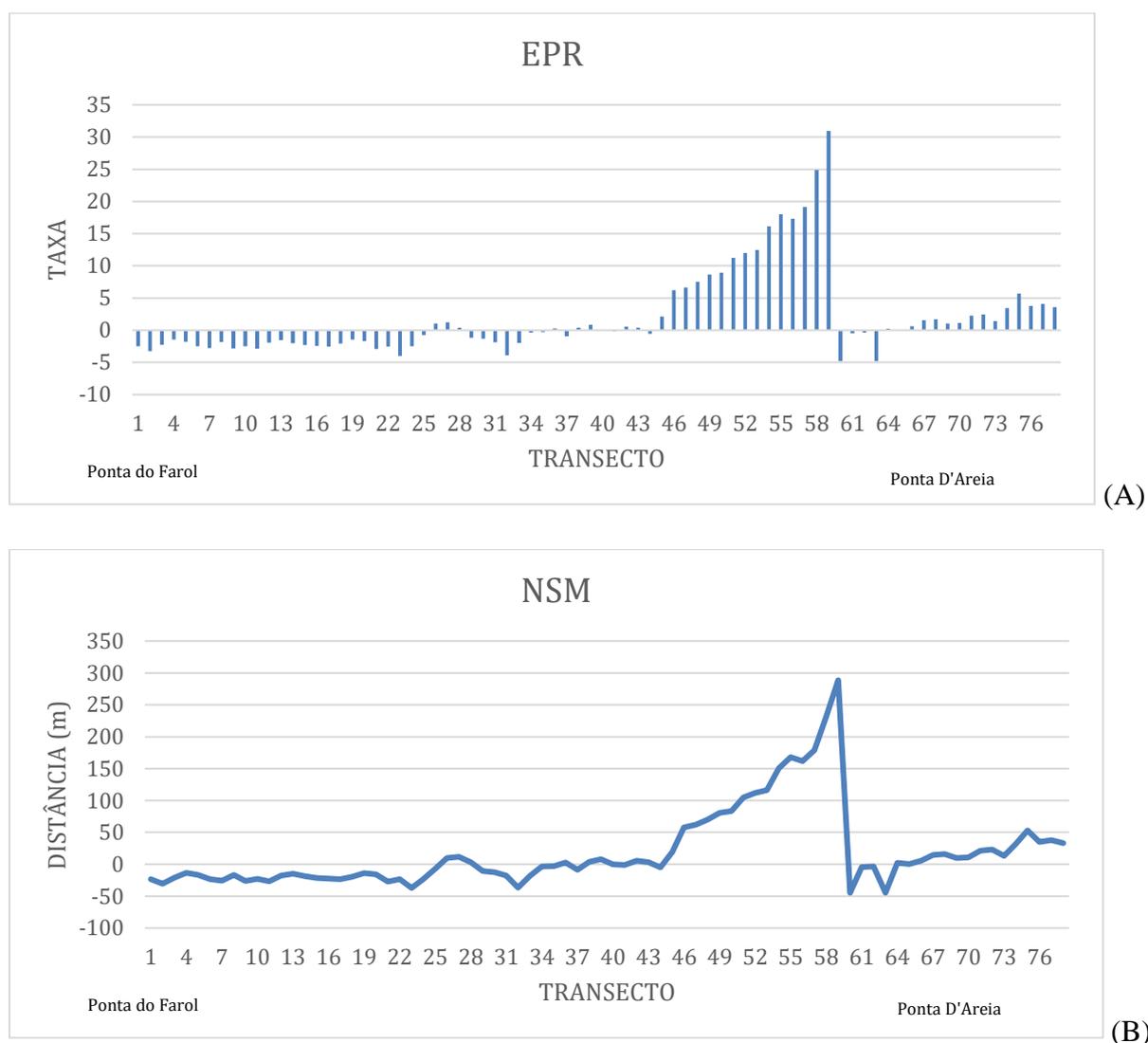


Figura 14 – Dados obtidos nos transectos gerados para a praia da Ponta D'Areia com os parâmetros EPR (m/ano) (A) e NSM (B) do DSAS; período de 2013 a 2022. Valores negativos indicam erosão e valores positivos indicam acreção. Direção dos transectos 1: Ponta do Farol e 76: Ponta D'Areia.

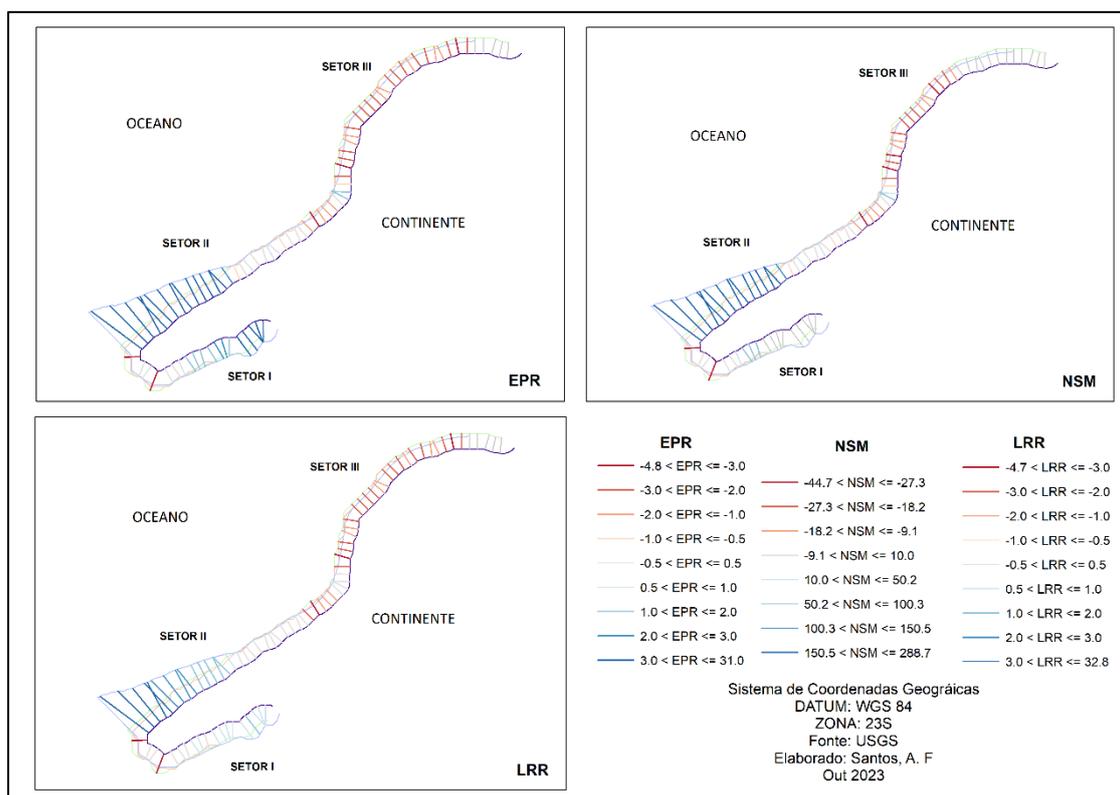


Figura 15 – Taxas de mudanças da LC calculadas pelos parâmetros EPR, NSM E LRR, considerando avanço ou recuo da LC para o período de 2013 a 2022.

Tabela 2 – Taxa do Ponto Final (EPR), Movimento Líquido (NSM) e Taxa de Regressão Linear (LRR) para o período de 2013 a 2022.

EPR (m/ano)	SETOR I MARINA	SETOR II ESPIGÃO	SETOR III PONTA DO FAROL
AVANÇO	2.20	9.76	1.16
RECUO	-2.59	-1.14	-2.29
MAXIMO AVANÇO	5.69	30.93	1.42
MAXIMO RECUO	-4.79	-3.91	-3.98
NSM (m)	SETOR I MARINA	SETOR II ESPIGÃO	SETOR III PONTA DO FAROL
AVANÇO	20.56	100.39	10.75
RECUO	-24.21	-10.67	-21.35
MAXIMO AVANÇO	16.08	288.66	11.64
MAXIMO RECUO	-44.67	-36.46	-37.1

LRR (m/ano)	SETOR I MARINA	SETOR II ESPIGÃO	SETOR III PONTA DO FAROL
AVANÇO	0.94	10.35	-
RECUO	0.94	-1.15	-2.23
MAXIMO AVANÇO	1.81	32.72	-
MAXIMO RECUO	-4.61	-3.8	-3.79

Fonte: Organizado pelo autor.

O setor da Marina (I), situado a sotamar do espigão, tem apresentado tendência acumulativa de sedimentos. 90% dos transectos apontam avanço, considerando o período pós espigão, a média das taxas de EPR são de 2,20 m/ano de acresção e -2,59 m/ano de erosão. Com avanço de 20,56 m (NSM) e 0,94 m/ano (LRR) (Tabela 2 e Figura 14). Embora as taxas apontem erosão, segundo os dados tabulados, os transectos erosivos encontram-se a sotamar do espigão, onde a erosão acaba sendo maior.

No setor do espigão (II), nota-se que majoritariamente os parâmetros acusaram tendência acumulativa, tendo os maiores dados de acumulação com avanço médio de 9,76 m/ano (EPR), e acreção em direção a linha d'água de 100,39 m (NSM) e 10,35 m/ano (LRR).

No setor da Ponta do Farol (III), todas as taxas dos parâmetros acusaram tendência erosiva, com recuo médio de -2.23 m/ano (EPR), a erosão foi de -21,35 m (NSM) e -2,23 m/ano (LRR).

5.3.3. Projeção da Linha de Costa para os anos de 2032 e 2042

De modo geral, a partir da criação de transectos distribuídos na área de estudo, foi possível quantificar e qualificar os cenários de projeção para 10 e 20 anos (Figura 16) em medidas lineares que estão organizados na tabela 6. Os dados não foram válidos e/ou confiáveis, mas representam um resultado em relação ao uso da projeção com DSAS em ambiente com estrutura costeira, como um espigão transversal à linha de costa.

Os dados projetados em ambiente antropizado por obra de engenharia costeira não tiveram resultados, conforme o esperado, apresentando uma tendência contrária ao estado atual de evolução costeira. Ressaltando-se assim que o método de projeção pode não ser adequado nesses casos de grande interferência antrópica. Os dados gerados são apresentados a seguir.



Figura 16 – Projeção da linha de costa para os anos de 2032 e 2042.

Para o cenário de 2032, para uma aferição estimada, a praia da Ponta D’Areia apresenta um recuo médio estimado de -36,82 metros e avanço médio de 49,42 metros (Tabela 3). Sendo assim, possuindo uma maior acreção costeira do que erosão.

Já para a década posterior (2042), a estimativa aponta um maior recuo, após a verificação da aferição, o parâmetro erosivo possui uma média de erosão de - 32,79 metros, em contrapartida a 29,71 metros de avanço médio.

Tabela 3 – Valores em metros de avanço e recuo das projeções para os anos de 2032 e 2042.

VALORES EM METROS 2032			
Avanço máximo	157.76	Recuo máximo	-123.26
Avanço mínimo	7.51	Recuo mínimo	-3.2
Avanço médio	49.415	Recuo médio	-36.82

VALORES EM METROS 2042			
Avanço máximo	101.93	Recuo máximo	-141.35
Avanço mínimo	7.95	Recuo mínimo	-3.83
Avanço médio	29.71	Recuo médio	-32.79

Fonte: Organizado pelo autor.

A partir da análise dos polígonos gerados no estudo das projeções, foram identificados os setores que apresentaram maior avanço e recuo da linha de costa. De modo geral, a praia da Ponta D'Areia apresentou uma estimativa de média de erosão de 10.666,65 metros quadrados para o ano de 2032 e 13.814,32 metros quadrados médios de avanço, nesse sentido a avanço é maior que a erosão para 2032 (Tabela 4).

Já a projeção para a década seguinte, 2042, em valores médios, a Ponta D'Areia apresenta maior recuo, com 28.901,44 metros quadrados. Já o avanço médio geral é de 26.221,00 metros quadrados.

Tabela 4 – Valores em metros quadrados de avanço e recuo das projeções para os anos de 2032 e 2042.

VALORES EM M² PARA 2032			
AVANÇO MÁXIMO	33.827,46	RECUO MÁXIMO	-23.009,22
AVANÇO MÍNIMO	115,46	RECUO MÍNIMO	-1.954,85
AVANÇO MÉDIO	13.814,32	RECUO MÉDIO	-10.666,65

VALORES EM M² 2042			
AVANÇO MÁXIMO	77.072,16	RECUO MÁXIMO	-11.0598,98
AVANÇO MÍNIMO	409,26	RECUO MÍNIMO	-1.539,73
AVANÇO MÉDIO	26.221,00	RECUO MÉDIO	-28.901,44

Fonte: Organizado pelo autor.

Por fim, para ressaltar e para maior entendimento da área estudada, a seguir é tratado os efeitos erosivos e progradacionais por setores, visto que cada setor possui uma dinâmica costeira diferente do outro, sendo mais erosivo, ou mais acrescido.

5.3.4. Projeção por setor para o ano de 2032

Para compreender a dinâmica de erosão e de acreção das áreas em m², a partir da metodologia dos polígonos de mudança, foram identificadas as áreas de erosão e acreção (Tabela 5).

Tabela 5 – Valores de avanço e recuo médio e taxa de variação da Linha de Costa para os anos de 2032 e 2042.

10 ANOS FUTUROS					
SETOR MARINA		SETOR ESPIGÃO		SETOR FAROL	
AVANÇO MÉDIO (m)	43.01	AVANÇO MÉDIO	26.77	AVANÇO MÉDIO	16.65
TAXA (m/ano)	4.301	TAXA	2.6766	TAXA	1.664
RECUO MÉDIO (m)	-15.50	RECUO MÉDIO	-88.26	RECUO MÉDIO	-20.49
TAXA	1.550	TAXA	8.8256	TAXA	2.049

20 ANOS FUTUROS					
SETOR MARINA		SETOR ESPIGÃO		SETOR FAROL	
AVANÇO MÉDIO (m)	56.59	AVANÇO MÉDIO	64.95	AVANÇO MÉDIO	22.40
TAXA (m/ano)	2.829	TAXA	3.247	TAXA	1.120
RECUO MÉDIO (m)	16.17	RECUO MÉDIO	83.81	RECUO MÉDIO	32.56
TAXA (m/ano)	0.808	TAXA	4.190	TAXA	1.628

Fonte: Organizado pelo autor.

Tabela 6 – Valores totais dos polígonos (m²) de recuo e avanço para os anos de 2032 e 2042.

10 ANOS		20 ANOS	
RECUO	AVANÇO	RECUO	AVANÇO
7631.67	33827.46	12450.04	51679.8
113623,86	27255.07	136254.05	78980.33
35034.94	21803.4	53606.01	26665.89

Fonte: Organizado pelo autor.

A projeção da LC para o setor da marina (setor I) apresenta predominantemente avanço costeiro, considerando a média futura para 2032, o setor da marina tem taxa de avanço de $\pm 4,3$ metros ao ano e com avanço médio de 43 metros, já os dados erosionais apresentaram média de recuo de 15,50 e taxa de 1,55 metros por ano. As áreas totais estimadas de recuo e avanço para a década estão estimadas em $\pm 33.827,46$ m² de área acrescida e $\pm 7.631,67$ de áreas recuadas.

Para o setor do espigão a LC se comportou com uma taxa de avanço de $\pm 2,67$ metros ao ano e com avanço médio de 26,77 metros, já os dados erosionais apresentaram média de recuo de 88,26 e taxa de 8,22 metros por ano, portanto a LC do setor do espigão (setor II) é predominantemente acrescido. Para áreas totais, a projeção para o setor para 2032 acusam uma área acrescida de 27.255,07 m² e 113623,86 m² de área erosional.

A projeção para 2032 para o setor da Ponta do Farol (setor III), aponta uma taxa de avanço de $\pm 1,65$ metros ao ano e avanço médio de 16,65 metros, já os dados erosionais apresentaram média de recuo maior de 20,49 e taxa de 2,4 metros por ano. Em áreas totais, o setor apresenta 35.034,94 m² de recuo e 21.803,94 m² de avanço.

Tabela 07 – Quantificação de avanço e recuo para os setores I, II e III, com base nas projeções para o ano de 2032.

VALORES EM M ² POR SETOR PARA 2032					
SETOR MARINA		SETOR ESPIGÃO		SETOR PONTA DO FAROL	
AVANÇO MÁXIMO	101,93	AVANÇO MÁXIMO	61,76	AVANÇO MÁXIMO	30,56
AVANÇO MÍNIMO	23,66	AVANÇO MÍNIMO	9,53	AVANÇO MÍNIMO	7,95
AVANÇO MÉDIO	43,01	AVANÇO MÉDIO	26,77	AVANÇO MÉDIO	16,65
RECUO MÁXIMO	35,29	RECUO MÁXIMO	141,35	RECUO MÁXIMO	41,31

RECUO MÍNIMO	3,83	RECUO MÍNIMO	20,23	RECUO MÍNIMO	9,36
RECUO MÉDIO	15,50	RECUO MÉDIO	88,26	RECUO MÉDIO	20,49

Fonte: Organizado pelo autor.

5.3.5. Projeção por setor para o ano de 2042

A projeção da LC para setor da marina apresenta predominantemente avanço costeiro, considerando a média futura para 2042, o setor da marina (I) tem taxa de avanço de $\pm 2,82$ metros ao ano e com avanço médio de 56,59 metros, já os dados erosionais apresentaram média de recuo de 16,17 e taxa de 0,8 metros por ano. As áreas totais estimadas de recuo e avanço para a década estão estimadas em $\pm 12.450,04 \text{ m}^2$ de área acrescida e $\pm 51.679,8 \text{ m}^2$ de áreas recuadas.

Para o setor do espigão (II), a LC se comportou com uma taxa de avanço de $\pm 3,24$ metros ao ano e com avanço médio de 64,95 metros, já os dados erosionais apresentaram média de recuo de 83,81 e taxa de 4,19 metros por ano, portanto a LC do setor do espigão é predominantemente erosiva. Para áreas totais, a projeção para o setor para 2042 acusam uma área acrescida de $78980,33 \text{ m}^2$ e erosional de $136254,05 \text{ m}^2$.

A projeção para 2042 para o setor da Ponta do Farol (III), aponta uma erosão maior com taxa de avanço de $\pm 1,12$ metros ao ano e avanço médio de 22,40 metros, já os dados erosionais apresentaram média de recuo maior de -32,56 metros e taxa de -1,6 metros por ano. Em áreas totais o setor apresenta $53.606,01 \text{ metros m}^2$ e $26.665,89 \text{ m}^2$ de avanço.

Tabela 08 – Quantificação de avanço e recuo para os setores I, II e III das projeções para o ano de 2042

VALORES EM M² POR SETOR PARA 2042

SETOR MARINA		SETOR ESPIGÃO		SETOR PONTA DO FAROL	
AVANÇO MÁXIMO	141,38	AVANÇO MÁXIMO	157,76	AVANÇO MÁXIMO	39,98
AVANÇO MÍNIMO	34,91	AVANÇO MÍNIMO	7,51	AVANÇO MÍNIMO	14,61
AVANÇO MÉDIO	56,59	AVANÇO MÉDIO	64,95	AVANÇO MÉDIO	22,40
RECUO MÁXIMO	47,58	RECUO MÁXIMO	123,26	RECUO MÁXIMO	60,44
RECUO MÍNIMO	3,2	RECUO MÍNIMO	33,92	RECUO MÍNIMO	16,26
RECUO MÉDIO	16,17	RECUO MÉDIO	83,81	RECUO MÉDIO	32,56

Fonte: Organizado pelo autor.

5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A zona costeira de São Luis está sujeita a processos modeladores do relevo: fatores atmosféricos, hidrológicos e oceanográficos, e pela interferência humana, principalmente no que se refere a ocupação, a urbanização e a construção de obras costeiras. Nesse sentido, a praia da Ponta D'Areia foi alvo de estudo, visto que é um local com intensas modificações. Os efeitos da mudança morfológica da Ponta D'Areia resultam de processos de interação entre o continente e o mar, mas com influência de construção de obra de engenharia costeira. Antes da construção do espigão costeiro, a fisiografia da costa se apresentava de forma alongada, e com processos de erosão se sobressaindo em relação ao acresção os processos dominantes gerados pelas marés e ventos, são favorecidos pelo gradiente plano da praia.

