



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES
NATURAIS NA AMAZÔNIA**

CARLOS ALBERTO OLIVEIRA BRAGA

**ANÁLISE DAS VARIAÇÕES DA LINHA DE COSTA NA ILHA DE MOSQUEIRO-PA AO LONGO DE 17
ANOS**

**BELÉM, PA
2019**

CARLOS ALBERTO OLIVEIRA BRAGA

ANÁLISE DAS VARIAÇÕES DA LINHA DE COSTA NA ILHA DE MOSQUEIRO-PA AO LONGO DE 17 ANOS

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Gestão de Risco e Desastres Naturais na Amazônia, da Universidade Federal do Pará como requisito para obtenção do título de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia.

Área de concentração: Minimização de Riscos e Mitigação de Desastres Naturais na Amazônia.

Linha de pesquisa: Ameaças Naturais no Ambiente Amazônico.

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Souza Oliveira.

Belém, PA
2019

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)

B813a BRAGA, Carlos Alberto Oliveira
Análise das variações da linha de costa na Ilha de Mosqueiro- PA ao longo de 17 anos / Carlos Alberto Oliveira BRAGA. — 2019.
89 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Francisco de Souza Oliveira
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Gestão de Risco e Desastre na Amazônia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

1. Erosão de praias - Mosqueiro, Ilha do (PA). 2. Avaliação de riscos ambientais. 3. Vulnerabilidade. I. Título.

CDD 551.45709811

CARLOS ALBERTO OLIVEIRA BRAGA

ANÁLISE DAS VARIAÇÕES DA LINHA DE COSTA NA ILHA DE MOSQUEIRO-PA AO LONGO DE 17 ANOS

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Gestão de Risco e Desastres Naturais na Amazônia, da Universidade Federal do Pará como requisito para obtenção do título de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia.

Área de concentração: Minimização de Riscos e Mitigação de Desastres Naturais na Amazônia.

Linha de pesquisa: Ameaças Naturais no Ambiente Amazônico.

Data de aprovação: 24 / 05 / 2019

Banca examinadora:

Prof. Dr. Francisco de Souza Oliveira
Orientador - Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Maurício da Silva Borges
Examinador interno - Universidade Federal da Pará

Profa. Dra. Milena Marília Nogueira de Andrade
Examinador interno - Universidade Federal da Pará

Prof. Dr. Wilson da Rocha Nascimento Junior
Examinador externo – Instituto Tecnológico Vale

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me permitir alcançar mais este objetivo, sempre guiando e abençoando meus caminhos, e por ser minha força nos momentos mais difíceis.

A minha esposa e filha, pelo carinho, força, paciência, compreensão e motivação para que essa vitória se tornasse realidade.

A minha querida mãe Aurelina Braga, que sempre acreditou e nunca mediu esforços para que cada filho se tornasse um vencedor e chegasse cada vez mais longe.

Ao meu orientador Prof^o Dr. Francisco de Souza Oliveira, por todos os ensinamentos, orientações e principalmente pela paciência que sempre demonstrou pela minha pessoa.

A todos os membros da banca examinadora, pela disponibilidade e por aceitar em participar da construção desse trabalho, contribuindo com suas correções, sugestões no aprimoramento dessa dissertação.

A todos os meus familiares, pelo apoio e ajuda ao longo dessa caminhada e por compreender minhas ausências em alguns momentos de celebração.

Aos amigos, pelo companheirismo e amizade sincera que sempre demonstraram pela minha pessoa.

A todos os colegas de trabalho que nunca deixaram de nos motivar e acreditar em nossa vitória.

RESUMO

As taxas médias de variação de linha de costa constituem um dos melhores indicadores para se determinar a tendência do comportamento oscilatório de qualquer parte do litoral ao longo do tempo. O estudo multitemporal da dinâmica da linha de costa dos segmentos praias da Ilha de Mosqueiro-PA, realizado através das análises de imagens de satélite da série Landsat e Sentinel, do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) e da Agência Espacial Europeia (ESA) com o auxílio do *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), demonstrou que durante o período compreendido entre os anos de 2001 a 2018, a variação média linear total para todos os segmentos praias foi de -81,3 m a uma taxa de -9,67 m / ano, sendo o recuo médio linear de -160,77 m, enquanto o avanço médio linear foi de 79,47 m, indicando uma clara tendência de erosão da costa da Ilha de Mosqueiro. Dos 11 segmentos praias analisados (Baía do Sol, Paraíso, Marahú, Carananduba, São Francisco, Ariramba, Murubira, Porto Arthur, Bispo/Praia Grande, Bitar), na parte ocidental da Ilha, 06 (São Francisco, Ariramba, Murubira, Porto Arthur, Bispo / Praia Grande e Bitar) demonstraram uma tendência de recuo de suas linhas de costa, apresentando taxas médias de variação entre -1,00 m / ano a -3,31 m / ano, sendo a maior taxa pertencente ao segmento Bispo / Praia Grande. Os segmentos Baía do Sol, Paraíso, Marahú, Carananduba e Farol / Chapéu Virado foram os únicos que apresentaram tendência de avanço em suas linhas de costa, apresentando valores de taxas médias de variação de 0,30 m/ano a 1,74 m / ano. Em complementação ao estudo do comportamento da linha de costa da parte ocidental da Ilha de Mosqueiro foi realizado a classificação da vulnerabilidade física à erosão costeira da Ilha. De maneira geral, as zonas costeiras da ilha banhadas pela Baía do Guajará, Furo das Marinhas e Furo do Maguari foram classificadas como de “alta a muito alta” vulnerabilidade, com exceção de alguns setores localizados a noroeste, nordeste e a sudeste da ilha que foram classificados como de “baixa a moderada” vulnerabilidade. As áreas localizadas mais ao centro da ilha não impactadas diretamente pelas variáveis oceanográficas foram classificadas majoritariamente como de “muito baixa a moderada” vulnerabilidade, além de algumas áreas contíguas as zonas costeiras que foram classificadas como de “alta” vulnerabilidade.

Palavras-chave: Erosão de praias - Mosqueiro, Ilha do (PA). Avaliação de riscos ambientais. Vulnerabilidade.

ABSTRACT

The average rates of coastline variation are one of the best indicators to determine the trend of the oscillatory behavior of any part of the coastline over time. The multi-temporal study of the coastline dynamics of the beach segments of Mosqueiro Island, PA, using the Landsat and Sentinel series of satellite imagery, the United States Geological Survey (USGS) and the European Space Agency (ESA) with the aid of the Digital Shoreline Analysis System (DSAS), demonstrated that during the period from 2001 to 2018, the total linear mean change for all beach segments was -81.3 m at a rate of -9.67 m / year. The average linear retreat was -160.77 m, while the average linear advance was 79.47 m, indicating a clear erosion tendency of the Mosqueiro Island coast. From the 11 beach segments analyzed (Baia do Sol, Paraíso, Marahú, Carananduba, São Francisco, Ariramba, Murubira, Porto Arthur, Bishop / Praia Grande, Bitar), in the western part of the Island, 06 (São Francisco, Ariramba, Murubira, Porto Arthur, Bishop / Praia Grande and Bitar) showed a trend of retreat of their coastlines, presenting average rates of variation from -1.00 m / year to -3.31 m / year, the highest rate belonging to the Bishop segment / Big beach. The segments of Baía do Sol, Paraíso, Marahú, Carananduba and Farol / Chapéu Virado were the only ones that presented a tendency to advance in their coastlines, presenting values of average rates varying from 0.30 m / year to 1.74 m / year. In addition to the study of the behavior of the coastline of the western part of Mosqueiro Island, the classification of the physical vulnerability to the coastal erosion of the Island was carried out. In general, the coastal zones of the island bathed by Guajará Bay, Furo das Marinhas and Furo do Maguari were classified as "high to very high", with the exception of some sectors located in the northwest, northeast and southeast of the island. were classified as "low to moderate" vulnerability. The most localized areas in the center of the island not directly impacted by oceanographic variables were classified as "very low to moderate" vulnerability, in addition to some contiguous areas that were classified as "high" vulnerability.

Keywords: Erosion of beaches - Mosqueiro, Island of (PA). Environmental risk assessment. Vulnerability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Células de deriva litorânea proposta para as praias de Mosqueiro com base em observação visual e medida do clima de ondas e na morfologia das feições costeiras	27
Figura 2 –	Área de localização da área de estudo	28
Figura 3 –	Fluxograma com os dados, softwares e principais etapas de processamento	32
Figura 4 –	Elementos do DSAS. Linhas de costas previamente digitalizadas (linhas coloridas) e a linha base (linha preta paralela as linhas de costa) são os dados de entrada para o toolbox, que gera automaticamente os transectos (linhas perpendiculares a linha base) que intersectam a série histórica de linhas de costa	34
Figura 5 –	Exemplo da métrica Net Shoreline Movement (NSM). Para o transecto da figura, a distância calculada será 76m, que corresponde a distância entre a linha de costa mais velha (1936) e a linha de costa mais nova (2005)	35
Figura 6 –	Exemplo da métrica End Point Rate (EPR). Para o transecto da figura, a taxa do ponto final calculada será 1,09m/ano, resultanteda distância de 76m entre a linha de costa mais velha (1936) e a linha de costa mais nova (2005), dividido pelo tempo decorrido entre elas (69,82 anos)	36
Figura 7 –	No exemplo da figura abaixo, a métrica Shoreline Change Envelope (SCE), Envelope de Mudança de Linha de Costa a distância entre as linhas de costa de 2005 e 1963 é de 86,59 m. Esta distância não está associada com a idade dos litorais	36
Figura 8 –	Perfis praias ao longo da orla da Ilha de Mosqueiro.....	37
Figura 9 –	Variações temporais nas posições das Linhas de Costa entre os anos de 2001 a 2018 com identificação dos transectos gerados para os segmentos praias do Perfil 1	46
Figura 10 –	Variações temporais nas posições das Linhas de Costa entre os anos de 2001 a 2018 com identificação dos transectos gerados para os segmentos praias do Perfil 1	47
Figura 11 –	Análise multitemporal da Linha de Costa do Perfil 1.....	48
Figura 12 –	Variações temporais nas posições das Linhas de Costa entre os anos de 2001 a 2018 com identificação dos transectos gerados para o segmento praias do Perfil 2	61
Figura 13 –	Análise multitemporal da Linha de Costa do Segmento Praia Carananduba.....	62
Figura 14 –	Variações temporais nas posições das Linhas de Costa entre os anos de 2001 a 2018 com identificação dos transectos gerados para os segmentos praias do Perfil 3	65
Figura 15 –	Análise multitemporal da LC do Perfil 3	66

Figura 16 –	Variações temporais nas posições das Linhas de Costa entre os anos de 2001 a 2018 com identificação dos transectos gerados para o segmento praiial do Perfil 4	71
Figura 17 –	Análise multitemporal da Linha de Costa do Perfil 4 - Baía do Sol	72
Figura 18 –	Mapas de vulnerabilidade: (a) referente a Declividade; (b) referente ao Solo; (c) referente ao Uso do Solo; (d) Vulnerabilidade física	75
Figura 19 –	Mapas de vulnerabilidade: (a) referente a amplitude de maré; (b) referente a altura máxima de onda; (c) referente a velocidade máxima de corrente; (d) referente aos parâmetros oceanográficos	77
Figura 20 –	Mapa de vulnerabilidade física à erosão costeira da Ilha de Mosqueiro	78

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 –	Métrica NSM do Perfil 1 – Segmento Praial Bitar	49
Gráfico 2 –	Métrica EPR do Perfil 1 – Segmento Praial Bitar	49
Gráfico 3 –	Métrica SCE do Perfil 1 – Segmento Praial Bitar	50
Gráfico 4 –	Métrica NSM do Perfil 1 – Segmento Praial Bispo e Praia Grande	51
Gráfico 5 –	Métrica EPR do Perfil 1 – Segmento Praial Bispo e Praia Grande	51
Gráfico 6 –	Métrica SCE do Perfil 1 – Segmento Praial Bispo e Praia Grande	51
Gráfico 7 –	Métrica NSM do Perfil 1 – Segmento Praial do Farol e Chapéu Virado ..	52
Gráfico 8 –	Métrica EPR do Perfil 1 – Segmento Praial do Farol e Chapéu Virado ...	53
Gráfico 9 –	Métrica SCE do Perfil 1 – Segmento Praial do Farol e Chapéu Virado ...	53
Gráfico 10 –	Métrica NSM do Perfil 1 – Segmento Praial do Porto Arthur	54
Gráfico 11 –	Métrica EPR do Perfil 1 – Segmento Praial do Porto Arthur	54
Gráfico 12 –	Métrica SCE do Perfil 1 – Segmento Praial do Porto Arthur	55
Gráfico 13 –	Métrica NSM do Perfil 1 – Segmento Praial Murubira	56
Gráfico 14 –	Métrica EPR do Perfil 1 – Segmento Praial Murubira	56
Gráfico 15 –	Métrica SCE do Perfil 1 – Segmento Praial Murubira	56
Gráfico 16 –	Métrica NSM do Perfil 1 – Segmento Praial Ariramba	57
Gráfico 17 –	Métrica EPR do Perfil 1 – Segmento Praial Ariramba	58
Gráfico 18 –	Métrica SCE do Perfil 1 – Segmento Praial Ariramba	58
Gráfico 19 –	Métrica NSM do Perfil 1 – Segmento Praial do São Francisco	59
Gráfico 20 –	Métrica EPR do Perfil 1 – Segmento Praial do São Francisco	59
Gráfico 21 –	Métrica SCE do Perfil 1 – Segmento Praial do São Francisco	60
Gráfico 22 –	Métrica NSM do Perfil 2 – Segmento Praial do Carananduba	62
Gráfico 23 –	Métrica EPR do Perfil 2 – Segmento Praial do Carananduba	63
Gráfico 24 –	Métrica SCE do Perfil 2 – Segmento Praial do Carananduba	63
Gráfico 25 –	Diferença entre as métricas SCE e NSM do Perfil 2 – Segmento Praial do Carananduba	63
Gráfico 26 –	Métrica NSM do Perfil 3 – Segmento Praial do Paraíso	67
Gráfico 27 –	Métrica EPR do Perfil 3 – Segmento Praial do Paraíso	67
Gráfico 28 –	Métrica SCE do Perfil 3 – Segmento Praial do Paraíso	68
Gráfico 29 –	Métrica NSM do Perfil 3 – Segmento Praial do Marahú	69
Gráfico 30 –	Métrica EPR do Perfil 3 – Segmento Praial do Marahú	69
Gráfico 31 –	Métrica SCE do Perfil 3 – Segmento Praial do Marahú	69
Gráfico 32 –	Métrica NSM do Perfil 4 – Segmento Praial da Baía do Sol	72
Gráfico 33 –	Métrica EPR do Perfil 4 – Segmento Praial da Baía do Sol	73
Gráfico 34 –	Métrica SCE do Perfil 4 – Segmento Praial da Baía do Sol	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Composições falsa-cor utilizadas nas diferentes cenas Landsat e Sentinel.	33
Tabela 2 –	Correspondência entre as classificações de vulnerabilidade	38
Tabela 3 –	Fonte de dados e suas principais características	39
Tabela 4 –	Vulnerabilidade para a declividade do terreno	40
Tabela 5 –	Vulnerabilidade dos tipos de solo na área de estudo	41
Tabela 6 –	Vulnerabilidade para o uso e cobertura do solo	41
Tabela 7 –	Classes de vulnerabilidade e variáveis analisadas. A coluna “Fonte” indica em quais autores foi baseada a classificação de cada variável: A - Gornitz (1990) e Gornitz et al. (1997); B - Mohamed et al. (2014); C - Thieler & Hammar-Klose (1999)	42
Tabela 8 –	Evolução da Linha de Costa expressa em Taxas anuais, Taxas de Variação de Recuo/Avanço linear e Amplitude máxima ao longo dos transectos (μ -valores médios; Min – valores mínimos; Max – valores máximos; valores positivos indicam progradação (avanço) e negativos indicam erosão (recuo)	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DSAS	Digital Shoreline Analysis System
EPR	End Point Rate
ESA	European Space Agency
GEE	Google Earth Engine
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEPA	Instituto de Pesquisa Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MDE	Modelo Digital de Elevação
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NSM	Net Shoreline Movement
SCE	Shoreline Change Envelope
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
USGS	United States Geological Survey

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	21
2.1	OBJETIVO GERAL	21
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3	REFERENCIAL TEÓRICO	22
3.1	ILHA DE MOSQUEIRO	26
3.1.1	Localização e acesso à area de estudo	28
3.1.2	Aspectos Fisiográficos	29
3.1.2.1	<i>Hidrologia</i>	29
3.1.2.2	<i>Relevo</i>	29
3.1.2.3	<i>Solos</i>	30
3.1.2.4	<i>Vegetação</i>	30
3.1.2.5	<i>Condições Climáticas</i>	31
3.1.3	Dados Socioeconômicos	31
4	MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1	IMAGENS LANDSAT E SENTINEL	32
4.2	PRÉ-PROCESSAMENTO	32
4.3	DIGITALIZAÇÃO DA LINHA DE COSTA	33
4.4	DIGITAL SHORELINE ANALYSIS SYSTEM (DSAS)	34
4.4.1	Net Shoreline Movement (NSM), End Point Rate (EPR) e o Shoreline Change Envelope (SCE)	35
4.5	ANÁLISE DE VULNERABILIDADE À EROSÃO.....	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
5.1	ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA LINHA DE COSTA	44
5.1.1	Perfil 1	44
5.1.1.1	<i>Segmento Praial Bitar</i>	48
5.1.1.2	<i>Segmento Praial Bispo e Praia Grande</i>	50
5.1.1.3	<i>Segmento Praial Farol e Chapéu Virado</i>	52
5.1.1.4	<i>Segmento Praial Porto Arthur</i>	53
5.1.1.5	<i>Segmento Praial Murubira</i>	55
5.1.1.6	<i>Segmento Praial Ariramba</i>	57
5.1.1.7	<i>Segmento Praial São Francisco</i>	58
5.1.2	Perfil 2	60
5.1.2.1	<i>Segmento Praial Carananduba</i>	60
5.1.3	Perfil 3	63
5.1.3.1	<i>Segmento Praial Paraíso</i>	66
5.1.3.2	<i>Segmento Praial Marahú</i>	68
5.1.4	Perfil 4	70
5.1.4.1	<i>Segmento Praial Baía do Sol</i>	70
5.2	MAPAS DE VULNERABILIDADE DA ILHA DE MOSQUEIRO QUANTO AO RISCO DE EROSÃO	73

6	CONCLUSÕES	79
	REFERÊNCIAS.....	81
	APÊNDICE A – REGISTROS DE IMAGENS DA ÁREA DE ESTUDO	
	(2017 E 2019)	88

1 INTRODUÇÃO

As zonas costeiras são áreas excessivamente dinâmicas encontradas em nosso planeta. Do ponto de vista estrutural, dentre os inúmeros tipos morfológicos de regiões costeiras, as pleistocênicas e as holocênicas são as mais sensíveis e dinâmicas pois representam formações geológicas recentes.

De acordo com a Lei 7.661 de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC, em seu art. 2º, parágrafo único, considera zona costeira como “[...] o espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, abrangendo uma faixa marítima e outra terrestre [...]” (BRASIL, 1988).

Segundo Rossetti (2008, p. 247) “mais do qualquer outro sistema físico, o ambiente costeiro é caracterizado pelas mudanças, tanto espaciais quanto temporais, que se convertem numa variedade de feições geomorfológicas”. Estes ambientes estão normalmente em constantes transformações em resposta às forçantes naturais e às atividades antrópicas movimentando permanentemente as linhas de costa, alterando a sua forma, muitas vezes na mesma direção, mas recorrentemente em direções opostas (MARTINS *et al.*, 2004).

“Os ecossistemas costeiros são ambientes influenciados por processos continentais e marinhos, que interagem através de variáveis físicas, químicas, biológicas, climáticas e antrópicas, as quais se interrelacionam de maneira complexa, estabelecendo um equilíbrio dinâmico” (SOUZA, 2009, p. 2).

Esses ambientes, onde a terra encontra a água (mar, rio, etc.), apresentam marcantes contrastes na paisagem em decorrência das condições climáticas, geológicas, bióticas e oceanográficas.

Segundo Carter e Woodroffe (1994, p. 31), conforme citado por Lima *et al.*, (2012, p. 1), a costa está sujeita a uma ampla variação, e esse comportamento oscila conforme a ação dos mais diversos agentes naturais que vão desde as escalas de tempo e tamanho da área estudada, às estruturas geológicas, configuração tectônica, tipo de sedimento disponível, variações no nível do mar, bem como da influência de ondas e correntes.

Esse dinamismo costeiro é resultante da complexa interação de processos deposicionais e erosionais, os quais estão intimamente relacionados as forçantes – ondas, marés, correntes litorâneas, como também as influências antrópicas.

A vulnerabilidade dos ambientes costeiros às atuações energéticas do mar pode ser compreendida através das alterações hidromorfológicas ocorridas nesses sistemas biofísicos em decorrência de sua sensibilidade ou suscetibilidade ao dano e a falta de capacidade para se

adaptar (PEREIRA; COELHO, 2013; IPCC, 2014).

Estas alterações, de que podem resultar galgamentos, inundações e perdas irreversíveis de território, ocorrem durante a atuação das ondas, marés, ventos e correntes, e podem ser intensificadas pela ocorrência de acontecimentos extremos, pelo progressivo enfraquecimento de fontes aluvionares (aproveitamentos hidroelétricos, construção de quebra-mares, extração de areias, dragagens e canais de navegação), pela progressão da edificabilidade (construções nas zonas de interação fisiográfica, esporões e obras aderentes, aterros sobre praias, destruição de dunas), pela subida generalizada do nível médio das águas do mar, pelos movimentos de neotectônica e por eventuais alterações meteorológicas (PEREIRA; COELHO, 2013).

A noção de vulnerável vem do latim *Vulnerabilis*, corresponde ao ponto mais fraco ou que passa a ser mais vulnerável, mais acessível aos ataques (SÉGUIER, 1935). De acordo com Serafim (2017) o termo vulnerabilidade é comumente definido em termos negativos, consequência de sua relação com os danos ambientais, sociais, econômicos e culturais.

Os conceitos de vulnerabilidade natural à erosão podem ser aplicados tendo como base a teoria da ecodinâmica de Tricart (1977), a qual estabelece diferentes categorias morfodinâmicas resultantes dos processos de morfogênese ou pedogênese. Considerando o domínio da morfogênese, há um domínio de processos erosivos que irão modificar as características do relevo, gerando constantes modificações nos terrenos e, como consequência, a vulnerabilidade natural à erosão nestas regiões será maior. De outra forma, quando há o domínio da pedogênese, a formação do solo é dominante, e os terrenos poderão ser considerados como estáveis.

As condições de vulnerabilidade a processos morfodinâmicos (erosão e deposição de sedimentos) dos ambientes costeiros se intensificam quando estes estão localizados em zonas tropicais úmidas (GUIMARÃES *et al.*, 2017).

Esses ambientes são propensos às mudanças morfológicas, as quais associadas a mudanças climáticas e ações antropogênicas constituem risco e ocasionam o desencadeamento de eventos climáticos como inundações, ondas elevadas, tempestades severas, tsunamis, ciclones, erosão costeira, derivas continentais e redistribuição sedimentar (NICHOLLS *et al.*, 2007; NICHOLLS; CAZENAVE, 2010).

De acordo com França e Souza Filho (2003):

As mudanças morfológicas costeiras consistem em um conjunto de transformações desencadeadas por processos naturais, que atuam em várias escalas temporais e espaciais e se apresentam como crescimento ou diminuição de áreas de manguezais, desenvolvimento de cordões e bancos arenosos, recuos de falésias, migração de desembocaduras de canais de maré, etc.

Essas alterações, segundo Souza Filho (2000), Souza Filho e Paradella (2002), França e Souza Filho (2003), são controladas pela interatividade dos processos de marés, ondas e ventos, que ocasionam a erosão, o transporte e a sedimentação, de acordo com a conformação e orientação da costa, com os diversos tipos de substratos costeiros, com a presença de desembocaduras, com a vegetação, repercutindo numa resposta integrada da zona costeira aos processos e agentes dinâmicos.

Geoindicadores são medidas de superfície ou próximo da superfície de fenômenos e processos geológicos que variam significativamente no período de 100 anos ou menos e que provêm informações para avaliações ambientais (BERGER, 1996, p. 5-6).

França e Souza Filho (2003) asseveram que os geoindicadores são os sustentáculos das investigações sobre as modificações nos ambientes costeiros, os quais proporcionam elementos para a sua mensuração e avaliação.

São inúmeros os indicadores que podem ser utilizados para demarcar a linha de costa, como o limite de vegetação costeira, a linha d'água e a interface da zona da entremarés que corresponde ao limite máximo da preamar. A delimitação deve ser feita pelo indicador mais distinguível e constante no material analisado (ARAÚJO *et al.*, 2009; BOAK; TURNER, 2005).

De acordo com Dolan *et al.* (1980), conforme citado por Quadros *et al.* (2012, p. 2) “*Linha de Costa (LC) é a interface física entre o continente e o oceano*” e embora seja um conceito aparentemente simples, Boak e Turner (2005) ressaltaram a dificuldade em aplicar este conceito em termos de mapeamento, pois ocorrem constantes alterações no nível d'água em decorrência da variação diária da maré, da altura das ondas e da zona de espraiamento.

Segundo Quadros *et al.* (2012), a constatação de variações na linha de costa a partir de imagens de alta e média resolução demonstrou ser uma poderosa ferramenta para avaliar os processos costeiros e o comportamento das respectivas feições.

Linhas de costa representam áreas extremamente dinâmicas e sensíveis a mudanças naturais e às atividades antrópicas. Araújo *et al.* (2009) salienta que a linha de costa é uma linha móvel em decorrência de inúmeros fatores atuantes nesses ambientes (processos erosivos e deposicionais, marés, ondas, entre outros).

Em trabalhos de pesquisas que utilizam sensores remotos multiespectrais para detecção de variações da linha de costa, Moore (2000) sugere três possíveis métodos na delimitação das linhas de costa: A Linha Limite de Vegetação (LV), a Linha de Contato Água/Solo (LCAS) e a Linha de Deixa (LD).

Nas imagens de satélites utilizadas neste trabalho para delimitar a linha de costa da parte ocidental da Ilha de Mosqueiro observa-se a presença de vegetação, muitas vezes de forma contínua e algumas vezes de forma espessada em virtude da presença de estruturas artificiais (obras de engenharia costeira, infraestrutura urbana, construções residenciais e/ou comerciais, etc.). Apesar dessa descontinuidade, a Linha Limite de vegetação (LV) será adotada neste trabalho como referencial para a vetorização da posição da linha de costa.

A LCAS e LD, outros procedimentos sugeridos por Moore, não apresentaram bons resultados visto que a LCAS depende muito da posição da maré no momento do imageamento, o que muitas vezes pode induzir a falhas em áreas rasas ou com altas quantidades de material em suspensão. Já com relação a LD, a dificuldade é que o posicionamento é muito subjetivo e pode não ser detectável em imagens de média resolução espacial com pixels maiores de 10 m (imagens Landsat).

De acordo com Almeida (2008) a vantagem de se empregar a linha de vegetação para a determinação da posição da linha de costa, está no fato da mesma ser menos suscetível de alterações quando comparada com a linha definida por dunas e linhas de preamar (nível máximo alcançado pela maré), além de apresentar uma melhor reflectância nas imagens, o que favorece a sua demarcação.

Vela observar também que nas imagens de satélite de média resolução que foram utilizadas para delimitar a linha de costa com *pixels* maiores que 10 m, a linha de vegetação apresentou-se como um conjunto de *pixels* praticamente contínuos ao longo da costa o que favoreceu a sua demarcação. Apesar das possíveis limitações envolvidas, a linha de vegetação apresentou-se como o melhor indicador para a área estudada.

Segundo Camfield e Morang (1996) a linha de costa é um elemento geomorfológico com alta dinâmica espacial em resposta aos processos costeiros de diferentes magnitudes e frequências. Essas mudanças em sua posição são de natureza complexa que envolvem diversos processos, entre os quais podemos citar a variação do nível mar (em curto e longo prazo), balanço de sedimentos, movimentos tectônicos e reológicos, e antrópicos.

Ao longo do tempo esses processos vão esculpindo a linha de costa em diferentes trechos do litoral, ora causando erosão, ora causando progradação costeira. Assim a linha de costa é considerada como uma linha móvel e sua posição pode variar em todas as escalas (BOAK; TURNER, 2005).

De acordo com Raniere *et al.* (2015) devido as trocas existentes entre os processos oceânicos (ondas, marés, correntes), continentais (movimentos tectônicos, descarga fluvial, degelo), climáticos/meteorológicos (ventos, precipitação, tempestades) e antrópicos

(destruição dos ecossistemas costeiros), a linha de costa sofre contínuas transformações morfodinâmicas.