O objetivo desse trabalho considera a análise multitemporal de médio período (anos de 1996 a 2022) da LC da praia da Ponta D'Areia (São Luís/MA), que nos últimos 10 anos passou por modificações oriundas de obras de engenharia, inclusive com a instalação do único espigão da costa norte do Brasil. Houve a necessidade de entender como os processos erosivos e deposicionais se distribuíam antes e depois do espigão.

O estudo propôs a avaliação antes e depois da construção do espigão, com base no sensoriamento remoto e na análise e aplicação dos parâmetros do DSAS como metodologia de avaliação da mudança da LC. De modo geral, tendo como resultado principalmente valores negativos dados pelos transectos, que indicam erosão antes da construção do espigão costeiro, portanto taxas médias negativas de -3,46 m/ano, correspondente ao deslocamento da LC de cerca de -64,63 m em direção ao continente. Já o balanço de acreção com taxa média de 2,39 m/ano e 32,15 m de deslocamento em direção ao oceano.

A análise dos dados pós espigão aponta uma dominância da acreção visto que a acreção correspondeu a uma taxa média de 5,59 m/ano, aproximadamente 59,04 m de deslocamento em direção ao oceano, tendo como destaque a acumulação no setor do espigão (setor II), proporcionado pelo desenvolvimento de dunas frontais e avanço da LC, deixando-a mais estável em relação aos processos erosivos.

A previsão da LC na praia da Ponta D'Areia para os anos de 2032 e 2042, indicaram um recuo costeiro significativo, especificamente no setor do espigão, isso mostra que em

ambientes controlados e altamente antropizados com obras de engenharia costeira que alteram a dinâmica sedimentar, a metodologia da projeção não é eficaz. Destaca-se a importância de monitorar continuamente a resposta da evolução costeira com a implantação de tal empreendimento a fim de dar suporte ao gerenciamento costeiro.

REFERÊNCIAS

Abreu Valdir Braga, Paula Davis Pereira de, Moraes Jäder Onofre de. 2024. Análise das mudanças da linha de preamar máxima em um trecho da Praia do Cumbuco (Caucaia-CE) com aplicação da ferramenta digital Shoreline Analysis System (DSAS). *Revista Equador*, **12**(2): 72-94, mar. Disponível em: <https://doi.org/10.26694/equador.v12i2.14192>. Acesso em: 10 jul. 2024.

Albuquerque Saulo Santiago de. 2018. *Estratigrafia, morfodinâmica e evolução de um esporão arenoso em ambiente macromaré*: Ponta da Areia, São Luis - MA. MS Dissertation Curso de Oceanografia, Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, 117 p.

Application - GloVis. 2022. *Imagens landsat 5 TM*. Disponível em: <https://glovis.usgs.gov/app>. Acesso em: 26 abr. 2022.

Application - GloVis. 2022. *Imagens landsat 8 OLI*. Disponível em: <https://glovis.usgs.gov/app>. Acesso em: 26 abr. 2022.

Araújo R. R. 2014. *Clima e vulnerabilidade socioespacial: uma avaliação dos fatores de risco na população urbana do município de São Luís (MA)*. PhD Theses, Programa de Pós-Graduação em Geografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista, Campus de Presidente Prudente, SP, 289p.

Asp N. E. 2013. *Dinâmica de ondas de areia na Baía de São Marcos (Ponta da Madeira/MA): observações e modelagem numérica*. MS Dissertation, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, xiv, 78p.

Baía L. B., Ranieri L. A., Rosario R. P. 2021. Análise multitemporal da variação da linha de costa em praias estuarinas de macromaré na Amazônia oriental. *Geociências*, São Paulo, Online, 40: 231-244.

Batista E. M.; Martins O. F. M., Souza Filho O. F. M. 2007. Monitoramento da linha de costa do Parque Nacional do Cabo Orange através da análise multitemporal de imagens de sensores remoto. In: INPE, 15º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Florianópolis. *Anais[...]*. p. 21-26.

Brasil. *Lei nº 7.661*, de 16 de maio de 1988. Disponível em: <https://www.lexml.gov.br/urn/urn:lex:br:federal:lei:1988-05-16;7661>. Acesso em: 19 jul. 2024.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. 2018. *Panorama da erosão costeira no Brasil* [recurso eletrônico]. Brasília, DF, Ministério do Meio Ambiente-MMA, Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Ambiental Territorial; Organização Dieter Muehe.

Brindeiro Francisco Oricélio da Silva. 2018. *Erosão costeira e variabilidade da linha de costa da praia do Balbino, Cascavel - Ceará*. MS Dissertation, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 120p. Disponível em: <http://siduece.uece.br/siduece/trabalhoAcademicoPublico.jsf?id=85485>. Acesso em: 24 jul. 2024.

Cardoso, K. E. O.; Santana, C. G.; Lisboa, D. C. S.; Rocha, L. N.; Rangel, A. N.; Muller, R. M. L. Avaliação da dinâmica da paisagem, visando às mudanças ambientais perante a construção do espigão costeiro na praia da Ponta D'Areia, São Luís - MA. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 2176-7270, p. 161-179, 2020.

Cerveira, G. S. *Origem e evolução da Lagoa da Jansen*. Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão - UFMA, Trabalho de Conclusão do Curso de Oceanografia, p. 48-51, 2018.

CIRM (Comissão Interministerial para os Recursos do Mar). *Guia de diretrizes de prevenção e proteção à erosão costeira*. Brasília: CIRM, 2018. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/publicacoes/Final_Guia-de-Diretrizes_09112018-compressed.pdf. Acesso em: 25 out. 2023.

Coelho, G. T. F.; Sales, L. L. N. Ocupação do espaço urbano: observações históricas e a expansão da Península da Ponta D'Areia em São Luís - MA entre os anos de 2004 e 2016. *Educação Ambiental em Ação*, v. 1, p. 1, 2018.

Castro Scottá dos Passos, Rafael de. *Variação morfotextural da praia de Camburi, Vitória – ES, após engordamento artificial*. 2004. 81 p. MS Dissertation, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2004.

Dubreuil Vincent, Fante Karime Pechutti, Planchon Olivier, Sant'Anna Neto, João Lima. 2018. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. *Confins* [online], (37): <https://doi.org/10.4000/confins.15738>.

El-robrini, M.; Santos, J. H. S.; Lima, L. G.; Santos, A. L. S.; Santos, M. C. F. V.; Souza, U. D. V. Panorama da erosão costeira no Brasil - Maranhão. In: Muehe, Dieter (Org.). *Panorama da Erosão Costeira no Brasil*. Brasília, DF: MMA, 2018. p. 167-239.

Farias menezes, Athos; de Souza Pereira, Pedro; Mikosz Gonçalves, Rodrigo. Uso de geoindicadores para avaliação da vulnerabilidade à erosão costeira através de sistemas de informações geográficas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 11, n. 1, p. 276-296, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.1.p276-296>. Acesso em: 21 jul. 2024.

Farias, Eduardo Guilherme Gentil de. *Aplicação de técnicas de geoprocessamento para a análise da evolução da linha de costa em ambientes litorâneos do Estado do Ceará*. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza,

2008. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/1362>. Acesso em: 19 jul. 2024.

Farinaccio, Alessandro; Tessler, Moysés Gonzalez. Avaliação de impactos ambientais no meio físico decorrentes de obras de engenharia costeira - uma proposta metodológica. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v. 10, n. 4, p. 419-434, dez. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.5894/rgci210>. Acesso em: 19 jul. 2024.

Ferreira, Matheus Seguints. *Morfodinâmica da Praia da Ponta D'Areia, São Luís-MA*. 2018. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) — Curso de Oceanografia, Universidade Federal da Bahia, São Luís - MA, 2018.

Florenzano, T. G. *Iniciação em sensoriamento remoto*. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

França C. F. de. Pimentel M. A. S., Araújo F. A. 2022. *Dinâmica costeira através da análise de indicadores. Estudos de caso: ilhas de Mosqueiro, Cotijuba, Marajó e Ajuruteua (Brasil), Beira (Moçambique) e Santiago de Cuba [recurso eletrônico]*. Ananindeua, PA, Itacaiúnas, 182 p.

França C. F. & Souza Filho P. W. M. 2003. Análise das mudanças morfológicas costeiras de médio período na margem leste da ilha de Marajó (PA) em imagem Landsat. *Revista Brasileira de Geociências*, **33**(2):127-136.

Gornitz, V. Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, v. 89, p. 379-398, 1991.

Guerra A. J. T. 1997. *Novo dicionário geológico geomorfológico*. 1. ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 648 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?id=223450&view=detalhes>. Acesso em: 19 jul. 2024.

Juara Alves Costa, Grenda. *Integração de parâmetros morfodinâmicos para o entendimento da erosão costeira no município de Jaboatão dos Guararapes (PE) – Brasil*. 2020. 112 p. MS Dissertation, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.

Jansen Franco, Brunno. *Análise do índice de vulnerabilidade costeira no setor oeste da região metropolitana de Fortaleza*. 2021. 41 p. MS Dissertation, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

Landsat - Land Remote Sensing Satellite. *Embrapa*, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>. Acesso em: 19 jan. 2021.

Lima Leonardo Gonçalves de *et al.* 2024. Caracterização sedimentar das praias arenosas da Ilha do Maranhão. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 17 (3): 1672-1696, maio. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.3.p1672-1696>. Acesso em: 20 jul. 2024.

Lima, Jailson Cavalcante. *Erosão costeira e seus efeitos no potencial recreacional das praias do litoral de Caucaia (Ceará, Brasil): problemas e consequências no desenvolvimento do*

turismo. Orientador: Davis Pereira de Paula. 2021. 130 f. MS Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza – Ceará, 2021.

Lima, Leonardo Gonçalves de *et al.* Morfodinâmica da praia da Ponta da Areia: considerações sobre a construção de um espigão costeiro em ambiente de macromaré. *Geosciences = Geociências*, v. 41, n. 2, p. 503-515, 17 out. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v41i02.16457>. Acesso em: 19 jul. 2024.

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 da Gestão Costeira Integrada*, v. 13, p. 113-129, 2013.

Marques, José Matheus Da Rocha. *Distribuição de dunas frontais no litoral setentrional do Ceará*. 2022. 79 f. MS Dissertation, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

Menezes, Athos Farias *et al.* Análise da vulnerabilidade à erosão costeira através de geoindicadores nas praias de Piedade e Paiva (PE), Brasil. *Geosciences = Geociências*, v. 37, n. 2, p. 455-465, 25 jun. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v37i2.11819>. Acesso em: 25 jul. 2024.

Menezes, Athos Farias *et al.* O uso de geoindicadores para avaliação da vulnerabilidade à erosão costeira na Praia do Forte Orange (Ilha de Itamaracá-PE, Brasil). *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, v. 43, n. 3, 30 set. 2020b. Disponível em: https://doi.org/10.11137/2020_3_250_259. Acesso em: 24 jul. 2024.

Moraes, E. C. *Fundamentos de sensoriamento remoto*. Capítulo 1. INPE, São José dos Campos, 2002.

Moura Filipe Maciel de & Vasconcelos Fábio Perdigão. 2023. Análise geoespacial aplicada ao estudo da variação da linha de costa da praia de Parajuru, nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Geomática*, **10** (3): 201, fev. Disponível em: <https://doi.org/10.3895/rbgeo.v10n3.14833>. Acesso em: 10 jul. 2024.

Muehe, D. Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. *Mercator, Rev. de Geografia da UFC*, v. 04 (07), p. 97-110, 2005.

Muehe, D.; Neves, C. F. *Impactos potenciais das mudanças climáticas na cidade do Rio de Janeiro e possíveis ações de mitigação*. Rio de Janeiro: Instituto Pereira Passos. Seminário de Reação: Rio Próximos 100 anos, 2007.

Nascimento, Francisco Das Chagas Araújo Do; Braga, Célia Campos; Araújo, Fabiane Regina Da Cunha Dantas. Análise estatística dos eventos secos e chuvosos de precipitação do Estado do Maranhão. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 3, p. 375–386, 2017.

Nervino, Milena Reis. *Análise multitemporal do comportamento da linha de costa entre Busca Vida e Praia do Forte, no litoral norte do Estado da Bahia – Brasil*. Orientador: Pablo Santana Santos. 2018. 113 f. TCC (Graduação) — Curso de Oceanografia, Universidade Federal da Bahia, Salvador – Bahia, 2018.

Novaes Gabriela de Oliveira. 2022. *Geoindicadores de vulnerabilidade à erosão em praias estuarinas, costa amazônica, Pará*. MS Dissertation, Universidade Federal do Pará, Belém, 119 p.

Pinheiro, Juarez Mota. Análise do sistema costeiro da Ilha do Maranhão. In: IV Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2002, São Luís. *Geomorfologia: Interfaces, Aplicações e Perspectivas*, v. 1, p. 78-78, 2002.

Prado, Barbara Irene Wasinski. *Ponta D'Areia na São Luís do Maranhão: as formas e os arranjos da paisagem em transformação*. 2002. 150 f. MS Dissertation, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2002.

Prudêncio, M. D. C. Análise da evolução costeira para as praias de Muriú e Jacumã, litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil, por meio do DSAS e SMC-Brasil. Orientador: Ada Cristina Scudelari. 2019. 143 f. Dissertação (Mestrado) — Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

Ranieri, L. A. *Morfodinâmica costeira e o uso da orla oceânica de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil*. 2014. 195 f. PhD Theses, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

Ranieri, L. A. ; El-robrini, M. Evolução da linha de costa de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, v. 42, n. 3, p. 207, 27 fev. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.22456/1807-9806.78121>. Acesso em: 19 jul. 2024.

Reis Leonardo Nogueira dos 2023. *Caracterização morfológica de planícies inundáveis na costa do Amapá: uma análise a partir de modelos digitais de elevação*. MS Dissertation, Universidade Federal do Pará, Belém, 104 p.

Rodrigues, T. L. N.; Araújo, C. C.; Camozzato, E.; Ramgrab, G. E. (Orgs.). *São Luís, Folha SA-23-2-A, Cururupu Folha SA-23-X-C, escala 1:250.000*. Brasília: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, 185 p, 1994.

Santos Luiz Eduardo Neves dos. *Caracterização socioambiental de São Luís-MA*. 2019. [S.l.: s.n.]. p. 1-7. Disponível em: https://saoluis.ma.gov.br/midias/anexos/2241_2228_caracterizacao_socioambiental_de_sao_luis.pdf.

Sazaki T. O. 1980. *Proceedings of coastal zone*. [S.l.], ASCE, p.3197-3209.

Silva, G. da. *et al.* Aspectos geomorfológicos da Ilha do Medo, São Luís - MA. In: *Simpósio Nacional de Geomorfologia*, 6., 2006, Goiânia. Goiânia: [s.n.], 2006. p. 1-10. Regional Conference on Geomorphology, 6-10 set. 2006.

Silva, Maykon Targino *et al.* Variação da linha de costa no litoral cearense (1984-2018). *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 12, n. 7, p. 2551-2579, 31 jan. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.7.p2551-2579>. Acesso em: 19 jul. 2024.

Silva, Torres dos Santos Uina. *Avaliação geoambiental das praias do município de Jaboatão dos Guararapes, região metropolitana do Recife*. 2008. Universidade Federal de Pernambuco, [s.l.], 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/8042>. Acesso em: 18 jul. 2024.

Silva, W. S. A. da S. *Vulnerabilidade do litoral do município de Paulista-PE à erosão costeira*. Salvador, 2021.

Sobrinho, J. P. C. *Estudo morfodinâmico da Praia do Meio - São José de Ribamar - MA*. UFMA, 1998. 50 p.

Sousa C. S., Klein E. L., Vasquez M. L., Lopes E. C. S., Teixeira S. G., Oliveira J. K. M., Moura E. M., Leão M. H. B. 2012. Mapa geológico e recursos minerais do Estado do Maranhão. In: Klein E. L. & Sousa C. S. (orgs.). *Geologia e recursos minerais do Estado do Maranhão: Sistema de Informações Geográficas – SIG*, escala 1:750.000. Belém, CPRM.

Steffen Carlos Alberto 2006. *Introdução ao sensoriamento remoto*. [S.l.], Spring. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_sen.html. Acesso em: 19 jan. 2021.

Vasconcelos, T. R. *Aspectos geomorfológicos e sedimentológicos do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, MA/Brasil*. São Luís: UFMA, 2016.

Wentworth W. C. Grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, v. 30, p. 377-372, 1922.

6. ANÁLISE DA VUNERABILIDADE A EROSÃO COSTEIRA NA PRAIA DA PONTA D'AREIA, ILHA DO MARANHÃO, NORDESTE DO BRASIL

6.1. INTRODUÇÃO

A zona costeira é um espaço de interação entre os agentes marinhos e terrestres, envolvendo fatores físicos, químicos, biológicos e humanos (Silva *et al.* 2004; França 2013; Ranieri 2014); El-robrini, 2015; Santos 2020). Ela está sujeita a ação de agentes naturais, responsáveis pela dinâmica local e regional, tais como as ondas, as marés, a elevação do nível do mar e as forçantes climatológicas que atuam sobre os ambientes costeiros (Gornitz 1991; Muehe 2001; Barros 2010), como os ventos, a pluviosidade e, o subsequente regime de descarga dos rios. Acrescenta-se ainda as ações antropogênicas, como a redução de áreas de ecossistemas para ocupação humana e a construção de obras de engenharia sobre a costa. Tais fatores naturais e antrópicos exercem pressões na zona costeira, sendo agentes modificadores do relevo, resultando em diferentes níveis de vulnerabilidade.

A vulnerabilidade envolve definições de resiliência, suscetibilidade e resistência, e diz respeito a resposta natural à determinada perturbação (Klein *et al.* 1998) sendo um indicativo da fragilidade, da exposição ou da sensibilidade aos agentes físicos, biológicos ou social. Dentre os diferentes tipos de vulnerabilidade tem-se a vulnerabilidade costeira. Ela está relacionada à sensibilidade, à exposição e à resiliência frente aos processos físicos e sociais em que a área está inserida, refletindo a capacidade do ambiente costeiro de se adaptar continuamente às mudanças causadas pela natureza e pelo ser humano (França 2013). Tais mudanças podem ser oriundas de fenômenos como a erosão do solo.

Segundo Menezes *et al.* (2018), a vulnerabilidade costeira à erosão pode ser classificada através de modelos analíticos e parâmetros mensurados. Portanto, um dos métodos muito utilizados como parâmetros são o de geoindicadores do local, que podem ser classificados e quantificados com pesos (baixo, moderado, alto ou muito alto), sendo analisadas variáveis ambientais como: a cobertura vegetal, as taxas de erosão e avanço, proximidades com foz de rios, indicadores de mudanças temporais como a variação da linha de costa, migração de embocadura fluvial, deslocamento de dunas, mudanças na morfologia praial, entre outros (Bush *et al.* 1999; Muehe 2001; Muehe 2008; Neves & Muehe 2008; Mma 2006; Barros 2010; França 2013; Menezes 2018; França 2022).

Parâmetros de análise de sistemas praias através de perfis topográficos ou monitoramento de ambientes de alta energia, são utilizados determinando características morfodinâmicas úteis para identificação da vulnerabilidade costeira à erosão. Ademais, o uso do Sensoriamento Remoto (SR) para a análise da evolução da Linhas de Costa (LC), é igualmente bastante utilizado, visando a observação de processos de erosão e acreção costeira. Segundo França (2003), a LC funciona como um marcador da amplitude, frequência e intensidade das mudanças costeiras, visto que sua delimitação multitemporal nos permite analisar a dinâmica morfossedimentar.

Assim, com um conjunto de parâmetros integrados é possível avaliar o nível de estabilidade da LC, através do uso de índices ou classificações de vulnerabilidade costeira à erosão, analisando como determinados setores da costa são afetados ou não ao processo de erosão (Gornitz 1991), seja pela ação de agentes de natureza física ou antrópica.

A construção de obras de engenharia, como espigões costeiros, é um exemplo de ação de natureza antrópica empregada para contenção da erosão costeira de dado local, somado à atração turística que a estrutura proporciona por prologar-se sobre e em direção ao mar.

De acordo com o guia de diretrizes de prevenção e proteção a erosão costeira (Cirm 2018), denomina-se espigão como uma estrutura, única ou em conjunto, transversal à praia, que se estende ao pós-praia, tendo comprimento que impede o contorno da corrente e reduz o espraiamento das ondas. Tal estrutura de engenharia rígida atua sobre o transporte de sedimentos que fluem no sentido longitudinal, retendo-os ao longo da costa no sentido a barlar e, a sotamar da estrutura promove erosão. Esta estrutura modifica a circulação das correntes litorâneas para solucionar problemas pontuais de erosão em praia, causando ampliação da sua faixa de areia de um lado do espigão (sentido barlar); e redução no lado oposto (sentido sotamar) (Silva 2021).

Monitorar a vulnerabilidade à erosão nas áreas onde se aplica estas obras de infraestrutura e nas áreas adjacentes é de grande importância para a gestão costeira, como o caso da praia da Ponta D'Areia em São Luís do Maranhão. Lima *et al.* (2020) e Lima *et al.* (2022) já apontaram intervenções antrópicas que interferiram no balanço sedimentar na Ponta D'Areia, como a implantação da Barragem do Bacanga, o aprisionamento do Igarapé da Jansen e a própria construção do espigão transversal à linha de costa, inaugurado no ano de 2014.

Diante disto, e a partir de estudos feitos no norte (Ranieri & El-Robrini 2015; Negrão *et al.* 2022; Novaes 2022) e nordeste brasileiro (Tesller 2012; Sousa *et al.* 2013; Menezes *et al.* 2018) sobre mudanças costeiras e vulnerabilidade à erosão, bem como o conhecimento de que o espigão costeiro em São Luís é a única obra de engenharia transversal inserida no contexto “Amazônico” para fins de contenção de erosão, propôs-se esta pesquisa, de modo a fazer uma avaliação da vulnerabilidade costeira à erosão após a implantação do empreendimento.

Este artigo objetivou investigar a suscetibilidade à erosão na praia da Ponta D’Areia, fazendo uso de geoindicadores costeiros como parâmetros quali-quantitativos para definição de índices de vulnerabilidade costeira, trazendo subsídios para o planejamento e gestão costeira integrada da zona costeira de São Luís do Maranhão.

6.2. ÁREA DE ESTUDO

A praia da Ponta D’Areia, localizada a sudoeste da ilha do Maranhão (Figura 17) possui aproximadamente 2,5 km de extensão, sendo limitada pelo rio Anil e pela praia de São Marcos. Está inserida no setor costeiro do Golfão Maranhense num contexto de hiper-macromarés com amplitudes de até 7,2 m (Muehe 2018). Na direção sudoeste tem-se um Espigão Costeiro transversal a linha de costa.

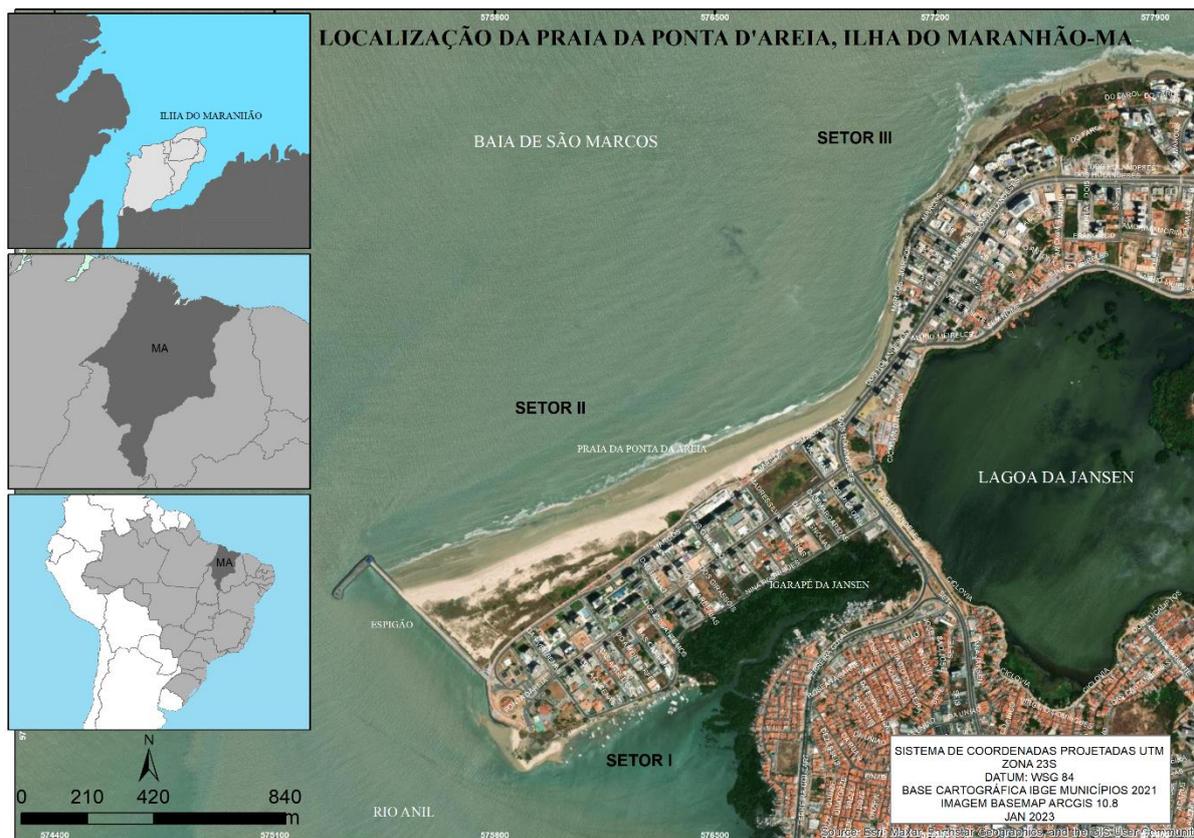


Figura 17- Mapa de localização da praia da Ponta D'Areia, São Luís do Maranhão, região Nordeste de Brasil.

Está localizada num bairro que tem o mesmo nome e que já passou por grandes modificações socioambientais. Segundo Prado (2002), o bairro da Ponta D'Areia, teve uma importância estratégica para a defesa da cidade de São Luís, desde o século XVII, com a construção do Forte de Santo Antônio no final desse século. Originalmente, sendo acessível apenas por via marítima, a área era utilizada para a extração de casca de mariscos para produção de cal. Com o tempo, o acesso foi ampliado, permitindo veículos a partir dos anos 60. Ainda segundo Prado (2002), em 1971, o Plano Diretor de São Luís propôs um projeto de urbanização para o bairro, que incluía a criação de zonas para recreação, residências e comércio. A ocupação planejada por residenciais, levou à degradação ambiental, com impactos negativos nos ecossistemas naturais, como dunas, falésias e manguezais. Visto que, com o aumento da especulação imobiliária e as intervenções na costa aumentaram os danos nesta região (Ferreira, 2018), com isso, há um aumento de efluentes domésticos e alterações na morfodinâmica costeira, no transporte eólico e na permeabilidade do solo.

6.3. MATERIAL E MÉTODOS

6.3.1. Coleta de dados

As coletas de dados foram realizadas em 2 campanhas de campo, uma na estação climática seca (novembro/2022) e outra na estação chuvosa (abril/2023). Foram realizados 10 perfis transversais de coleta de sedimentos superficiais na praia da Ponta D'Areia nas zonas de supamaré, intermaré e inframaré, com pontos de coleta georreferenciados com GPS (*Global Positioning System*). Além de observações de indicadores ambientais da estabilidade da LC (geoindicadores), captura de imagens aéreas e mapeamento topográfico com drone (marca DJI Mavic Air 2S) na área compreendida pelo espigão costeiro.

Visando obter o nível de vulnerabilidade costeira na área de estudo, foram feitas a identificação de geoindicadores de erosão, estabilidade e acreção/deposição costeira. Estes indicadores foram delimitados geograficamente ao longo da LC com o uso de um GPS.

Os geoindicadores são parâmetros usados para perceber mudanças ambientais (COLTRINI, 1992). Eles podem ser tabulados e atribuídos a pesos e intensidade, assim como associados a frequência de processos dinâmicos que modificam a linha de costa.

6.3.2. Análise Laboratorial

6.3.2.1. Análise da variação da linha de costa

A análise se deu pelo monitoramento do deslocamento da LC que pode ser de dois tipos: recuo e avanço. O recuo da LC ocorre devido à erosão e é o deslocamento para o interior do continente. O avanço da LC em direção ao mar ou ao estuário ou baía ocorre em decorrência de acúmulo sedimentar ou pelo crescimento vegetativo.

Para esta análise da variação da linha de costa, imagens orbitais georreferenciadas do satélite LANDSAT-5 TM dos anos de 1996, 2005 e 2009 e imagens do satélite LANDSAT-8 OLI dos anos de 2013, 2017 e 2022, foram obtidas através do site *Global Visualization Viewer (Glovis)* da USGS (*United States Geological Survey* - Serviço Geológico dos Estados Unidos). Após a aquisição das imagens, realizou-se o tratamento digital no *software ArcMap versão 10.5* e a extensão *Digital Shoreline Analysis System (DSAS 5.0)*, por meio da vetorização das linhas de costa dos distintos anos selecionados para o estudo e cálculos estatísticos oriundos da própria extensão.

A LC delimita o contato entre o oceano e o continente, onde as ações das ondas e das marés têm seu alcance máximo (Ranieri & El-Robrini 2015), por isso é o parâmetro mais importante para análise da vulnerabilidade à erosão.

6.3.2.2. Análise topográfica e granulométrica

Os dados topográficos através do sobrevoo com drone permitiu a elaboração do Modelo Digital de Elevação (MDE) na área da praia favorecida pelo espigão costeiro utilizando-se o *software Agisoft Metashape 2.0.4*. Perfis transversais em pontos distintos da LC foram extraídos deste mapeamento com o uso do mesmo aplicativo, visando a obtenção da elevação máxima e largura máxima da praia nestes pontos e, assim a obtenção da declividade da praia em graus.

Este último parâmetro é determinante para caracterização do estado morfodinâmico de praia (dissipativo, intermediário ou refletivo), conforme simplifica Sazaki (1980), e é obtido por cálculo trigonométrico:

$$\text{Tan}\beta = \text{cateto oposto/cateto adjacente.}$$

O dado oposto corresponde à altura/elevação do perfil e o dado adjacente corresponde à largura máxima.

Quanto às amostras sedimentológicas coletadas em campo, o critério de coleta foi onde houvesse a mudança significativa na morfologia transversal da praia, amostrando no pós-praia, na zona de estirâncio e próximo da linha de maré baixa. Os sedimentos superficiais de praia foram transportados ao Laboratório de Oceanografia Geológica (LABOGEO) da Universidade Federal do Pará (UFPA) para o devido tratamento (lavagem, secagem, peneiramento e pesagem) e obtenção das classificações granulométricas propostas por Wentworth (1922). Para obter a classificação em areia fina, areia média e areia grossa.

6.3.2.3. Classificação quanto à vulnerabilidade costeira à erosão

O grau de vulnerabilidade costeira à erosão foi obtido pelo método utilizado por Sousa *et al.* (2013); Menezes *et al.* (2018) e Novaes (2022), onde são considerados os geoindicadores ambientais e fatores antrópicos distribuídos na área de estudo, valendo-se de variáveis costeiras e continentais. Estas variáveis foram analisadas durante trabalhos de campo realizados nos meses de outubro de 2022 e abril de 2023, somadas aos resultados de declividade praial, classificação granulométrica e variação da LC por sensoriamento remoto.

Através de todos os indicadores de vulnerabilidade costeira e por meio de equações específicas foi possível criar um índice de vulnerabilidade costeira (baixa, moderada e alta). A abordagem leva em consideração os processos naturais e de degradação ambiental, como indicadores da morfologia de praia, posição da linha de costa, características de falésias, presença de barreiras naturais, elevação do terreno, vegetação, estruturas de engenharia costeira, percentagem de ocupação e permeabilidade do solo.

Tabela 9- Indicadores de vulnerabilidade costeira.

Variáveis	Indicadores	Baixa	Moderada	Alta
Costeiro	Declividade e granulometria da praia (I)	Presença de areia muito fina a média, praia com declividade <2°	Presença de areia média, praia com declividade >2°	Presença de sedimentos mais grosseiros (areia média a muito grossa), praia com declividade >4°
	Balço sedimentar praial - sazonal (II)	Positivo (>10 m ³ .m ⁻¹)	Aproximadamente estável (até 10 m ³ .m ⁻¹)	Negativo (>10 m ³ .m ⁻¹)
	Varição da linha de costa (III)	Avanço (> 1 m)	Estável (até +/- 1 m)	Recuo (> 1 m)
	Falésias (IV)	Presença de falésias inativas, mais de 50% da faixa de pós-praia	Presença de falésias ativas, mais de 50% da faixa de pós-praia	Presença de falésias ativas, menos de 50% ou ausentes no pós-praia
	Barreiras naturais (V)	Presença de barreiras naturais (promontórios, afloramentos rochosos, barra arenosa)	Presença de bancos de areia <i>offshore</i>	Sem obstáculos naturais
Variáveis	Indicadores	Baixa	Moderada	Alta
Continental	Elevação do terreno (VI)	>6 m	4-6 m	<4 m
	Vegetação (VII)	Densa com floresta madura e sem evidências erosivas (mais de 50% do pós-praia ou setor)	Bem estabelecida com grama/gramínea e arbustos (mais de 50% do pós-praia ou setor)	Pouca ou nenhuma vegetação (menos de 50% do pós-praia ou setor)
	Estruturas de engenharia costeira (VIII)	Ausência de estruturas costeiras	Estruturas pequenas ou poucas significativas (menos de 50% do perfil longitudinal da praia ou setor)	Presença de paredões, quebra-mares, molhes, muros de arrimo, espigão. (mais de 50% do perfil longitudinal da praia ou setor)
	Percentagem de ocupação (IX)	<30%	Entre 30 e 70%	>70%

Permeabilidade do solo (X)	Permeável (>70%) / pouca ou nenhuma ocupação	Permeabilidade moderada (de 70 a 30%) / densidade média de ocupação / urbanização	Permeabilidade seriamente afetada (<30%) / presença de assentamento urbano bem desenvolvido
----------------------------	--	---	---

Fonte: Novaes (2022 adaptado de Sousa *et al.* 2013, Moraes *et al.* 2022).

Para classificar as praias quanto a vulnerabilidade à erosão costeira, a partir dos indicadores apresentados na Tabela 9, atribui-se pesos para cada variável na seguinte forma: 0 para baixa, 5 para moderada e 10 para alta vulnerabilidade. Estes dados são calculados de acordo com a equação:

Equação 1. Índice de vulnerabilidade costeira.

$$I = \left(\frac{1}{nv}\right) \cdot \sum_v \cdot \left(\frac{1}{ni}\right) \cdot \sum_i xi$$

Fonte: Novaes (2022. Adaptado de Sousa et al., 2013 e Moraes et al., 2022).

Onde: I é a média aritmética das variáveis; nv é o número de variáveis; ni é o número de indicadores de uma variável; xi é a soma dos indicadores.

Portanto, somando as variáveis e realizando a média aritmética dos indicadores, obtém-se o valor do índice de vulnerabilidade costeira (IVC), sendo os valores numéricos encontrados entre 0 e 2,9 considerado como baixa vulnerabilidade, de 3 a 6,9 vulnerabilidade moderada e de 7 a 10 como vulnerabilidade alta.

6.3.2.4. Avaliação dos impactos das obras de engenharia costeira

Adicionalmente ao IVC, foi utilizada a tabela de matriz de avaliação de Impactos Ambientais no Meio Físico decorrentes de Obras de Engenharia Costeira (Quadro 4), proposta por Farinacio & Tessler (2010), para identificar aspectos antrópicos presentes na LC e checar os possíveis efeitos que as obras de engenharia costeira existentes na praia da Ponta D'Areia causam no transporte de sedimentos.

Essa metodologia é empregada em áreas urbanizadas que sofrem com alterações ambientais decorrentes da erosão, assoreamento, impactos na dinâmica biológica e mudança de habitantes, que causam perdas de edificações e degradação e de estruturas. É utilizada para

avaliação de impactos ambientais no meio físico decorrentes de obras de engenharia costeira e diagnósticos do meio físico e entendimento da dinâmica costeira atuante (Farinacio & Tessler 2010).

Segundo Farinacio & Tessler (2010), a matriz propõe em avaliar o padrão de interferência costeira, a matriz está dividida em colunas. A primeira coluna se refere ao tipo de obras dividida em: (I) Obras de proteção que consiste em benfeitorias para proteger a costa como Muros, Barreiras de rocha, moles e enrocamentos, (II) Obras de recuperação que tem o objetivo de reconstrução dos ambientes de praia para estabilizar os efeitos erosivos da costa, podendo alargar a praia ou conter o assoreamento em uma região de sotamar representada por espigões e gabiões ou engorda de praia; e (III) Obras de infraestrutura e lazer, que são obras relacionadas a atividades industriais, portuárias e de ocupação urbana ou atividades voltadas ao transporte, saneamento, moradia e turismo representados por Palafitas; Aterros de passagem (ruas, avenidas, estradas); Píer ou plataforma de embarque; Aterros; Marinas; Píeres ou plataforma de pesca.

A segunda coluna refere-se ao padrão de interferência de 4 tipos: padrão A de obras que alteram os fluxos longitudinais; padrão B de obras que alteram os fluxos transversais, relacionados aos movimentos costa adentro-costa afora; padrão do tipo C em que as obras cuja ação se dá de maneira igualitária nos dois tipos de fluxos; e por fim o padrão D cuja Obras interferem nos fluxos de canais estuarinos.

A terceira coluna refere-se aos impactos ambientais, classificados de acordo com o ambiente de alteração, 20 impactos divididos em 3 colunas. G1 relacionado ao ambiente da faixa praial arenosa, com 6 impactos decorrentes das forçantes de dinâmica costeira agravadas por construções costeiras; G2 relacionada aos ambientes de canais estuarinos com 3 impactos, onde o impacto atua na alteração do fluxo estuarino e de suas margens; e por fim a coluna G3 apresenta 11 impactos ambientais associados, que nas praias arenosas e canais estuarinos, relacionados com a ocupação humana.

MATRIZ DO SETOR 1 (TIPOS DE OBRAS QUE OCORREM NO SETOR)		PADRAO DE INTERFERÊNCIA				IMPACTOS																			
						G1						G2			G3										
		A	B	C	D	a	b	c	D	e	f	g	H	I	J	K	L	m	N	o	p	Q	R	S	t
Obras de proteção	Muros																								
	Barreiras de rocha (ex. <i>rip-rap</i>)																								
	Molhes e enrocamentos																								
Obras de recuperação	Engordamento de praia - molhes e Enrocamentos																								
	Espigões e gabiões																								
Obras de infraestrutura	Emissários (dutos emersos e enterrados)																								
	Canais de águas superficiais																								
	Aterros de loteamentos																								
	Aterros de invasões																								
	Palafitas																								
	Aterros de passagem (ruas, avenidas, estradas)																								
	Pier ou plataforma de embarque																								
Obras de lazer e turismo	Aterros																								
	Marinas																								
	Pieres ou plataforma de pesca																								
	Molhes e enrocamentos																								
PADRÕES DE INTERFERÊNCIA: Padrão A: obras que são capazes de alterar predominantemente os fluxos longitudinais, aqueles relacionados aos movimentos das correntes de deriva litorânea (<i>longshore currents</i>), e que apresentam expressão mais nítida em planta; Padrão B: obras que alteram os fluxos transversais, relacionados aos movimentos costa adentro-costa afora (<i>onshore-offshore</i>), cujo reflexo se dá maneira mais incisiva sobre o perfil praiial; Padrão C: obras cuja ação se dá de maneira igualitária nos dois tipos de fluxos; e Padrão D: Obras que interferem nos fluxos de canais estuarinos.															SETORES: Setor 1: () Setor 2: () Setor 3: ()										
G1-IMPACTOS SOBRE A FAIXA DE AREIA – PRAIAS Redução da faixa de praia (avanço das obras sobre a faixa de praia) (a) Praias mais extensas causadas pelo assoreamento/deposição (b) Praias mais estreitas pela erosão (erosão paralela a linha de costa) (c) Alteração da topografia da praia (perfil praiial) (d) Instalação de processos erosivos na praia (formação de células erosivas) (e) Aprisionamento de sedimentos junto a estrutura rígida de orientação impedindo seu movimento a sotamar (f)		G3-IMPACTOS ASSOCIADOS						Deposição de areia em equipamentos públicos (praças, quiosques, etc) (j) Deposição de areia em avenidas e ciclovias (k) Colapso de muros de proteção (l) Solapamento/recalques de aterros (m) Assoreamentos (n) Escalonamento da linha de costa por sucessivas estruturas rígidas perpendiculares a linha de costa (o) Redução de áreas úteis a ocupação (p) Alteração da paisagem (q) Contaminação da água superficial - por efluentes (r) Contaminação da água por resíduos sólidos (s) Alteração do regime de fluxo da água subterrânea (t)																	
G2-IMPACTOS SOBRE CANAIS ESTUARINOS Instalação de processos erosivos nas margens dos canais estuarinos (g) Redução de ambientes naturais (h) Redução de áreas de mangue (i)																									

Quadro 4- Matriz de avaliação de Impactos Ambientais no Meio Físico decorrentes de Obras de Engenharia Costeira. Fonte: (Frinacio & Tessler 2010).