A detecção de mudanças na posição da linha de costa é um importante elemento na investigação da geomorfologia costeira, tendo em vista a perspectiva de intensificação de erosão associada a eventos de ressaca e às variações no nível do mar.

De acordo com Forbes e Liverman (1996) a movimentação da linha de costa propicia um registro da direção das alterações e dos setores costeiros em erosão e progradação.

Desde a segunda metade do século passado, estudos sobre a determinação das taxas de recuo de linha de costa vêm sendo realizados utilizando os mais diversos métodos de comparação cartográfica, medições diretas em fotografia aérea vertical, medições periódicas no terreno, técnicas fotogramétricas, utilização de imagens de satélite, etc., visando como resultado final a obtenção de previsões dinâmicas do comportamento da linha de costa (SHORT; TREMBANIS, 2004; CALHAGHAN *et al.*, 2009).

O sensoriamento remoto tem sido cada vez mais utilizado em trabalhos de pesquisa na análise das variações da linha de costa de médio período para registrar, mapear e monitorar as diferentes posições ao longo do tempo. Segundo Trebossen *et al.* (2005) e Chu *et al.* (2006), nas pesquisas sobre monitoramento costeiro, a existência de imagens de sensores remotos de diferentes épocas torna a análise multitemporal em uma excelente ferramenta para auxiliar estudos geomorfológicos, ao extrapolar informações pontuais de uma determinada área para um contexto geográfico, propiciando uma melhor compreensão da dinâmica evolutiva desses sistemas.

Nas últimas décadas com a incorporação de novas tecnologias em decorrência do rápido desenvolvimento tecnológico e com a popularização dos sistemas de informações geográficas (SIG) e da cartografia digital, as técnicas de mapeamento da linha de costa têm apresentado uma rápida evolução.

As variações dos limites e das formas (erosionais e progradacionais) podem ser compiladas e manuseadas em ambientes SIG, sendo expressas em áreas, distâncias lineares, taxas e porcentagens (GOWDA *et al.*, 1995; MORTON, 1996; SOUZA FILHO, 2000; FRANÇA; SOUZA FILHO, 2003).

Segundo Marino e Freire (2013) os estudos sobre as causas da erosão costeira em nível mundial (BRUUN, 1962; BIRD, 1985) e nacional (SOUSA; SUGUIO, 2003; DILLENBURG *et al.*, 2004; DOMINGUEZ, 2007) vêm sendo amplamente discutidos, os quais apontam a elevação do nível do mar e o balanço sedimentar negativo como os dois importantes processos causadores desse fenômeno.

Dentro dessa perspectiva, Neves e Muehe (2008) apontam a elevação do nível do mar, o déficit de aporte sedimentar, a evolução quaternária das planícies costeiras, a pressão antrópica sobre as áreas de proteção permanente (APP's), a urbanização crescente das regiões costeiras com a excessiva e inadequada exploração de jazidas de areia, a morfodinâmica praias juntamente com as obras de engenharia ineficazes para proteção da costa como as causas dos riscos que estão expostas as zonas costeiras.

Conforme Guimarães *et al.* (2017) eventos climáticos extremos têm se intensificado na zona costeira mundial, associados a agentes físicos em diversas escalas espaço-temporais, influenciados entre outros aspectos:

I- Pela elevação de 3,4 mm.ano⁻¹ do nível do mar (NEREM *et al.*, 2010) atribuída principalmente à expansão termal dos oceanos, ao derretimento dos glaciares, geleiras continentais e capas de gelo eternas (*permafrosts*), e ao derretimento das calotas polares na Groenlândia, no Ártico e na Antártida (IPCC, 2007), conforme citado Souza (2009, p. 3), pressupondo-se que atinja 0,74 m em 2100 (IPCC, 2014a);

II- Pelas acentuadas e severas instabilidades climáticas, associadas ao aquecimento global, com a perspectiva de um aumento na temperatura do planeta na ordem de até 4°C para 2100 (IPCC, 2014b);

III- E num modelo de desenvolvimento e ocupação humana, que adensa 38% da população mundial na faixa litorânea em até 100 km, sendo que 3,6% vivem em áreas baixas a até 5m da atual linha de costa (UNITED NATIONS, 2016).

De acordo com o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (1996), a zona costeira paraense apresenta duas regiões fisiográficas bem diferenciadas: a Costa Atlântica do Salgado Paraense e as Áreas Marinho-Fluviais do Golfão Amazônico. A região das áreas Marinho-Fluviais do Golfão Amazônico é constituída por uma parte continental estuarina, a qual margeia o Rio Pará/Baía do Marajó, onde localiza-se a Ilha de Mosqueiro e outra insular estuarina, onde se sobressai a Ilha do Marajó.

Caracterizada por uma orla marcada por sucessivos pontões e enseadas arenosas, a Ilha de Mosqueiro apresenta 21 praias que se estendem ao longo de 220,85 Km² e, de acordo com a Diretoria de Hidrologia e Navegação da Marinha do Brasil (2001), essas praias apresentam reflexos de influências de meso-maré semi-diurna, ondas de baixa energia e amplitudes de maré de até 3,60 m.

Segundo El-Robrini (2001), objeto de estudo de inúmeras pesquisas, os ambientes de meso-maré têm sido relacionados a ambientes com extrema diferença morfodinâmica entre as linhas de maré alta e maré baixa, enquanto que as praias estuarinas têm sido relacionadas a

ambientes de baixas energias e tratadas como sistemas oceânicos reduzidos.

Dessa forma, o presente trabalho de pesquisa visa analisar as mudanças da Ilha de Mosqueiro/PA de 2001 a 2018 através de técnicas de geoprocessamento.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar as mudanças da linha de costa na porção ocidental da Ilha de Mosqueiro a partir de técnicas de geoprocessamento.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Identificar a linha de costa nos anos de 2001, 2015 e 2018 nas praias da Ilha de Mosqueiro;
- b) Mapear as áreas de avanços e recuos da linha de costa entre os anos de 2001, 2015 e 2018;
- c) Elaborar um mapa de vulnerabilidade física à erosão costeira da Ilha de Mosqueiro.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Pode-se afirmar que o sistema praial está em equilíbrio quando a quantidade de sedimentos que sai é a mesma que entra. A variação entre ganhos e perdas de sedimentos numa praia é denominado de balanço sedimentar. Quando o balanço sedimentar de uma praia é negativo, ou seja, quando a praia perde mais sedimentos que recebe ocorre o processo de erosão que é natural e ocorre em diversas praias do Brasil e do mundo. Souza (2009) aponta uma série de consequências em decorrência dos processos de erosão, entre elas destacam-se a redução na largura da praia e retrogradação ou recuo da linha de costa, perda de propriedades e bens públicos e privados ao longo da linha de costa, perda do valor imobiliário de habitações costeiras, artificialização da linha de costa devido à construção de obras costeiras (para proteção e/ou recuperação ou mitigação).

Um dos elementos fisiográficos que melhor responde às alterações do balanço sedimentar da praia é a linha de costa. O seu recuo ou avanço, normalmente estão associados aos processos de erosão e progradação que podem ocorrer na escala temporal de eventos.

As praias são ambientes sedimentares modernos que bordejam as zonas costeiras do nosso planeta. Na literatura podemos encontrar diversos conceitos de praia e um dos mais utilizados foi proposto por King (1972), “Praias são ambientes sedimentares costeiros, formados mais comumente por areias de constituição variada, estendendo-se desde onde se inicia a interferência da velocidade orbital das ondas sobre o fundo marinho, até o limite mais continental da ação de ondas de tempestade ou mudanças fisiográficas bruscas”.

Segundo Komar (1976) as praias são aglomeramentos de sedimentos não consolidados, que se estendem em direção à costa da linha média de maré baixa até alguma mudança da feição como falésias e dunas, ou algum ponto onde a vegetação permanente é estabilizada.

As praias são sistemas extremamente dinâmicos, cujo perfil se altera em decorrência dos inúmeros processos meteorológicos e oceanográficos, que levam os sedimentos arenosos a retrabalhamento por processos hidrodinâmicos (HOEFEL, 1998).

De acordo com Short *et al.* (1999), conforme citado por Guerreiro (2010, p. 39) praia é uma acumulação de sedimentos depositados por ondas e por apresentar mobilidade, se ajustam facilmente as condições de ondas e de marés, onde os sedimentos são depositados pelas ondas acima do nível do mar, como também são influenciados e modificados por outros processos, particularmente maré e vento, e por parâmetros como tamanho e tipo de sedimento, biota, temperatura do ar e da água, e química da água.

Ainda, segundo Short (1999), as praias arenosas resultam da interação das ondas com os sedimentos disponíveis, sendo as suas características gerais definidas pelas condições de maré, altura e período de onda e tamanho dos grãos.

A praia inclui a zona de material não consolidado, entre a linha de maré-baixa e a mudança em material ou fisiografia na direção rumo ao continente (EL-ROBRINI, 2001, p. 14).

Ainda, segundo Hoefel (1998) as praias estão intimamente ligadas com a morfologia do fundo, onde os raios de onda são redirecionados pela batimetria, modificando as ondas incidentes em um processo denominado de refração.

Segundo Muehe (1994) o gradiente do fundo marinho e a geometria da onda irá determinar a maneira como elas sofrerão o processo de arrebentação.

As praias podem ser examinadas em diferentes escalas de tempo dependendo do seu processo de formação, variando de instantâneos, produzido pelos processos prevalentes; a um ciclo de maré, diurno, sazonal e por períodos maiores produzidos pela mudança nos regimes de ondas, marés, ventos e clima; a sua erosão e preservação de longo termo resultantes da combinação do suprimento de sedimentos e por processos incluindo variação do nível do mar, clima e tectônica (SHORT, 1999).

As praias possuem diferentes tamanhos, composições e formas e tais particularidades são regidas essencialmente pela característica geológica da fonte de sedimentos e sua proximidade com o ambiente transicional como também da interação dos sedimentos com os processos físicos modeladores como ondas e ventos (SILVA, 2014).

Segundo Guerreiro (2010) a face praial é um elemento fundamental na determinação da resposta costeira às forçantes externas. Nesse sentido, foram realizados significativos avanços para o melhor entendimento dos componentes da dinâmica na face praial. No entanto, os modelos atuais são ainda incapazes de identificar com antecedência a complexa interação entre a geologia costeira e os processos marinhos e atmosféricos ao longo do tempo.

De acordo com Wright *et al.* (1985) modificações na morfologia praial podem ocorrer em diferentes frequências, as quais podem abranger mudanças no volume, estado praial ou ambos.

Dentre os diversos campos a serem abordados para a construção destes conhecimentos, a morfodinâmica praial mostra-se cada vez mais fundamental para a compreensão dos processos e suas variações em diferentes escalas de análise (SILVA, 2014).

Morfodinâmica praial é um método de estudo o qual integra observações morfológicas e dinâmicas numa descrição mais completa e coerente da praia e zona de arrebentação

(CALLIARI *et al.*, 2003). A morfodinâmica de praias pode ser compreendida como a resultante da interação entre as feições morfológicas da praia e a dinâmica dos fluidos no transporte dos sedimentos (RIBEIRO, 2014, p. 25).

As praias variam no tempo com a mudança das condições de ondas e variam espacialmente dependendo das condições ambientais, envolvendo não só mudanças na sua morfologia, mas também no seu comportamento hidrodinâmico (GUERREIRO, 2010, p. 39).

As praias estão entre os ambientes costeiros que possuem características dinâmicas que lhes conferem grande vulnerabilidade à erosão. Esses ambientes podem apresentar um maior ou um menor grau de suscetibilidade a essas alterações, sejam elas ambientais ou antrópicas.

Em 2007, o Painel Intergovernamental das Mudanças Climáticas (IPCC) definiu vulnerabilidade como o grau no qual um sistema natural ou social é suscetível e incapaz de lidar com os efeitos adversos das mudanças do clima. Quantificar o grau dessa suscetibilidade é determinar o quanto o ambiente é vulnerável a essas mudanças.

Em 2014 o IPCC descreve vulnerabilidade como a propensão ou pré-disposição a ser adversamente afetado, a qual engloba uma variedade de conceitos e elementos, incluindo sensibilidade ou susceptibilidade a danos e falta de capacidade para lidar e se adaptar.

Em uma definição mais clara, a vulnerabilidade é o potencial para a perda (CUTTER, 2011). Ela inclui elementos de exposição ao risco (as circunstâncias que colocam as pessoas e as localidades em risco perante um determinado perigo) e elementos de propensão ao risco (as circunstâncias que aumentam ou reduzem a capacidade da população, da infraestrutura ou dos sistemas físicos para responder e a recuperar de ameaças ambientais).

Em 2004, o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) conceituou risco como a *“probabilidade de ocorrer consequências danosas ou perdas esperadas (mortos, feridos, edificações destruídas ou danificadas, etc.) como resultado de interações entre um perigo natural e as condições de vulnerabilidade local”*.

O conceito de risco está associado a um acontecimento que pode ou não se concretizar. No entanto, a existência de risco só se constitui quando há valoração de algum bem, material ou imaterial, pois não há risco sem a noção de que se pode perder alguma coisa. Por conseguinte, não se pode pensar em risco sem considerar alguém que corre risco, neste caso, a sociedade (NICOLODI; PETERMANN, 2010).

De acordo com Serafim (2017) em uma análise de vulnerabilidade é essencial conhecer a relação entre o meio físico e as ameaças ambientais, a qual está estreitamente relacionada aos conceitos de exposição, sensibilidade e suscetibilidade.

Existem inúmeras metodologias empregadas na avaliação de vulnerabilidade de ambientes costeiros e a grande maioria utiliza a construção de índices de vulnerabilidade, os quais permitem a simplificação dos parâmetros físicos ou socioeconômicos, que são representados por diversos dados espaciais (McLAUGHLIN; COOPER, 2010).

Gornitz (1990) foi um dos primeiros a utilizar a metodologia de índices deixando como legado o chamado Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC), que acabou se tornando a base metodológica da grande maioria dos trabalhos posteriores envolvendo vulnerabilidade costeira. Nos trabalhos baseados nessa metodologia a vulnerabilidade pode ser classificada em cinco classes diferentes: muito baixa, baixa, moderada, alta e muito alta.

No Brasil, inúmeros trabalhos fizeram uso e/ou adaptações de índices de vulnerabilidade para as diversas regiões da costa brasileira.

Apesar de não tratar sobre índice de vulnerabilidade costeira, Crepani *et al.* (2001) baseado na caracterização morfodinâmica das variáveis geologia, geomorfologia, solos, vegetação e clima, elabora o Índice de Vulnerabilidade Natural (IVN), determinando valores para uma escala de vulnerabilidade à perda ao solo, a qual pode variar de 1,0 a 3,0. As variáveis mais estáveis apresentaram valores próximos de 1,0, as intermediárias ao redor de 2,0, e as mais vulneráveis estarão próximas de 3,0.

Este trabalho se tornou a base conceitual-metodológica de muitos trabalhos desenvolvidos para o estudo e mapeamento da vulnerabilidade natural, entre eles o de Grigio *et al.* (2004) que elaborou um Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) para o município de Guamaré (RN), obtido do cruzamento entre o mapa de vulnerabilidade natural e um mapa de uso e cobertura da terra.

3.1 A ILHA DO MOSQUEIRO

A zona costeira do Estado do Pará apresenta três setores com características fisiográficas diferenciadas: Setor Costa Atlântica do Salgado Paraense (Baía do Marajó/Rio Gurupi); o Setor Insular Estuarino (Ilha do Marajó/Rio Amazonas) e o Setor Continental Estuarino (Rio Pará/Baía do Marajó).

A Ilha de Mosqueiro está situada no Setor Continental Estuarino, onde as praias estão ligadas às influências da Baía do Guajará e das falésias dos sedimentos do Grupo Barreiras influenciadas por meso-marés semidiurnas com amplitudes de 3,60m e onde as várzeas são alcançadas pela influência marinha.

De acordo com El-Robrini (2001), Alves *et al.* (2014, p. 3) as praias estuarinas de

Mosqueiro são curtas e estreitas, formando enseadas, com suas larguras diminuindo em direção as pontas, caracterizando uma orla marcada por sucessivos promontórios (pontões) e enseadas, apresentando similaridades, com a sequência estatigráfica local, representadas pelos sedimentos do Grupo Barreiras, aflorando durante a baixa-mar, e o Pós-Barreira.

De acordo com Robinson (1983), conforme citado por El-Robrini *et al.* (2006, p. 25):

A presença sucessiva desses promontórios exerce uma influência importante sobre as ondas e as correntes de marés, na dispersão e deposição dos sedimentos e, por conseguinte, na evolução da linha de costa, pois os promontórios não só capturam a energia da onda, causando um raio de convergência, mas também têm uma tendência para impulsionar os fluxos de maré, criando um redemoinho de maré.

Ainda segundo El-Robrini (2001) na Ilha de Mosqueiro, as melhores exposições do Grupo Barreiras ocorrem nas falésias ativas e inativas ao longo da orla. As falésias ativas estão bem caracterizadas nas orlas das praias do Murubira, Ariramba, Marahú e Paraíso, e as falésias inativas na orla da praia do São Francisco.

El-Robrini (2001), Alves *et al.* (2004) e El-Robrini *et al.* (2006) afirmam que a Ilha de Mosqueiro, de maneira geral, apresenta praias com estreitas faixas de pós-praia, com algumas escarpas nesta zona (praias de São Francisco e Marahú), com zona de intermaré mais largas e íngremes, comportando-se geralmente como praias refletivas, com exceção das praias do São Francisco e Paraíso, de menor declividade, constituindo praias de terraços de maré baixa. A morfologia em algumas praias é marcada pela presença de algumas barras internas (praias do Ariramba, Marahú, Farol e Chapéu Virado), e barras arenosas no início da zona de inframaré (praias do Ariramba e Marahú), com variedade granulometria, com domínio de areia média como também de areias grossas e finas.

El-Robrini (2001) afirma que os processos de erosão e progradação são cíclicos nas praias da Ilha de Mosqueiro. Nas praias do Murubira, Paraíso, Farol e Chapeu Virado a erosão ocorre mais intensamente no período mais chuvoso quando se observa a retrogradação praial quando há a diminuição da largura dessas praias na zona de pós-praia e de intermaré e no período mais seco ocorre o engordamento dessas praias. Já nas praias do São Francisco, Marahú e Ariramba esses processos ocorrem independente do período do ano.

El-Robrini *et al.* (2006), El-Robrini *et al.* (2018) afirmam que são escassos dados sobre o transporte de sedimentos referentes a zona costeira norte brasileira e de acordo com Komar (1976), conforme citado por El-Robrini (2006; 2018), caracterizar a deriva litorânea em campo não é muito fácil. No entanto, métodos indiretos podem revelar de maneira aproximada seu desenvolvimento sem estretanto estimar suas taxas.

De acordo com Komar (1976), conforme citado por El-Robrini *et al.* (2006, p. 60):

Dentre esses métodos, a deriva litorânea pode, às vezes, ser determinada através da observação da configuração da linha de costa, nas vizinhanças de estruturas costeiras, naturais ou feitas pelo homem. Desta forma, a observação de feições costeiras, como promontórios e barreiras litorâneas, puderam ser usadas para indicar a direção de transporte litorâneo através da. A migração dos canais de maré e foz de canais estuarinos ao longo da costa também foram utilizados para determinar a direção da deriva litorânea.

Figura 1 – Células de deriva litorânea proposta para as praias de Mosqueiro com base em observação visual e medida do clima de ondas e na morfologia das feições costeiras.



Fonte: El-Robrini *et al.* (2006)

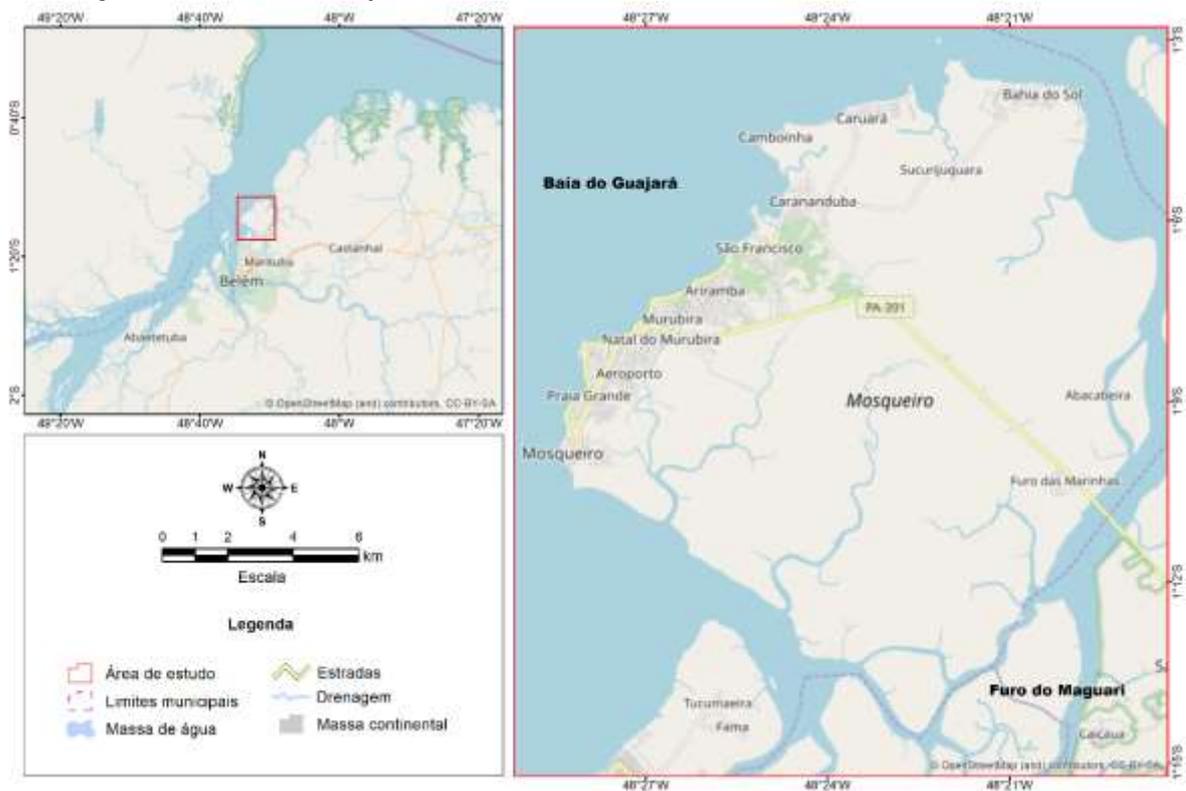
3.1.1 Localização e acesso à área de estudo

De acordo com Sales (2008) e Palheta (2008) a Ilha do Mosqueiro, parte integrante do município de Belém, está situada na porção direita do Estuário Guajarinó, na região nordeste do Estado do Pará. Localiza-se geograficamente entre as coordenadas 1° 04' 11'' e 1° 13' 42'' de latitude Sul e -48° 19' 20'' e -48° 29' 14'' de longitude Oeste de Greenwich, englobando uma superfície aproximada de 220 a 223 km², com altitude média de 15 m acima do mar. O acesso a ilha se faz através das rodovias BR-316 e PA-319, cortando os municípios de Ananindeua, Marituba, Benevides e Santa Bárbara, distando cerca de 50 km da capital Belém até a ponte Sebastião Raimundo de Oliveira. (Figura 2).

Segundo Viana (2013):

Em relação aos aspectos físicos, a zona costeira da Ilha de Mosqueiro está localizada dentro da região de influência da baía do Marajó, na sua margem direita, contida na região nordeste do Estado do Pará. Recebe predominantemente, a influência de ventos, ondas e correntes gerados no interior dessa baía, caracterizando assim, um cenário estuarino.

Figura 2 – Área de localização da área de estudo.



Fonte: Braga (2019).

3.1.2 Aspectos fisiográficos

3.1.2.1 Hidrologia

Mosqueiro é banhada: ao sul e sudeste, pelo Furo do Maguari; a sudoeste e noroeste pelas águas da Baía do Guajará; a norte, nordeste e parte do sudeste pelo Furo das Marinhas (Figura 2).

O litoral norte brasileiro sofre influência das ondas formadas a partir de ventos alísios, predominantemente de NE. Essas ondas apresentam, em geral, altura abaixo de 1-1,5m, em mar aberto. Na baía do Guajará, as ondas quebram com altura de 1m e períodos em torno de 8 segundos. Na Ilha de Mosqueiro, em situação de maré baixa, ocorrem pequenas ondulações, que dificilmente chegam a 0,3 m de altura, caracterizando um sistema relativamente tranquilo (PINHEIRO, 1987; VIANA, 2013; EL-ROBRINI *et al.*, 2018).

3.1.2.2 Relevô

Segundo Silva (1975), Palheta (2008), El-Robrini *et al.* (2006), a compartimentação geomorfológica da ilha de mosqueiro compreende duas unidades:

- a) Terraços Aluviais Pleistocênicos: situados a N-NE, são terrenos quase planos situados entre 15 e 25 metros e a declividade não ultrapassa 10%. Essas áreas são sustentadas por sedimentos arenosos, siltosos e argilosos caulínicos.
- b) Planície Aluvial de Inundação: situadas a S-SE, sendo periodicamente ou permanentemente inundadas. Situa-se entre as cotas de (0 – 5) m apresentando áreas com declividade inferior a 3% popularmente conhecidas por “várzeas” (alta e baixa) onde ocorrem sedimentos holocênicos argilosos e siltosos, pouco desenvolvidos pertencentes à formação mais recente.

3.1.2.3 Solos

Os solos característicos presentes na ilha apresentam baixa a média fertilidade, com valores elevados de alumínio trocável. Os tipos são: Latossolo Amarelo Álico (e variações), Areia Quartzosa Álica Latossólica, Concrecionário Laterítico Álico, Podzólico Vermelho Amarelo Álico, Podzol Hidromófico, Gley Pouco Húmico (e variações) e Hidromóficos indiscriminados (SILVA, 1975, p. 156).

3.1.2.4 Vegetação

De acordo com Silva (1975), Sales (2005), Palheta (2008) os resquícios presentes de vegetação primária são definidos como de Floresta Tropical Perenifólia. As áreas onde foram derrubadas para cultivo, deram lugar a uma vegetação secundária denominada de capoeira. A vegetação primária apresenta divisões baseadas nas seções fisiográficas.

Presentes nos Terraços Aluviais Pleistocênicos aparece a floresta caracterizada por espécies arbóreas, de porte elevado, formando estratificações com espécies de menor porte. Apresentam ainda epífitas e cipós. Na Planície Aluvial de Inundação a floresta é caracterizada por espécies na sua maioria de porte médio, hidrófilas, apresentando raízes pneumatóforas e sapopemas.

Outro tipo de vegetação característica de áreas com influência salina estão presentes

nos mangues. Suas espécies principais são: tamanqueiro (*Tagara rhoifolia*), mangue vermelho (*Thizophora mangle*), siriúba (*Avicenia nítida*), mangerana (*Conocarpus erecta*) e a maguerama (*Laguncularia racemosa*).

3.1.2.5 Condições climáticas

Segundo El-Robrini (2001), Viana (2013) a pluviosidade em Mosqueiro ocorre em dois períodos distintos: um ocorrendo de dezembro a maio (mais chuvoso) com maior intensidade de chuvas e outro ocorrendo de junho a novembro (menos chuvoso) com menor intensidade de chuvas. Ao longo do ano, essa variação pluviométrica pode influenciar na dinâmica sedimentar e morfológica das praias.

Ainda segundo Viana (2013) depreende-se dos estudos sobre a dinâmica morfológica e sedimentar das praias a existência de uma constante dinâmica sazonal entre os agentes (marés, ondas, ventos, pluviosidade e ação antrópica) e os processos que nelas atuam (erosão, transporte e sedimentação).

Segundo o monitoramento de condições climáticas da Embrapa Amazônia Oriental, os elementos climáticos definem um clima característico quente e úmido, expresso pelo tipo climático Af de Köppen. Apresenta a temperatura anual média de 25,9 °C, com mínima de 21,9°C e máxima de 31,4 °C. A condição normal da localidade é de elevada umidade relativa do ar, expressa em média anual de 84%, sendo a precipitação pluviométrica anual de 2.900 mm.

3.1.3 Dados socioeconômicos

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a ilha de Mosqueiro apresenta uma população de aproximadamente 27 mil habitantes, abrangendo 17 km de praias localizadas em sua região ocidental onde está concentrada seus principais equipamentos de infraestrutura urbana (água encanada, coleta de lixo, energia elétrica, esgotamento sanitário por rede de esgoto ou rede pluvial, órgãos públicos, agências bancárias, correios, etc.). É nesta região da ilha que também está localizada a maior parte de sua população e que segundo o censo de 2010 apresenta as maiores densidades demográficas (IBGE, 2016).