Visando a caracterização da costa da Ponta da areia, a relação entre os fatores naturais e as obras de engenharia foram analisadas através da matriz de Farinaccio & Tessler (2010), nos 13 pontos de coletas distribuídos nos 3 setores deste estudo (setor 1- marina, setor 2- espigão e setor 3- ponta do farol). A partir do trabalho de campo e das aplicações da matriz, foi possível diagnosticar os impactos distribuídos na linha de costa da Ponta da areia.

6.3.2.5. Levantamento planialtimétrico: ortomosaico e MDE para avaliação da zona costeira

O uso das novas geotecnologias, tem contribuído para muitos estudos, com a utilização de drones é possível levantar informações fotográficas aéreas que a partir do processamento digital de imagens (PDI) pode-se extrair inúmeras informações a respeito de declividade, curvas de nível, hipsometria, modelo digital de elevação e interpretação visual, além de diversas análises espaciais.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) é uma das ferramentas ligadas as novas geotecnologias que estão sendo introduzidas nos estudos voltados para mapeamento topográfico, segundo Reis (2023), são representações digitais de elevações em pontos específicos de uma área geográfica, usadas para mapear topografias terrestres ou objetos acima dela (Kanoua & Merkel 2016; Valeriano 2008).

A partir de ortomosaicos e com o auxílio de correção por posicionamento preciso, os produtos gerados por PDI de imagens de drone como o MDE, adquirem acurácias eficazes para estudos sobre topografia e análise do solo. A metodologia foi aplicada no setor do espigão, na praia da Ponta D'Areia, a partir do sobrevoo com Drone, e do posterior tratamento digital adquiriu-se o ortomosaico e o MDE do setor. Esse método contribuiu para análise e reconhecimento visual das feições morfológicas e antrópicas no setor II da Ponta D'Areia e setor III da Ponta do Farol, onde são identificadas as dunas embrionárias, a vegetação de restinga, o limite do calçadão e das passarelas e parte do espigão costeiro.

6.4. RESULTADOS

6.4.1. Modelo Digital de Elevação da Ponta D'Areia

A partir do levantamento topográfico com drone foi possível verificar a altura e extensão da praia e o avanço significativo da costa devido a influência do espigão costeiro. Além disso, foi possível analisar a morfologia da praia e a do campo de dunas do setor espigão (Figura 18).



Figura 18- Ortomosaico da praia da Ponta D'Areia.

A partir da análise ortomosaico é possível analisar a distribuição e estão atuais das dunas, da linha e costa, da distribuição da vegetação e dos leques de lavagem ocorridos na praia da ponta da areia no mês de abril de 2023. Este produto é resultante de processo digital de imagem e auxilia no reconhecimento e mapeamento do setor, apresentando o espigão costeiro e sua influência na dinâmica costeira seno possível observar a extensão a praia, e identificação de morfologias associadas ao modelo digital de elevação MDE (Figura 19).

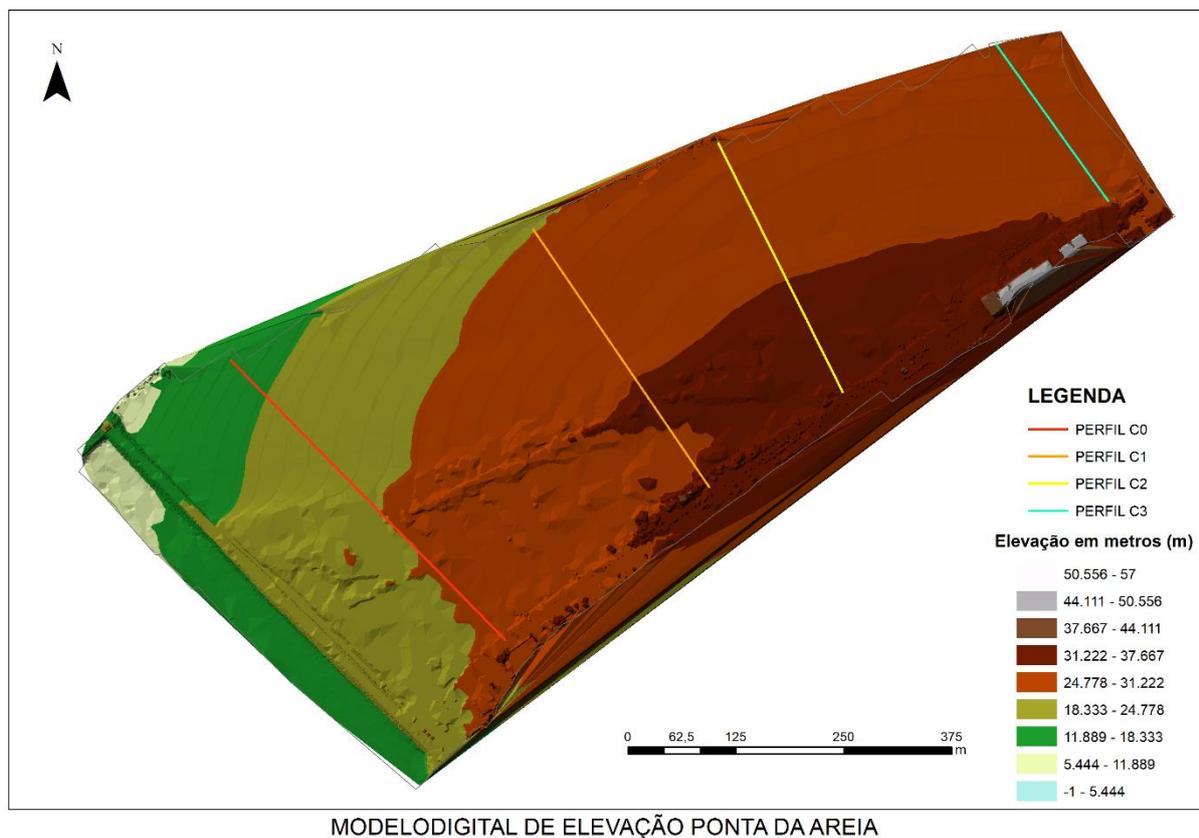


Figura 19- Modelo digital de elevação da praia da Ponta D'Areia.

Ao analisar o MDE do setor Espigão, notou-se que a altura (em metros) se apresentou bastante elevada, isso se dá devido a correção diferencial de altimetria que não foi aplicada no processamento digital de imagem. Contudo, o MDE auxiliou na análise do comportamento costeiro do setor, sendo possível verificar a geomorfologia com rugosidades além de fornecer um direcionamento para entender o comportamento dos perfis topográficos em suas formas e distância (figura 20), onde as dunas frontais são mais onduladas e predominantes e a distância onde o gradiente topográfico tem variação.

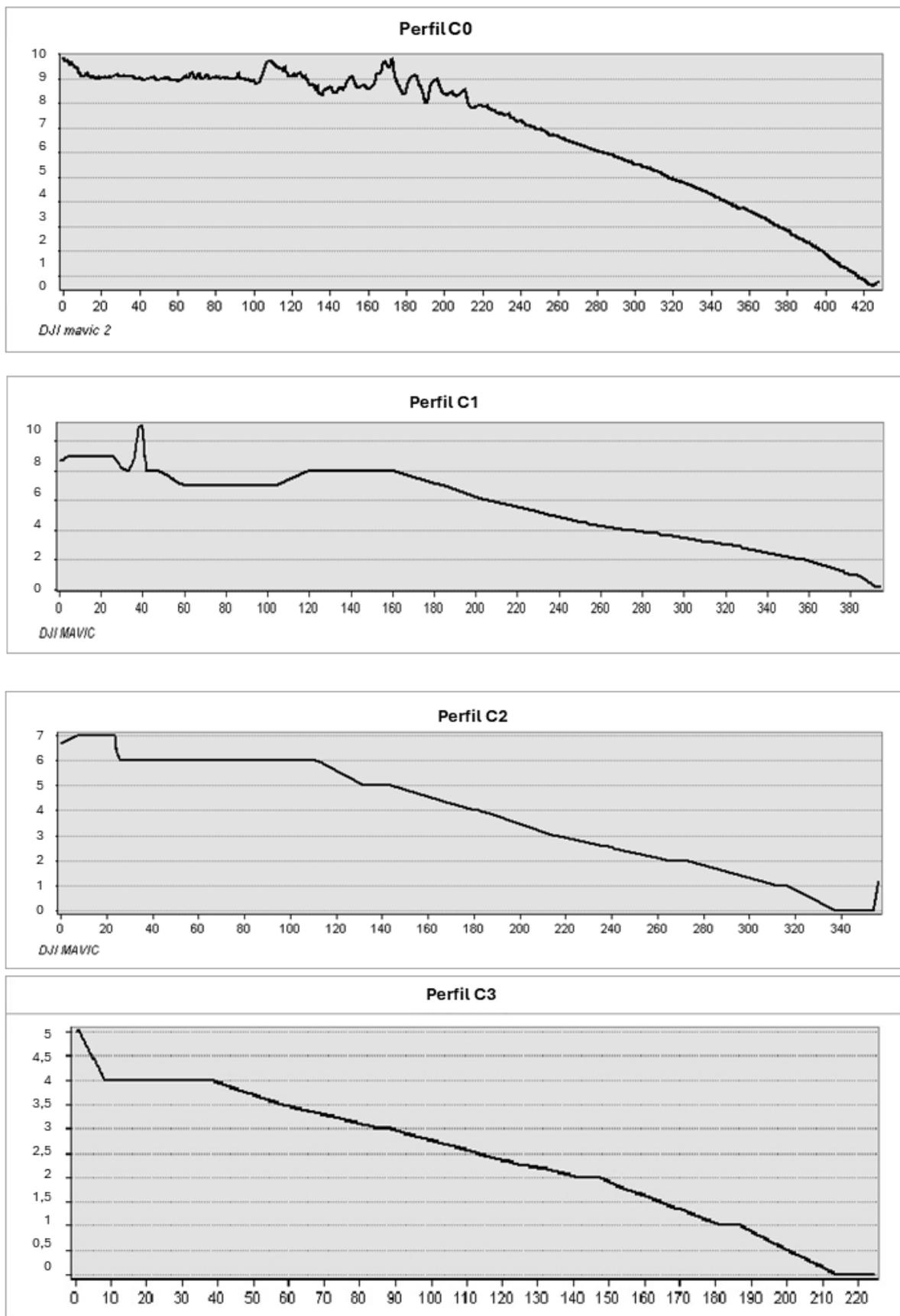


Figura 20- Perfis transversais à praia, gerados a partir do MDE.

6.4.2. Vulnerabilidade Costeira à Erosão

Para uma maior análise dos indicadores e para compreender a dinâmica e vulnerabilidade costeira da área, ela foi submetida a 13 pontos de coleta (Figura 21), onde foram aplicados os check-lists, coletado sedimentos, fotografado e coletado coordenadas por GPS ao longo dos 3 setores da praia, sendo os pontos C1 a C4 setor I, pontos C5 a C10 setor II e pontos C11 a C13 setor III. Para definir os índices de vulnerabilidade costeira foram feitas as médias dos pontos de coleta distribuídos nos três setores.



Figura 21 – Distribuição dos setores praias e pontos de coleta em campo, ponta D'areia, ilha de Maranhão.

6.4.2.1. Setor I (Marina)

O setor da Marina (Figura 22) é um setor que tem como característica física a influência do rio Anil e igarapé da Jansen. Está em um processo intenso de urbanização vertical e é marcado por embarcações e rampas de acesso ao logo da orla, além de empreendimentos e flutuantes.

Para a resultante do Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) neste setor foram adotados 3 pontos de coletas nomeados de C11, C12 e C13, de acordo com a média do IVC dos pontos de coleta foi obtido a pontuação de 4,0, sendo classificado como um setor de vulnerabilidade moderada (Tabela 10).

Tabela 10- Indicadores de vulnerabilidade costeira, pesos e índice de vulnerabilidade costeira e classificação (Setor I Marina).

PONTO	INDICADOR										IVC	CLASSIFICAÇÃO
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X		
C11	0	0	0	10	5	5	10	10	5	5	5.00	moderada
C12	0	0	0	10	0	5	5	5	5	5	3.50	moderada
C13	0	0	0	10	0	5	5	5	5	5	3.50	moderada

Fonte: Organizado pelo autor.



Figura 22 – Distribuição dos indicadores do setor da marina (I).

INDICADOR	PONTO C11	PONTO C12	PONTO C13
I. Declividade e granulometria da praia	Presença de areia muito fina a média, praia com declividade $<2^\circ$	Presença de areia muito fina a média, praia com declividade $<2^\circ$	Presença de areia muito fina a média, praia com declividade $<2^\circ$
II. Balanço sedimentar praial	Positivo ($>10 \text{ m}^3.\text{m}^{-1}$)	Positivo ($>10 \text{ m}^3.\text{m}^{-1}$)	Positivo ($>10 \text{ m}^3.\text{m}^{-1}$)
III. Variação da linha de costa	Avanço ($> 1 \text{ m}$)	Avanço ($> 1 \text{ m}$)	Avanço ($> 1 \text{ m}$)
IV. Falésias	Ativa/inativa + ou - 50% ou ausente	Ativa/inativa + ou - 50% ou ausente	Ativa/inativa + ou - 50% ou ausente

V. Barreiras naturais	Presença de bancos de areia <i>offshore</i>	Presença de barreiras naturais (promontórios, afloramentos rochosos, barra arenosa)	Presença de barreiras naturais (promontórios, afloramentos rochosos, barra arenosa)
VI. Elevação do terreno	4-6 m	4-6 m	4-6 m
VII. Vegetação	Pouca ou nenhuma vegetação (menos de 50% do pós-praia ou setor)	Bem estabelecida com grama/gramínea e arbustos (mais de 50% do pós-praia ou setor)	Bem estabelecida com grama/gramínea e arbustos (mais de 50% do pós-praia ou setor)
VIII. Estrutura de engenharia costeira	Presença de paredões, quebra-mares, molhes, muros de arrimo, espigão. (mais de 50% do perfil longitudinal da praia ou setor)	Estruturas pequenas ou poucas significativas (menos de 50% do perfil longitudinal da praia ou setor)	Estruturas pequenas ou poucas significativas (menos de 50% do perfil longitudinal da praia ou setor)
IX. Percentagem de ocupação	Entre 30 e 70%	Entre 30 e 70%	Entre 30 e 70%
X. Permeabilidade do solo	Permeabilidade moderada (de 70 a 30%) / densidade média de ocupação / urbanização	Permeabilidade moderada (de 70 a 30%) / densidade média de ocupação / urbanização	Permeabilidade moderada (de 70 a 30%) / densidade média de ocupação / urbanização

Quadro 5- Indicadores de vulnerabilidade costeira encontrados no setor I: Marina.

Fonte: Organizado pelo autor.

As variáveis costeiras e continentais que levaram a esta classificação são:

- Variáveis Costeira:

A declividade praial, obtida de Lima *et al.* (2022), está relacionada com o tamanho do sedimento, quanto mais grosso o sedimento maior será a declividade. Nesse sentido, através de coleta de sedimentos, notou-se um padrão do tamanho dos grãos, sendo considerado fino, portanto, adotou-se o peso (0) para este setor.

O volume sedimentar do perfil 1, que corresponde ao setor da marinha, obtido por Lima *et al.* (2022), foi de 3,35 m³/m. Além disso a área se apresentou como estável, com uma média de 0,3 m³/m e um desvio padrão de 16,48 m³/m. No período seco teve um volume líquido de - 3,93 m³/m e no período chuvoso de 7,27 m³/m, portanto se atribuindo o peso (5)

A análise da posição da linha de costa aponta que o setor tem apresentado tendência acumulativa de sedimentos e, conseqüentemente, avanço da linha de costa. Os dados médios das taxas da variação assinalam avanço de 5.69 m/ano (EPR), 20,56 m (NSM) e 0,94 m/ano (LRR). Assim, o indicador possui peso (0) visto que a acresção é dominante.

O indicador de falésias, por se tratar de um setor com uma orla organizada em que o tabuleiro costeiro se encontra densamente antropizado, foi considerado ausência nos pós praia, portanto atribuído o peso (10).

Presença de barreiras naturais do setor são representadas pelos bancos arenosos que se formam na embocadura do canal e a sotamar do espigão, além dos bancos nota-se no setor acúmulos de areia associado a vegetação de restinga com morfologia semelhante a dunas embrionárias. Estes que funcionam como fontes de sedimentos e proteção para o setor, nesse sentido o peso atribuído para esse indicador foi (5).

- Variáveis Continentais:

O setor da marina, conforme Lima *et al.* (2022) possui variação de topografia de 6 a -2 metros, com isso se atribuiu o peso (5) para esse setor.

Quanto a vegetação, esse indicador apresentou-se sobretudo por graminhas e arbustos cerca de 50% do setor, além de árvores plantadas pelo paisagismo da orla, apenas a sudeste do setor que se apresenta remanescente de mangue, por esse motivo se atribuiu o peso (5,10).

Para o indicador que representa as estruturas de engenharia costeira que são bastante utilizadas para minimizar impactos na linha de costa contra a erosão, as obras distribuídas pelo setor são de obras de proteção do tipo muros e moles e enrocamentos; obras de recuperação do tipo espigão e gabião; obras de infraestrutura dos tipos Emissários (dutos emersos e enterrados), canais de águas superficiais e aterros de passagem (ruas, avenidas, estradas); e lazer dos tipos Marinas e Píeres ou plataforma de pesca. Tais estruturas influenciam na dinâmica costeira do setor e por isso foi atribuído o peso (5,10).

Para o indicador da percentagem da ocupação, foi atribuído o peso (5), o setor apresenta entre 30 e 70% de ocupação, distribuídas por condomínios, casas e estabelecimentos comerciais. A ocupação contribui para a intensificação de processos erosivos, visto que a construção em locais impróprios pode ser afetada com a dinâmica costeira, seja pela erosão ou pela sedimentação, além que está sujeita a elevação do nível do mar.

O indicador da permeabilidade do solo está diretamente ligado a ocupação, visto que a urbanização, a densidade média da ocupação possibilita a pavimentação e o revestimento asfáltico do solo que ocasiona o escoamento superficial da água e acarreta problemas como lixiviação e erosão, portanto, para o setor da marina foi atribuído o peso (5)

6.4.2.2. Setor II (Espigão)

Para a resultante do Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC), o setor Espigão possui 4 pontos de coletas nomeados de C1, C2, C3 e C4, de acordo com a média dos pontos de coleta o IVC obtido foi de 6,37, sendo classificado como um setor de vulnerabilidade moderada.

O setor possui um campo de dunas (Figura 24) originado pelo acúmulo de sedimentos influenciado pela construção do espigão costeiro transversalmente a LC, tal obra de engenharia proporcionou a proteção da orla.



Figura 23 – Distribuição dos indicadores do setor do espigão (II).

Tabela 11- Indicadores de vulnerabilidade costeira, pesos e índice de vulnerabilidade costeira e classificação.
Setor II Espigão.

PONTO	INDICADOR										IVC	CLASSIFICAÇÃO
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X		
C1	0	0	0	10	0	5	5	10	10	10	5.00	Moderada

C2	0	0	0	10	0	5	5	10	10	10	6.50	Moderada
C3	0	5	0	10	0	5	5	10	10	10	6.50	Moderada
C4	0	5	0	10	5	5	10	10	10	10	7.50	Alta

Fonte: Organizado pelo autor.

INDICADOR	PONTO C1	PONTO C2	PONTO C3	PONTO C4
I. Declividade e granulometria da praia	Presença de areia muito fina a média, praia com declividade $<2^\circ$	Presença de areia muito fina a média, praia com declividade $<2^\circ$	Presença de areia muito fina a média, praia com declividade $<2^\circ$	Presença de areia muito fina a média, praia com declividade $<2^\circ$
II. Balanço sedimentar praiial	Positivo ($>10 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1}$)	Positivo ($>10 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1}$)	Aproximadamente estável (até $10 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1}$)	Aproximadamente estável (até $10 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1}$)
III. Variação da linha de costa	Avanço ($> 1 \text{ m}$)	Recuo ($> 1 \text{ m}$)	Recuo ($> 1 \text{ m}$)	Recuo ($> 1 \text{ m}$)
IV. Falésias	Presença de falésias ativas, menos de 50% ou ausentes no pós-praia	Presença de falésias ativas, menos de 50% ou ausentes no pós-praia	Presença de falésias ativas, menos de 50% ou ausentes no pós-praia	Presença de falésias ativas, menos de 50% ou ausentes no pós-praia
V. Barreiras naturais	Presença de barreiras naturais (promontórios, afloramentos rochosos, barra arenosa)	Presença de barreiras naturais (promontórios, afloramentos rochosos, barra arenosa)	Presença de barreiras naturais (promontórios, afloramentos rochosos, barra arenosa)	Presença de bancos de areia <i>offshore</i>
VI. Elevação do terreno	4-6 m	4-6 m	4-6 m	4-6 m
VII. Vegetação	Bem estabelecida com grama/gramínea e arbustos (mais de 50% do pós-praia ou setor)	Bem estabelecida com grama/gramínea e arbustos (mais de 50% do pós-praia ou setor)	Bem estabelecida com grama/gramínea e arbustos (mais de 50% do pós-praia ou setor)	Pouca ou nenhuma vegetação (menos de 50% do pós-praia ou setor)
VIII. Estrutura de engenharia costeira	Presença de paredões, quebra-mares, molhes, muros de arrimo, espigão. (mais de 50% do perfil longitudinal da praia ou setor)	Presença de paredões, quebra-mares, molhes, muros de arrimo, espigão. (mais de 50% do perfil longitudinal da praia ou setor)	Presença de paredões, quebra-mares, molhes, muros de arrimo, espigão. (mais de 50% do perfil longitudinal da praia ou setor)	Presença de paredões, quebra-mares, molhes, muros de arrimo, espigão. (mais de 50% do perfil longitudinal da praia ou setor)
IX. Percentagem de ocupação	$>70\%$	$>70\%$	$>70\%$	$>70\%$
X. Permeabilidade do solo	Permeabilidade seriamente afetada ($<30\%$) / presença de assentamento urbano bem desenvolvido	Permeabilidade seriamente afetada ($<30\%$) / presença de assentamento urbano bem desenvolvido	Permeabilidade seriamente afetada ($<30\%$) / presença de assentamento urbano bem desenvolvido	Permeabilidade seriamente afetada ($<30\%$) / presença de assentamento urbano bem desenvolvido

Quadro 6- Indicadores de vulnerabilidade costeira encontrados no setor. Fonte: Organizado pelo autor.



Figura 24 - Dunas frontais com vegetação na praia da Ponta D'areia. Fotografia retirada em 08 de abril de 2023.



Figura 25 – Área à jusante do espigão costeiro, com bancos arenosos, formados por baixa sedimentação em zona de “sombra”. A: preamar. B: baixa-mar. Fotografia retirada em: 15jul2022.

- Variáveis Costeira:

A declividade é baixa (praia mais plana) e sedimentos finos coletados, portanto, adotou-se o peso (0) para este setor. A declividade no setor II foi obtida pelo perfil topográfico obtido em sobrevoo com Drone.

O volume sedimentar do setor do espigão entre 2015 e 2016 (Lima *et al.* 2022) foi acrescido, com 37,52 m³/m no período seco e 104,358 m³/m no período chuvoso, portanto o peso do indicado é (0).

A posição da linha de costa sofre no setor do espigão, possui tendência acumulativa, tendo os maiores dados de acumulação com avanço médio de 9,76 m/ano (EPR), e avanço médio em direção a linha d'água de 100,39 m (NSM) e 10,35 m/ano (LRR). Portanto o peso atribuído para o setor é de (0).

O indicador de falésias, por se tratar de um setor com uma orla urbanizada em que o tabuleiro se encontra densamente antropizado foi considerado ausência nos pós praia, portanto atribuído o peso (10).

Presença de barreiras naturais do setor são representadas pelas dunas embrionárias associado a vegetação de restinga com topografia arredondada. No setor, o campo de dunas está relacionado com o aprisionamento dos sedimentos devido a construção do espigão gostei, e por esse motivo houve um avanço da linha de costa e o avanço da praia em direção do mar, nesse sentido o peso atribuído para o setor (0).

- Variáveis Continentais:

A elevação do terreno no setor em perfil varia de 6 a -4 m (Lima *et al.* 2022), portanto se atribuiu o peso (5) para este indicador.

O indicador de vegetação é apontado por gramíneas e arbustos cerca de 50% do setor, vegetação associada as dunas, além de árvores plantadas pelo paisagismo da orla por esse motivo se atribuiu o peso (5).

Para o indicador que representa as estruturas de engenharia costeira o indicador dominante está relacionado a construção do espigão costeira, neste setor ocorrem três tipos de obras de engenharia, Obras de proteção representada por muros, molhes e enrocamentos; obra de proteção costeira marcada principalmente pelo espigão costeiro e obras de infraestrutura, marca pela presença de emissários, dutos e aterros de passagens (calçadas e avenidas). O peso atribuído a este indicador foi (10).

Para o indicador da percentagem da ocupação, foi atribuído o peso (10), visto que é o setor mais urbanizado da praia da Ponta D'Areia. Mais de 70% de ocupação, distribuídas por condomínios, casas e estabelecimentos comerciais, bares e restaurante além de um vasto setor de hotelaria.

O indicador da permeabilidade do solo por ser ligado a ocupação, recebeu o peso (10), tendo o setor II pavimentação, calcadas, passarelas e revestimento asfáltico no solo, impermeabilizando-o, portanto, atribuído o peso (10)

6.4.2.3. Setor III (Farol)

Para a resultante do Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC), o setor do Farol (Figura 26) possui 6 pontos de coletas nomeados de C5, C6, C7, C8, C9 e C10. A partir da média dos pontos de coleta o IVC obtido foi de 6,8 sendo classificado como um setor de vulnerabilidade moderada (Tabela 12). Contudo o índice que mais se apresenta no setor é o de vulnerabilidade alta e a partir das feições levantadas em campo o setor se apresenta como um setor com uma alta dinâmica costeira.

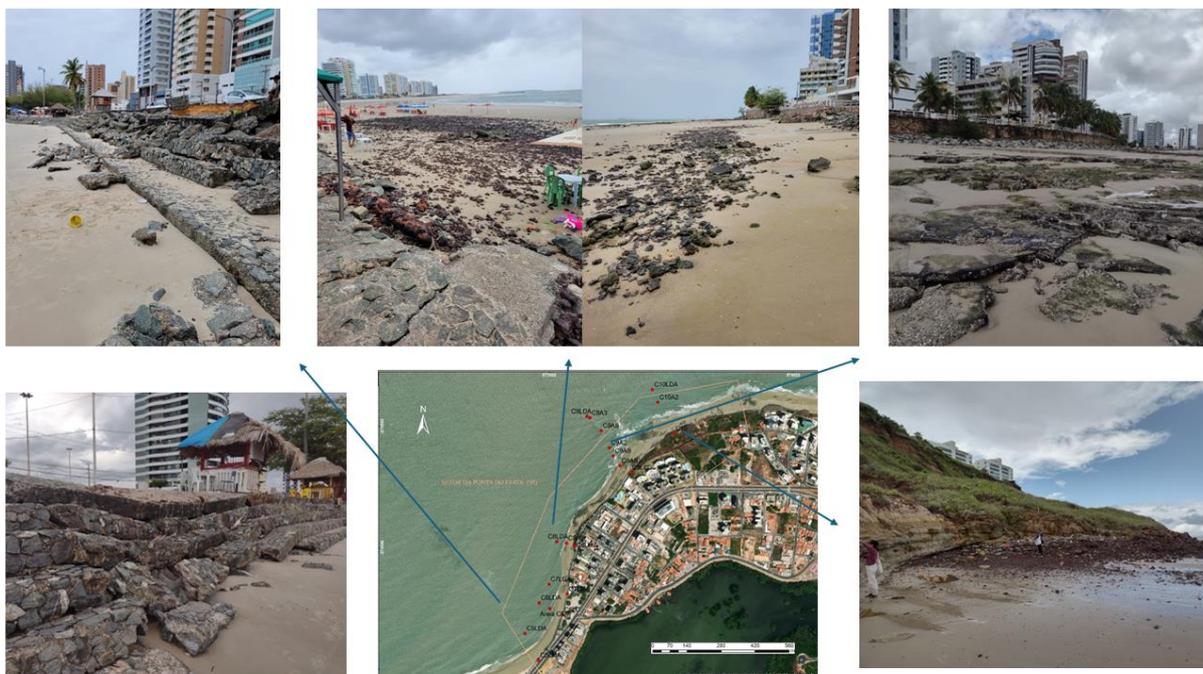


Figura 26 – Distribuição dos indicadores do setor da ponta do farol.

VII. Vegetação	Pouca ou nenhuma vegetação (menos de 50% do pós-praia ou setor)	Pouca ou nenhuma vegetação (menos de 50% do pós-praia ou setor)	Pouca ou nenhuma vegetação (menos de 50% do pós-praia ou setor)	Pouca ou nenhuma vegetação (menos de 50% do pós-praia ou setor)	Pouca ou nenhuma vegetação (menos de 50% do pós-praia ou setor)	Estruturas pequenas ou poucas significativas (menos de 50% do perfil longitudinal da praia ou setor)
VIII. Estrutura de engenharia costeira	Estruturas pequenas ou poucas significativas (menos de 50% do perfil longitudinal da praia ou setor)	Estruturas pequenas ou poucas significativas (menos de 50% do perfil longitudinal da praia ou setor)	Estruturas pequenas ou poucas significativas (menos de 50% do perfil longitudinal da praia ou setor)	Estruturas pequenas ou poucas significativas (menos de 50% do perfil longitudinal da praia ou setor)	Estruturas pequenas ou poucas significativas (menos de 50% do perfil longitudinal da praia ou setor)	Estruturas pequenas ou poucas significativas (menos de 50% do perfil longitudinal da praia ou setor)
IX. Percentagem de ocupação	>70%	>70%	>70%	>70%	>70%	>70%
X. Permeabilidade do solo	Permeabilidade seriamente afetada (<30%) / presença de assentamento urbano bem desenvolvido	Permeabilidade seriamente afetada (<30%) / presença de assentamento urbano bem desenvolvido	Permeabilidade seriamente afetada (<30%) / presença de assentamento urbano bem desenvolvido	Permeabilidade seriamente afetada (<30%) / presença de assentamento urbano bem desenvolvido	Permeabilidade seriamente afetada (<30%) / presença de assentamento urbano bem desenvolvido	Permeabilidade seriamente afetada (<30%) / presença de assentamento urbano bem desenvolvido

Quadro 7- Indicadores de vulnerabilidade costeira encontrados no setor. Fonte: Organizado pelo autor.

- Variáveis Costeira:

Adotou-se o peso (0) para este setor devido as características de sedimentos finos, e quanto mais fino o sedimento, menor será a declividade praial. O parâmetro do balanço sedimentar indica tendência erosiva em perfil topográfico realizado na proximidade deste setor por Lima *et al.* (2022) Por isso, adotou-se o peso (5) para a região.

Para a posição da linha de costa no setor da Ponta do Farol (III), todas as taxas dos parâmetros acusaram tendência erosiva, com recuo médio de -2.23 m/ano (EPR), as taxas médias de erosão foram de -21,35 m (NSM) e -2,23 m/ano (LRR). Portanto, o peso atribuído foi (10)

Para o indicador falésias foram atribuídos os pesos (10 e 5), pois ao longo do setor é possível perceber o gradiente topográfico, contudo o tabuleiro costeiro está altamente urbanizado, aterrado e descaracterizado, com construções de muros e paredões para conter a erosão. Ao final do setor, no limite da calçada inicia-se as falésias que não estão antropizadas, assim se atribuiu o peso (5).

As barreiras naturais podem ser descritas como barreiras que atuam como proteção da costa contra os processos dinâmicos costeiros, assim, no setor foram percebidos, promontórios,

afloramento rochoso e um espigão natural que atuam na proteção da costa, assim, atribuiu-se o peso (5) para este setor.

- Variáveis Continentais:

A elevação no setor varia de 3,5 m a -4m (Lima *et al.* 2022), portanto atribui-se o peso (5). No setor III, a existência de vegetação é atribuída a poucas unidades de árvores sendo menor que 50% portanto, o peso do indicador para setor é (10).

Estruturas de engenharia costeira são bastante utilizadas para o setor espigão ocorrem três tipos de obras de engenharia, Obras de proteção representada por muros, molhes e enrocamentos; obra de proteção costeira marcada principalmente pelo espigão costeiro e obras de infraestrutura, marca pela presença de emissários, dutos e aterros de passagens (calçadas e avenidas), nesse sentido foi atribuído o peso (10)

A taxa de ocupação do setor é maior que 70%, possui uma densa rede de hotelaria e condomínios verticais nesse sentido o peso para esse indicador é (10). A permeabilidade do solo conta com várias obras de engenharia costeira, calçadas, muros, passarelas, ruas, pavimentação asfáltica, portanto atribuiu-se o peso (10)



Figura 27 – Vulnerabilidade costeira da praia da Ponta D’Areia, ilha de Maranhão.

6.4.3. Matriz de impactos de obras costeiras no setor 1 MARINA

Foram encontrados todos os tipos de obras descritos na matriz no setor 1 Marina (Quadro 8), sendo obras de proteção do tipo muros, moles e enrocamentos; obras de recuperação do tipo espigão e gabião; obras de infraestrutura dos tipos Emissários (dutos emersos e enterrados), canais de águas superficiais, aterros de passagem (ruas, avenidas e estradas); e lazer dos tipos Marinas e Píeres ou plataforma de pesca.

As obras identificadas no setor da marina possuem dois padrões de interferência (C e D) que interferem predominantemente em fluxos longitudinais (deriva litorânea) e no fluxo do canal estuarino.

Neste setor os principais impactos que ocorrem são do tipo G3, embora estejam presentes e distribuídos no setor os impactos do G1 e G2, que correspondem às alterações sobre o perfil das praias arenosas em decorrência das presenças das obras.

Matriz do setor 1 MARINA		Padrão de Interferência				Impactos																				
						G1						G2			G3											
Tipos de obras que ocorrem no setor		A	B	C	D	a	b	c	d	E	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	
Obras de proteção	Muros				X							X	X	X			X						X			X
	Barreiras de rocha (ex. <i>rip-rap</i>)																									
	Molhes e enrocamentos			X	X					X		X											X			
Obras de recuperação	Engordamento de praia - molhes e																									
	Enrocamentos																									
	Espigões e gabiões			X	X					X		X											X			
Obras de infraestrutura	Emissários (dutos emersos e enterrados)			X	X					X		X										X	X	X		
	Canais de águas superficiais				X	X											X									
	Aterros de loteamentos																									
	Aterros de invasões																									
	Palafitas																									
	Aterros de passagem (ruas, avenidas, estradas)			X	X					X	X	X	X	X								X	X	X	X	X

para turistas. O impacto de Praias mais extensas causadas pelo assoreamento/ deposição (b), causado pelo aprisionamento dos sedimentos a barlar do espigão e erosão a sotamar representada por praias mais estreitas pela erosão (erosão paralela a linha de costa) (c), alteração da topografia da praia (perfil praial) (d) devido ao acúmulo sedimentar e avanço das dunas frontais e instalação de processos erosivos na praia (formação de células erosivas) (e).

Do grupo G2 que trata dos impactos sobre canais estuarinos apenas o impacto na redução de ambientes naturais (h) foi encontrado.

Dos impactos associados ao G3, foram encontrados deposição de areia em equipamentos públicos (praças, quiosques etc.) (j), isso ocorre principalmente nos períodos secos onde os ventos intensos e o material fino que são transportados e acumulados na passarela do espigão; alteração da paisagem (q) se refere ao acúmulo de sedimento e o alargamento da faixa praial neste setor. Já o impacto da contaminação da água superficial - por efluentes (r) e Contaminação da água por resíduos sólidos (s) é bem percebido no período chuvoso, quando se acumulam poças de água nas dunas e essa água apresenta resíduos contaminação por conta da proliferação de algas, por fim o impacto da alteração do regime de fluxo da água subterrânea (t)

6.4.5. Matriz de impactos de obras costeiras no setor 3 PONTA DO FAROL

No setor da Ponta do Farol foram observados dois tipos de obras de engenharia (Quadro 10): obras de proteção representada por muros, molhes e enrocamentos; obras de infraestrutura, marcada pela presença de emissários, dutos, canais de água superficial e aterros de passagens (calçadas, avenidas).

Quanto ao padrão das obras são de dois tipos: Padrão B representada por obras que alteram os fluxos transversais e o Padrão C obras cuja ação se dá de maneira igualitária nos dois tipos de fluxos.

Matriz do setor 3 PONTA DO FAROL		Padrão de Interferência				Impactos																					
						G1						G2			G3												
Tipos de obras que ocorrem no setor		A	B	C	D	a	b	c	d	e	f	g	h	I	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t		
Obras de proteção	Muros		X	X		X		X		X				X									X				
	Barreiras de rocha (ex. <i>rip-rap</i>)																										
	Molhes e enrocamentos			X		X				X													X				
Obras de recuperação	Engordamento de praia - molhes e enrocamentos																										
	Espigões e gabhões																										
Obras de infraestrutura	Emissários (dutos emersos e enterrados)		X																								
	Canais de águas superficiais		X							X														X	X		
	Aterros de loteamentos																										
	Aterros de invasões																										
	Palafitas																										
	Aterros de passagem (ruas, avenidas, estradas)		X			X		X															X		X	X	
	Pier ou plataforma de embarque																										
Obras de lazer e turismo	Aterros																										
	Marinas																										
	Piéres ou plataforma de pesca																										
	Molhes e enrocamentos																										
Variáveis																											
PADRÕES DE INTERFERÊNCIA: Padrão A: obras que são capazes de alterar predominantemente os fluxos longitudinais, aqueles relacionados aos movimentos das correntes de deriva litorânea (<i>longshore currents</i>), e que apresentam expressão mais nítida em planta; Padrão B: obras que alteram os fluxos transversais, relacionados aos movimentos costa adentro-costa afora (<i>onshore-offshore</i>), cujo reflexo se dá maneira mais incisiva sobre o perfil praiial; Padrão C: obras cuja ação se dá de maneira igualitária nos dois tipos de fluxos; e Padrão D: Obras que interferem nos fluxos de canais estuarinos.															SETORES: Setor 1: Baía (_____) Setor 2: Canal estuarino (_____) Setor 3: Praias (_____)												

G1-IMPACTOS SOBRE A FAIXA DE AREIA – PRAIAS	Redução da faixa de praia (avanço das obras sobre a faixa de praia) (a)	G3-IMPACTOS ASSOCIADOS	Deposição de areia em equipamentos públicos (praças, quiosques, etc) (j)
	Praias mais extensas causadas pelo assoreamento/ deposição (b)		Deposição de areia em avenidas e ciclovias (k)
Praias mais estreitas pela erosão (erosão paralela a linha de costa) (c)	Colapso de muros de proteção (l)		
Alteração da topografia da praia (perfil praial) (d)	Solapamento/recalques de aterros (m)		
Instalação de processos erosivos na praia (formação de células erosivas) (e)	Assoreamentos (n)		
G2-IMPACTOS SOBRE CANAIS ESTUARINOS	Aprisionamento de sedimentos junto a estrutura rígida de orientação impedindo seu movimento a sotamar (f)	Escalonamento da linha de costa por sucessivas estruturas rígidas perpendiculares a linha de costa (o)	
	Instalação de processos erosivos nas margens dos canais estuarinos (g)	Redução de áreas úteis a ocupação (p)	
	Redução de ambientes naturais (h)	Alteração da paisagem (q)	
Redução de áreas de mangue (i)	Contaminação da água superficial - por efluentes (r)	Contaminação da água por resíduos sólidos (s)	
		Alteração do regime de fluxo da água subterrânea (t)	

Quadro 10- Aplicação da Matriz de avaliação de Impactos Ambientais no Meio Físico decorrentes de Obras de Engenharia Costeira no setor do Farol. Fonte: Tabela elaborada por Farinacio & Tessler (2010).

Dos impactos listados que ocorrem no setor, do grupo G dos impactos sobre a faixa de areia estão a Redução da faixa de praia (avanço das obras sobre a faixa de praia) (a), visto que nesse setor o perfil praial é mais curto, em preamar a maior parte da faixa de areia fica submersa, e as ondas quebram na costa, portanto, a Praias mais estreitas pela erosão (erosão paralela a linha de costa) (c), esse impacto é percebido em todo o setor, com calçadas quebradas, rachaduras e bancos de seixo, além de Instalação de processos erosivos na praia (formação de células erosivas) (e) com marcas de escoamento, e plataformas de abrasão marinha.