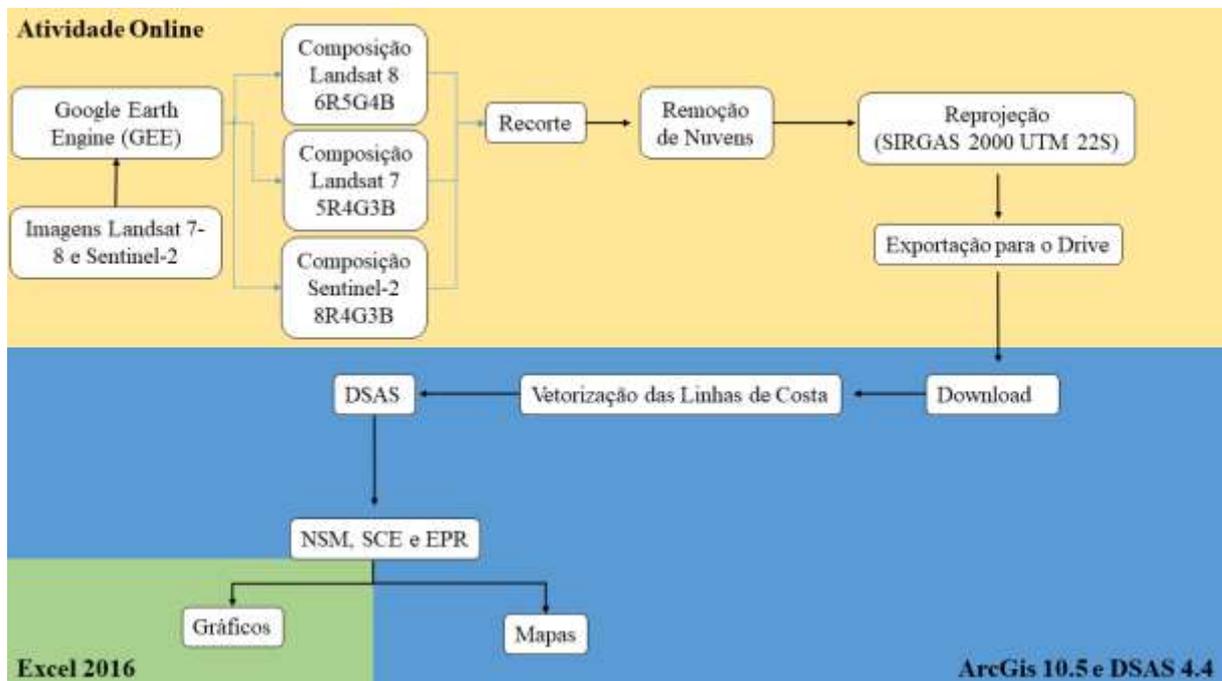
De acordo com a análise dos dados da Grade Estatística do IBGE (2016), a grande maioria dessa população é alfabetizada apresentando um equilíbrio entre homens e mulheres. Da população considerada idosa (pessoas com 60 anos ou mais), esta encontra-se concentrada

nos bairros da vila, carananduba e baía do sol. Já em relação as pessoas menores de 15 anos (crianças e jovens) ocorre uma distribuição equilibrada ao longo dessa região da ilha. Dos domicílios de mosqueiro, aproximadamente 50% são classificados como domicílios ocupados ocasionalmente nos finais de semana (residência de veraneio).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para este estudo foram utilizadas imagens dos satélites orbitais do Programa Landsat e do Programa Sentinel-2 em composição de bandas que ressaltam a vegetação e com isso foram extraídas através de vetorização, as linhas de costa nos cenários de 2001, 2015 e 2018. As linhas de costa foram usadas como dados de entrada para o plugin DSAS 4.4 onde as taxas de variação foram calculadas e posteriormente analisadas. Os dados, softwares e processamentos utilizados neste estudo estão esquematizados no fluxograma da Figura 3, e serão detalhados nos tópicos a seguir.

Figura 3 - Fluxograma com os dados, softwares e principais etapas de processamento.



Fonte: Braga (2019).

4.1 IMAGENS LANDSAT E SENTINEL

Neste estudo foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 7 (2001), Landsat 8 (2015) e Sentinel 2 (2018), adquiridas através da plataforma *Google Earth Engine* (GEE). As imagens landsat de sensores óticos (ETM e OLI) apresentam uma resolução espacial de 30 m enquanto a imagem do Sentinel-2 de sensor ótico (MSI) apresenta 13 bandas espectrais entre elas 04 bandas de resolução espacial de 10 m (03 no visível e 01 no infravermelho próximo). Essas imagens de sensores óticos cobrem uma faixa do espectro eletromagnético que

possibilita diversas análises em várias áreas de estudo em geociências.

4.2 PRÉ-PROCESSAMENTO

As imagens adquiridas refletem o ano de 2001 (Landsat 7), 2015 (Landsat 8) e 2018 (Sentinel-2). A plataforma *Google Earth Engine* (GEE) proporcionou a remoção de nuvens utilizando a banda BQA dos satélites Landsat 7 e 8 e da banda QA60 do Sentinel-2. Posteriormente foi feita uma média das imagens componentes de cada ano em estudo para evidenciar os melhores *pixels*. A partir de delimitações que o próprio GEE disponibiliza foi realizado o recorte das imagens para a área de estudo, que compreende as adjacências da Ilha de Mosqueiro. Em seguida foi realizada a composição RGB utilizando as bandas 6, 5 e 4, para o Landsat 8; 5, 4 e 3, para o Landsat 7; e 8, 4 e 3, para o Sentinel 2. As imagens geradas já estavam na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM - 22S).

Todo o pré-processamento foi feito no software ArcGis 10.5. As composições de bandas utilizadas nas diferentes cenas estão esquematizadas da Tabela 1.

Tabela 1 - Composições falsa-cor utilizadas nas diferentes cenas Landsat e Sentinel.

Satélite	Sensor	Resolução espacial (m)	Bandas / comprimento de onda (micrômetros)	Composição falsa-cor
Landsat 7	ETM	30	Banda 3-Vermelho (0,63-0,69) Banda 4-Infravermelho Próximo (0,77-0,90) Banda 5-Infravermelho Ondas Curtas (1,55-1,75)	R(5)G(4)B(3)
Landsat 8	OLI	30	Banda 4-Vermelho (0,64-0,67) Banda 5-Infravermelho Próximo (0,85-0,88) Banda 6-Infravermelho Ondas Curtas (1,57-1,65)	R(6)G(5)B(4)
Sentinel 2	MSI	10	Banda 3-Verde (559,8) Banda 4-Vermelho (664,6) Banda 8-Infravermelho Próximo (832,8)	R(8)G(4)B(3)

Fonte: Braga (2019)

4.3 DIGITALIZAÇÃO DA LINHA DE COSTA

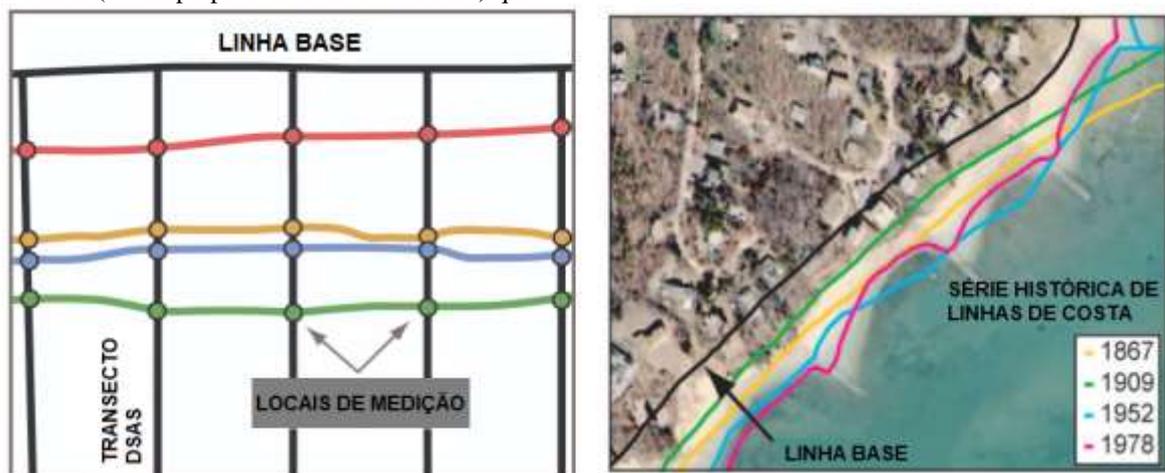
Para interpretação e digitalização visual da linha de costa foi adotado a Linha Limite de Vegetação sugerida por Moore (2000), tendo em vista que o objetivo foi verificar mudanças de médio prazo (17 anos), cujas variações da vegetação apresentam tendências mais robustas visto que a área analisada corresponde a uma região estuarina com bastante cobertura vegetal (RANIERI *et al.*, 2015).

Para a representação da linha de costa foram criados *shapefiles*, em *polylines*, cada um representando a linha de costa de cada ano de estudo. Além disso, foi feita uma *polyline* específica para a linha de base (*baseline*). Cada linha de costa foi identificada e digitalizada através das ferramentas de vetorização do software ArcGis 10.5, utilizando a linha de vegetação como referência, enquanto a *baseline*, digitalizada na região oceânica (rio), foi o referencial fixo para analisar a variação da linha de costa (RANIERI *et al.*, 2015).

4.4 DIGITAL SHORELINE ANALYSIS SYSTEM (DSAS)

O DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*) é um toolbox de acesso livre desenvolvido pela USGS que funciona dentro do ambiente SIG do software ArcGIS que permite calcular as estatísticas de taxas de variação para uma série temporal de dados vetoriais de linha de costa, de grande valor para os estudos costeiros sobre erosão e progradação (USGS, 2017). Para calcular as taxas, o DSAS gera transectos que são posicionados perpendicularmente à uma linha base de referência ao longo da linha de costa (Figura 3). Estes transectos são gerados em espaçamentos definidos pelo usuário e se prolongam em direção a série de linhas de costa pré-digitalizadas (Figura 4).

Figura 4 - Elementos do DSAS. Linhas de costas previamente digitalizadas (linhas coloridas) e a linha base (linha preta paralela as linhas de costa) são os dados de entrada para o toolbox, que gera automaticamente os transectos (linhas perpendiculares a linha base) que intersectam a série histórica de linhas de costa.



Fonte: Adaptado da USGS (2017).

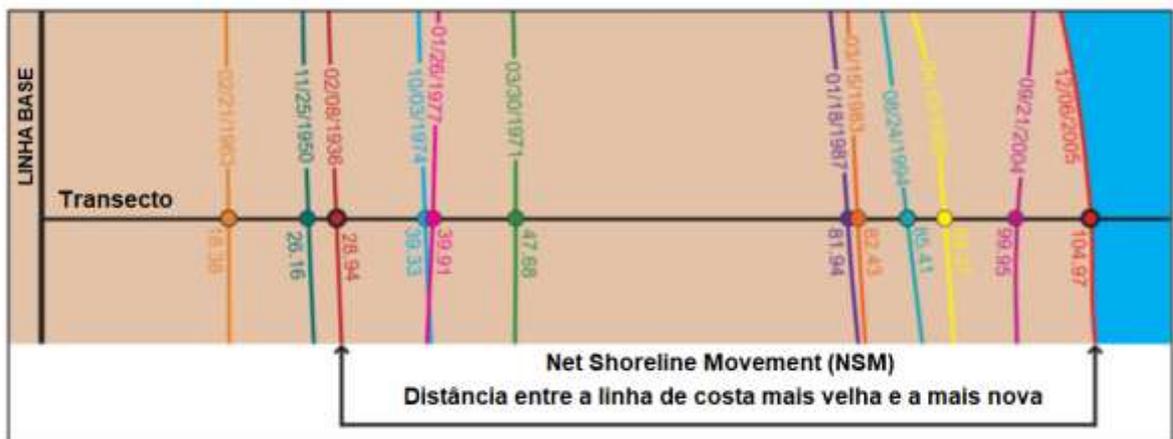
Para a costa da Ilha de Mosqueiro, foram gerados transectos de 450m de extensão, com espaçamento de 50m entre eles, ou seja, 20 transectos por quilômetro de costa. A distância entre a linha de base e cada ponto de interseção entre as linhas de costa e os

transectos do DSAS possibilita calcular várias métricas de alteração, que podem ser medidas tanto físicas quanto valores estatísticos (USGS, 2017). Dentre as métricas disponíveis, inicialmente este estudo gerou o Net Shoreline Movement (NSM), o End Point Rate (EPR) e o Shoreline Change Envelope (SCE).

4.4.1 Net Shoreline Movement (NSM), End Point Rate (EPR) e o Shoreline Change Envelope (SCE)

A métrica NSM extrai um valor de distância, não uma taxa, e é calculada com base nas datas de referência das linhas de costa. Desta forma, essa métrica calcula a distância entre a linha de costa mais velha e a mais jovem para cada transecto ao longo da linha base (Figura 5). Se o valor dessa métrica for positivo significa que ocorreu um avanço do litoral (progradação). Se o valor dessa métrica for negativo significa que ocorreu um recuo do litoral (erosão).

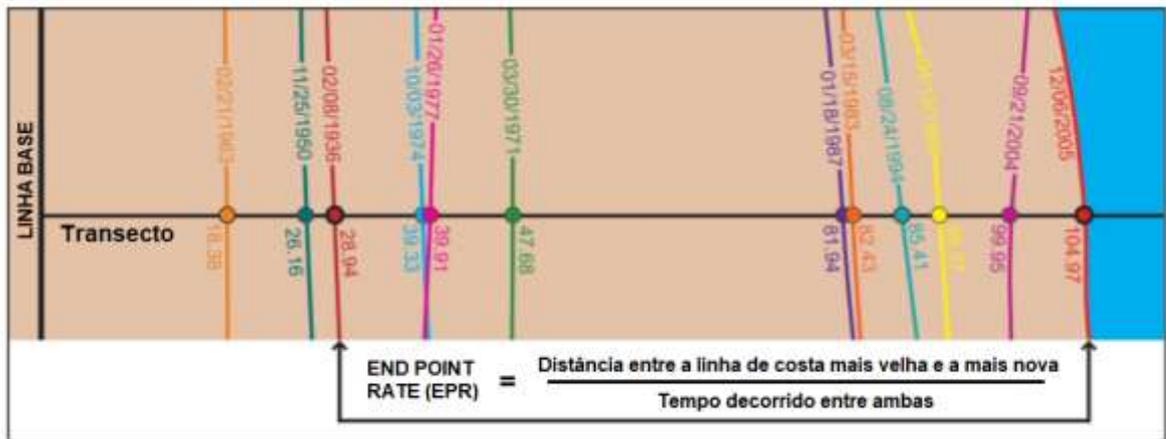
Figura 5 - Exemplo da métrica Net Shoreline Movement (NSM). Para o transecto da figura, a distância calculada será 76m, que corresponde a distância entre a linha de costa mais velha (1936) e a linha de costa mais nova (2005).



Fonte: Adaptado da USGS (2017).

A métrica End Point Rate (EPR), ou taxa do ponto final, é calculada a partir da distância entre a linha de costa mais velha e a mais nova, dividida pelo tempo decorrido entre elas (Figura 6), ou seja, é uma relação espaço e tempo, onde é medida a distância em metros entre as duas linhas, que em seguida é dividida pelo intervalo de tempo existente entre elas. As principais vantagens dessa métrica são a facilidade de cálculos e a exigência mínima de duas linhas de costa. Já sua principal desvantagem é que nos casos de utilização de mais de duas linhas de costa, essas informações adicionais são ignoradas.

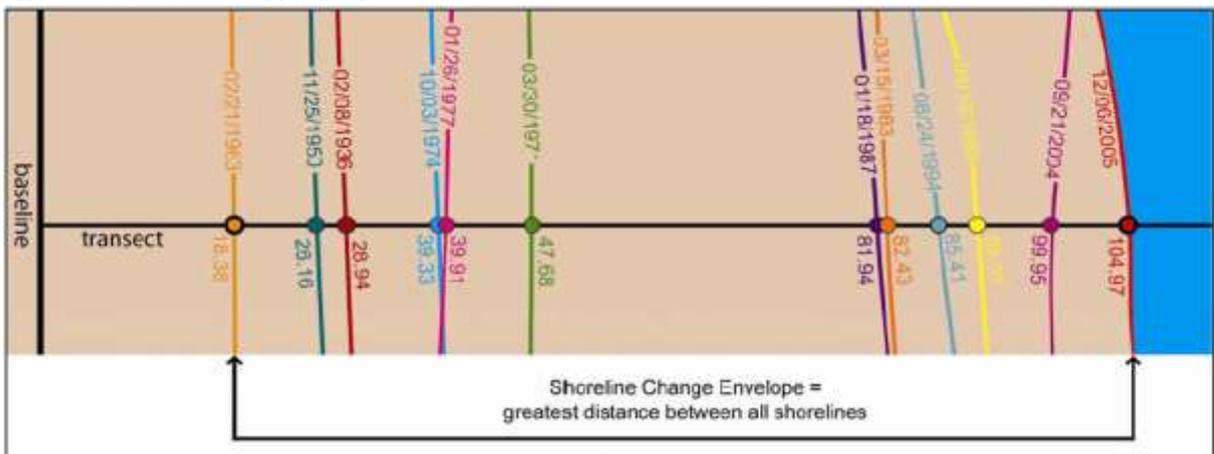
Figura 6 - Exemplo da métrica End Point Rate (EPR). Para o transecto da figura, a taxa do ponto final calculada será 1,09m/ano, resultante da distância de 76m entre a linha de costa mais velha (1936) e a linha de costa mais nova (2005), dividido pelo tempo decorrido entre elas (69,82 anos).



Fonte: Adaptado da USGS (2017).

A métrica Shoreline Change Envelope (SCE), ou envelope de mudança de linha de costa indica a distância entre as linhas de costa mais distante e a mais próxima da linha de base em cada transecto, representando a variação total realizada pelo local, sendo que este parâmetro não relaciona as datas disponíveis (Figura 7).

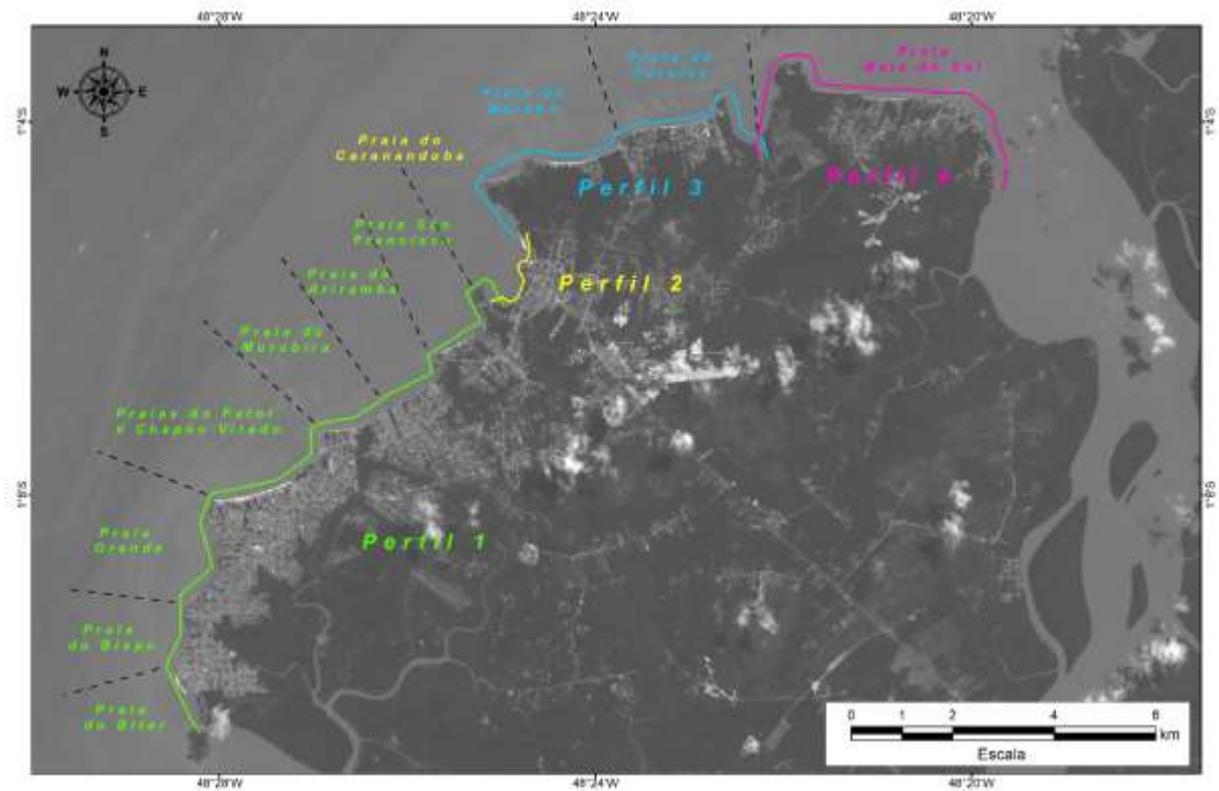
Figura 7 - No exemplo da figura abaixo, a métrica Shoreline Change Envelope (SCE), Envelope de Mudança de Linha de Costa a distância entre as linhas de costa de 2005 e 1963 é de 86,59 metros. Esta distância não está associada com a idade dos litorais.



Fonte: Adaptado da USGS (2017).

Foram criados 04 perfis praias delimitados pelos canais que alcançam a orla da ilha de Mosqueiro conforme pode visualizado na figura 8.

Figura 8 - Perfis praias ao longo da orla da Ilha de Mosqueiro.



Fonte: Braga (2019).

Os resultados dos cálculos das métricas são gerados na forma de tabela, vinculando cada métrica aos respectivos transectos. Para este estudo, as tabelas foram exportadas para o software Excel 2016, onde foram editadas e gerados os gráficos das métricas NSM, EPR e SCE. As imagens, linhas de costa digitalizadas e os elementos do DSAS foram tratados em *layout* do ArcGis 10.5 onde foram gerados os mapas e figuras para análise.

4.5 ANÁLISE DE VULNERABILIDADE À EROSIÃO

A metodologia para a elaboração do mapa de vulnerabilidade à erosão costeira da Ilha de Mosqueiro utilizada neste trabalho de pesquisa teve por base o trabalho desenvolvido por Crepani *et al.* (2001) em conformidade ao conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977), o qual defende que nas áreas aonde prevalecem os processos morfogenéticos há o favorecimento de processos erosivos do solo e em áreas aonde os processos pedogenéticos prevalecem há o favorecimento para a formação dos solos, além da interpretação de dados temáticos preexistentes com a utilização de imagens de satélite.

A metodologia para elaboração da análise de vulnerabilidade desenvolvida por Crepani *et al.* (2001) tem como objetivo auxiliar as análises ambientais e na tomada de decisões, além de analisar regiões com tendências ao processo de erosão. As variáveis utilizadas nos cálculos da vulnerabilidade foram ponderadas de acordo com sua importância em relação características da área de estudo.

Na etapa de confecção dos mapas temáticos, foram produzidos mapas de vulnerabilidade para cada variável utilizada. Além disso foi necessário realizar uma correspondência entre as nomenclaturas utilizadas entre a metodologia de Crepani e de Gornitz.

Tabela 2 - Correspondência entre as classificações de vulnerabilidade.

Crepani	Gornitz
Estável	Muito Baixa
Moderadamente Estável	Baixa
Medianamente Estável/Vulnerável	Moderada
Moderadamente Vulnerável	Alta
Vulnerável	Muito Alta

Fonte: Braga (2019)

A análise foi realizada inicialmente através da utilização da equação 1 adaptada da proposta de Crepani *et al.* (2001) no qual foi realizado o estudo do tipo de solo predominante na área de estudo; tipos de uso e ocupação do solo que são desenvolvidos atualmente na área e da declividade do terreno gerada a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE).

$$V_f = (d + s + u) / 3 \quad (1)$$

(Adaptado de Crepani *et al.*)

Onde “ V_f ” representa a vulnerabilidade dos parâmetros físicos; “ d ” a declividade do terreno; “ s ” o tipo de solo; “ u ” o uso do solo.

Em complementação a metodologia desenvolvida por Crepani *et al.* (2001) este trabalho de pesquisa fez uso de variáveis oceanográficas amplamente utilizadas em metodologias de avaliação de vulnerabilidade de ambientes costeiros para o cálculo do Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) que tem entre as inúmeras referências os trabalhos de Gornitz (1990), Gornitz *et al.* (1994), e Thieler & Hammar-Klose (1999).

A análise foi realizada através da utilização da equação 2 adaptada da proposta de Crepani *et al.* (2001) no qual foi realizado o estudo da amplitude de maré, a altura máxima de onda e da velocidade máxima de corrente.

$$V_o = (AM + AMO + VMC) / 3 \quad (2)$$

(Adaptado de Crepani *et al.*)

Onde “ V_o ” representa a vulnerabilidade dos parâmetros oceanográficos; “ AM ” a amplitude de maré; “ AMO ” a altura máxima de onda; “ VMC ” a velocidade máxima de corrente.

Na sequência foi realizada o cálculo da vulnerabilidade física à erosão costeira resultante através da da média aritmética dos valores individuais das vulnerabilidades calculadas anteriormente através da equação 3.

$$V_{fec} = (V_f + V_o) / 2 \quad (3)$$

(Adaptado de Crepani *et al.*)

Onde V_{fec} representa a vulnerabilidade física à erosão costeira.

Todo o conjunto de informações utilizados nos cálculos das componentes individuais foram obtidos através de órgãos governamentais brasileiros conforme descrito na tabela 3:

Tabela 3 - Fonte de dados e suas principais características.

Dado	Fonte	Características
Declividade – MDE	INPE – TOPODATA	Resolução espacial 30m – Quadrante 01S495SN
Uso do Solo	MMA (2016)	Baseado no monitoramento dos biomas brasileiros a partir do satélite Landsat 8
Tipos de Solo	EMBRAPA (2013, 2014)	Livro de Solos (Classificação de solos – Embrapa (2013); Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – Embrapa (2013).
Amplitude de maré, altura máxima de onda e a velocidade máxima de corrente	Carta Tática de Sensibilidade Ambiental de Derramento de Óleo Bacia de Foz do Amazonas – Rio Pará – FZA19 (IEPA, 2017).	Escala 1:150.000

Fonte: Braga (2019)

A elaboração dos dados de declividade foi realizada a partir das imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) de 30 metros de resolução obtidas a partir da grade vetorial no banco de dados TOPODATA com escala em graus do Instituto Brasileiro de Pesquisas Espaciais (INPE) por meio das imagens do tipo Modelo Digital de Elevação (MDE) quadrante 01S495SN. Dessa forma, esses dados hipsométricos obtidos, possibilitaram a

obtenção dos dados de declividade por meio das ferramentas do software ArcGis 10.5.

Para a variável declividade os valores de vulnerabilidade foram classificados de acordo com os intervalos constantes na tabela 4.

Tabela 4 - Vulnerabilidade para a declividade do terreno.

Valores de vulnerabilidade para a declividade do terreno	
DECLIVIDADE	Vulnerabilidade
%	-
<3,5	1,0
3,5 - 5,8	1,1
5,8 - 8,2	1,2
8,2 - 10,3	1,3
10,3 - 12,9	1,4
12,9 - 15,1	1,5
15,1 - 17,4	1,6
17,4 - 19,8	1,7
19,8 - 22,2	1,8
22,2 - 24,5	1,9
24,5 - 27,2	2,0
27,2 - 29,6	2,1
29,6 - 32,1	2,2
32,1 - 34,6	2,3
34,6 - 37,2	2,4
37,2 - 39,8	2,5
39,8 - 42,4	2,6
42,4 - 45,3	2,7
45,3 - 48,1	2,8
48,1 - 50	2,9
>50	3,0

Fonte: Crepani *et al.* (2001).

Para a hierarquização da variável solo foram levados em consideração os tipos de solo encontrados na área de estudo de acordo com a fonte utilizada (Tabela 3). Assim os tipos de solo foram classificados de acordo com o grau de vulnerabilidade descritos na tabela 5.

Tabela 5 - Vulnerabilidade dos tipos de solo na área de estudo.

Valores de vulnerabilidade dos solos		
Classes de solo	Legenda	Vulnerabilidade
Latossolo Vermelho- Amarelo	CLVA	1,0
Argissolo	PVAD	2,0
Neossolo Fúvico	CNF	3,0

Fonte: Crepani *et al.* (2001).

A variável uso do solo foi hierarquizada de acordo com as informações levantadas na fonte de dados utilizada para esse tema (Tabela 3) e posteriormente classificada de acordo com o grau de vulnerabilidade descritos na tabela 6.

Tabela 6 - Vulnerabilidade para o uso e cobertura do solo.

Classe de Uso do Solo	Valor de Vulnerabilidade
Água	1,5
Cultura Perene	2,5
Cultura Anual	3,0
Pastagem	2,0
Mata	1,0
Várzea	3,0
Cidade	1,0
Reflorestamento	1,5

Fonte: Crepani *et al.* (2001).