Dos impactos do grupo dois (G2) foi encontrado apenas Redução de áreas de mangue (i), representado pela redução dos ambientes devido a urbanização da orla costeira e da implementação de condomínios residenciais e rede de hotelaria.

O grupo (G3) foi o grupo com maiores índices de impactos, dentre eles está a Alteração da paisagem (q); Contaminação da água superficial - por efluentes (r), Contaminação da água por resíduos sólidos (s), Alteração do regime de fluxo da água subterrânea (t). Isso se dá devido o adensamento urbano que a região está inserida.

6.5. DISCUSSÃO

Ao analisar os dados dos geoindicadores e ao compreender a dinâmica e vulnerabilidade costeira em que a praia da Ponta D'Areia está inserida, verifica-se que ao longo dos 3 setores da praia, o índice de vulnerabilidade costeira é moderado no setor da marina, moderado no setor do espigão e alta vulnerabilidade no setor da Ponta do Farol.

Franco (2018), Albuquerque (2018) e Cerveira (2018), apontam a praia da Ponta D'Areia como essencialmente erosiva. Franco (2018) em seu estudo afirma que a dinâmica de acreção e erosão ocorre de maneira sazonal onde a praia apresenta 5 meses de processos de acreção e 6 meses apresenta erosão. O autor destaca que no mês de agosto de 2015 (período seco), o balanço sedimentar positivo foi de 93,96 m²/m, e para o mês de fevereiro de 2016 (período chuvoso), o balanço sedimentar em déficit com um valor de -75,36 m²/m. O saldo positivo na sazonalidade mostra consonância com os resultados de variação da linha de costa aplicado na Ponta D'Areia, visto que, a posição da linha de costa no setor do espigão possui tendência acrecional, tendo os maiores dados de avanço médio: 10,35 m/ano.

El-Robrini et al. (2018) informam que os processos de avanço são identificados ao longo da linha de costa e nas proximidades do espigão em São Luís, onde se formou o campo de dunas devido a estrutura que tem como característica ser um obstáculo físico no transporte eólico dos sedimentos mobilizados na praia.

El-Robrini et al. (2018) também afirmam que a praia da Ponta D'Areia possui areia fina e é uma praia classificada como dissipativa. Para Komar (1976), a granulometria e a declividade da praia estão diretamente relacionados, menor granulometria, menor declividade. Pereira (2018) também afirma que o padrão de distribuição dos sedimentos na Ponta D'Areia é de areia fina, sendo possível observar em alguns pontos da praia sedimentos grossos (Φ 2,084). O autor também destaca que o setor espigão é uma zona de forte arrebenção de ondas, que restringe o transporte de sedimentos para a área subsequente.

Albuquerque (2018) e Pereira (2018) atribuem à especulação imobiliária, e demais ações antrópicas, o aumento de impactos na praia. Primeiros associados a emissão de efluentes domésticos que por sua vez afetam a morfodinâmica costeira da região, criando calhas na praia e zonas muito úmidas, que além de comprometer o transporte eólico, implicam em danos quanto à permeabilidade do solo. Os autores também apontam o espigão costeiro como um dos principais causadores dos impactos ambientais antrópicos, visto que modificou as condições originais da praia.

A avaliação dos impactos ocasionados pelo espigão, bem como as demais estruturas artificiais presentes na praia, também evidenciam alterações significativas na morfodinâmica costeira. O uso de checklist para avaliar os padrões de interferência ocasionados por estruturas artificiais construídas pelo Homem, torna-se uma metodologia eficaz na avaliação do meio

físico de ambientes costeiros com obras de engenharia (Farinacio & Tessler 2010). Estudos como de Ranieri (2014) sobre a morfodinâmica costeira e o uso da orla oceânica de Salinópolis, outra região de macromaré da Costa Norte, mostram a alta interferência antrópica no meio físico e como isso afeta a distribuição dos sedimentos (retirada de sedimentos finos da praia para offshore) e a variação da linha de costa (maior erosão costeira onde se tem estruturas rígida sobre a linha de costa).

No caso da Ponta D'Areia, os impactos estão associados principalmente a construção do espigão, que no caso é perpendicular à linha de costa, e o seu maior efeito (interferência nas correntes longitudinais, causando excesso de sedimentação local e acreção costeira). Além disso, o padrão de impacto também está ligado a obras de infraestrutura dos tipos Emissários (dutos emersos e enterrados), canais de águas superficiais e aterros de passagem (ruas, avenidas e estradas).

Em relação aos setores, seus índices de vulnerabilidade e geoindicadores descritos, o setor da marina com índice de vulnerabilidade costeira moderado (IVC 4,0) é um setor que tem um processo intenso de urbanização vertical e é marcado por embarcações e rampas de acesso ao logo da orla, além de empreendimentos e flutuantes. Sousa *et al.* (2013) em estudo sobre a avaliação da vulnerabilidade da Praia de Massaguaçu – SE, outra praia antropizada e com intenso transporte eólico e longitudinal também constataram índice de vulnerabilidade costeira moderada.

O setor Espigão da Ponta D'Areia também foi classificado como um setor de vulnerabilidade moderada (IVC 6,7). De acordo com Albuquerque (2018), o esporão arenoso ainda está em crescimento na área e há um contínuo prolongamento do esporão arenoso, visto que há bancos sedimentares que representam o novo compartimento deposicional dos sedimentos que cruzam o espigão e/ou mesmo os sedimentos que se depositam na desembocadura do Rio Anil. É um setor que apresenta uma ocupação de cerca de 30 e 70% de ocupação (incluindo o setor Ponta do Farol – III), distribuídas por condomínios, casas e estabelecimentos comerciais e possui remanescentes de mangue.

Ao analisar as vertentes oceanográficas, o setor seria classificado como baixa vulnerabilidade, por conta do espigão costeiro, mas devido as variáveis continentais o setor está inserido em um contexto de vulnerabilidade moderada.

O setor Ponta do Farol (III) foi o que apresentou maior IVC (6,8). El-Robrini *et al.* (2018) destaca que parte distal da praia da Ponta da Areia, onde está este setor, apresentou erosão a uma taxa de 15 m/ano. Albuquerque (2018) considera o setor III o mais erosivo da Praia da Ponta D'Areia, além disso classifica essa região com a menor faixa praial se localizando à jusante de um enrocamento natural de rochas lateríticas, o que se considera uma barreira natural eficaz, que por sua vez impede o transporte longitudinal de sedimentos na área. Pereira (2018), aponta esse espigão natural como sendo proveniente de erosões de rochas lateríticas da discordância entre base e topo da Formação Alcântara que interage com a face praial. Ao notar essa característica se confirma o caráter altamente vulnerável do setor. O setor considerado mais vulnerável, com exposição de bancos abrasivos, é densamente ocupado, com muros de contenção, calçadas e passarelas, estes com danos de erosão.

Menezes *et al.* (2018) identificaram alta vulnerabilidade a erosão em outras praias do nordeste do Brasil, praias de Piedade e Paiva –Pe. Os autores afirmam que as praias passam por um intenso processo de urbanização devido à especulação imobiliária. O que reforça a discussão de que a praia da Ponta D'Areia está inserida nesse contexto de mudanças urbanas, cuja vulnerabilidade tende a ser alta

Franco (2021) aplicou o estudo na região metropolitana de Fortaleza-CE e concluiu vulnerabilidade a erosão classificado como alto. O autor destaca as construções costeiras como principais influenciadoras nas configurações de vulnerabilidade. Novaes (2022), considerou os geoindicadores ambientais e fatores antrópicos distribuídos na Ilha de Mosqueiro (estado do Pará) e identificou as praias mais vulneráveis em áreas mais urbanizadas, com poucos ambientes de proteção natural que permitiriam uma maior resiliência e reposição sedimentar.

Embora El-Robrini *et al.* (2018) explica que devido ao avanço da urbanização em direção à linha de costa em São Luís, dos 13,5km de extensão cerca de 5km encontra-se estabilizada por obras de engenharia. Destes 5km, a praia da Ponta D'Areia tem ampla contribuição.

6.6. CONCLUSÃO

A análise da vulnerabilidade à erosão costeira da praia da Ponta D'Areia, objeto de estudo dessa pesquisa, foi sustentada no checklist de 10 geoindicadores aplicados nos meses de setembro de 2022 e abril de 2023.

Através do mapeamento e da análise desses geoindicadores, conclui-se que a vulnerabilidade à erosão costeira na praia da Ponta D'Areia é classificada como moderada a alta. O setor I, setor da Marina, apresentou o menor IVC: 4, portanto a vulnerabilidade é moderada.

No setor II, setor espigão, obteve-se IVC: 6,37, sendo a vulnerabilidade também moderada, embora os indicadores da variável costeira apontem baixa vulnerabilidade, devido a estabilidade que a costa está sujeita atualmente, após a construção do espigão. Os indicadores costeiros elevaram este nível de vulnerabilidade. A acreção sedimentar costeira se intensificou na praia após a intervenção antrópica com a construção do espigão, contudo os fatores naturais são os principais responsáveis pela elevada dinâmica praial e sedimentação.

O setor II se torna mais vulnerável com as variáveis continentais, devido a ocupação e as interferências humanas (ocupação na linha de costa e construção de estruturas rígidas), fazendo com que o IVC do setor aumente. Conclui-se que o setor ainda está inserido a outros riscos costeiros, relacionados ao fator de alta urbanização, onde a presença de obras de infraestrutura, de emissários, dutos e aterros de passagens (calçadas, avenidas), são relacionadas ao alto risco do setor.

No setor III, Ponta do Farol, o IVC 6,8 apontou vulnerabilidade alta, por meio das análises quali-quantitativas se observou que é o setor considerado mais vulnerável, com exposição de bancos abrasivos, além de que é um setor densamente ocupado, com murros de contenção, calçadas e passarelas, estes com danos de erosão.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da vulnerabilidade à erosão costeira da praia da Ponta D'Areia, objeto de estudo dessa pesquisa, foi sustentada no checklist com 10 geoindicadores cuja aplicação ocorreu nos meses de setembro de 2022 e abril de 2023. Obteve-se o resultado de vulnerabilidade alta para o setor da Ponta do Farol com IVC 6,8 que se apresenta como o setor mais erosivo da praia, possui taxas de variação de linha de costa que acusam recuo de -2.23 metros ao ano, um dos setores com exposição de bancos abrasivos, com exposição de rochas. O setor é densamente ocupado, com murros de contenção, calçadas e passarelas, estes com danos de erosão. É um dos setores que apresenta maior ocupação, cerca de 70%, o que compromete a impermeabilidade do solo.

O setor do espigão obteve o segundo maior IVC: 6,37, apontando uma vulnerabilidade moderada, embora seja o setor em que a praia teve um avanço significativo da faixa de areia. devido ao efeito sedimentar acumulativo do espigão costeiro, pelo levantamento e contagem dos indicadores chega-se à conclusão de que o setor ainda está inserido a outros riscos costeiros, relacionados ao fator continental de alta urbanização onde a presença de obras de infraestrutura, marcada pela presença de emissários, dutos e aterros de passagens (calçadas e avenidas) são relacionadas ao alto risco de danos do setor.

Por fim, o setor da marina que possuiu o menor IVC: 4, é o setor que apresenta vulnerabilidade moderada, com taxas de avanço da LC de 5.69 m/ano (EPR) e com tendência a acreção, é o setor que apresenta uma ocupação de cerca de 30 e 70% de ocupação, distribuídas por condomínios, casas e estabelecimentos comerciais e possui remanescentes de mangue. O setor é representado pelas estruturas de engenharia costeira, além de obras de infraestrutura dos tipos Emissários representada por dutos emersos e enterrados, canais de águas superficiais e aterros de passagem. Ruas, avenidas, estradas, Marinas e Píeres também são distribuídos na orla.

O estudo dos indicadores de vulnerabilidade costeira é um estudo bastante utilizado para avaliar as áreas sujeitas a processos erosivos e progradacionais da costa. O método desse estudo de análise de geoindicadores semiquantitativos se mostrou satisfatório.

O monitoramento da costa a longo prazo da variação da linha de costa e dos indicadores pode auxiliar em dados mais precisos sobre a dinâmica costeira da praia da Ponta D'Areia, visto que, entender os processos dinâmicos da praia pode minimizar os problemas de erosão e acumulação que a região está inserida, além de fornecer subsídios e estudos sobre a utilização de obras de engenharia em baías e estuários.

Por fim, este estudo fornece informações que podem auxiliar na tomada de decisões e na escolha de quais medidas de mitigações para 2032 e 2042, visto que a projeção da linha de costa, poderá contribuir para reduzir os prejuízos do avanço médio do nível do mar, além de apresentar informações cruzadas de geoindicadores que contribuem para o conhecimento da dinâmica costeira da região, dando suporte para pesquisas futuras sobre avaliação da linha de costa e do grau de vulnerabilidade costeira em face a obras de engenharia.

REFERÊNCIAS

Abreu Valdir Braga, Paula Davis Pereira de, Morais Jäder Onofre de. 2024. Análise das mudanças da linha de preamar máxima em um trecho da Praia do Cumbuco (Caucaia-CE) com aplicação da ferramenta digital Shoreline Analysis System (DSAS). *Revista Equador*, **12**(2): 72-94, mar. Disponível em: <https://doi.org/10.26694/equador.v12i2.14192>. Acesso em: 10 jul. 2024.

Albuquerque Saulo Santiago de. 2018. *Estratigrafia, morfodinâmica e evolução de um esporão arenoso em ambiente macromaré*: Ponta da Areia, São Luis - MA. MS Dissertation Curso de Oceanografia, Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, 117 p.

Application - GloVis. 2022. *Imagens landsat 5 TM*. Disponível em: <https://glovis.usgs.gov/app>. Acesso em: 26 abr. 2022.

Application - GloVis. 2022. *Imagens landsat 8 OLI*. Disponível em: <https://glovis.usgs.gov/app>. Acesso em: 26 abr. 2022.

Araújo R. R. 2014. *Clima e vulnerabilidade socioespacial: uma avaliação dos fatores de risco na população urbana do município de São Luís (MA)*. PhD Theses, Programa de Pós-Graduação em Geografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista, Campus de Presidente Prudente, SP, 289p.

Asp N. E. 2013. *Dinâmica de ondas de areia na Baía de São Marcos (Ponta da Madeira/MA): observações e modelagem numérica*. MS Dissertation, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, xiv, 78p.

Baía L. B., Ranieri L. A., Rosario R. P. 2021. Análise multitemporal da variação da linha de costa em praias estuarinas de macromaré na Amazônia oriental. *Geociências*, São Paulo, Online, **40**: 231-244.

Batista E. M.,; Martins O. F. M., Souza Filho O. F. M. 2007. Monitoramento da linha de costa do Parque Nacional do Cabo Orange através da análise multitemporal de imagens de sensores remoto. In: INPE, 15º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Florianópolis. *Anais[...]*. p. 21-26.

Brasil. *Lei nº 7.661*, de 16 de maio de 1988. Disponível em: <https://www.lexml.gov.br/urn/urn:lex:br:federal:lei:1988-05-16;7661>. Acesso em: 19 jul. 2024.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. 2018. *Panorama da erosão costeira no Brasil* [recurso eletrônico]. Brasília, DF, Ministério do Meio Ambiente-MMA, Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Ambiental Territorial; Organização Dieter Muche.

Brindeiro Francisco Oricélio da Silva. 2018. *Erosão costeira e variabilidade da linha de costa da praia do Balbino, Cascavel - Ceará*. MS Dissertation, Universidade Estadual do Ceará,

Fortaleza, 120p. Disponível em: <http://siduece.uece.br/siduece/trabalhoAcademicoPublico.jsf?id=85485>. Acesso em: 24 jul. 2024.

Cardoso, K. E. O.; Santana, C. G.; Lisboa, D. C. S.; Rocha, L. N.; Rangel, A. N.; Muller, R. M. L. Avaliação da dinâmica da paisagem, visando às mudanças ambientais perante a construção do espigão costeiro na praia da Ponta D'Areia, São Luís - MA. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 2176-7270, p. 161-179, 2020.

Cerveira, G. S. *Origem e evolução da Lagoa da Jansen*. Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão - UFMA, Trabalho de Conclusão do Curso de Oceanografia, p. 48-51, 2018.

CIRM (Comissão Interministerial para os Recursos do Mar). *Guia de diretrizes de prevenção e proteção à erosão costeira*. Brasília: CIRM, 2018. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/publicacoes/Final_Guia-de-Diretrizes_09112018-compressed.pdf. Acesso em: 25 out. 2023.

Coelho, G. T. F.; Sales, L. L. N. Ocupação do espaço urbano: observações históricas e a expansão da Península da Ponta D'Areia em São Luís - MA entre os anos de 2004 e 2016. *Educação Ambiental em Ação*, v. 1, p. 1, 2018.

Castro Scottá dos Passos, Rafael de. *Variação morfotextural da praia de Camburi, Vitória – ES, após engordamento artificial*. 2004. 81 p. MS Dissertation, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2004.

Dubreuil Vincent, Fante Karime Pechutti, Planchon Olivier, Sant'Anna Neto, João Lima. 2018. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. *Confins* [online], (37): <https://doi.org/10.4000/confins.15738>.

El-robrini, M.; Santos, J. H. S.; Lima, L. G.; Santos, A. L. S.; Santos, M. C. F. V.; Souza, U. D. V. Panorama da erosão costeira no Brasil - Maranhão. In: Muehe, Dieter (Org.). *Panorama da Erosão Costeira no Brasil*. Brasília, DF: MMA, 2018. p. 167-239.

Farias menezes, Athos; de Souza Pereira, Pedro; Mikosz Gonçalves, Rodrigo. Uso de geoindicadores para avaliação da vulnerabilidade à erosão costeira através de sistemas de informações geográficas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 11, n. 1, p. 276-296, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbfg.v11.1.p276-296>. Acesso em: 21 jul. 2024.

Farias, Eduardo Guilherme Gentil de. *Aplicação de técnicas de geoprocessamento para a análise da evolução da linha de costa em ambientes litorâneos do Estado do Ceará*. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/1362>. Acesso em: 19 jul. 2024.

Farinaccio, Alessandro; Tessler, Moysés Gonzalez. Avaliação de impactos ambientais no meio físico decorrentes de obras de engenharia costeira - uma proposta metodológica. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v. 10, n. 4, p. 419-434, dez. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.5894/rgci210>. Acesso em: 19 jul. 2024.

Ferreira, Matheus Seguin. *Morfodinâmica da Praia da Ponta D'Areia, São Luís-MA*. 2018. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) — Curso de Oceanografia, Universidade Federal da Bahia, São Luís - MA, 2018.

Florenzano, T. G. *Iniciação em sensoriamento remoto*. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

França C. F. de. Pimentel M. A. S., Araújo F. A. 2022. *Dinâmica costeira através da análise de indicadores. Estudos de caso: ilhas de Mosqueiro, Cotijuba, Marajó e Ajuruteua (Brasil), Beira (Moçambique) e Santiago de Cuba [recurso eletrônico]*. Ananindeua, PA, Itacaiúnas, 182 p.

França C. F. & Souza Filho P. W. M. 2003. Análise das mudanças morfológicas costeiras de médio período na margem leste da ilha de Marajó (PA) em imagem Landsat. *Revista Brasileira de Geociências*, **33**(2):127-136.

Gornitz, V. Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, v. 89, p. 379-398, 1991.

Guerra A. J. T. 1997. *Novo dicionário geológico geomorfológico*. 1. ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 648 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?id=223450&view=detalhes>. Acesso em: 19 jul. 2024.

Juara Alves Costa, Grenda. *Integração de parâmetros morfodinâmicos para o entendimento da erosão costeira no município de Jaboatão dos Guararapes (PE) – Brasil*. 2020. 112 p. MS Dissertation, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.

Jansen Franco, Brunno. *Análise do índice de vulnerabilidade costeira no setor oeste da região metropolitana de Fortaleza*. 2021. 41 p. MS Dissertation, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

Landsat - Land Remote Sensing Satellite. *Embrapa*, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>. Acesso em: 19 jan. 2021.

Lima Leonardo Gonçalves de *et al.* 2024. Caracterização sedimentar das praias arenosas da Ilha do Maranhão. *Revista Brasileira de Geografia Física*, **17** (3): 1672-1696, maio. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.3.p1672-1696>. Acesso em: 20 jul. 2024.