A variável “Amplitude de maré” e seus intervalos de classificação são relativamente constantes nas diversas propostas de literatura (COELHO, 2005; MURALI *et al.*, 2013; GERMANI *et al.*, 2018).

De acordo com Silva Junior (2019) a proposta de Thielier & Hammar-Klose (1999), que considera o menor grau de vulnerabilidade ondas com altura máxima de até 0,55 m é a que melhor se ajusta as características da área de estudo, pois a Ilha de Mosqueiro está localizada em uma zona costeira estuarina, a qual está relativamente protegida do efeito de ondas em comparação as zonas costeiras oceânicas, além de ser amplamente usada na literatura.

Ainda segundo Silva Junior (2019) apesar de está presente nos trabalhos de de Mohamed *et al.* (2014) e Silveira e Bonetti (2018), a variável “Velocidade máxima de corrente” é pouco utilizada nas propostas metodológicas de análise da vulnerabilidade física costeira, principalmente em decorrência da falta de dados dessa natureza. Como neste trabalho de pesquisa foi utilizada a Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de

Óleo - Carta SAO FZA19 (IEPA, 2017) que dispõem de informações de velocidade de correntes de maré no Estuário do Rio Pará, na qual a área de estudo está incluída, decidiu-se pela utilização desta variável, e os intervalos de classificação foram extraídos da proposta de Mohamed *et al.* (2014).

A partir das considerações descritas acima foi construída a tabela 7 que serviu de base para a classificação das variáveis oceanográficas utilizadas em consonância com as informações levantadas na fonte de dados utilizada para esse tema (Tabela 3).

Tabela 7 - Classes de vulnerabilidade e variáveis analisadas. A coluna “Fonte” indica em quais autores foi baseada a classificação de cada variável: A - Gornitz (1990) e Gornitz *et al.* (1997); B - Mohamed *et al.* (2014); C - Thieler & Hammar-Klose (1999).

CLASSES DE VULNERABILIDADE						
VARIÁVEIS	Muito Baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito Alto	Fonte
Velocidade máxima de corrente (m/s)	<0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-0,8	>0,8	B
Amplitude média de maré (m)	<1	1-2	2-4	4-6	>6	A
Altura máxima de onda (m)	0-0,56	0,55 – 0,85	0,85 – 1,05	1,05 – 1,25	>1,25	C

Fonte: Adaptado de Silva Junior (2019).

Na elaboração da cartografia resultante foram utilizadas técnicas de geoprocessamento do programa ArcGis 10.5, através da reclassificação dos arquivos raster's das componentes a serem estudadas com auxílio do *ArcToolbox*, ferramenta *Spatial analyst tools – Reclass – Reclassify* foram agregadas as principais classes.

De posse do novo arquivo raster classificado de acordo com a demanda, foi inserida na tabela de atributos do raster os índices de vulnerabilidade de acordo com a classe. Finalizada esta etapa foi necessário transformar esse arquivo *raster* em um arquivo shapefile de ponto novamente fazendo uso do *ArcToolbox*, com o auxílio da ferramenta *Conversion Tools – From Raster- Raster to Point*, somente com a nova informação adicionada, sendo esta a da vulnerabilidade.

De posse do arquivo shape de ponto da vulnerabilidade, foi necessária uma nova conversão do shape de ponto em *raster*, para realizar a matemática dos *raster's*.

Depois de realizada a matemática dos raster's para as componentes utilizadas, foi necessário utilizar o *ArcToolbox*, com a ferramenta *Spatial analyst tools – Map Algebra – Raster Calculation*, e realizar os cálculos das Equação 1, 2 e 3 adaptadas da proposta de Crepani *et al.* (2001). O produto final foi um arquivo *raster* com todos os índices de vulnerabilidade de erosão em um único arquivo.

Dessa maneira foram definidas as classes de maior e menor vulnerabilidade, conforme

as componentes selecionadas e utilizando a classificação correspondente descrita na tabela 2, cinco grandes categorias hierárquicas foram adotadas para a produção da cartografia final: muito baixa, baixa, moderada, alta e muito alta.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA LINHA DE COSTA

Os resultados obtidos de variações negativas e positivas da linha de costa correspondem, respectivamente, ao deslocamento por recuo ou erosão costeira e por avanço costeiro ou progradação (deposição sedimentar). Para o período analisado, a média linear geral entre recuos e avanços para todos os seguimentos analisados foi de -81,3 m a uma taxa média geral de -9,67 m/ano (Tabela 8), sendo o recuo médio linear de -160,77 m, enquanto o avanço médio linear foi de 79,47 m, indicando uma clara tendência de erosão da costa da Ilha de Mosqueiro. Essa afirmativa está claramente demonstrada através dos gráficos estatísticos gerados a partir da avaliação de cada segmento praial.

Tabela 8. Evolução da Linha de Costa expressa em Taxas anuais, Taxas de Variação de Recuo/Avanço linear e Amplitude máxima ao longo dos transectos (μ -valores médios; Min – valores mínimos; Max – valores máximos; valores positivos indicam progradação (avanço) e negativos indicam erosão (recuo).

Segmento Praial	Número de Transectors	Taxa de Variação (m/ano)			Variação Média Recuo e Avanço da Linha de Costa NSM (m)	Máxima Amplitude SCE (m)
		μ	Min	Max		
Baia do Sol	168	1,74	-6,21	10,29	29,70	50,80
Marahú	92	0,40	-9,42	11,74	7,58	282,05
Paraiso	82	1,44	-7,89	19,48	18,97	331,19
Carananduba	40	0,30	-9,67	5,51	5,24	220,00
São Francisco	57	-1,00	-12,25	16,35	-17,00	278,00
Ariramba	30	-2,48	-9,02	1,48	-43,62	180,00
Murubira	30	-1,54	-3,67	1,23	-26,27	62,40
Porto Arthur	26	-2,08	-9,35	1,33	-35,40	198,00
Farol / Chapéu Virado	32	1,06	-3,34	6,31	17,98	107,00
Bispo/Praia Grande	76	-3,31	-19,88	0,73	-56,08	338,00
Bitar	30	-1,28	-2,68	4,97	-21,80	84,54
Total/Média Geral	663	-9,67	-93,38	79,42	-81,30 m	2.137,98

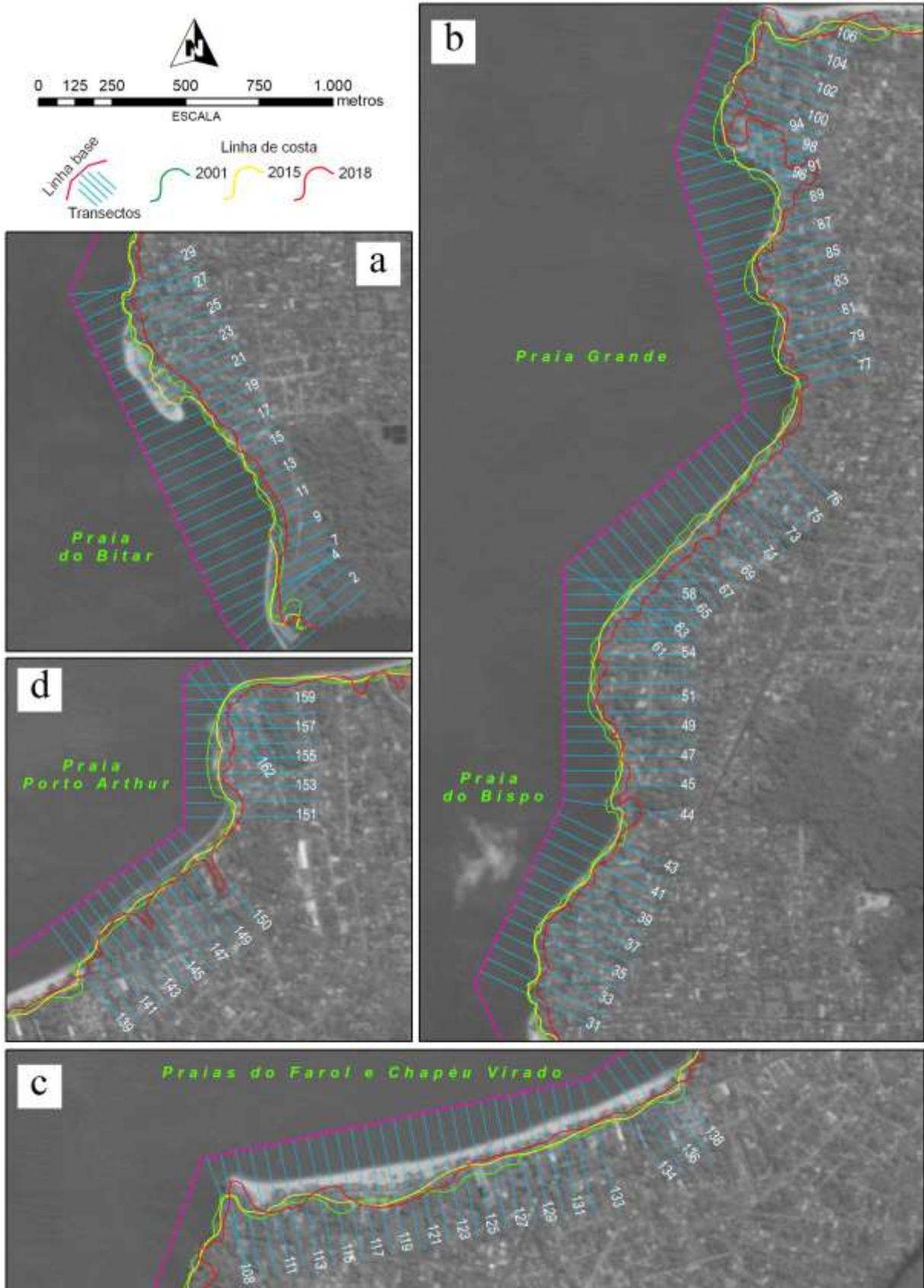
Fonte: Braga (2019)

5.1.1 Perfil 1

O perfil 1 corresponde aos segmentos praias Bitar, Bispo e Praia Grande, Farol e Chapéu Virado, Porto Arthur, Murubira, Ariramba, São Francisco (Figura 8). Possuindo 14,05 km de extensão, este perfil apresentou no período analisado (2001 a 2018) setores com tendência tanto de erosão quanto de progradação como pode ser visto nas figuras 9 e 10 que contêm as imagens dos segmentos praias e a figura 11 que contêm as imagens das métricas

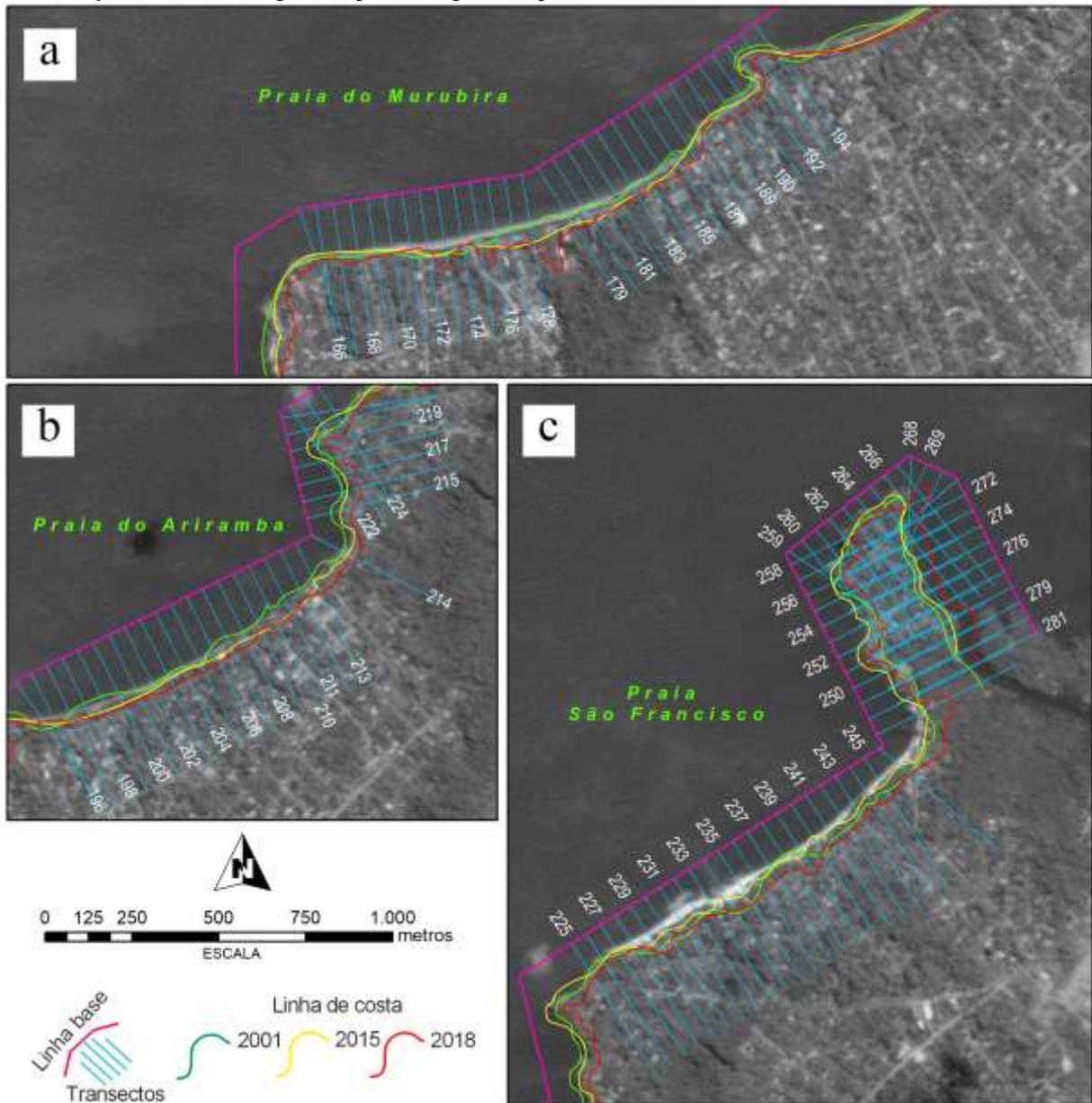
calculadas para este perfil. De maneira geral a taxa média de variação da linha de costa para este perfil no período analisado foi de -1,52 m/ano e a variação média linear foi de -20,4 m.

Figura 9 – Variações temporais nas posições das Linhas de Costa entre os anos de 2001 a 2018 com identificação dos transectos gerados para os segmentos praias do Perfil 1.



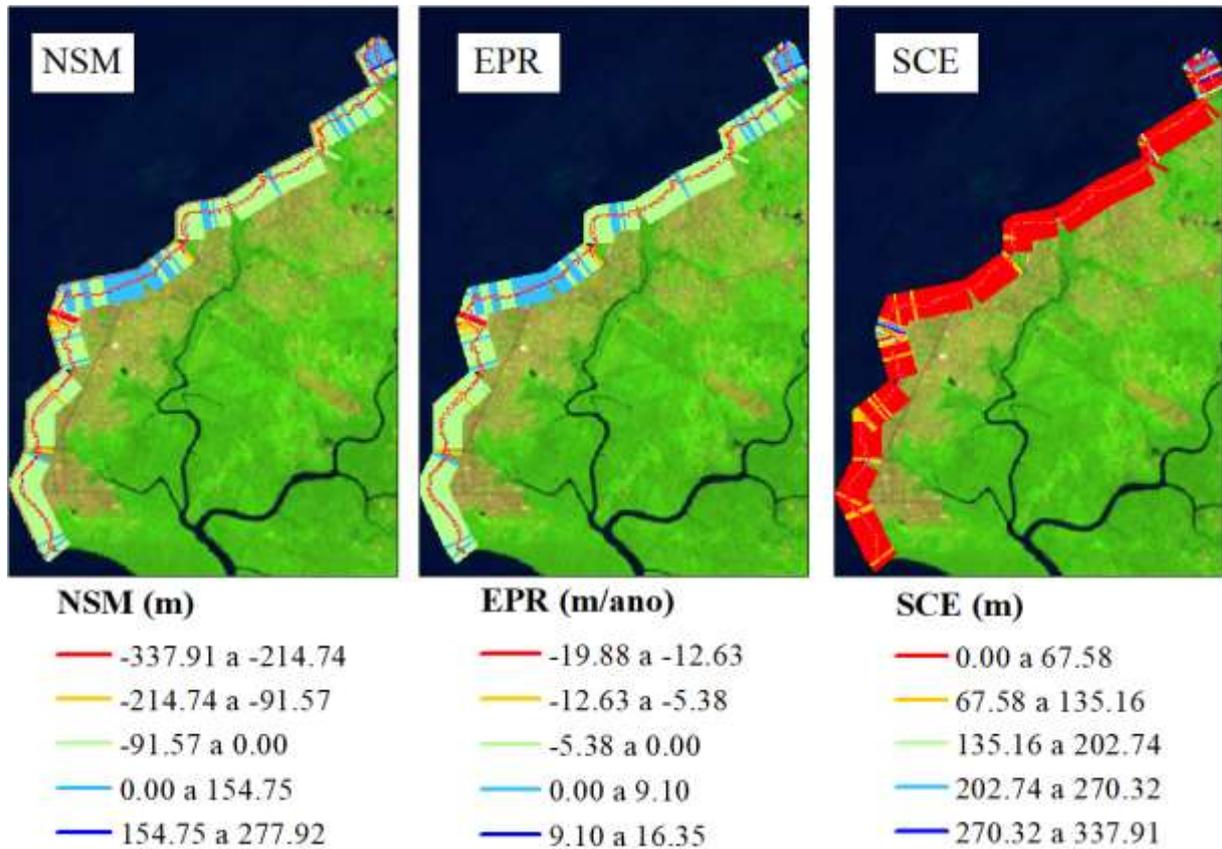
Fonte: Braga (2019)

Figura 10 – Variações temporais nas posições das Linhas de Costa entre os anos de 2001 a 2018 com identificação dos transectos gerados para os segmentos praias do Perfil 1.



Fonte: Braga (2019)

Figura 11 – Análise multitemporal da Linha de Costa do Perfil 1.



Fonte: Braga (2019)

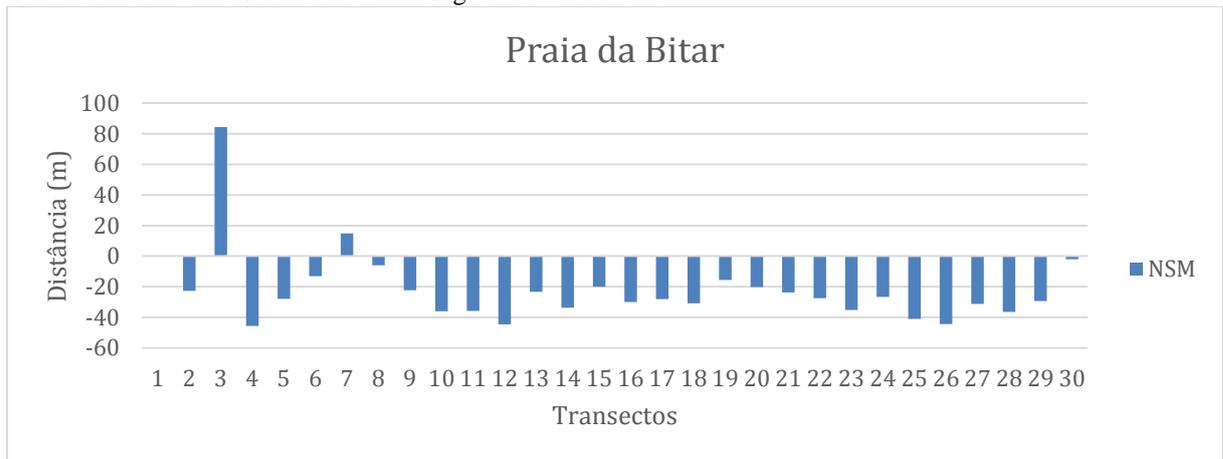
5.1.1.1 Segmento Praial Bitar

A parte referente ao segmento Bitar situado entre os transectos 1 a 30 (Figura 9 (a)) possui 1,5 km de extensão e ao analisar os gráficos 1 e 2 das métricas calculadas para este segmento, constata-se a tendência majoritária de erosão em todo o segmento praial, exceto nos transectos 3 e 7 onde ocorreu progradação da linha de costa. A taxa média de variação de linha de costa foi de -1,28 m/ano com mínima de -2,68 m/ano no transector 4 e máxima de 4,97 m no transector 3. O recuo médio linear deste segmento foi de -21,80 m chegando a -45,6 m no transector 4. No transector 3 o avanço linear ocorrido no período analisado foi de 84,54 m e no transector 7 o avanço linear foi de 14,86 m.

Este comportamento na dinâmica costeira pode está sendo influenciado pelo Terminal Fluvial de Mosqueiro (Trapiche) construído perpendicularmente ao segmento praial (APÊNDICE A – Imagem Z), próximo aos transectos 27 e 28, pois é relatado em bibliografias sobre dinâmica costeira que alterações desse tipo pode desencadear processos erosivos tanto a montante quanto a jusante no entorno da área.

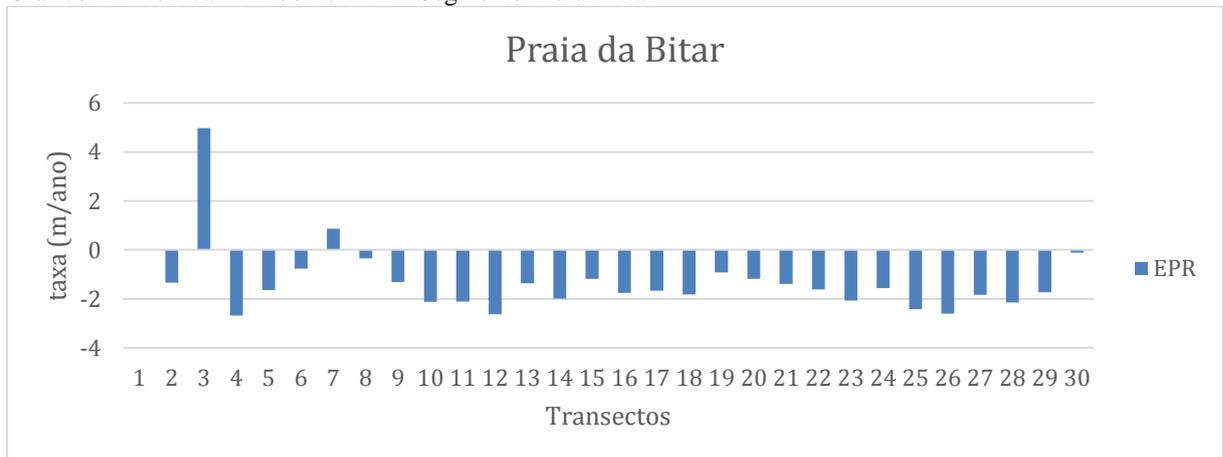
Ao se analisar as figuras 9 (a), 11 e o gráfico 3 referente a métrica SCE, a qual representa a variação total, em metros, da linha de costa no segmento praial analisado (Bitar) ao longo do período analisado pode-se constatar que a variação de amplitude neste segmento ficou majoritariamente concentrada no intervalo compreendido entre 0,00 a 67,58 metros (vermelho). Porém, vale ressaltar que a máxima amplitude de variação da linha de costa neste segmento alcançou o valor de 106 m no transector 21.

Gráfico 1 - Métrica NSM do Perfil 1 – Segmento Praial Bitar.



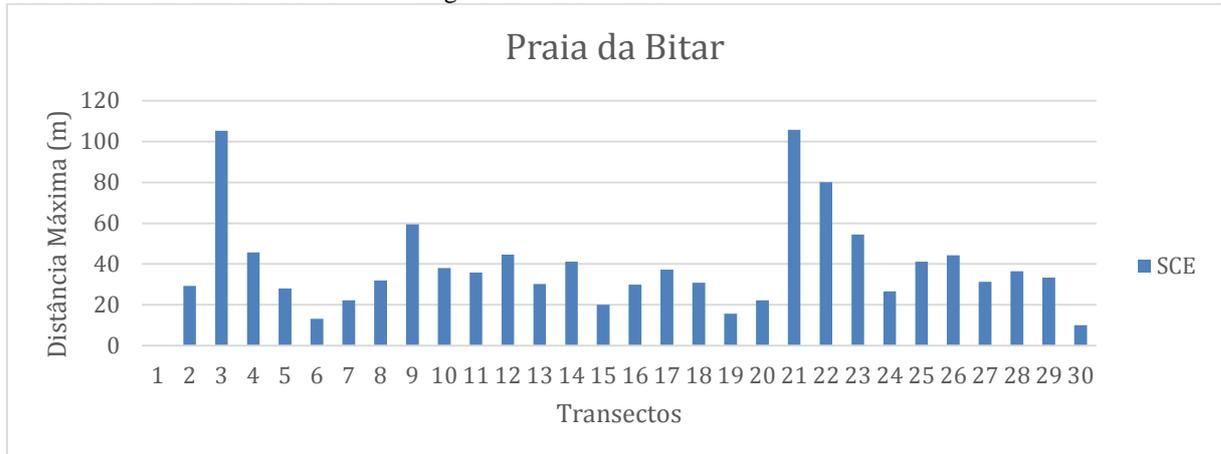
Fonte: Braga (2019)

Gráfico 2 - Métrica EPR do Perfil 1 – Segmento Praial Bitar.



Fonte: Braga (2019)

Gráfico 3 - Métrica SCE do Perfil 1 – Segmento Praial Bitar.



Fonte: Braga (2019)

5.1.1.2 Segmento Praial Bispo e Praia Grande

A parte referente ao segmento Bispo e Praia Grande situado entre os transectos 31 a 106 (Figura 9 (b)) possui 3,8 km de extensão e ao analisar os gráficos 4 e 5 das métricas calculadas para este segmento, constata-se a tendência majoritária de erosão em todo segmento praiial, exceto nos transectos 43, 78 e 87 onde ocorreu progradação da linha de costa. A taxa média de variação de linha de costa foi de -3,31 m/ano com mínima de -19,88 m/ano no transector 97 e máxima de 0,73 m/ano no transector 43. O recuo médio linear deste segmento foi de -56,08 m chegando a -338 m no transector 97.

O setor do segmento praiial onde ocorreu os maiores recuos da linha de costa foi entre os transectos 88 a 100 onde localiza-se uma reentrância que vem evoluindo ao longo do período analisado. Comportamento similar também vem ocorrendo no transecto 44 e no seu entorno.

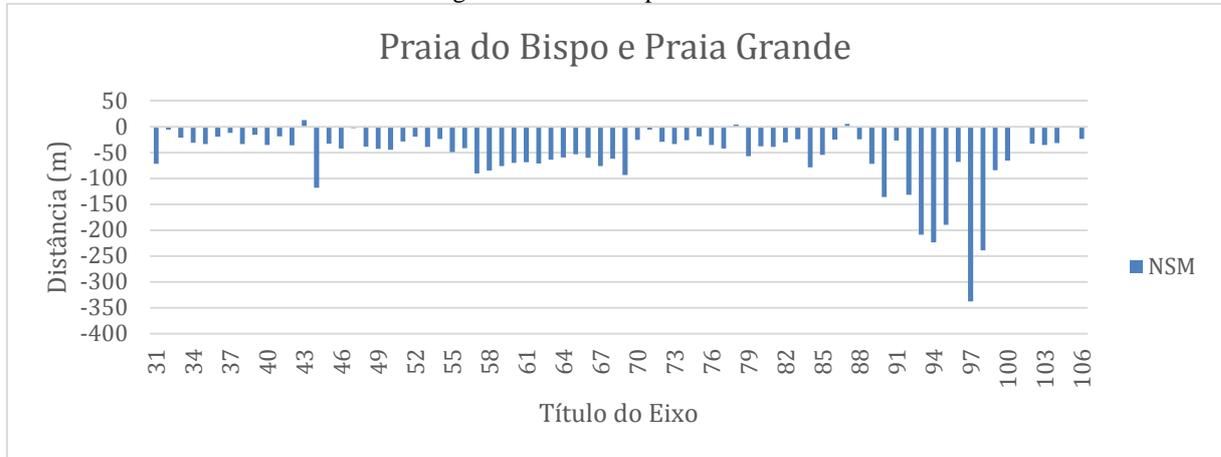
Ao longo do segmento praiial referente a Praia Grande foram construídos recentemente muros de arrimos com o objetivo de conter o avanço da erosão. No segmento referente a Praia do Bispo já existe muros de arrimos (APÊNDICE A – Imagens S, T, U, V e X).

No transector 43 o avanço linear ocorrido no período analisado foi de 12,41 m, no transector 78 o avanço linear foi de 3,91 m e no transector 87 o avanço linear foi de 5,44 m.

Ao se analisar as figuras 9 (b), 11 e o gráfico 6 referente a métrica SCE, a qual representa a variação total, em metros, da linha de costa no segmento praiial analisado (Bispo e Praia Grande) ao longo do período analisado pode-se constatar que a variação de amplitude neste segmento ficou majoritariamente concentrada no intervalo compreendido entre 0,00 a 67,58 metros (vermelho) seguido do intervalo compreendido entre 67,58 a 135,16 metros

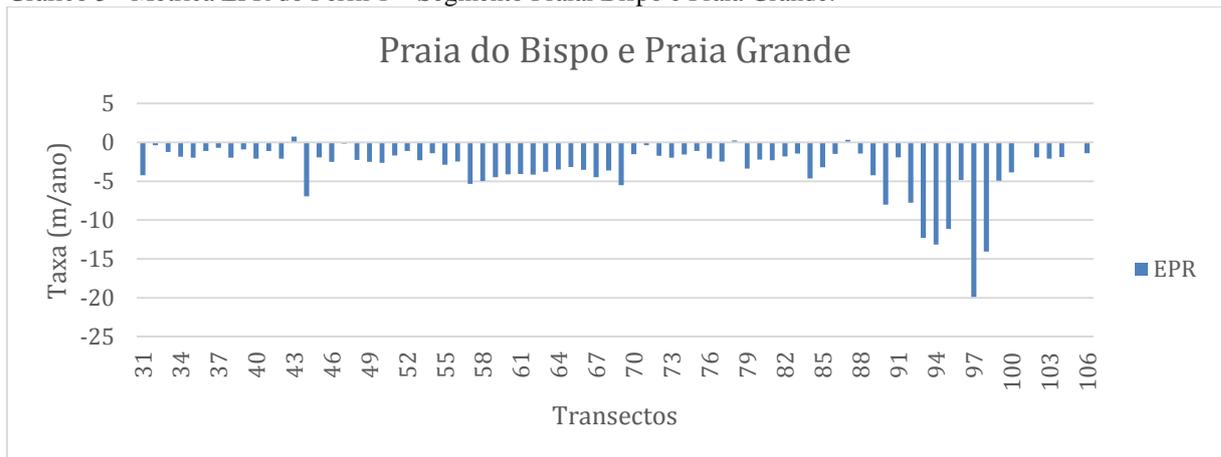
(amarelo). Porém, vale ressaltar que a máxima amplitude de variação da linha de costa neste segmento alcançou o valor de 337,91 m no transector 97.

Gráfico 4 - Métrica NSM do Perfil 1 – Segmento Praial Bispo e Praia Grande.



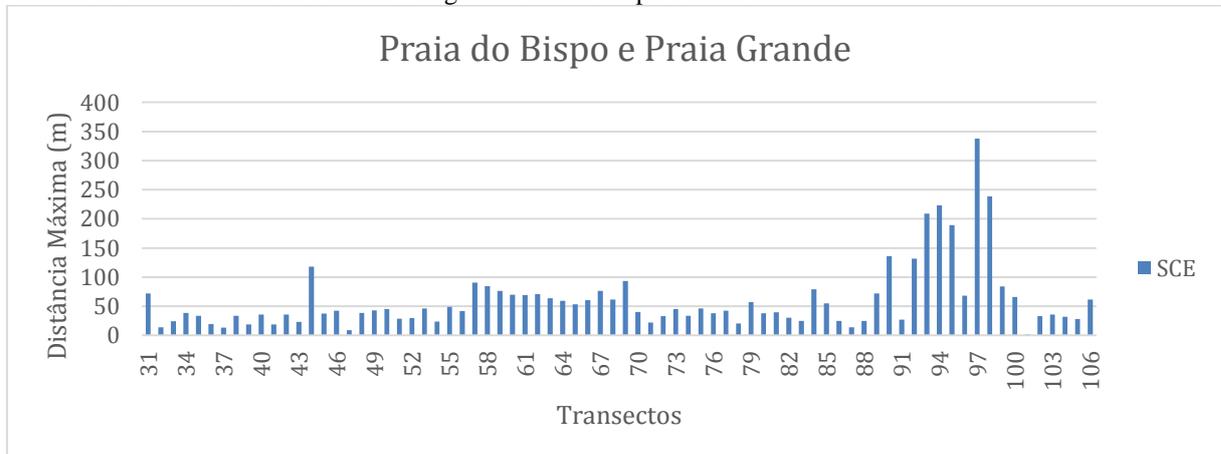
Fonte: Braga (2019)

Gráfico 5 - Métrica EPR do Perfil 1 – Segmento Praial Bispo e Praia Grande.



Fonte: Braga (2019)

Gráfico 6 - Métrica SCE do Perfil 1 – Segmento Praial Bispo e Praia Grande.



Fonte: Braga (2019)

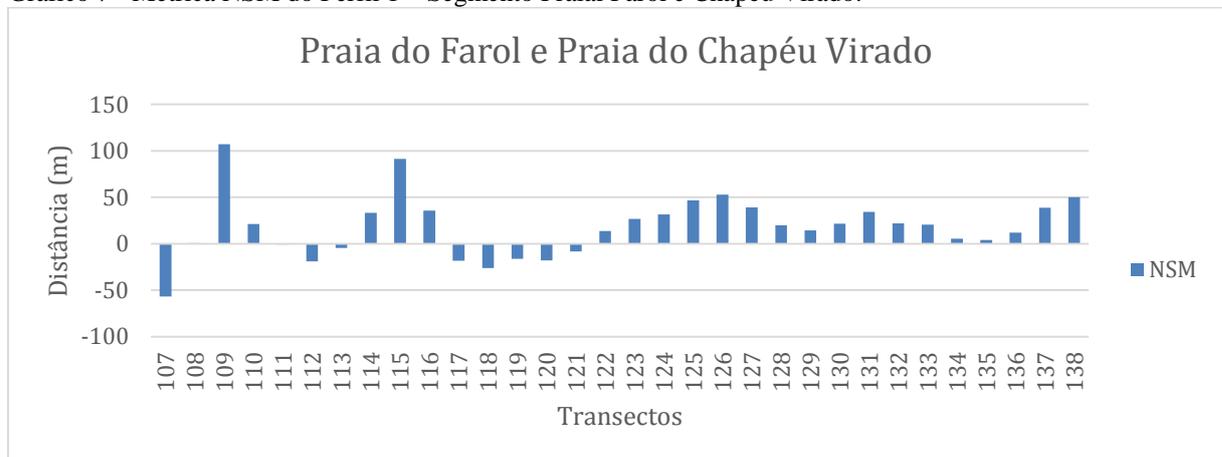
5.1.1.3 Segmento Praia Farol e Chapéu Virado

A parte referente ao segmento Farol e Chapéu Virado situado entre os transectos 107 a 138 (Figura 9 (c)) possui 1,6 km de extensão e ao analisar os gráficos 7 e 8 das métricas calculadas para este segmento, constata-se setores com tendências tanto de erosão quanto de progradação. De maneira geral a taxa média de variação da linha de costa para este segmento no período analisado foi de 1,06 m/ano com máxima de 6,31 m/ano no transector 109 e mínima de -3,31 m/ano no transector 107. O avanço médio linear deste segmento foi de 17,98 m chegando a 107,3 m no transector 109 e o maior recuo apresentado neste segmento praiial ocorreu no transector 107, o qual alcançou o valor de -56,7 m. A parte central deste segmento praiial apresentou tanto setores em erosão como em progradação.

Uma das possibilidades para estes resultados neste segmento poder ser justificado em decorrência das células das derivas litorâneas proposta por El-Robrini *et al.* (2006), como também em decorrência deste segmento apresentar áreas ocupadas atrás da linha de vegetação nativa.

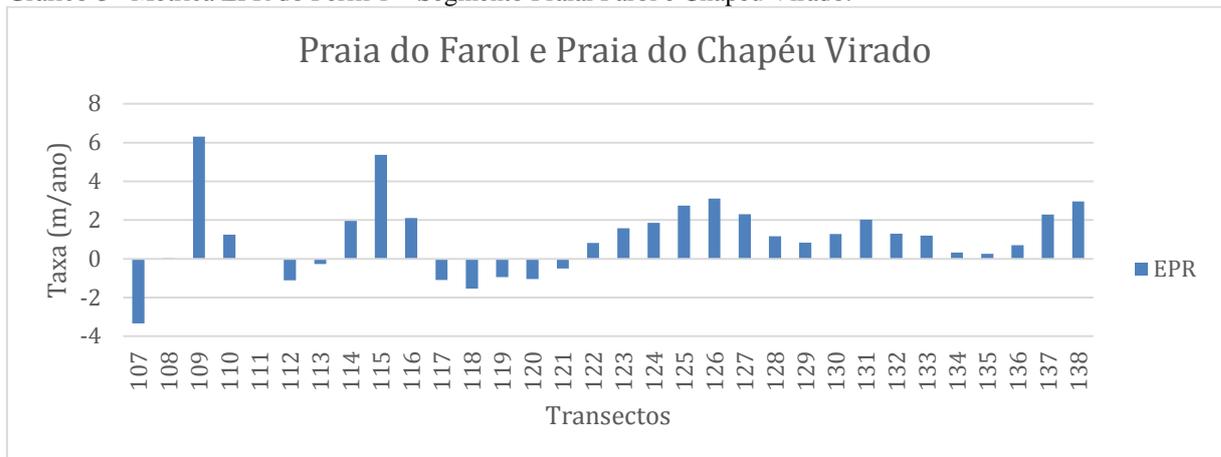
Ao se analisar as figuras 9 (c), 11 e o gráfico 9 referente a métrica SCE, a qual representa a variação total, em metros, da linha de costa no segmento praiial analisado (Praia do Farol e Praia do Chapéu Virado) ao longo do período analisado pode-se constatar que a variação de amplitude neste segmento ficou majoritariamente concentrada no intervalo compreendido entre 0,00 a 67,58 metros (vermelho). Porém, vale ressaltar que a máxima amplitude de variação da linha de costa neste segmento alcançou o valor de 107,3 m no transector 109.

Gráfico 7 - Métrica NSM do Perfil 1 – Segmento Praia Farol e Chapéu Virado.



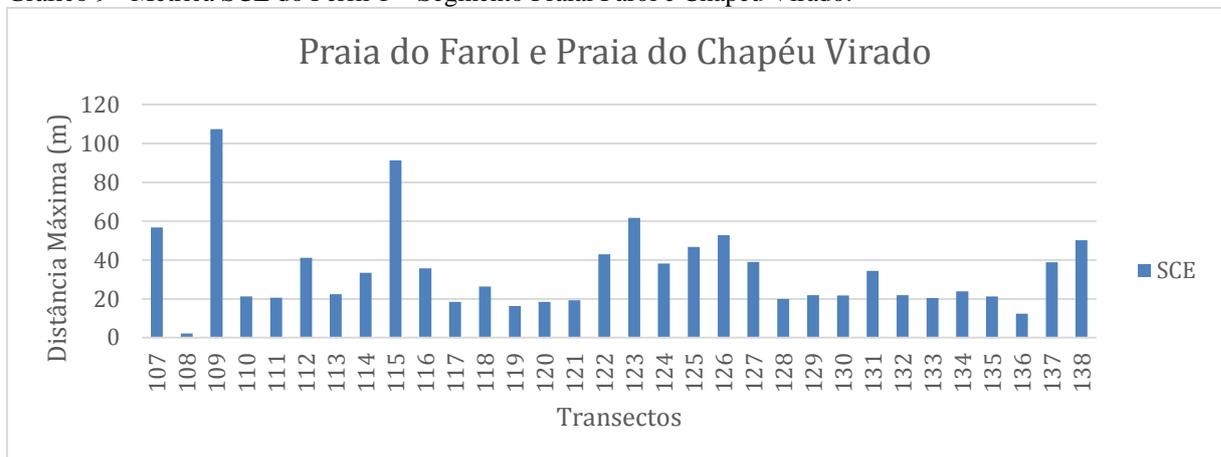
Fonte: Braga (2019)

Gráfico 8 - Métrica EPR do Perfil 1 – Segmento Praia Farol e Chapéu Virado.



Fonte: Braga (2019)

Gráfico 9 - Métrica SCE do Perfil 1 – Segmento Praia Farol e Chapéu Virado.



Fonte: Braga (2019)

5.1.1.4 Segmento Praia Porto Arthur

A parte referente ao segmento Porto Arthur situado entre os transectos 139 a 164 (Figura 9 (d)) possui 1,3 km de extensão e analisar os gráficos 10 e 11 das métricas calculadas para este segmento, constata-se a tendência majoritária de erosão na maior parte do segmento praiar, exceto nos transectos 141, 142, 143 e 146 onde ocorreu progradação da linha de costa. A taxa média de variação de linha de costa foi de -2,08 m/ano com mínima de -9,35 m/ano no transector 160 e máxima de 1,33 m/ano no transector 143. O recuo médio linear deste segmento foi de -35,40 m chegando a -159 m no transector 160.

Estes resultados estão em consonância com a proposta de El-Robrini *et al.* (2006) referentes as células de deriva litorânea com base em obserções visuais e nas forçantes oceanográficas que bordejam este segmento praiar da costa de Mosqueiro.

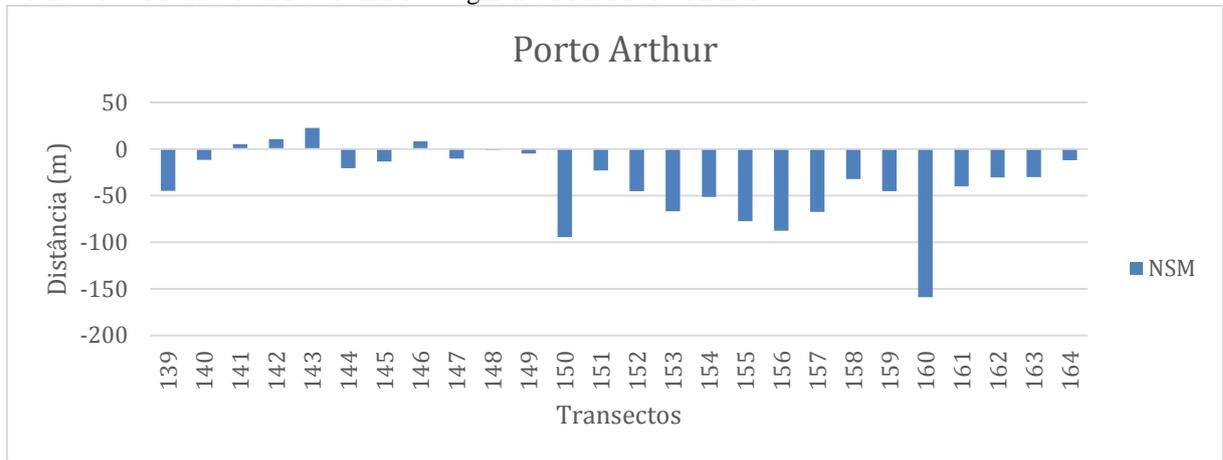
O trecho do segmento praiar onde ocorreu os maiores recuos da linha de costa foi entre

os transectos 150 a 160.

No transector 141 o avanço linear ocorrido no período analisado foi de 5,13 m, no transector 142 o avanço linear foi de 10,78 m, no transector 143 o avanço linear foi de 22,6 m e no transector 146 o avanço linear foi de 8,48 m.

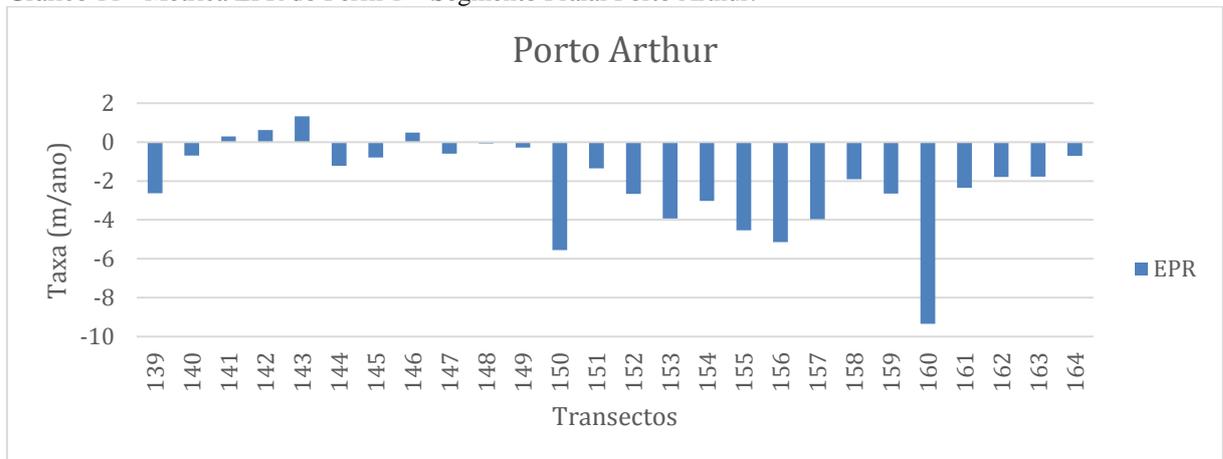
Ao se analisar as figuras 9 (d), 11 e o gráfico 12 referente a métrica SCE, a qual representa a variação total, em metros, da linha de costa no segmento praial analisado (Porto Arthur) ao longo do período analisado pode-se constatar que a variação de amplitude neste segmento ficou majoritariamente concentrada no intervalo compreendido entre 0,00 a 67,58 metros (vermelho). Porém, vale ressaltar que a máxima amplitude de variação da linha de costa neste segmento alcançou o valor de 198 m no transector 160.

Gráfico 10 - Métrica NSM do Perfil 1 – Segmento Praial Porto Arthur.



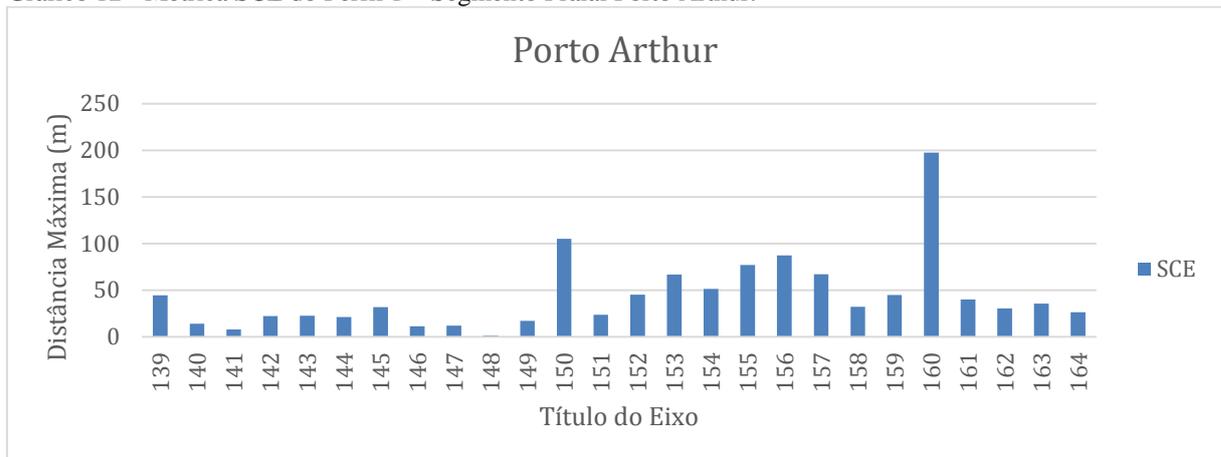
Fonte: Braga (2019)

Gráfico 11 - Métrica EPR do Perfil 1 – Segmento Praial Porto Arthur.



Fonte: Braga (2019)

Gráfico 12 - Métrica SCE do Perfil 1 – Segmento Praial Porto Arthur.



Fonte: Braga (2019)

5.1.1.5 Segmento Praial Murubira

A parte referente ao segmento praial Murubira, situado entre os transectos 165 a 194 (Figura 10 (a)) possui 1,5 km de extensão e ao analisar os gráficos 13 e 14 das métricas calculadas para este segmento, constata-se a tendência majoritária de erosão na maior parte do segmento praial, exceto nos transectos 171, 172, 174 onde ocorreu progradação da linha de costa, além do transecto 170 onde ocorreu estabilidade. A taxa média de variação de linha de costa foi de -1,545 m/ano com mínima de -3,67 m/ano no transecto 186 e máxima de 1,23 m/ano no transecto 174. O recuo médio linear deste segmento foi de -26,27 m chegando a -62,4 m no transecto 186.

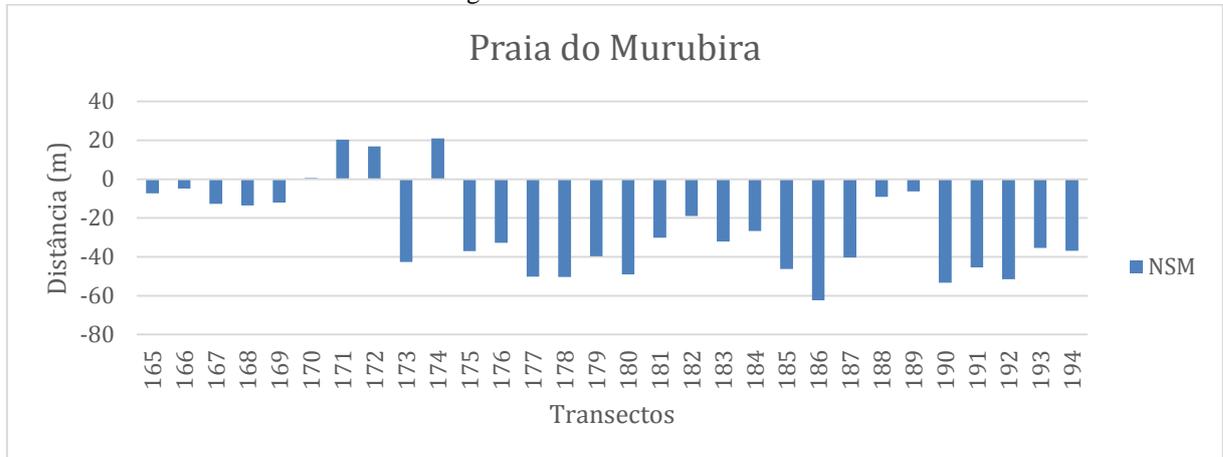
Estes resultados estão em consonância com a proposta de El-Robrini *et al.* (2006) referentes as células de deriva litorânea com base em obserções visuais e nas forçantes oceanográficas que bordejam este segmento praial da costa de Mosqueiro.

Os trechos do segmento praial onde ocorreram os maiores recuos da linha de costa ficaram entre os transectos 177 a 187 na região central do segmento e entre os transectos 190 e 194, na porção nordeste deste segmento (APÊNDICE A – Imagens M, N, O, P, Q e R). No transecto 171 o avanço linear ocorrido no período analisado foi de 20,3 m, no transecto 172 o avanço linear foi de 16,86 m e no transecto 174 o avanço linear foi de 20,97 m.

Ao se analisar as figuras 10 (a), 11 e o gráfico 15 referente a métrica SCE, a qual representa a variação total, em metros, da linha de costa no segmento praial analisado (Murubira) ao longo do período analisado pode-se constatar que a variação de amplitude neste segmento ficou majoritariamente concentrada no intervalo compreendido entre 0,00 a 67,58 metros (vermelho). Porém, vale ressaltar que a máxima amplitude de variação da linha de

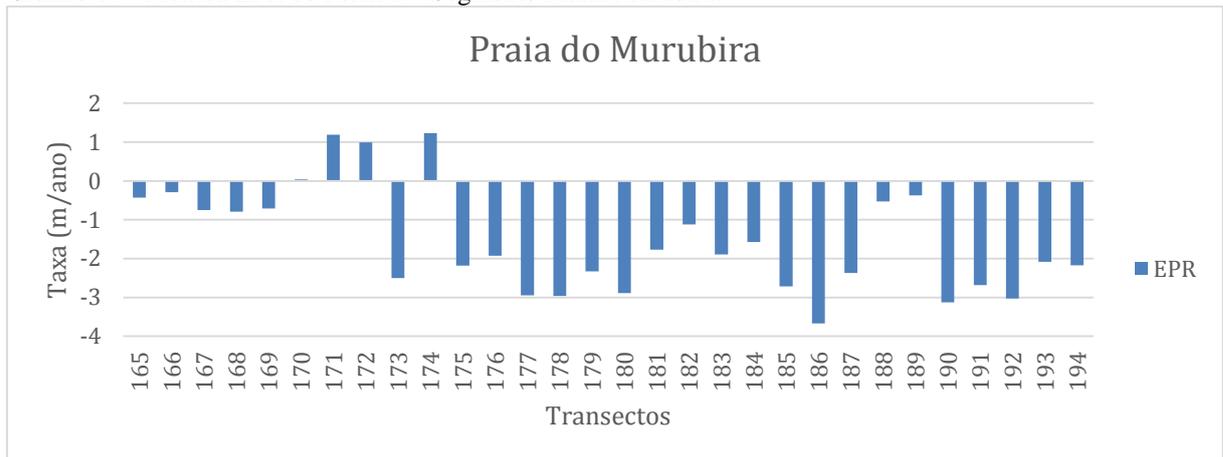
costa neste segmento alcançou o valor de 62,4 m no transecto 186.

Gráfico 13 - Métrica NSM do Perfil 1 – Segmento Praial Murubira



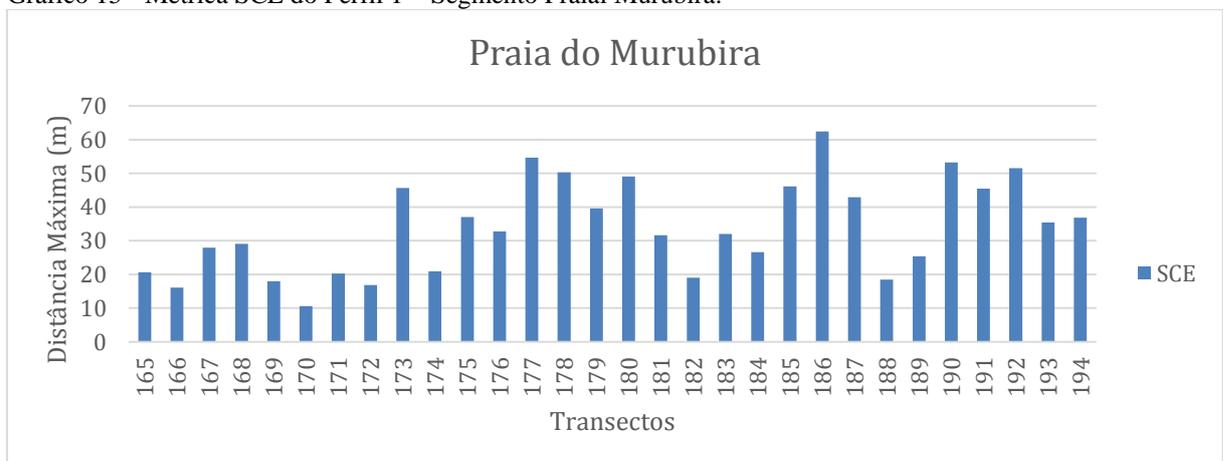
Fonte: Braga (2019)

Gráfico 14 - Métrica EPR do Perfil 1 – Segmento Praial Murubira.



Fonte: Braga (2019)

Gráfico 15 - Métrica SCE do Perfil 1 – Segmento Praial Murubira.



Fonte: Braga (2019)

5.1.1.6 Segmento Praial Ariramba

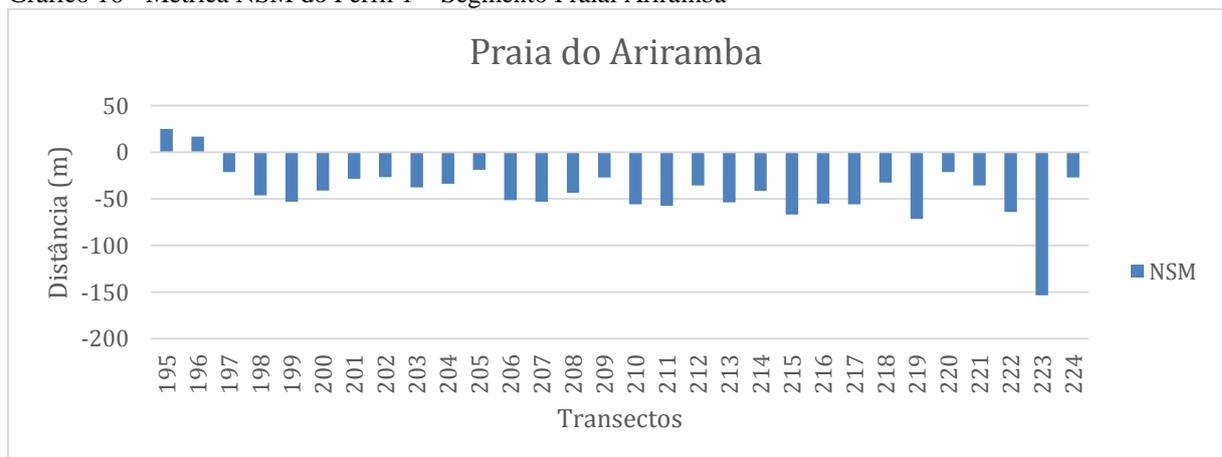
A parte referente ao segmento Ariramba, situado entre os transectos 195 a 224 (Figura 10 (b)) possui 1,5 km de extensão e ao analisar os gráficos 16 e 17 das métricas calculadas para este segmento, constata-se a tendência majoritária de erosão na maior parte do segmento praial, exceto nos transectos 195 e 196 onde ocorreu progradação da linha de costa. A taxa média de variação de linha de costa foi de -2,48 m/ano com mínima de -9,02 m/ano no transector 223 e máxima de 1,48 m/ano no transector 195. O recuo médio linear deste segmento foi de -43,62 m chegando a -153 m no transector 223.