Lima, Jailson Cavalcante. *Erosão costeira e seus efeitos no potencial recreacional das praias do litoral de Caucaia (Ceará, Brasil): problemas e consequências no desenvolvimento do turismo*. Orientador: Davis Pereira de Paula. 2021. 130 f. MS Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza – Ceará, 2021.

Lima, Leonardo Gonçalves de *et al.* Morfodinâmica da praia da Ponta da Areia: considerações sobre a construção de um espigão costeiro em ambiente de macromaré. *Geosciences = Geociências*, v. 41, n. 2, p. 503-515, 17 out. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v41i02.16457>. Acesso em: 19 jul. 2024.

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 da Gestão Costeira Integrada*, v. 13, p. 113-129, 2013.

Marques, José Matheus Da Rocha. *Distribuição de dunas frontais no litoral setentrional do Ceará*. 2022. 79 f. MS Dissertation, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

Menezes, Athos Farias *et al.* Análise da vulnerabilidade à erosão costeira através de geoindicadores nas praias de Piedade e Paiva (PE), Brasil. *Geosciences = Geociências*, v. 37, n. 2, p. 455-465, 25 jun. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v37i2.11819>. Acesso em: 25 jul. 2024.

Menezes, Athos Farias *et al.* O uso de geoindicadores para avaliação da vulnerabilidade à erosão costeira na Praia do Forte Orange (Ilha de Itamaracá-PE, Brasil). *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, v. 43, n. 3, 30 set. 2020b. Disponível em: https://doi.org/10.11137/2020_3_250_259. Acesso em: 24 jul. 2024.

Moraes, E. C. *Fundamentos de sensoriamento remoto*. Capítulo 1. INPE, São José dos Campos, 2002.

Moura Filipe Maciel de & Vasconcelos Fábio Perdigão. 2023. Análise geoespacial aplicada ao estudo da variação da linha de costa da praia de Parajuru, nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Geomática*, **10** (3): 201, fev. Disponível em: <https://doi.org/10.3895/rbgeo.v10n3.14833>. Acesso em: 10 jul. 2024.

Muehe, D. Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. *Mercator, Rev. de Geografia da UFC*, v. 04 (07), p. 97-110, 2005.

Muehe, D.; Neves, C. F. *Impactos potenciais das mudanças climáticas na cidade do Rio de Janeiro e possíveis ações de mitigação*. Rio de Janeiro: Instituto Pereira Passos. Seminário de Reação: Rio Próximos 100 anos, 2007.

Nascimento, Francisco Das Chagas Araújo Do; Braga, Célia Campos; Araújo, Fabiane Regina Da Cunha Dantas. Análise estatística dos eventos secos e chuvosos de precipitação do Estado do Maranhão. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 3, p. 375–386, 2017.

Nervino, Milena Reis. *Análise multitemporal do comportamento da linha de costa entre Busca Vida e Praia do Forte, no litoral norte do Estado da Bahia – Brasil*. Orientador: Pablo Santana Santos. 2018. 113 f. TCC (Graduação) — Curso de Oceanografia, Universidade Federal da Bahia, Salvador – Bahia, 2018.

Novaes Gabriela de Oliveira. 2022. *Geoindicadores de vulnerabilidade à erosão em praias estuarinas, costa amazônica, Pará*. MS Dissertation, Universidade Federal do Pará, Belém, 119 p.

Pinheiro, Juarez Mota. Análise do sistema costeiro da Ilha do Maranhão. In: IV Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2002, São Luís. *Geomorfologia: Interfaces, Aplicações e Perspectivas*, v. 1, p. 78-78, 2002.

Prado, Barbara Irene Wasinski. *Ponta D'Areia na São Luís do Maranhão: as formas e os arranjos da paisagem em transformação*. 2002. 150 f. MS Dissertation, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2002.

Prudêncio, M. D. C. Análise da evolução costeira para as praias de Muriú e Jacumã, litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil, por meio do DSAS e SMC-Brasil. Orientador: Ada Cristina Scudelari. 2019. 143 f. Dissertação (Mestrado) — Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

Ranieri, L. A. *Morfodinâmica costeira e o uso da orla oceânica de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil*. 2014. 195 f. PhD Theses, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

Ranieri, L. A. ; El-robrini, M. Evolução da linha de costa de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, v. 42, n. 3, p. 207, 27 fev. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.22456/1807-9806.78121>. Acesso em: 19 jul. 2024.

Reis Leonardo Nogueira dos 2023. *Caracterização morfológica de planícies inundáveis na costa do Amapá: uma análise a partir de modelos digitais de elevação*. MS Dissertation, Universidade Federal do Pará, Belém, 104 p.

Rodrigues, T. L. N.; Araújo, C. C.; Camozzato, E.; Ramgrab, G. E. (Orgs.). *São Luís, Folha SA-23-2-A, Cururupu Folha SA-23-X-C, escala 1:250.000*. Brasília: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, 185 p, 1994.

Santos Luiz Eduardo Neves dos. *Caracterização socioambiental de São Luís-MA*. 2019. [S.l.: s.n.]. p. 1-7. Disponível em: https://saoluis.ma.gov.br/midias/anexos/2241_2228_caracterizacao_socioambiental_de_sao_luis.pdf.

Sazaki T. O. 1980. *Proceedings of coastal zone*. [S.l.], ASCE, p.3197-3209.

Silva, G. da. *et al.* Aspectos geomorfológicos da Ilha do Medo, São Luís - MA. In: *Simpósio Nacional de Geomorfologia*, 6., 2006, Goiânia. Goiânia: [s.n.], 2006. p. 1-10. Regional Conference on Geomorphology, 6-10 set. 2006.

Silva, Maykon Targino *et al.* Variação da linha de costa no litoral cearense (1984-2018). *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 12, n. 7, p. 2551-2579, 31 jan. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.7.p2551-2579>. Acesso em: 19 jul. 2024.

Silva, Torres dos Santos Uina. *Avaliação geoambiental das praias do município de Jaboatão dos Guararapes, região metropolitana do Recife*. 2008. Universidade Federal de Pernambuco, [s.l.], 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/8042>. Acesso em: 18 jul. 2024.

Silva, W. S. A. da S. *Vulnerabilidade do litoral do município de Paulista-PE à erosão costeira*. Salvador, 2021.

Sobrinho, J. P. C. *Estudo morfodinâmico da Praia do Meio - São José de Ribamar - MA*. UFMA, 1998. 50 p.

Sousa C. S., Klein E. L., Vasquez M. L., Lopes E. C. S., Teixeira S. G., Oliveira J. K. M., Moura E. M., Leão M. H. B. 2012. Mapa geológico e recursos minerais do Estado do Maranhão. In: Klein E. L. & Sousa C. S. (orgs.). *Geologia e recursos minerais do Estado do Maranhão: Sistema de Informações Geográficas – SIG*, escala 1:750.000. Belém, CPRM.

Steffen Carlos Alberto 2006. *Introdução ao sensoriamento remoto*. [S.l.], Spring. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_sen.html. Acesso em: 19 jan. 2021.

Vasconcelos, T. R. *Aspectos geomorfológicos e sedimentológicos do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, MA/Brasil*. São Luís: UFMA, 2016.

Wentworth W. C. Grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, v. 30, p. 377-372, 1922.

ANEXO A – Indicadores ambientais de vulnerabilidade costeira

Variáveis	Indicadores	Baixa	Moderada	Alta
Costeiro	Declividade e granulometria da praia (I)	Presença de areia muito fina a média, praia com declividade <2°	Presença de areia média, praia com declividade >2°	Presença de sedimentos mais grosseiros (areia média a muito grossa), praia com declividade >4°
	Balanço sedimentar praial - sazonal (II)	Positivo (>10 m ³ .m ⁻¹)	Aproximadamente estável (até 10 m ³ .m ⁻¹)	Negativo (>10 m ³ .m ⁻¹)
	Varição da linha de costa (III)	Avanço (> 1 m)	Estável (até +/- 1 m)	Recuo (> 1 m)
	Falésias (IV)	Presença de falésias inativas, mais de 50% da faixa de pós-praia	Presença de falésias ativas, mais de 50% da faixa de pós-praia	Presença de falésias ativas, menos de 50% ou ausentes no pós-praia
	Barreiras naturais (V)	Presença de barreiras naturais (promontórios, afloramentos rochosos, barra arenosa)	Presença de bancos de areia <i>offshore</i>	Sem obstáculos naturais
Continental	Elevação do terreno (VI)	>6 m	4-6 m	<4 m
	Vegetação (VII)	Densa com floresta madura e sem evidências erosivas (mais de 50% do pós-praia ou setor)	Bem estabelecida com grama/gramínea e arbustos (mais de 50% do pós-praia ou setor)	Pouca ou nenhuma vegetação (menos de 50% do pós-praia ou setor)
	Estruturas de engenharia costeira (VIII)	Ausência de estruturas costeiras	Estruturas pequenas ou poucas significativas (menos de 50% do perfil longitudinal da praia ou setor)	Presença de paredões, quebra-mares, molhes, muros de arrimo, espigão. (mais de 50% do perfil longitudinal da praia ou setor)
	Porcentagem de ocupação (IX)	<30%	Entre 30 e 70%	>70%
	Permeabilidade do solo (X)	Permeável (>70%) / pouca ou nenhuma ocupação	Permeabilidade moderada (de 70 a 30%) / densidade média de ocupação / urbanização	Permeabilidade seriamente afetada (<30%) / presença de assentamento urbano bem desenvolvido

Fonte: Novaes (2022 adaptado de Sousa *et al.* 2013, Moraes *et al.* 2022).

C1

Matriz do setor 1(_____)		Padrão de Interferência				Impactos																					
						G1						G2			G3												
Tipos de obras que ocorrem no setor		A	B	C	D	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t		
Obras de proteção	Muros		X				X		X																		
	Barreiras de rocha (ex. <i>rip-rap</i>)																										
	Molhes e enrocamentos		X				X		X																		
Obras de recuperação	Engordamento de praia - molhes e enrocamentos																										
	Espigões e gabiões			X	X		X		X			X		X													
Obras de infraestrutura	Emissários (dutos emersos e enterrados)		X																				X	X			
	Canais de águas superficiais																										
	Aterros de loteamentos																										
	Aterros de invasões																										
	Palafitas																										
	Aterros de passagem (ruas, avenidas, estradas)		X				X																			X	
	Pier ou plataforma de embarque																										
Obras de lazer e turismo	Aterros																										
	Marinas																										
	Píeres ou plataforma de pesca																										
	Molhes e enrocamentos																										
Variáveis																											
PADRÕES DE INTERFERÊNCIA: Padrão A: obras que são capazes de alterar predominantemente os fluxos longitudinais, aqueles relacionados aos movimentos das correntes de deriva litorânea (<i>longshore currents</i>), e que apresentam expressão mais nítida em planta; Padrão B: obras que alteram os fluxos transversais, relacionados aos movimentos costa adentro-costa afora (<i>onshore-offshore</i>), cujo reflexo se dá maneira mais incisiva sobre o perfil praiial; Padrão C: obras cuja ação se dá de maneira igualitária nos dois tipos de fluxos; e Padrão D: Obras que interferem nos fluxos de canais estuarinos.															SETORES: Setor 1: Baía (_____) Setor 2: Canal estuarino (_____) Setor 3: Praias (_____)												

G1-IMPACTOS SOBRE A FAIXA DE AREIA – PRAIAS	Redução da faixa de praia (avanço das obras sobre a faixa de praia) (a) Praias mais extensas causadas pelo assoreamento/ deposição (b) Praias mais estreitas pela erosão (erosão paralela a linha de costa) (c) Alteração da topografia da praia (perfil praial) (d) Instalação de processos erosivos na praia (formação de células erosivas) (e) Aprisionamento de sedimentos junto a estrutura rígida de orientação impedindo seu movimento a sotamar (f)	G3-IMPACTOS ASSOCIADOS	Deposição de areia em equipamentos públicos (praças, quiosques, etc) (j) Deposição de areia em avenidas e ciclovias (k) Colapso de muros de proteção (l) Solapamento/recalques de aterros (m) Assoreamentos (n) Escalonamento da linha de costa por sucessivas estruturas rígidas perpendiculares a linha de costa (o) Redução de áreas úteis a ocupação (p) Alteração da paisagem (q) Contaminação da água superficial - por efluentes (r) Contaminação da água por resíduos sólidos (s) Alteração do regime de fluxo da água subterrânea (t)
G2-IMPACTOS SOBRE CANAIS ESTUARINOS	Instalação de processos erosivos nas margens dos canais estuarinos (g) Redução de ambientes naturais (h) Redução de áreas de mangue (i)		

Matriz de avaliação de Impactos Ambientais no Meio Físico decorrentes de Obras de Engenharia Costeira.
 Fonte: (Frinacio & Tessler 2010).

C2

Matriz do setor 1(_____)		Padrão de Interferência				Impactos																					
						G1						G2			G3												
Tipos de obras que ocorrem no setor		A	B	C	D	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t		
Obras de proteção	Muros		X				X																				
	Barreiras de rocha (ex. <i>rip-rap</i>)																										
	Molhes e enrocamentos		X				X																				
Obras de recuperação	Engordamento de praia - molhes e enrocamentos																										
	Espigões e gabiões																										
Obras de infraestrutura	Emissários (dutos emersos e enterrados)		X							X													X	X			
	Canais de águas superficiais																										
	Aterros de loteamentos																										
	Aterros de invasões																										
	Palafitas																										
	Aterros de passagem (ruas, avenidas, estradas)		X																				X			X	
	Pier ou plataforma de embarque																										
Obras de lazer e turismo	Aterros																										
	Marinas																										
	Piéres ou plataforma de pesca																										
	Molhes e enrocamentos																										
Variáveis																											
PADRÕES DE INTERFERÊNCIA: Padrão A: obras que são capazes de alterar predominantemente os fluxos longitudinais, aqueles relacionados aos movimentos das correntes de deriva litorânea (<i>longshore currents</i>), e que apresentam expressão mais nítida em planta; Padrão B: obras que alteram os fluxos transversais, relacionados aos movimentos costa adentro-costa fora (<i>onshore-offshore</i>), cujo reflexo se dá maneira mais incisiva sobre o perfil praiial; Padrão C: obras cuja ação se dá de maneira igualitária nos dois tipos de fluxos; e Padrão D: Obras que interferem nos fluxos de canais estuarinos.															SETORES: Setor 1: Baía (_____) Setor 2: Canal estuarino (_____) Setor 3: Praias (_____)												

G1-IMPACTOS SOBRE A FAIXA DE AREIA – PRAIAS	Redução da faixa de praia (avanço das obras sobre a faixa de praia) (a) Praias mais extensas causadas pelo assoreamento/ deposição (b) Praias mais estreitas pela erosão (erosão paralela a linha de costa) (c) Alteração da topografia da praia (perfil praial) (d) Instalação de processos erosivos na praia (formação de células erosivas) (e) Aprisionamento de sedimentos junto a estrutura rígida de orientação impedindo seu movimento a sotamar (f)	G3-IMPACTOS ASSOCIADOS	Deposição de areia em equipamentos públicos (praças, quiosques, etc) (j) Deposição de areia em avenidas e ciclovias (k) Colapso de muros de proteção (l) Solapamento/recalques de aterros (m) Assoreamentos (n) Escalonamento da linha de costa por sucessivas estruturas rígidas perpendiculares a linha de costa (o) Redução de áreas úteis a ocupação (p) Alteração da paisagem (q) Contaminação da água superficial - por efluentes (r) Contaminação da água por resíduos sólidos (s) Alteração do regime de fluxo da água subterrânea (t)
G2-IMPACTOS SOBRE CANAIS ESTUARINOS	Instalação de processos erosivos nas margens dos canais estuarinos (g) Redução de ambientes naturais (h) Redução de áreas de mangue (i)		

Matriz de avaliação de Impactos Ambientais no Meio Físico decorrentes de Obras de Engenharia Costeira.
 Fonte: (Frinacio & Tessler 2010).

C3

Matriz do setor 1(_____)		Padrão de Interferência				Impactos																					
						G1						G2			G3												
Tipos de obras que ocorrem no setor		A	B	C	D	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t		
Obras de proteção	Muros		X				X																				
	Barreiras de rocha (ex. <i>rip-rap</i>)																										
	Molhes e enrocamentos		X				X																				
Obras de recuperação	Engordamento de praia - molhes e enrocamentos																										
	Espigões e gabões																										
Obras de infraestrutura	Emissários (dutos emersos e enterrados)		X							X													X	X			
	Canais de águas superficiais																										
	Aterros de loteamentos																										
	Aterros de invasões																										
	Palafitas																										
	Aterros de passagem (ruas, avenidas, estradas)		X																				X			X	
	Pier ou plataforma de embarque																										
Obras de lazer e turismo	Aterros																										
	Marinas																										
	Píeres ou plataforma de pesca																										
	Molhes e enrocamentos																										
Variáveis																											
PADRÕES DE INTERFERÊNCIA: Padrão A: obras que são capazes de alterar predominantemente os fluxos longitudinais, aqueles relacionados aos movimentos das correntes de deriva litorânea (<i>longshore currents</i>), e que apresentam expressão mais nítida em planta; Padrão B: obras que alteram os fluxos transversais, relacionados aos movimentos costa adentro-costa fora (<i>onshore-offshore</i>), cujo reflexo se dá maneira mais incisiva sobre o perfil praiial; Padrão C: obras cuja ação se dá de maneira igualitária nos dois tipos de fluxos; e Padrão D: Obras que interferem nos fluxos de canais estuarinos.															SETORES: Setor 1: Baía (_____) Setor 2: Canal estuarino (_____) Setor 3: Praias (_____)												

<p>G1-IMPACTOS SOBRE A FAIXA DE AREIA – PRAIAS</p>	<p>Redução da faixa de praia (avanço das obras sobre a faixa de praia) (a)</p> <p>Praias mais extensas causadas pelo assoreamento/ deposição (b)</p> <p>Praias mais estreitas pela erosão (erosão paralela a linha de costa) (c)</p> <p>Alteração da topografia da praia (perfil praial) (d)</p> <p>Instalação de processos erosivos na praia (formação de células erosivas) (e)</p> <p>Aprisionamento de sedimentos junto a estrutura rígida de orientação impedindo seu movimento a sotamar (f)</p>	<p>G3-IMPACTOS ASSOCIADOS</p>	<p>Deposição de areia em equipamentos públicos (praças, quiosques, etc) (j)</p> <p>Deposição de areia em avenidas e ciclovias (k)</p> <p>Colapso de muros de proteção (l)</p> <p>Solapamento/recalques de aterros (m)</p> <p>Assoreamentos (n)</p> <p>Escalonamento da linha de costa por sucessivas estruturas rígidas perpendiculares a linha de costa (o)</p> <p>Redução de áreas úteis a ocupação (p)</p> <p>Alteração da paisagem (q)</p> <p>Contaminação da água superficial - por efluentes (r)</p> <p>Contaminação da água por resíduos sólidos (s)</p> <p>Alteração do regime de fluxo da água subterrânea (t)</p>
<p>G2-IMPACTOS SOBRE CANAIS ESTUARINOS</p>	<p>Instalação de processos erosivos nas margens dos canais estuarinos (g)</p> <p>Redução de ambientes naturais (h)</p> <p>Redução de áreas de mangue (i)</p>		

Matriz de avaliação de Impactos Ambientais no Meio Físico decorrentes de Obras de Engenharia Costeira.
Fonte: (Frinacio & Tessler 2010).