Estes resultados estão em consonância com a proposta de El-Robrini *et al.* (2006) referentes as células de deriva litorânea com base em obserções visuais e nas forçantes oceanográficas que bordejam este segmento praial da costa de Mosqueiro.

No transector 195 o avanço linear ocorrido no período analisado foi de 25,12 m e no transector 196 o avanço linear foi de 16,91 m.

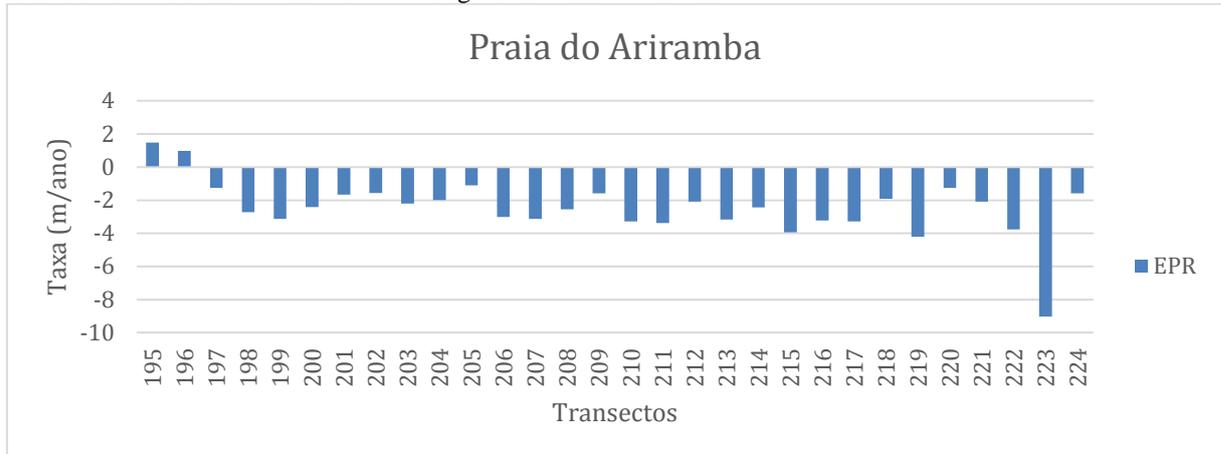
Ao se analisar as figuras 10 (b), 11 e o gráfico 18 referente a métrica SCE, a qual representa a variação total, em metros, da linha de costa no segmento praial analisado (Ariramba) ao longo do período analisado pode-se constatar que a variação de amplitude neste segmento ficou majoritariamente concentrada no intervalo compreendido entre 0,00 a 67,58 metros (vermelho). Porém, vale ressaltar que a máxima amplitude de variação da linha de costa neste segmento alcançou o valor de 180 m no transector 223.

Gráfico 16 - Métrica NSM do Perfil 1 – Segmento Praial Ariramba



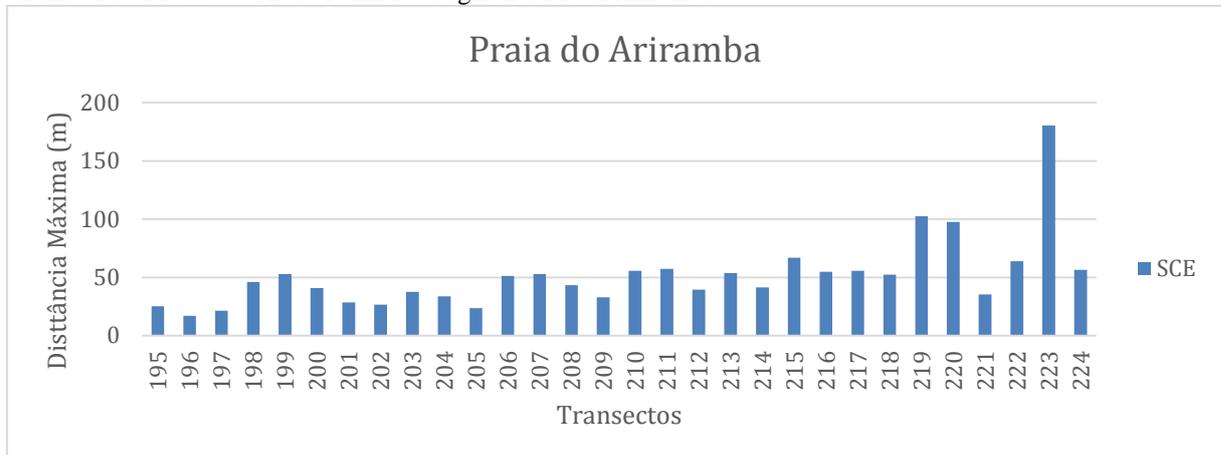
Fonte: Braga (2019)

Gráfico 17 - Métrica EPR do Perfil 1 – Segmento Praial Ariramba



Fonte: Braga (2019)

Gráfico 18 - Métrica SCE do Perfil 1 – Segmento Praial Ariramba



Fonte: Braga (2019)

5.1.1.7 Segmento Praial São Francisco

A parte referente ao segmento São Francisco situado entre os transectos 225 a 281 (Figura 10 (c)) possui 2,85 km de extensão e ao analisar os gráficos 19 e 20 das métricas calculadas para este segmento, constatou-se setores com tendências tanto de erosão quanto de progradação principalmente no entorno do promontório localizado na porção nordeste deste segmento. A taxa média de variação da linha de costa para este segmento no período analisado foi de -1 m/ano com mínima de -12,25 m/ano no transecto 271 e máxima de 16,35 m/ano no transecto 278.

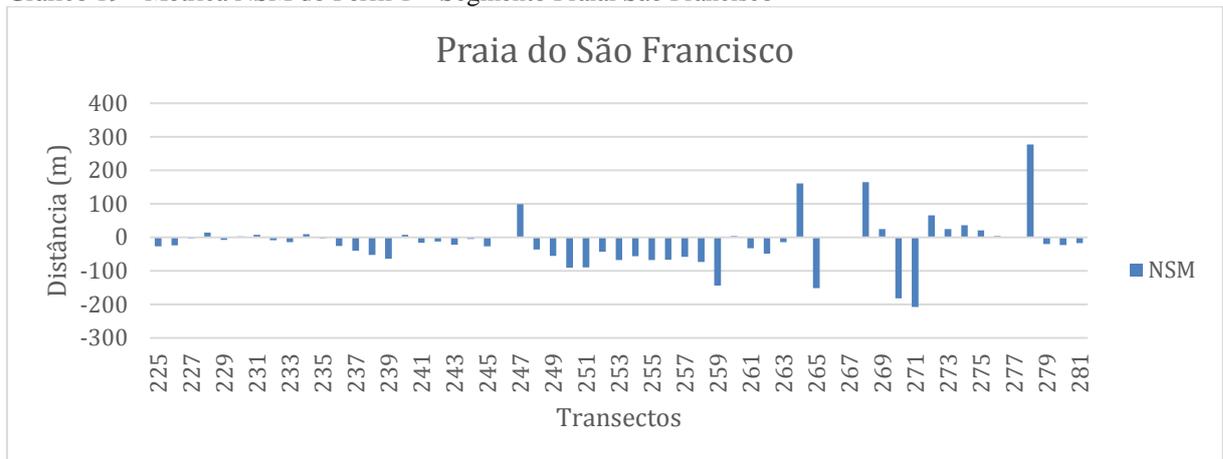
Este comportamento de alternância entre setores erosivos e progradação no entorno do promontório pode ter suas causas no fato de que uma das faces deste está mais exposta às forças oceanográficas enquanto a outra face está mais abrigada aos efeitos dessas mesmas forças.

O recuo médio linear deste segmento foi de -17 m. Os transectos 270 e 271 foram os que apresentaram os maiores recuos da linha de costa: -182 m e -208, respectivamente. Na região central do segmento entre os transectos 248 a 259 também ocorreu acentuado recuo da linha de costa, além de outros setores.

No transector 278 o avanço linear ocorrido no período analisado foi de 277,9 m, no transector 268 o avanço linear foi de 164,6 m, no transector 264 o avanço linear foi de 161,4 m e no transector 247 o avanço linear foi de 99,58 m.

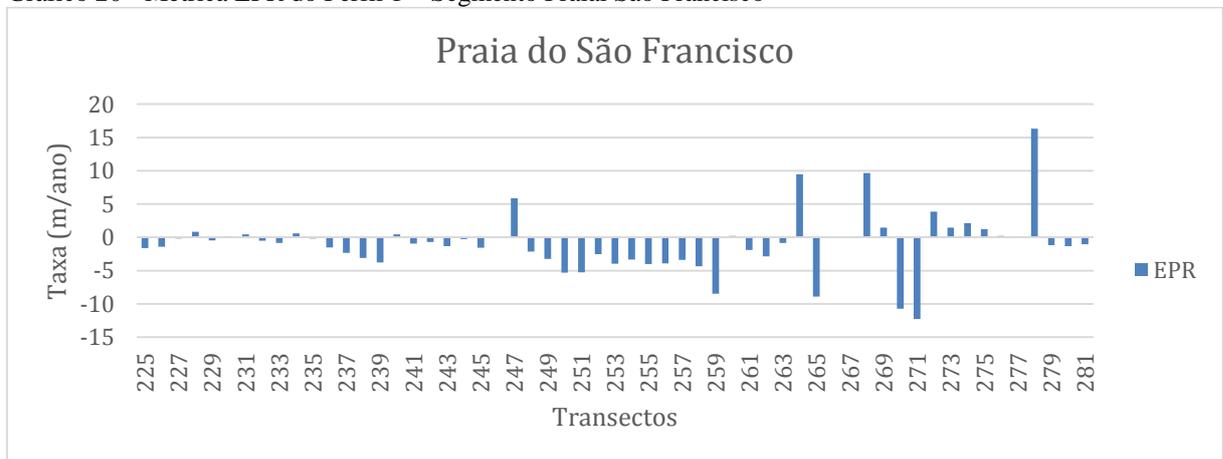
Ao se analisar a figura 10 (c), 11 e o gráfico 21 referente a métrica SCE, a qual representa a variação total, em metros, da linha de costa no segmento ao longo do período analisado pode-se constatar que a variação de amplitude neste segmento ficou majoritariamente no intervalo compreendido entre 0,00 a 67,58 metros (vermelho). Porém, vale ressaltar que a máxima amplitude de variação da linha de costa neste segmento alcançou o valor de 278 m no transector 278 (azul escuro).

Gráfico 19 - Métrica NSM do Perfil 1 – Segmento Praial São Francisco



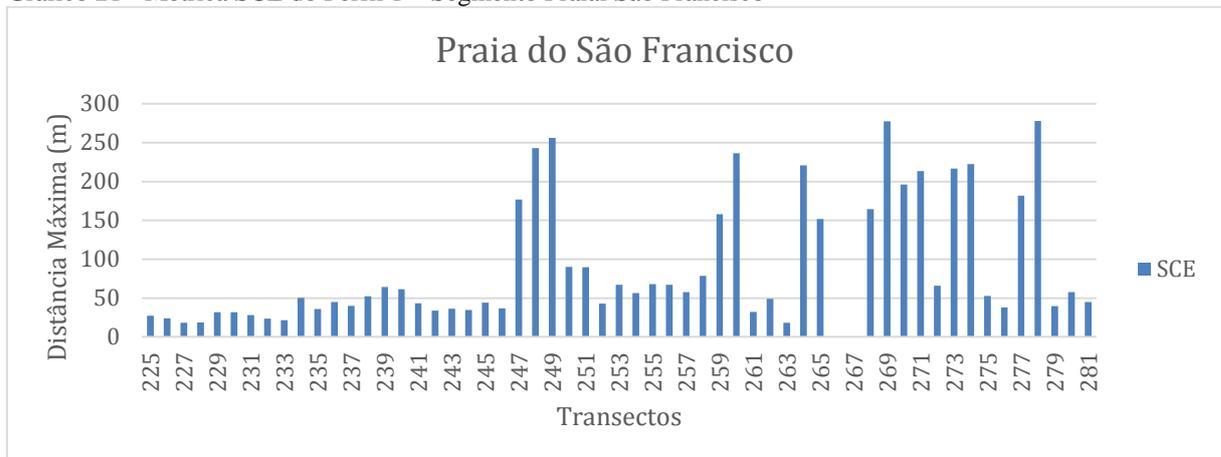
Fonte: Braga (2019)

Gráfico 20 - Métrica EPR do Perfil 1 – Segmento Praial São Francisco



Fonte: Braga (2019)

Gráfico 21 - Métrica SCE do Perfil 1 – Segmento Praial São Francisco



Fonte: Braga (2019)

5.1.2 Perfil 2

5.1.2.1 Segmento Praial Carananduba

O perfil 2 corresponde ao segmento praial Carananduba (Figura 8) situado entre os transectos 1 e 41 possui 2 km de extensão e ao analisar os gráficos 22 e 23 das métricas calculadas para este segmento, constatou-se setores com tendências tanto de erosão quanto de progradação. A taxa média de variação da linha de costa para este segmento no período analisado foi de 0,3 m/ano com mínima de -9,67 m/ano no transector 23 e a máxima de 5,51 m/ano no transector 28. O avanço médio linear deste segmento foi de 5,24 m chegando a 93,74 m no transector 28.

Os setores entre os transectos 3 a 11, 14 a 18, 24 e 25, 28 a 30 e, 32 a 36, apresentam tendência de progradação. Já entre os transectos 1 e 2, 12 e 13, 19 a 23, 26 e 27, e 37 a 39 apresentam tendência de erosão e o maior recuo linear foi de -164,41 m no transector 23.

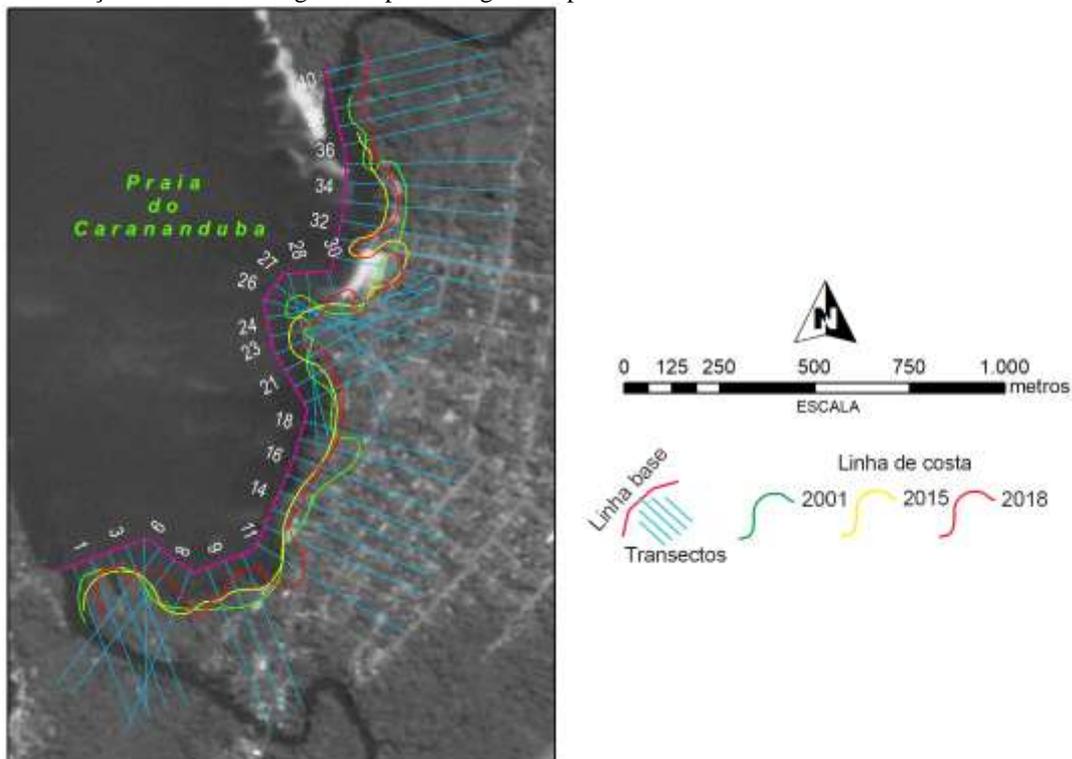
Este comportamento de alternância entre setores erosivos e progradacionais pode ter suas causas no fato deste segmento praial ter uma curta extensão e ser fortemente influenciado pela proximidade das desembocaduras dos canais que o delimitam e suas dinâmicas fluviais (enchentes e vazantes) provocadas pelas marés como também pela deriva litorânea predominante na área.

Ao se analisar as figuras 12, 13 e o gráfico 24 referente a métrica SCE, a qual representa a variação total, em metros, da linha de costa no segmento praial analisado (Carananduba) ao longo do período analisado pode-se constatar que as variações de amplitudes neste segmento ficaram concentradas entre o intervalo de 0,00 a 44,02 metros

(vermelho) e entre o intervalo 44,02 a 88,04 metros (amarelo). Porém, vale ressaltar que a máxima amplitude de variação da linha de costa neste perfil alcançou o valor de 220,12 m no transeccion 23 (azul escuro).

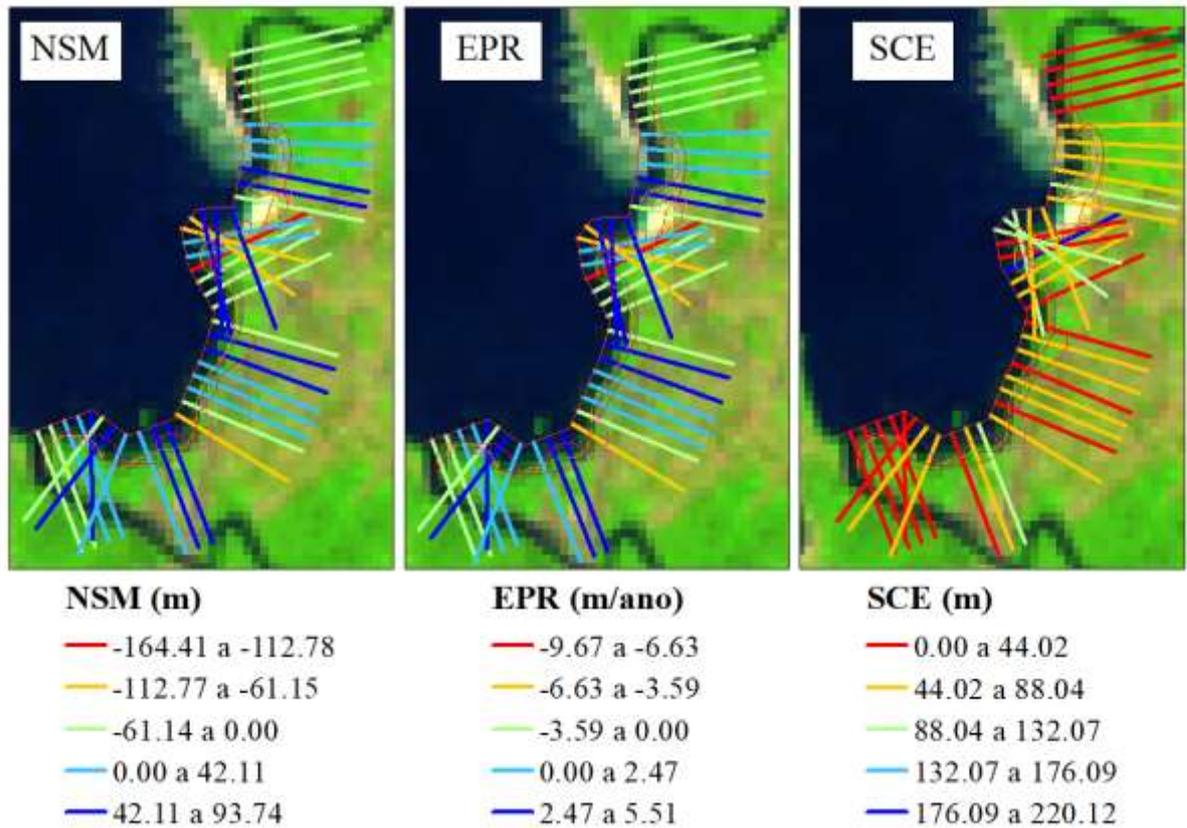
Ao se analisar o gráfico 25 da diferença entre as métricas SCE e NSM observa-se que em um quarto dos setores do perfil essas diferenças apresentam valores iguais a zero. Essa situação pode indicar duas possibilidades: a) NSM de erosão (sinal negativo) indica que a linha de costa de 2001 apresenta a mesma posição da linha de costa de 2015; b) NSM de progradação (valor positivo) indica que a linha de costa de 2015 apresenta a mesma posição da linha de costa de 2018.

Figura 12 – Variações temporais nas posições das Linhas de Costa entre os anos de 2001 a 2018 com identificação dos transectos gerados para o segmento praial do Perfil 2.



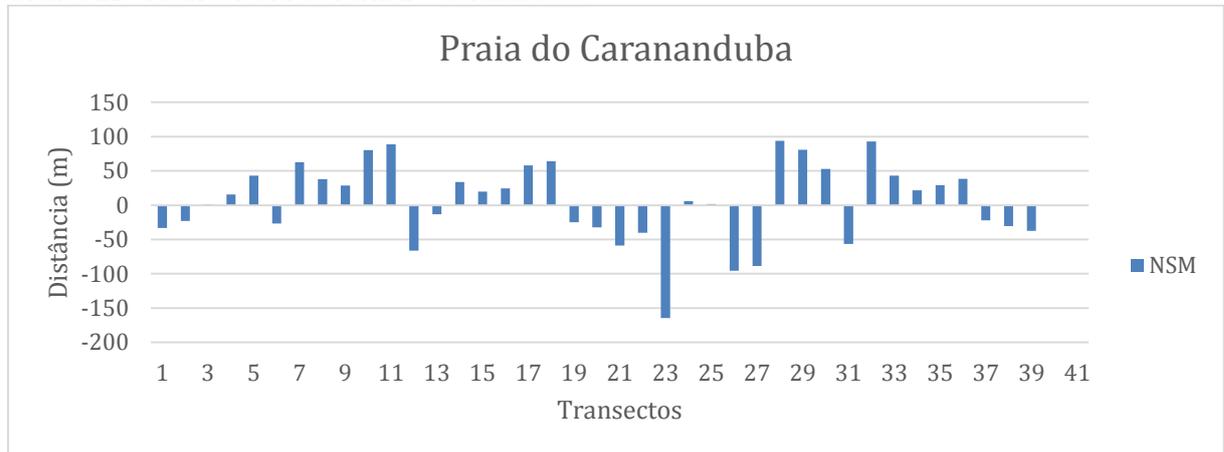
Fonte: Braga (2019).

Figura 13 – Análise multitemporal da Linha de Costa do Segmento Praial Carananduba.



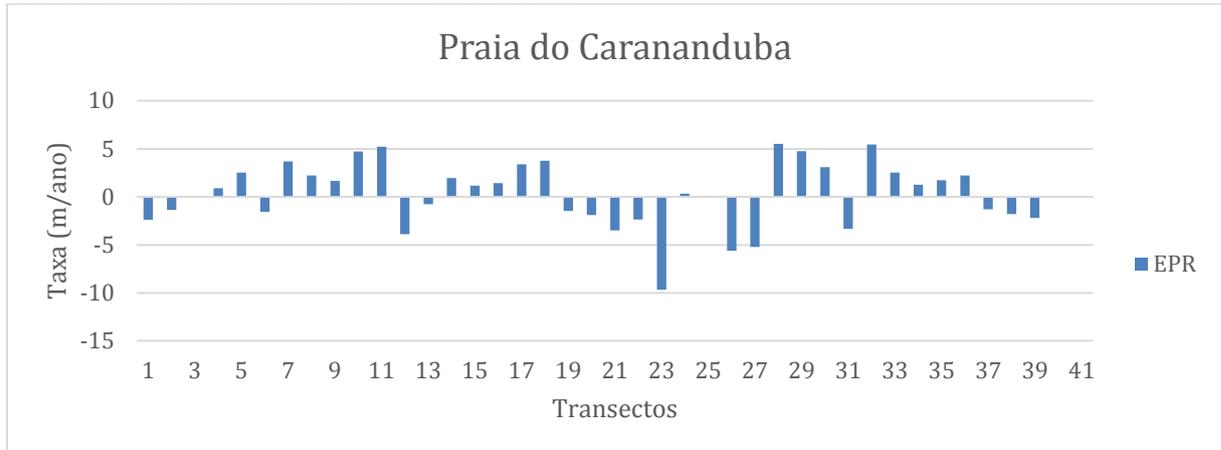
Fonte: Braga (2019).

Gráfico 22 - Métrica NSM do Perfil 2 – Carananduba.



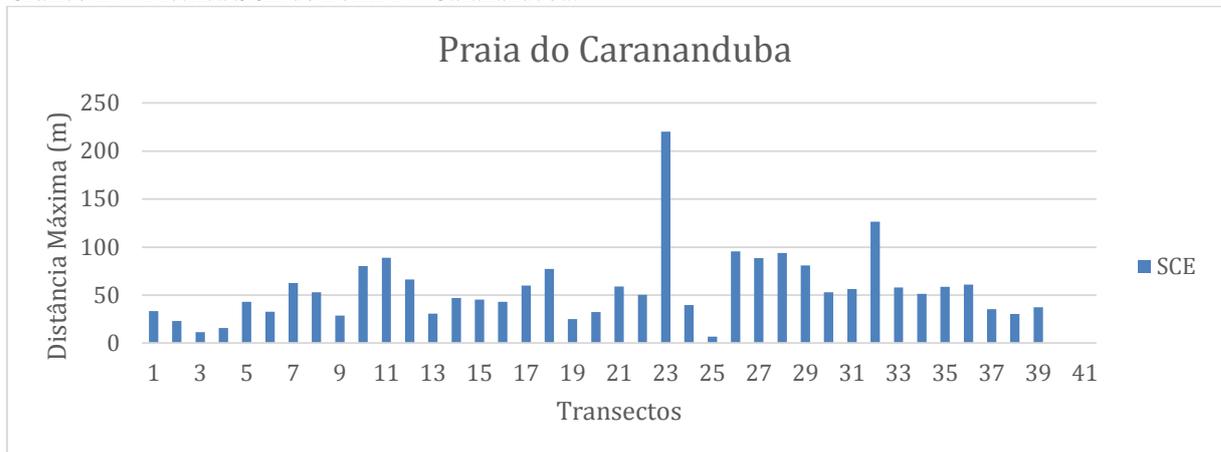
Fonte: Braga (2019)

Gráfico 23 - Métrica EPR do Perfil 2 – Carananduba.



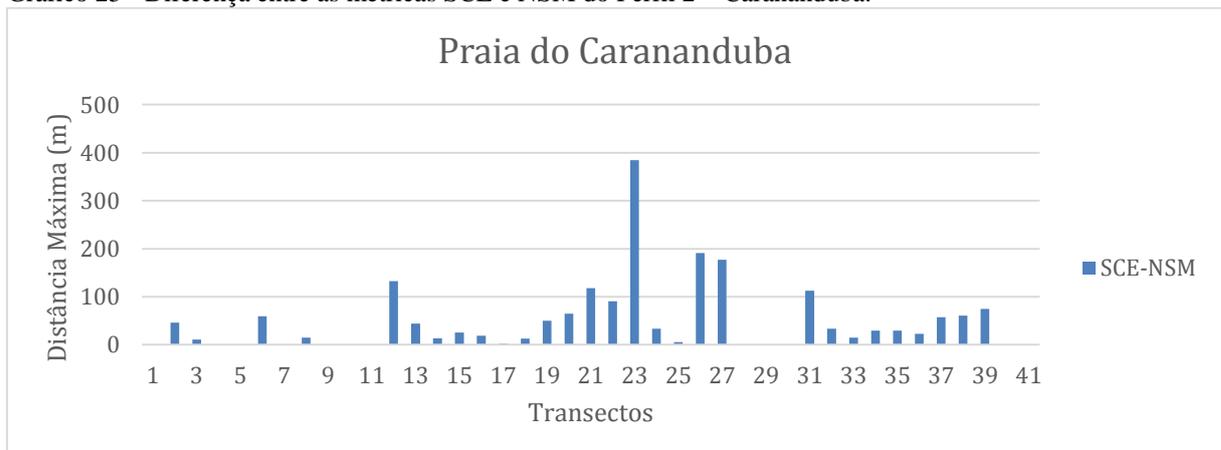
Fonte: Braga (2019)

Gráfico 24 - Métrica SCE do Perfil 2 – Carananduba.



Fonte: Braga (2019)

Gráfico 25 - Diferença entre as métricas SCE e NSM do Perfil 2 – Carananduba.



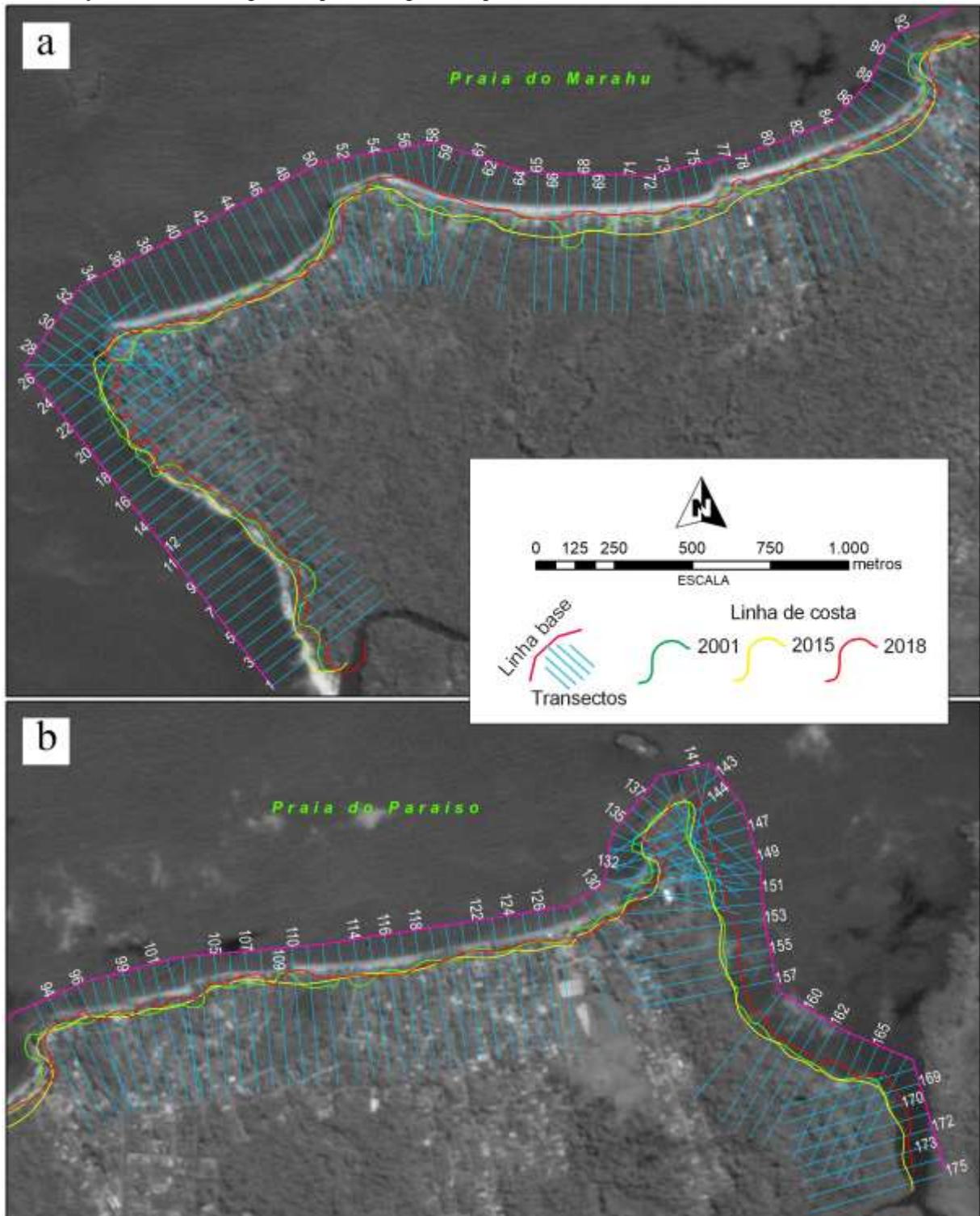
Fonte: Braga (2019)

5.1.3 Perfil 3

O perfil 3 corresponde aos segmentos praias Paraíso e Marahú (Figura 8). Possuindo

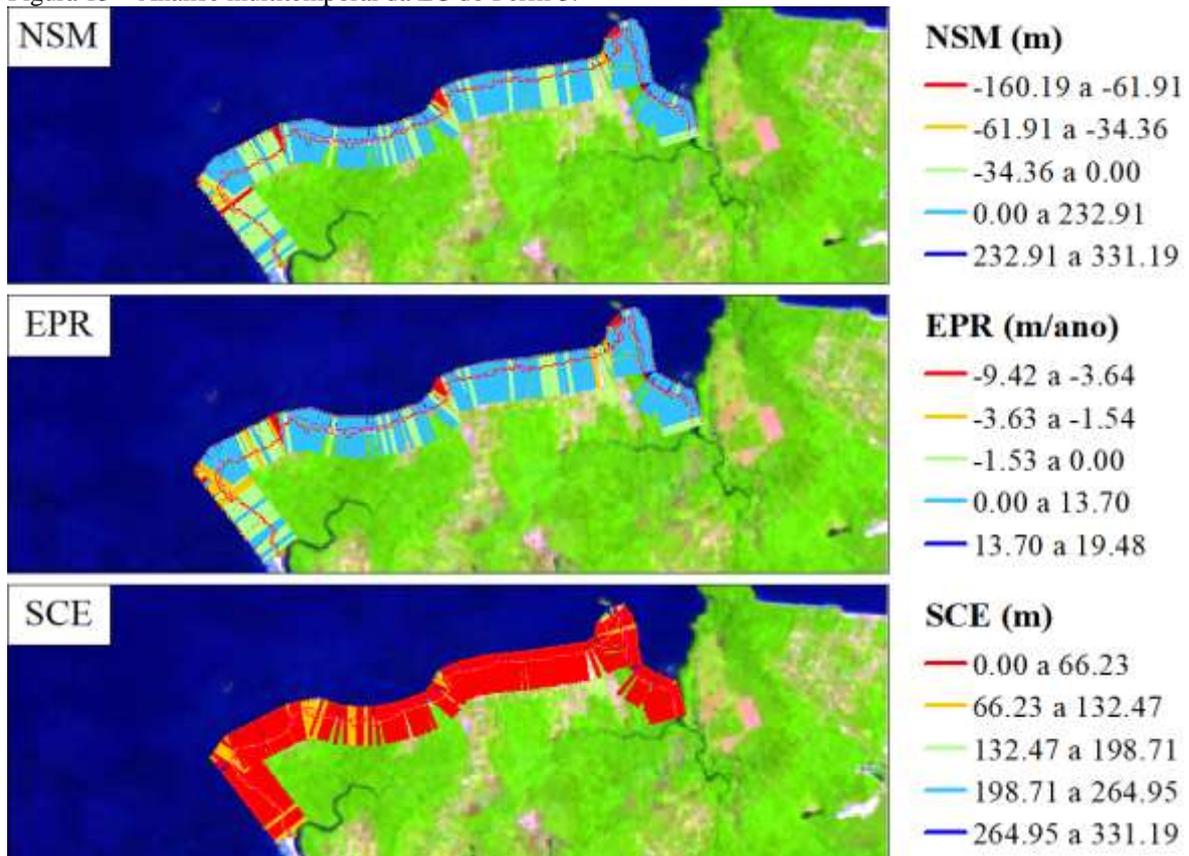
8,65 km de extensão, este perfil apresentou no período analisado (2001 a 2018) setores com tendência majoritária de progradação em sua grande maioria, exceto em alguns poucos setores como pode ser visto nas figuras 14 (a), 14 (b) e 15 que contêm as imagens das métricas calculadas para este perfil. De maneira geral a taxa média de variação da linha de costa para este perfil no período analisado foi de 0,89 m/ano e o avanço médio linear foi de 12,87 m.

Figura 14 – Variações temporais nas posições das Linhas de Costa entre os anos de 2001 a 2018 com identificação dos transectos gerados para os segmentos praias do Perfil 3.



Fonte: Braga (2019).

Figura 15 – Análise multitemporal da LC do Perfil 3.



Fonte: Braga (2019).

5.1.3.1 Segmento Praia Paraíso

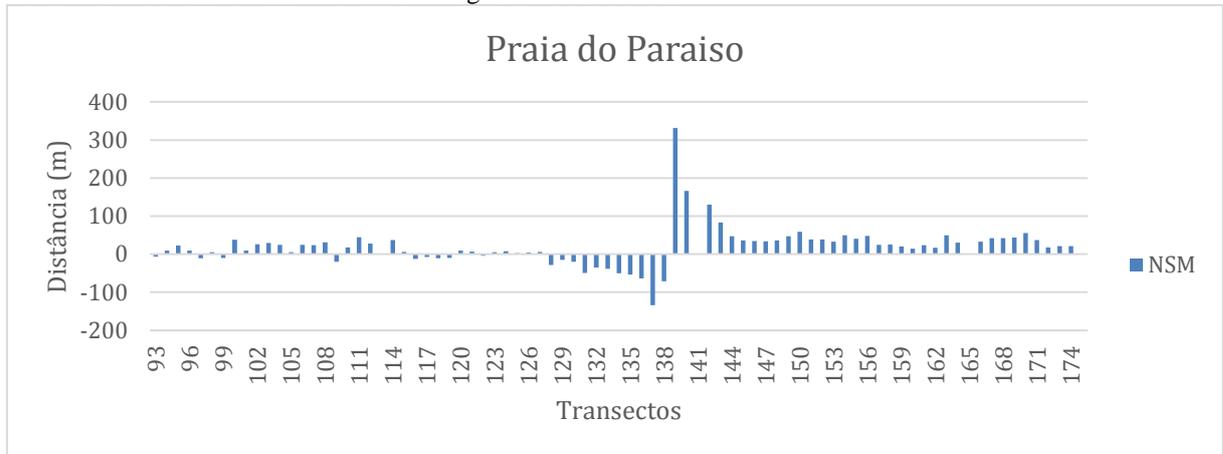
A parte referente ao segmento Paraíso situado entre os transectos 93 a 175 (Figura 14 (b)) possui 4,15 km de extensão e ao analisar os gráficos 26 e 27 das métricas calculadas para este segmento, constatou-se setores com tendências tanto de erosão quanto de progradação. A taxa média de variação da linha de costa para este segmento no período analisado foi de 1,44 m/ano com mínima de -7,89 m/ano no transector 137 e a máxima de 19,48 m/ano no transector 139. O avanço médio linear deste segmento foi de 18,97 m chegando a 93,74 m no transector 139.

A tendência majoritária de progradação neste segmento está compreendida entre os transectos 139 e 175 o que pode ser explicado pela ausência de urbanização da área e pela presença de uma extensa faixa vegetação nativa o que a caracteriza como uma faixa protegida da ação direta dos agentes costeiros. Já entre os transectos 128 e 138 a tendência é de erosão possivelmente em virtude da urbanização da área contribuído pelos agentes costeiros atuantes (APÊNDICE A – Imagens A, B, C, D, E e F). No setor corresponde entre os transectos 93 a 127 ocorre uma ligeira estabilidade da linha de costa com pequenas flutuações de erosão e

progradação.

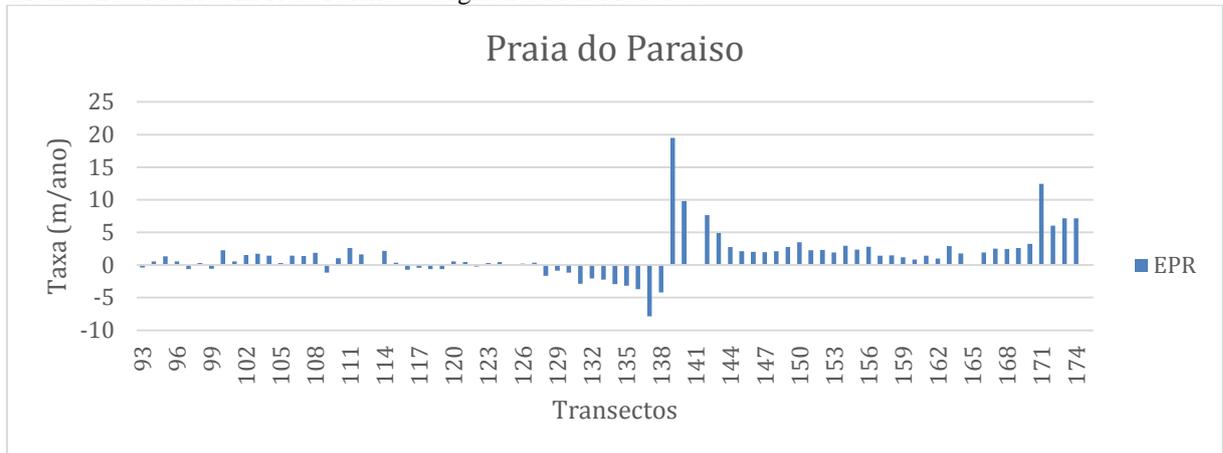
Ao se analisar as figuras 14 (b), 15 e o gráfico 28 referente a métrica SCE, a qual representa a variação total, em metros, da linha de costa no segmento ao longo do período analisado pode-se constatar que a variação de amplitude neste segmento ficou majoritariamente no intervalo compreendido entre 0,00 a 66,23 metros (vermelho). Porém, vale ressaltar que a máxima amplitude de variação da linha de costa neste segmento alcançou o valor de 331,19 m no transector 139 (azul escuro).

Gráfico 26 - Métrica NSM do Perfil 3 – Segmento Praial Paraíso.



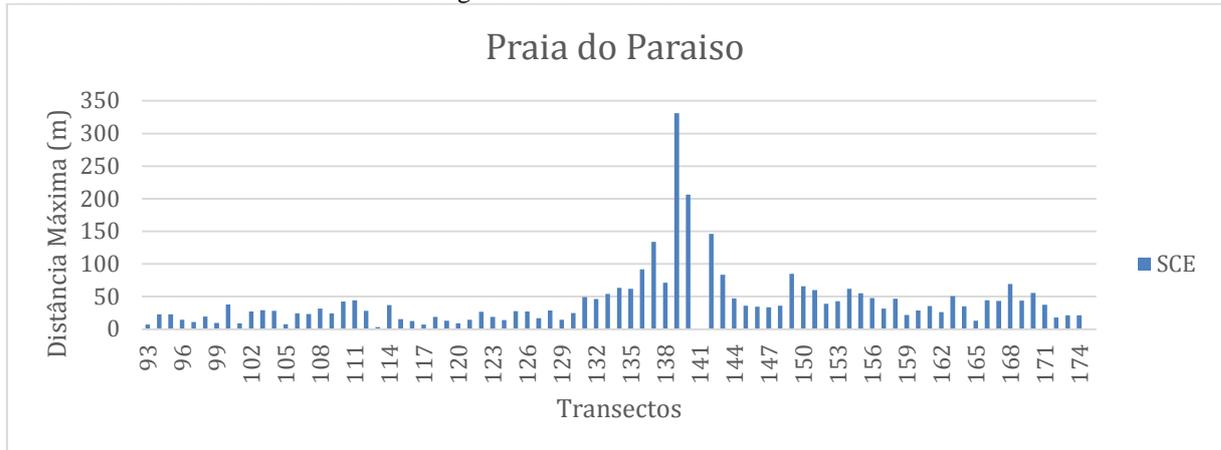
Fonte: Braga (2019)

Gráfico 27 - Métrica EPR do Perfil 3 – Segmento Praial Paraíso.



Fonte: Braga (2019)

Gráfico 28 - Métrica SCE do Perfil 3 – Segmento Praial Paraíso.



Fonte: Braga (2019)

5.1.3.2 Segmento Praial Marahú

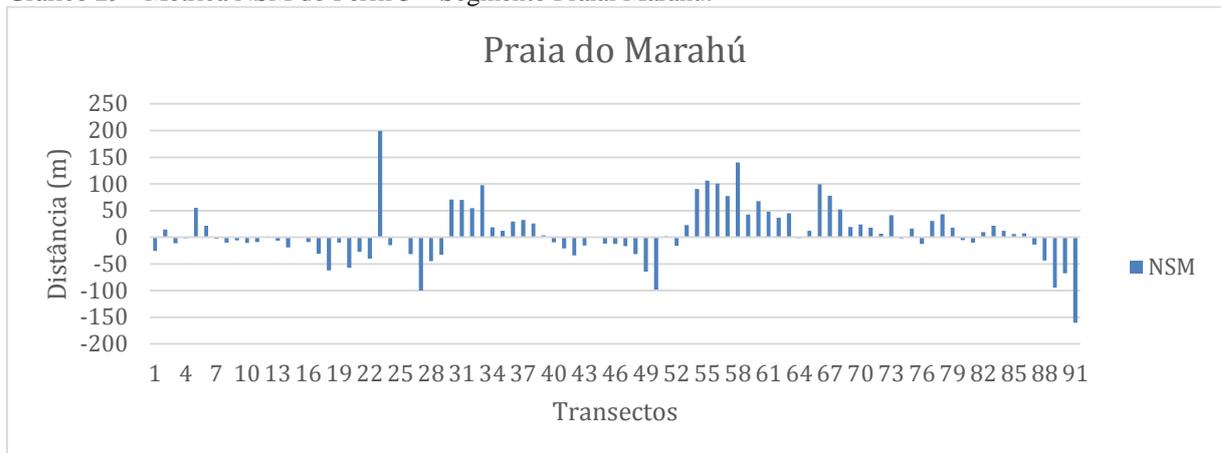
A parte referente ao segmento Marahú, situado entre os transectos 1 a 92 (Figura 14 (a)) possui 4,6 km de extensão e ao analisar os gráficos 29 e 30 das métricas calculadas para este segmento, constatou-se setores com tendências tanto de erosão quanto de progradação. A taxa média de variação da linha de costa para este segmento no período analisado foi de 0,40 m/ano com mínima de -9,42 m/ano no transecto 92 e a máxima de 11,74 m/ano no transecto 23. O avanço médio linear deste segmento foi de 7,58 m chegando a 199,56 m no transecto 23.

A tendência majoritária de progradação está compreendida entre os transectos 31 a 40 e entre os transectos 54 a 87. Os setores que correspondem majoritariamente a tendências erosivas estão localizados na porção central (transectos (41 a 51) e transectos (24 a 30)), na porção leste (transectos 88 a 92) e na porção oeste (transectos 1 a 22) (APÊNDICE A – Imagens G, H, I, J, K e L).

Este comportamento de alternância entre setores erosivos e progradacionais pode ter suas causas no fato deste segmento praial ser delimitado por falésias como também pela presença de promontórios rochosos em distintos pontos deste segmento praial.

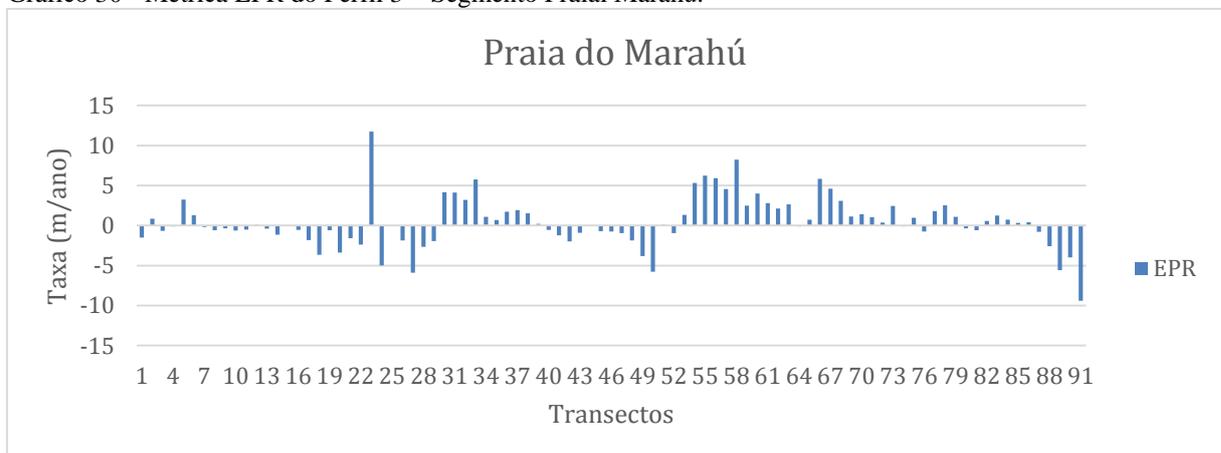
Ao se analisar as figuras 14 (a), 15 e o gráfico 31 referente a métrica SCE, a qual representa a variação total, em metros, da linha de costa no perfil ao longo do período analisado pode-se constatar que a variação de amplitude ficou compreendida majoritariamente entre os intervalos 0,00 a 66,23 metros (vermelho) e 34,98 a 69,97 metros (amarelo). Porém, vale ressaltar que a variação da linha de costa neste perfil alcançou em um setor específico o valor de 282,05 m.

Gráfico 29 - Métrica NSM do Perfil 3 – Segmento Praia Marahú.



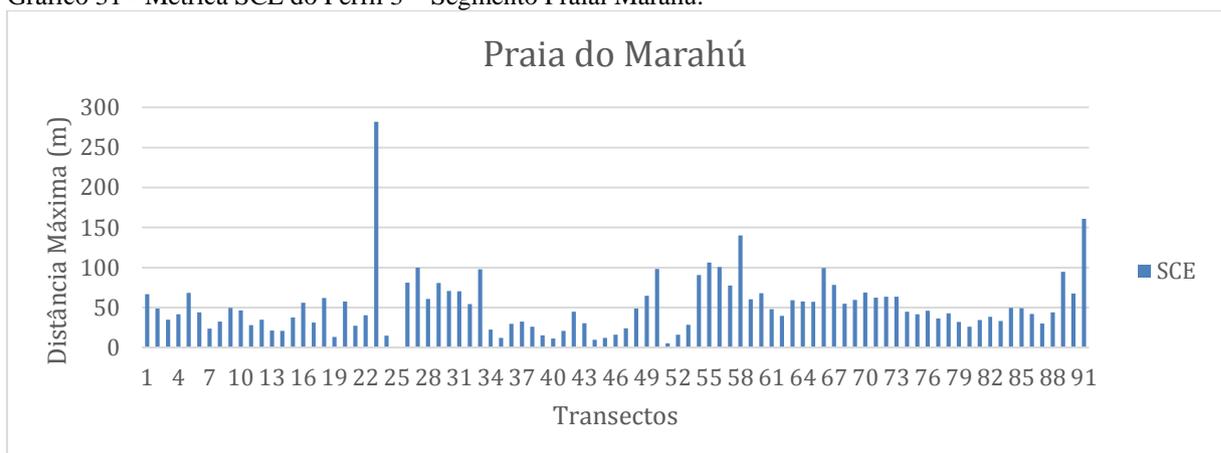
Fonte: Braga (2019)

Gráfico 30 - Métrica EPR do Perfil 3 – Segmento Praia Marahú.



Fonte: Braga (2019)

Gráfico 31 - Métrica SCE do Perfil 3 – Segmento Praia Marahú.



Fonte: Braga (2019)

5.1.4 Perfil 4

5.1.4.1 Segmento Praial Baía do Sol

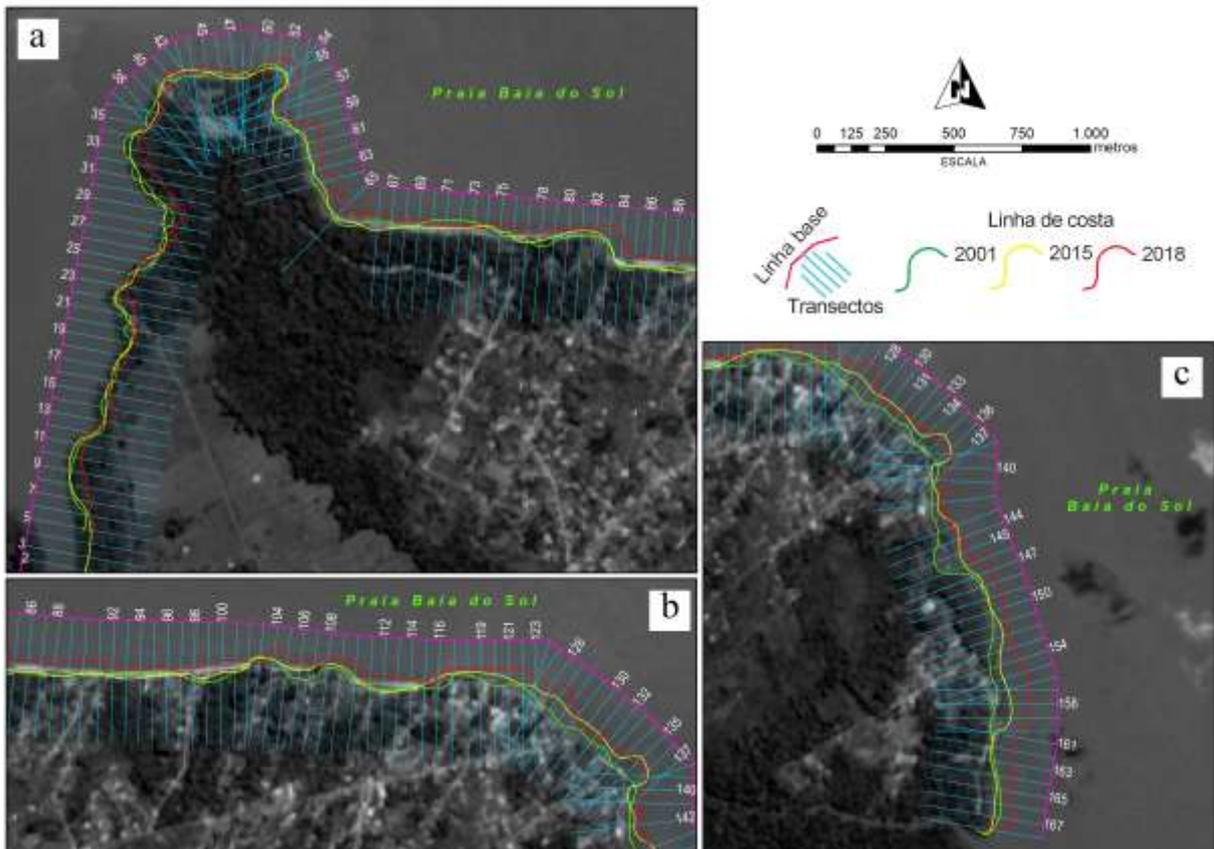
O perfil 4 corresponde ao segmento praial Baía do Sol (Figura 8). Possuindo 8,4 km de extensão, este perfil apresentou no período analisado (2001 a 2018) setores com tendência tanto de erosão quanto de progradação como pode ser visto nas imagens das figuras 16 (a), 16 (b), 16 (c) e na figura 17 que contêm as imagens das métricas calculadas para este perfil. A taxa média de variação da linha de costa para este segmento no período analisado foi de 1,745 m/ano com mínima de -6,21 m/ano no transector 31 e a máxima de 10,29 m/ano no transector 51. O avanço médio linear deste segmento foi de 29,70 m chegando a 174,93 m no transector 51.

O setor mais a oeste deste segmento praial, próximo do limite com o perfil 3, entre os transectors 5 e 40, foi o que apresentou os maiores recuos na linha de costa com um recuo de -105,63 m no transector 31. O recuo na linha de costa deste setor pode ser explicado em parte pela proximidade deste com a desembocadura do canal e sua dinâmica fluvial (enchentes e vazantes) provocadas pela dinâmica das marés como também pela deriva litorânea predominante na área.

Já o segmento praial compreendido entre os transectors 41 a 168, foi o setor que apresentou os maiores avanços na linha de costa com um avanço de 174,93 m no transector 51.