C4

Matriz do setor 1(_____)		Padrão de Interferência				Impactos																					
						G1						G2			G3												
Tipos de obras que ocorrem no setor		A	B	C	D	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t		
Obras de proteção	Muros																										
	Barreiras de rocha (ex. <i>rip-rap</i>)																										
	Molhes e enrocamentos		X			X																X					
Obras de recuperação	Engordamento de praia - molhes e enrocamentos																										
	Espigões e gabões																										
Obras de infraestrutura	Emissários (dutos emersos e enterrados)		X																				X	X			
	Canais de águas superficiais																										
	Aterros de loteamentos																										
	Aterros de invasões																										
	Palafitas																										
	Aterros de passagem (ruas, avenidas, estradas)		X			X	X																X			X	
	Pier ou plataforma de embarque																										
Obras de lazer e turismo	Aterros																										
	Marinas																										
	Piéres ou plataforma de pesca																										
	Molhes e enrocamentos																										
Variáveis																											
PADRÕES DE INTERFERÊNCIA: Padrão A: obras que são capazes de alterar predominantemente os fluxos longitudinais, aqueles relacionados aos movimentos das correntes de deriva litorânea (<i>longshore currents</i>), e que apresentam expressão mais nítida em planta; Padrão B: obras que alteram os fluxos transversais, relacionados aos movimentos costa adentro-costa fora (<i>onshore-offshore</i>), cujo reflexo se dá maneira mais incisiva sobre o perfil praiial; Padrão C: obras cuja ação se dá de maneira igualitária nos dois tipos de fluxos; e Padrão D: Obras que interferem nos fluxos de canais estuarinos.															SETORES: Setor 1: Baía (_____) Setor 2: Canal estuarino (_____) Setor 3: Praias (_____)												

G1-IMPACTOS SOBRE A FAIXA DE AREIA – PRAIAS	Redução da faixa de praia (avanço das obras sobre a faixa de praia) (a) Praias mais extensas causadas pelo assoreamento/ deposição (b) Praias mais estreitas pela erosão (erosão paralela a linha de costa) (c) Alteração da topografia da praia (perfil praial) (d) Instalação de processos erosivos na praia (formação de células erosivas) (e) Aprisionamento de sedimentos junto a estrutura rígida de orientação impedindo seu movimento a sotamar (f)	G3-IMPACTOS ASSOCIADOS	Deposição de areia em equipamentos públicos (praças, quiosques, etc) (j) Deposição de areia em avenidas e ciclovias (k) Colapso de muros de proteção (l) Solapamento/recalques de aterros (m) Assoreamentos (n) Escalonamento da linha de costa por sucessivas estruturas rígidas perpendiculares a linha de costa (o) Redução de áreas úteis a ocupação (p) Alteração da paisagem (q) Contaminação da água superficial - por efluentes (r) Contaminação da água por resíduos sólidos (s) Alteração do regime de fluxo da água subterrânea (t)
G2-IMPACTOS SOBRE CANAIS ESTUARINOS	Instalação de processos erosivos nas margens dos canais estuarinos (g) Redução de ambientes naturais (h) Redução de áreas de mangue (i)		

Matriz de avaliação de Impactos Ambientais no Meio Físico decorrentes de Obras de Engenharia Costeira.
 Fonte: (Frinacio & Tessler 2010).

C5, 6,7

Matriz do setor 1(_____)		Padrão de Interferência				Impactos																					
						G1						G2			G3												
Tipos de obras que ocorrem no setor		A	B	C	D	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t		
Obras de proteção	Muros		X			X		X						X								X					
	Barreiras de rocha (ex. <i>rip-rap</i>)																										
	Molhes e enrocamentos																										
Obras de recuperação	Engordamento de praia - molhes e enrocamentos																										
	Espigões e gabíões																										
Obras de infraestrutura	Emissários (dutos emersos e enterrados)																										
	Canais de águas superficiais	?	X							X														X	X		
	Aterros de loteamentos																										
	Aterros de invasões																										
	Palafitas																										
	Aterros de passagem (ruas, avenidas, estradas)																										
Obras de lazer e turismo	Pier ou plataforma de embarque																										
	Aterros																										
	Marinas																										
	Piéres ou plataforma de pesca																										
	Molhes e enrocamentos																										
Variáveis																											
PADRÕES DE INTERFERÊNCIA: Padrão A: obras que são capazes de alterar predominantemente os fluxos longitudinais, aqueles relacionados aos movimentos das correntes de deriva litorânea (<i>longshore currents</i>), e que apresentam expressão mais nítida em planta; Padrão B: obras que alteram os fluxos transversais, relacionados aos movimentos costa adentro-costa afora (<i>onshore-offshore</i>), cujo reflexo se dá maneira mais incisiva sobre o perfil praiial; Padrão C: obras cuja ação se dá de maneira igualitária nos dois tipos de fluxos; e Padrão D: Obras que interferem nos fluxos de canais estuarinos.															SETORES: Setor 1: Baía (_____) Setor 2: Canal estuarino (_____) Setor 3: Praias (_____)												

G1-IMPACTOS SOBRE A FAIXA DE AREIA – PRAIAS	Redução da faixa de praia (avanço das obras sobre a faixa de praia) (a) Praias mais extensas causadas pelo assoreamento/ deposição (b) Praias mais estreitas pela erosão (erosão paralela a linha de costa) (c) Alteração da topografia da praia (perfil praial) (d) Instalação de processos erosivos na praia (formação de células erosivas) (e) Aprisionamento de sedimentos junto a estrutura rígida de orientação impedindo seu movimento a sotamar (f)	G3-IMPACTOS ASSOCIADOS	Deposição de areia em equipamentos públicos (praças, quiosques, etc) (j) Deposição de areia em avenidas e ciclovias (k) Colapso de muros de proteção (l) Solapamento/recalques de aterros (m) Assoreamentos (n) Escalonamento da linha de costa por sucessivas estruturas rígidas perpendiculares a linha de costa (o) Redução de áreas úteis a ocupação (p) Alteração da paisagem (q) Contaminação da água superficial - por efluentes (r) Contaminação da água por resíduos sólidos (s) Alteração do regime de fluxo da água subterrânea (t)
G2-IMPACTOS SOBRE CANAIS ESTUARINOS	Instalação de processos erosivos nas margens dos canais estuarinos (g) Redução de ambientes naturais (h) Redução de áreas de mangue (i)		

Fonte: Matriz de avaliação de Impactos Ambientais no Meio Físico decorrentes de Obras de Engenharia Costeira. Fonte: (Frinacio & Tessler 2010).

C 8,9

Matriz do setor 1(_____)		Padrão de Interferência				Impactos																					
						G1						G2			G3												
Tipos de obras que ocorrem no setor		A	B	C	D	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t		
Obras de proteção	Muros			X		X				X													X				
	Barreiras de rocha (ex. <i>rip-rap</i>)																										
	Molhes e enrocamentos			X		X				X													X				
Obras de recuperação	Engordamento de praia - molhes e enrocamentos																										
	Espigões e gabiões																										
Obras de infraestrutura	Emissários (dutos emersos e enterrados)		X																				X	X			
	Canais de águas superficiais																										
	Aterros de loteamentos																										
	Aterros de invasões																										
	Palafitas																										
	Aterros de passagem (ruas, avenidas, estradas)		X			X																	X			X	
	Pier ou plataforma de embarque																										
Obras de lazer e turismo	Aterros																										
	Marinas																										
	Piéres ou plataforma de pesca																										
	Molhes e enrocamentos																										
Variáveis																											
PADRÕES DE INTERFERÊNCIA: Padrão A: obras que são capazes de alterar predominantemente os fluxos longitudinais, aqueles relacionados aos movimentos das correntes de deriva litorânea (<i>longshore currents</i>), e que apresentam expressão mais nítida em planta; Padrão B: obras que alteram os fluxos transversais, relacionados aos movimentos costa adentro-costa fora (<i>onshore-offshore</i>), cujo reflexo se dá maneira mais incisiva sobre o perfil praiial; Padrão C: obras cuja ação se dá de maneira igualitária nos dois tipos de fluxos; e Padrão D: Obras que interferem nos fluxos de canais estuarinos.															SETORES: Setor 1: Baía (_____) Setor 2: Canal estuarino (_____) Setor 3: Praias (_____)												

<p>G1-IMPACTOS SOBRE A FAIXA DE AREIA – PRAIAS</p>	<p>Redução da faixa de praia (avanço das obras sobre a faixa de praia) (a)</p> <p>Praias mais extensas causadas pelo assoreamento/ deposição (b)</p> <p>Praias mais estreitas pela erosão (erosão paralela a linha de costa) (c)</p> <p>Alteração da topografia da praia (perfil praial) (d)</p> <p>Instalação de processos erosivos na praia (formação de células erosivas) (e)</p> <p>Aprisionamento de sedimentos junto a estrutura rígida de orientação impedindo seu movimento a sotamar (f)</p>	<p>G3-IMPACTOS ASSOCIADOS</p>	<p>Deposição de areia em equipamentos públicos (praças, quiosques, etc) (j)</p> <p>Deposição de areia em avenidas e ciclovias (k)</p> <p>Colapso de muros de proteção (l)</p> <p>Solapamento/recalques de aterros (m)</p> <p>Assoreamentos (n)</p> <p>Escalonamento da linha de costa por sucessivas estruturas rígidas perpendiculares a linha de costa (o)</p> <p>Redução de áreas úteis a ocupação (p)</p> <p>Alteração da paisagem (q)</p> <p>Contaminação da água superficial - por efluentes (r)</p> <p>Contaminação da água por resíduos sólidos (s)</p> <p>Alteração do regime de fluxo da água subterrânea (t)</p>
<p>G2-IMPACTOS SOBRE CANAIS ESTUARINOS</p>	<p>Instalação de processos erosivos nas margens dos canais estuarinos (g)</p> <p>Redução de ambientes naturais (h)</p> <p>Redução de áreas de mangue (i)</p>		

Fonte: Matriz de avaliação de Impactos Ambientais no Meio Físico decorrentes de Obras de Engenharia Costeira. Fonte: (Frinacio & Tessler 2010).

C10

Matriz do setor 1(_____)		Padrão de Interferência				Impactos																					
						G1						G2			G3												
Tipos de obras que ocorrem no setor		A	B	C	D	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t		
Obras de proteção	Muros																										
	Barreiras de rocha (ex. <i>rip-rap</i>)																										
	Molhes e enrocamentos																										
Obras de recuperação	Engordamento de praia - molhes e enrocamentos																										
	Espigões e gabões																										
Obras de infraestrutura	Emissários (dutos emersos e enterrados)																										
	Canais de águas superficiais																										
	Aterros de loteamentos																										
	Aterros de invasões																										
	Palafitas																										
	Aterros de passagem (ruas, avenidas, estradas)		X			X	X																X		X	X	
	Pier ou plataforma de embarque																										
Obras de lazer e turismo	Aterros																										
	Marinas																										
	Píeres ou plataforma de pesca																										
	Molhes e enrocamentos																										
Variáveis																											
PADRÕES DE INTERFERÊNCIA: Padrão A: obras que são capazes de alterar predominantemente os fluxos longitudinais, aqueles relacionados aos movimentos das correntes de deriva litorânea (<i>longshore currents</i>), e que apresentam expressão mais nítida em planta; Padrão B: obras que alteram os fluxos transversais, relacionados aos movimentos costa adentro-costa fora (<i>onshore-offshore</i>), cujo reflexo se dá maneira mais incisiva sobre o perfil praiial; Padrão C: obras cuja ação se dá de maneira igualitária nos dois tipos de fluxos; e Padrão D: Obras que interferem nos fluxos de canais estuarinos.														SETORES: Setor 1: Baía (_____) Setor 2: Canal estuarino (_____) Setor 3: Praias (_____)													

G1-IMPACTOS SOBRE A FAIXA DE AREIA – PRAIAS	Redução da faixa de praia (avanço das obras sobre a faixa de praia) (a) Praias mais extensas causadas pelo assoreamento/ deposição (b) Praias mais estreitas pela erosão (erosão paralela a linha de costa) (c) Alteração da topografia da praia (perfil praial) (d) Instalação de processos erosivos na praia (formação de células erosivas) (e) Aprisionamento de sedimentos junto a estrutura rígida de orientação impedindo seu movimento a sotamar (f)	G3-IMPACTOS ASSOCIADOS	Deposição de areia em equipamentos públicos (praças, quiosques, etc) (j) Deposição de areia em avenidas e ciclovias (k) Colapso de muros de proteção (l) Solapamento/recalques de aterros (m) Assoreamentos (n) Escalonamento da linha de costa por sucessivas estruturas rígidas perpendiculares a linha de costa (o) Redução de áreas úteis a ocupação (p) Alteração da paisagem (q) Contaminação da água superficial - por efluentes (r) Contaminação da água por resíduos sólidos (s) Alteração do regime de fluxo da água subterrânea (t)
	G2-IMPACTOS SOBRE CANAIS ESTUARINOS		Instalação de processos erosivos nas margens dos canais estuarinos (g) Redução de ambientes naturais (h) Redução de áreas de mangue (i)

Fonte: Matriz de avaliação de Impactos Ambientais no Meio Físico decorrentes de Obras de Engenharia Costeira. Fonte: (Frinacio & Tessler 2010).

G1-IMPACTOS SOBRE A FAIXA DE AREIA – PRAIAS	Redução da faixa de praia (avanço das obras sobre a faixa de praia) (a) Praias mais extensas causadas pelo assoreamento/ deposição (b) Praias mais estreitas pela erosão (erosão paralela a linha de costa) (c) Alteração da topografia da praia (perfil praial) (d) Instalação de processos erosivos na praia (formação de células erosivas) (e) Aprisionamento de sedimentos junto a estrutura rígida de orientação impedindo seu movimento a sotamar (f)	G3-IMPACTOS ASSOCIADOS	Deposição de areia em equipamentos públicos (praças, quiosques, etc) (j) Deposição de areia em avenidas e ciclovias (k) Colapso de muros de proteção (l) Solapamento/recalques de aterros (m) Assoreamentos (n) Escalonamento da linha de costa por sucessivas estruturas rígidas perpendiculares a linha de costa (o) Redução de áreas úteis a ocupação (p) Alteração da paisagem (q) Contaminação da água superficial - por efluentes (r) Contaminação da água por resíduos sólidos (s) Alteração do regime de fluxo da água subterrânea (t)
	G2-IMPACTOS SOBRE CANAIS ESTUARINOS		Instalação de processos erosivos nas margens dos canais estuarinos (g) Redução de ambientes naturais (h) Redução de áreas de mangue (i)

Fonte: Matriz de avaliação de Impactos Ambientais no Meio Físico decorrentes de Obras de Engenharia Costeira. Fonte: (Frinacio & Tessler 2010).

C12

Matriz do setor 1(_____)		Padrão de Interferência				Impactos																					
						G1						G2			G3												
Tipos de obras que ocorrem no setor		A	B	C	D	a	b	c	d	e	f	g	h	I	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	T		
Obras de proteção	Muros				X							X					X					X					
	Barreiras de rocha (ex. <i>rip-rap</i>)																										
	Molhes e enrocamentos																										
Obras de recuperação	Engordamento de praia - molhes e enrocamentos																										
	Espigões e gabões																										
Obras de infraestrutura	Emissários (dutos emersos e enterrados)				X							X											X	X			
	Canais de águas superficiais				X	X											X										
	Aterros de loteamentos																										
	Aterros de invasões																										
	Palafitas																										
	Aterros de passagem (ruas, avenidas, estradas)				X							X	X	X										X	X	X	
	Pier ou plataforma de embarque																										
Obras de lazer e turismo	Aterros																										
	Marinas				X																		X				
	Píeres ou plataforma de pesca				X							X											X				
	Molhes e enrocamentos																										
Variáveis																											
PADRÕES DE INTERFERÊNCIA: Padrão A: obras que são capazes de alterar predominantemente os fluxos longitudinais, aqueles relacionados aos movimentos das correntes de deriva litorânea (<i>longshore currents</i>), e que apresentam expressão mais nítida em planta; Padrão B: obras que alteram os fluxos transversais, relacionados aos movimentos costa adentro-costa afora (<i>onshore-offshore</i>), cujo reflexo se dá maneira mais incisiva sobre o perfil praiial; Padrão C: obras cuja ação se dá de maneira igualitária nos dois tipos de fluxos; e Padrão D: Obras que interferem nos fluxos de canais estuarinos.															SETORES: Setor 1: Baía (_____) Setor 2: Canal estuarino (_____) Setor 3: Praias (_____)												

G1-IMPACTOS SOBRE A FAIXA DE AREIA – PRAIAS	Redução da faixa de praia (avanço das obras sobre a faixa de praia) (a) Praias mais extensas causadas pelo assoreamento/ deposição (b) Praias mais estreitas pela erosão (erosão paralela a linha de costa) (c) Alteração da topografia da praia (perfil praial) (d) Instalação de processos erosivos na praia (formação de células erosivas) (e) Aprisionamento de sedimentos junto a estrutura rígida de orientação impedindo seu movimento a sotamar (f)	G3-IMPACTOS ASSOCIADOS	Deposição de areia em equipamentos públicos (praças, quiosques, etc) (j) Deposição de areia em avenidas e ciclovias (k) Colapso de muros de proteção (l) Solapamento/recalques de aterros (m) Assoreamentos (n) Escalonamento da linha de costa por sucessivas estruturas rígidas perpendiculares a linha de costa (o) Redução de áreas úteis a ocupação (p) Alteração da paisagem (q) Contaminação da água superficial - por efluentes (r) Contaminação da água por resíduos sólidos (s) Alteração do regime de fluxo da água subterrânea (t)
	G2-IMPACTOS SOBRE CANAIS ESTUARINOS		Instalação de processos erosivos nas margens dos canais estuarinos (g) Redução de ambientes naturais (h) Redução de áreas de mangue (i)

Fonte: Matriz de avaliação de Impactos Ambientais no Meio Físico decorrentes de Obras de Engenharia Costeira. Fonte: (Frinacio & Tessler 2010).

C13

Matriz do setor 1(_____)		Padrão de Interferência				Impactos																					
						G1						G2			G3												
Tipos de obras que ocorrem no setor		A	B	C	D	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t		
Obras de proteção	Muros				X								X	X												X	
	Barreiras de rocha (ex. <i>rip-rap</i>)																										
	Molhes e enrocamentos																										
Obras de recuperação	Engordamento de praia - molhes e enrocamentos																										
	Espigões e gabões																										
Obras de infraestrutura	Emissários (dutos emersos e enterrados)				X																		X	X			
	Canais de águas superficiais				X																			X	X		
	Aterros de loteamentos																										
	Aterros de invasões																										
	Palafitas				X																						
	Aterros de passagem (ruas, avenidas, estradas)				X								X	X							X			X	X	X	
	Pier ou plataforma de embarque																										
Obras de lazer e turismo	Aterros																										
	Marinas				X							X	X								X				X		
	Piéres ou plataforma de pesca				X							X	X								X				X		
	Molhes e enrocamentos																										
Variáveis																											
PADRÕES DE INTERFERÊNCIA: Padrão A: obras que são capazes de alterar predominantemente os fluxos longitudinais, aqueles relacionados aos movimentos das correntes de deriva litorânea (<i>longshore currents</i>), e que apresentam expressão mais nítida em planta; Padrão B: obras que alteram os fluxos transversais, relacionados aos movimentos costa adentro-costa fora (<i>onshore-offshore</i>), cujo reflexo se dá maneira mais incisiva sobre o perfil praiial; Padrão C: obras cuja ação se dá de maneira igualitária nos dois tipos de fluxos; e Padrão D: Obras que interferem nos fluxos de canais estuarinos.														SETORES: Setor 1: Baía (_____) Setor 2: Canal estuarino (_____) Setor 3: Praias (_____)													

<p>G1-IMPACTOS SOBRE A FAIXA DE AREIA – PRAIAS</p>	<p>Redução da faixa de praia (avanço das obras sobre a faixa de praia) (a)</p> <p>Praias mais extensas causadas pelo assoreamento/ deposição (b)</p> <p>Praias mais estreitas pela erosão (erosão paralela a linha de costa) (c)</p> <p>Alteração da topografia da praia (perfil praial) (d)</p> <p>Instalação de processos erosivos na praia (formação de células erosivas) (e)</p> <p>Aprisionamento de sedimentos junto a estrutura rígida de orientação impedindo seu movimento a sotamar (f)</p>	<p>G3-IMPACTOS ASSOCIADOS</p>	<p>Deposição de areia em equipamentos públicos (praças, quiosques, etc) (j)</p> <p>Deposição de areia em avenidas e ciclovias (k)</p> <p>Colapso de muros de proteção (l)</p> <p>Solapamento/recalques de aterros (m)</p> <p>Assoreamentos (n)</p> <p>Escalonamento da linha de costa por sucessivas estruturas rígidas perpendiculares a linha de costa (o)</p> <p>Redução de áreas úteis a ocupação (p)</p> <p>Alteração da paisagem (q)</p> <p>Contaminação da água superficial - por efluentes (r)</p> <p>Contaminação da água por resíduos sólidos (s)</p> <p>Alteração do regime de fluxo da água subterrânea (t)</p>
<p>G2-IMPACTOS SOBRE CANAIS ESTUARINOS</p>	<p>Instalação de processos erosivos nas margens dos canais estuarinos (g)</p> <p>Redução de ambientes naturais (h)</p> <p>Redução de áreas de mangue (i)</p>		

Fonte: Matriz de avaliação de Impactos Ambientais no Meio Físico decorrentes de Obras de Engenharia Costeira. Fonte: (Frinacio & Tessler 2010).