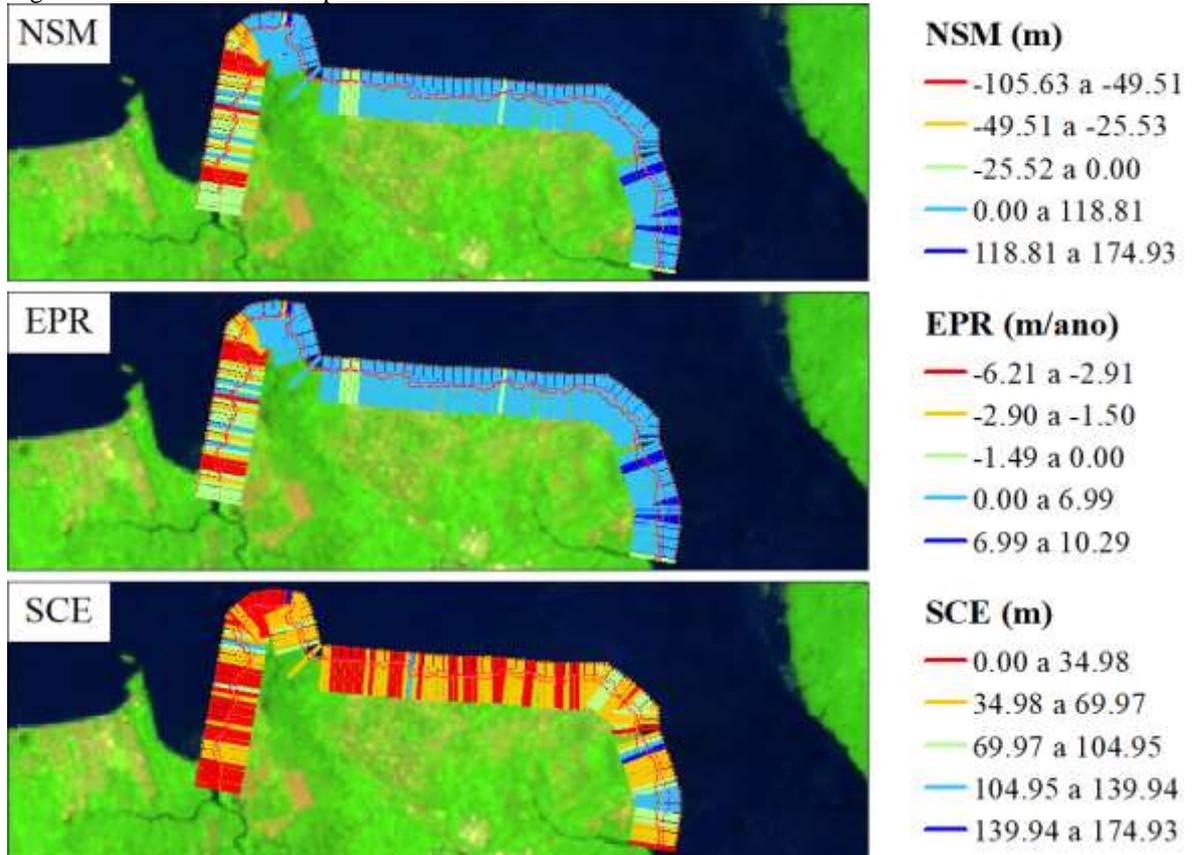
Ao se analisar as figuras 16 (a), 16 (b), 16 (c), 17 e o gráfico 34 referente a métrica SCE, a qual representa a variação total, em metros, da linha de costa no perfil ao longo do período analisado pode-se observar que os intervalos compreendidos entre 0,00 a 34,98 metros (vermelho) e entre 34,98 a 69,97 metros (amarelos) apresentaram as maiores percentagens no perfil analisado. Porém, vale ressaltar que a variação da linha de costa neste perfil alcançou em um setor específico o valor de 174,93 m.

Figura 16 – Variações temporais nas posições das Linhas de Costa entre os anos de 2001 a 2018 com identificação dos transectos gerados para o segmento praial do Perfil 4.



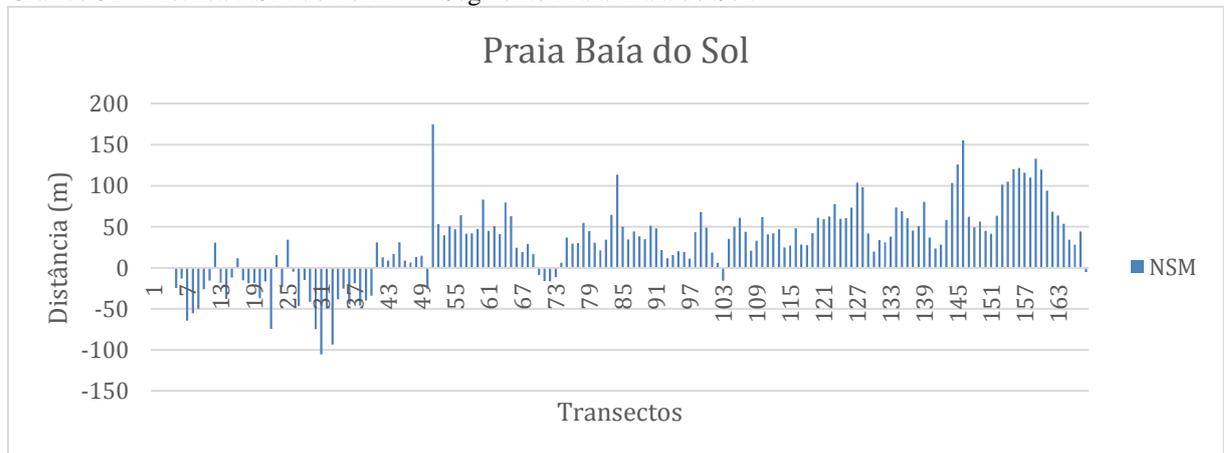
Fonte: Braga (2019).

Figura 17 – Análise multitemporal da Linha de Costa do Perfil 4 - Baía do Sol.



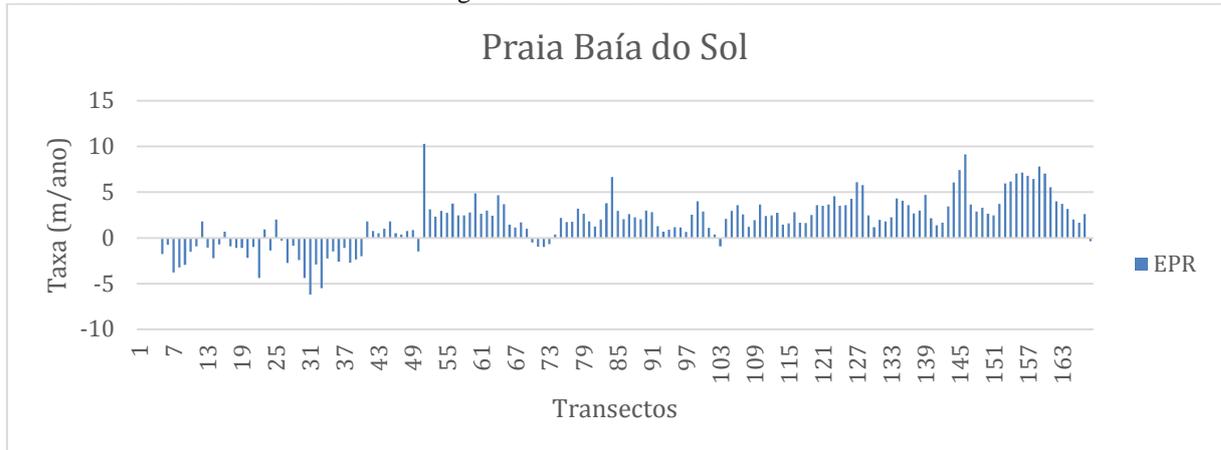
Fonte: Braga (2019).

Gráfico 32 - Métrica NSM do Perfil 4 – Segmento Praial Baía do Sol.



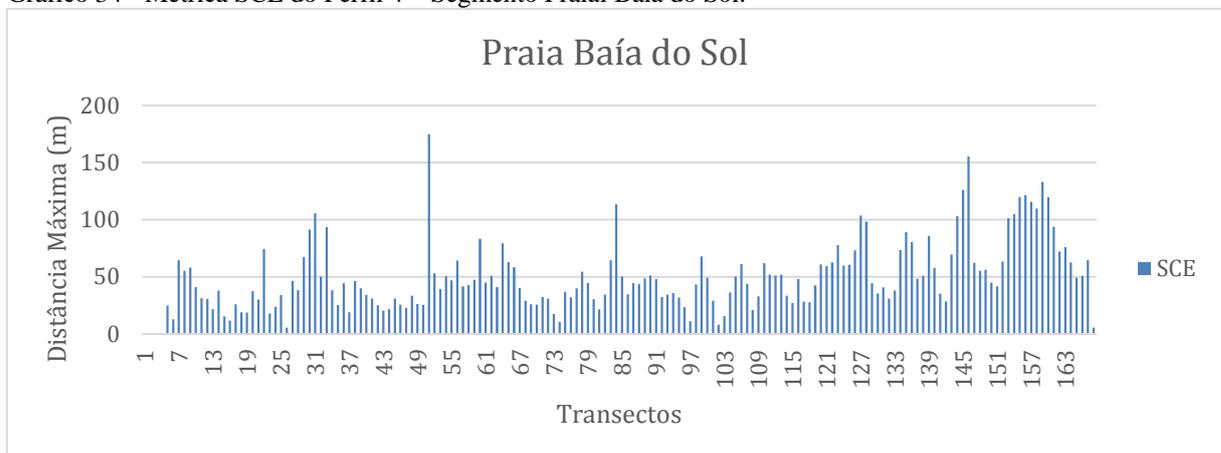
Fonte: Braga (2019)

Gráfico 33 - Métrica EPR do Perfil 4 – Segmento Praia Baía do Sol.



Fonte: Braga (2019)

Gráfico 34 - Métrica SCE do Perfil 4 – Segmento Praia Baía do Sol.



Fonte: Braga (2019)

5.2 MAPAS DE VULNERABILIDADE DA ILHA DE MOSQUEIRO QUANTO AO RISCO DE EROÇÃO

De acordo com o que pode se observar na figura 18 (a) referente a classificação de vulnerabilidade da Ilha de Mosqueiro em relação a variável declividade, esta ficou compreendida majoritariamente entre muito baixa a moderada, exceto em algumas poucas áreas classificadas com alta vulnerabilidade.

Na zona costeira da ilha banhada pela Baía do Guajará, especificamente nos segmentos praias da Baía do Sol, Paraíso, Marahú e São Francisco, ocorreram os maiores percentuais de áreas classificadas com vulnerabilidade moderada. Nos outros segmentos praias os maiores percentuais ficaram classificados entre muito baixa e baixa vulnerabilidade.

Em relação a classificação de vulnerabilidade correspondente a variável solo, figura 18 (b), a ilha de mosqueiro apresentou somente dois tipos de classificação: baixa e alta. As zonas

costeiras da ilha apresentaram vulnerabilidade classificada como alta, exceto a totalidade do segmento praias Carananduba, a quase totalidade do segmento São Francisco e a maior parte dos segmentos Marahú e Paraíso foram classificados com baixa vulnerabilidade. Já a porção mais interior da ilha foi classificada com baixa vulnerabilidade.

De acordo com o que pode se observar na figura 18 (c) referente a classificação de vulnerabilidade da Ilha de Mosqueiro em relação a variável uso do solo, esta ficou compreendida majoritariamente entre alta e baixa, exceto em uma área localizada na região sudeste classificada com vulnerabilidade moderada.

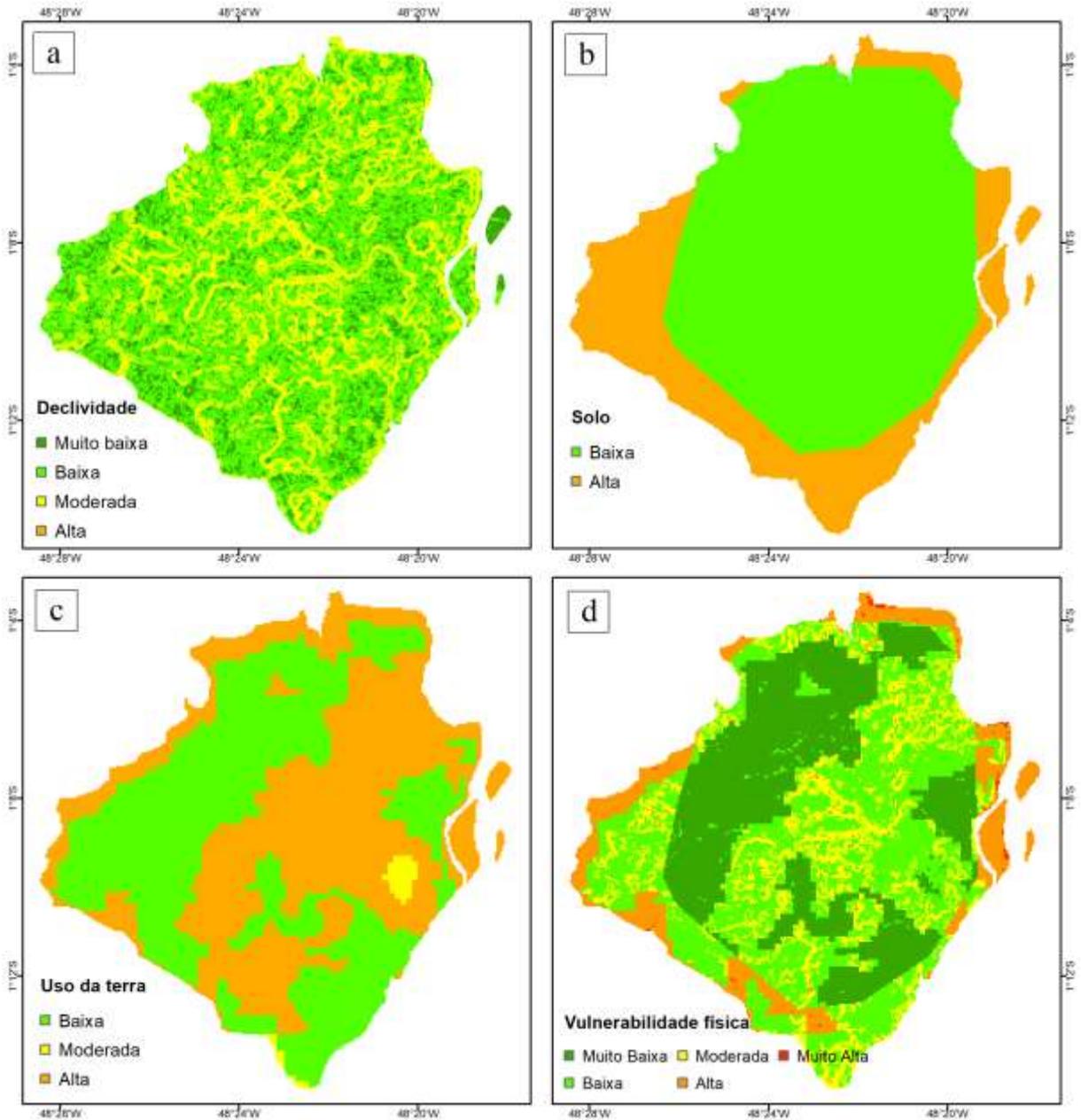
Na zona costeira da ilha banhada pela Baía do Guajará, onde localizam-se os segmentos praias estudados neste trabalho de pesquisa, todos os segmentos apresentaram classificação de alta vulnerabilidade. Já as áreas um pouco mais afastadas da costa (praias), na região ocidental da ilha foram classificadas como de baixa vulnerabilidade. Essas áreas representam as áreas mais urbanizadas da ilha.

A figura 18 (d) refere-se ao resultado da equação 1 (vulnerabilidade física) e de acordo com o que pode se observar dessa figura a Ilha de Mosqueiro apresentou áreas de vulnerabilidade classificadas como: muito baixa, baixa, moderada, alta e muito alta.

Na zona costeira da ilha banhada pela Baía do Guajará, onde localizam-se os segmentos praias estudados neste trabalho de pesquisa, todos os segmentos apresentaram classificação de alta vulnerabilidade, exceto os segmentos praias São Francisco, Carananduba, Marahú e Paraíso que apresentaram classificação de moderada vulnerabilidade. Já a porção mais interior da ilha foi classificada com baixa vulnerabilidade.

O resultado de vulnerabilidade calculado através da equação 1 referente as variáveis declividade, solo e uso do solo se mostrou condizente com os aspectos fisiográficos da ilha descritos anteriormente e com as bibliografias pesquisadas.

Figura 18 - Mapas de vulnerabilidade: (a) referente a Declividade; (b) referente ao Solo; (c) referente ao Uso do Solo; (d) Vulnerabilidade física.



Fonte: Braga (2019).

As figuras 19 (a), 19 (b), 19 (c) e 19 (d) referem-se às classificações de vulnerabilidades com relação as variáveis oceanográficas amplitude de maré, altura de onda e velocidade máxima de corrente.

De acordo com os dados oceanográficos constante na Carta SÃO FZA19, a Ilha de Mosqueiro, parte integrante do Estuário do Rio Pará, sofre a influência de macromarés (amplitudes de marés entre 4m a 6m) por está localizada nas regiões mais próximas da costa oceânica. De acordo com os intervalos de amplitude de marés descritos na tabela 7 a linha de costa de Mosqueiro apresentou uma classificação de vulnerabilidade considerada Alta (figura

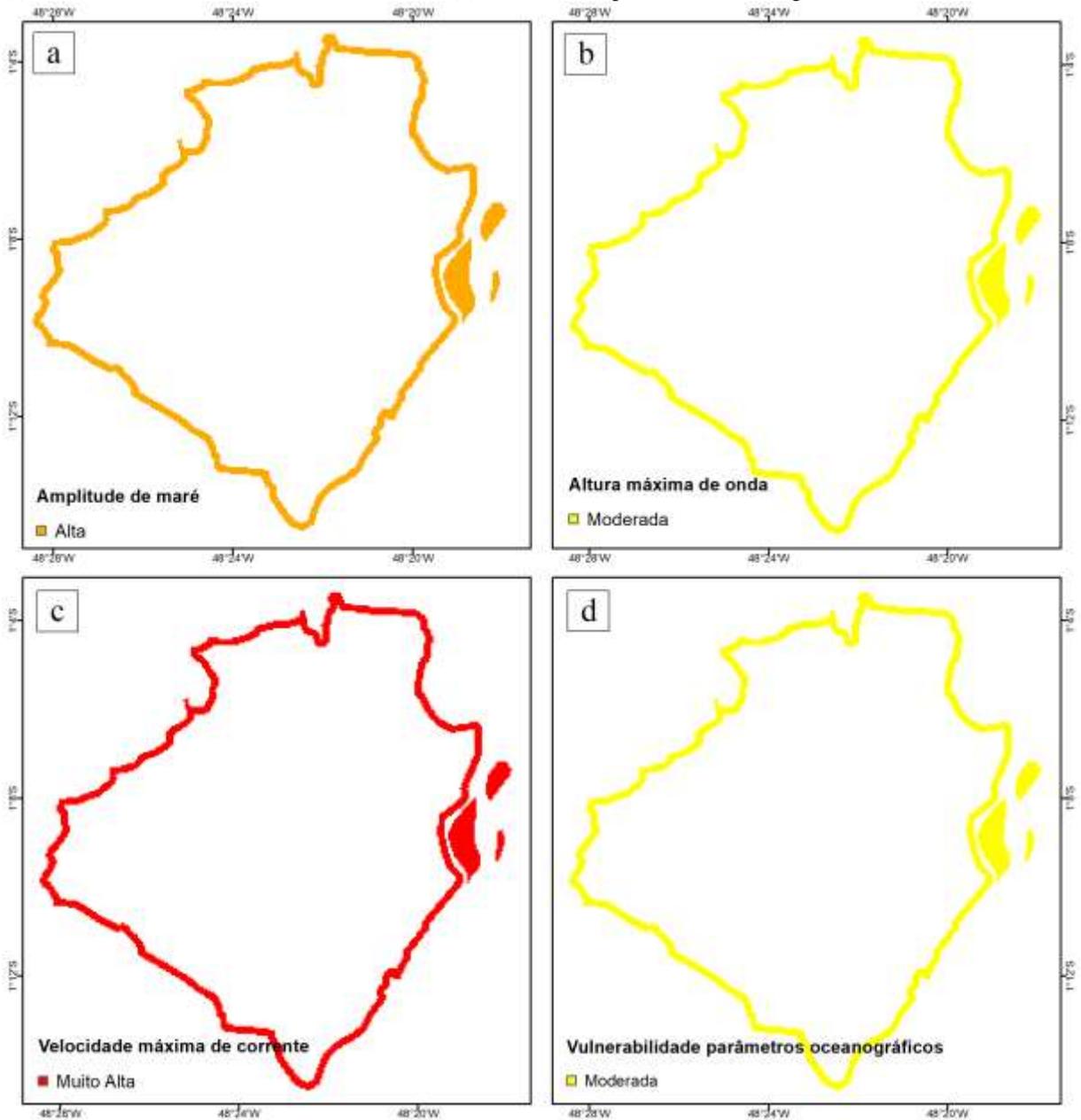
19 (a)).

Os dados relativos a altura de onda encontrados na Carta SAO FZA19 para a Baía do Guajará próximo a Ilha de Mosqueiro são muito baixos (0,06 m) e bastantes divergentes dos encontrados nas bibliografias de outros autores para esta mesma região. Para El-Robrini *et al.* (2018) no setor Continental Estuarino a altura máxima de onda encontra-se na ordem de 1,5 m. Já de acordo com Pinheiro (1987), conforme citado por El-Robrini *et al.* (2018), na Baía do Guajará as ondas quebram com alturas de até 1 m. Para efeito de classificação desta variável foi adotado o valor médio de 1 m, o qual de acordo com os intervalos descritos na tabela 7 levou a classificação da linha de costa da ilha a ser considerada como vulnerabilidade moderada (figura 19 (b)).

De acordo com as bibliografias pesquisadas, na Baía do Guajará, próximo a Ilha de Mosqueiro foram registradas correntes de maré com velocidades máximas que variam entre 1,7 a 2,1 (IEPA, 2017, EL-ROBRINI *et al.*, 2006, 2018), ou seja, velocidades superiores a 1,0 m/s. De acordo com os intervalos de velocidade máxima de corrente descritos na tabela 7 a linha de costa de Mosqueiro apresentou uma classificação de vulnerabilidade considerada Muito Alta (figura 19 (c)).

A figura 19 (d) refere-se ao resultado da equação 2 (vulnerabilidade parâmetros oceanográficos) e de acordo com o que pode se observar dessa figura que os segmentos de linha de costa da Ilha de Mosqueiro apresentaram classificação de Moderada Vulnerabilidade.

Figura 19 - Mapas de vulnerabilidade: (a) referente a amplitude de maré; (b) referente a altura máxima de onda; (c) referente a velocidade máxima de corrente; (d) referente aos parâmetros oceanográficos.



Fonte: Braga (2019).

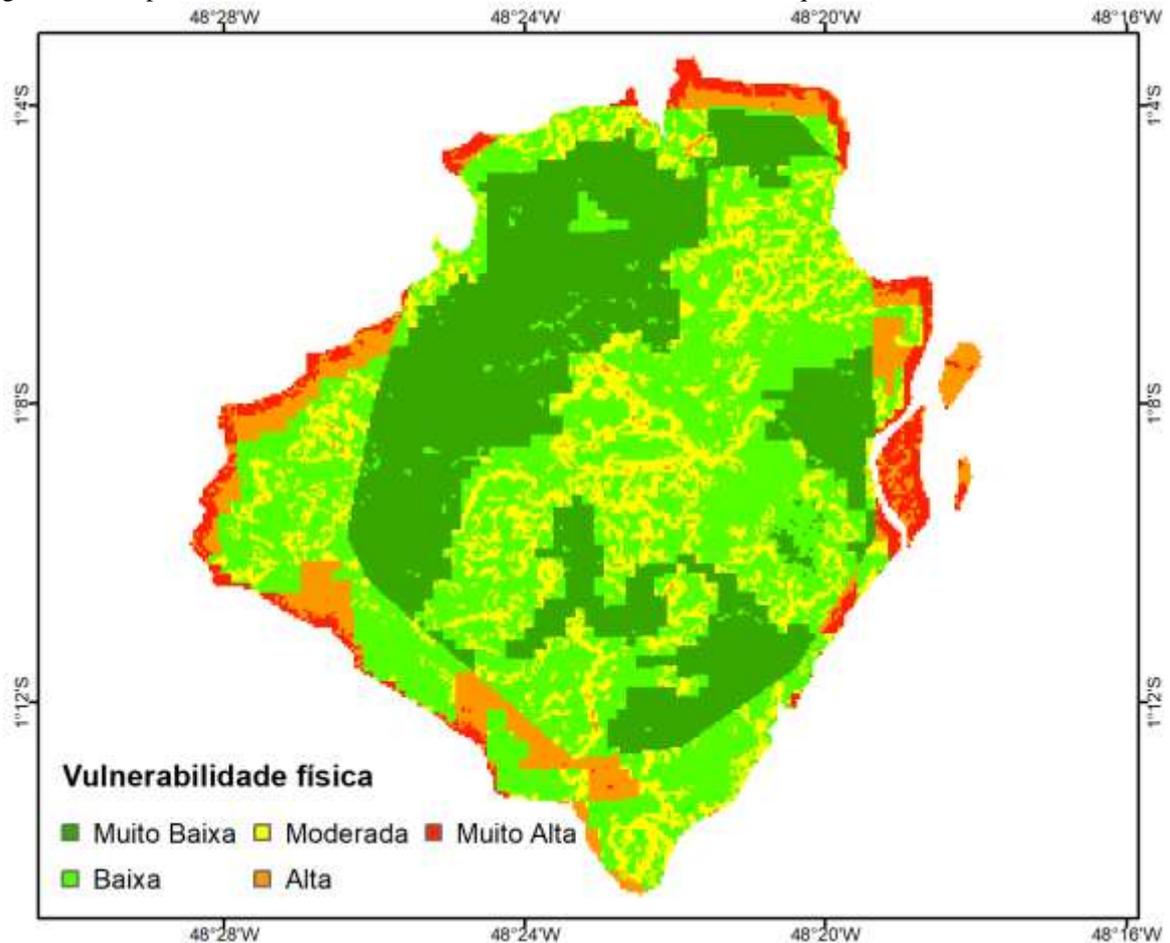
A figura 20 refere-se ao resultado da equação 3 (vulnerabilidade física total) e de acordo com o que pode se observar dessa figura a Ilha de Mosqueiro apresentou áreas de vulnerabilidade classificadas como: muito baixa, baixa, moderada, alta e muito alta.

Na zona costeira da ilha banhada pela Baía do Guajará, onde localizam-se os segmentos praias estudados neste trabalho de pesquisa, os segmentos Bitar, Bispo/Praia Grande, Farol/Chapéu Virado, Murubira, Ariramba e Baía do Sol apresentaram setores majoritariamente classificados de muito alta vulnerabilidade como também setores classificados de alta vulnerabilidade.

Os segmentos praias São Francisco e Carananduba apresentaram classificação majoritariamente de baixa vulnerabilidade. O segmento Marahú apresentou nos setores mais a oeste classificação majoritariamente de muito alta vulnerabilidade e os setores mais a leste foram classificados como baixa a moderada vulnerabilidade. Já o segmento Paraíso apresentou baixa a moderada vulnerabilidade nos setores mais a oeste, próximo ao segmento Marahú e muito alta vulnerabilidade nos setores mais a leste, próximo ao segmento da Baía do Sol. Já a porção mais interior da ilha foi classificada com baixa vulnerabilidade.

Essa classificação se mostrou condizente com os resultados encontrados através dos cálculos das métricas do DSAS para avaliação da variação da linha de costa mostrados nos gráficos anteriores.

Figura 20 – Mapa de vulnerabilidade física à erosão costeira da Ilha de Mosqueiro.



Fonte: Braga (2019).

6 CONCLUSÕES

A análise multitemporal da linha de costa dos segmentos praiais da Ilha de Mosqueiro-PA através da utilização do DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*) permitiu a identificação da direção e da distribuição espacial das mudanças (erosão e/ou progradação) que os setores costeiros desses segmentos vêm sofrendo ao longo do período analisado.

Os resultados das métricas NSM, EPR e SCE referentes a cada segmento praiial analisado na Ilha de Mosqueiro demonstraram que no intervalo de 17 anos (2001 a 2018), 6 (seis) dos 11 (onze) segmentos apresentaram taxas médias anuais de variação de suas linhas de costa negativas, caracterizando uma tendência de recuo dessas linhas nesses segmentos.

Dos 6 (seis) segmentos que apresentaram tendência de recuo de suas linhas de costa, 3 (três) apresentaram valores de variação média linear e taxas médias de variação bastantes significativas: segmento Bispo/Praia Grande (-56,08 m e -3,31 m/ano), segmento Ariramba (-43,62 m e -2,48 m/ano) e o segmento Porto Arthur (-35,40 m e -2,08 m/ano).

Os segmentos Baía do Sol, Paraíso, Marahú, Carananduba e Farol/Chapéu Virado apresentaram taxas médias anuais de variação de linhas de costa positivas, caracterizando uma tendência de avanços dessas linhas nesses segmentos. Desses segmentos o que apresentou o maior valor de variação média linear foi o Baía do Sol com 29,70 m.

Vale ressaltar também que dos 11 (onze) segmentos praiiais analisados, 05 (cinco) apresentaram tendências majoritárias de recuo (erosão) de suas linhas de costa na grande maioria dos setores de seus segmentos (Bitar, Bispo/Praia Grande, Porto Arthur, Murubira e Ariramba).

O segmento Carananduba mostrou uma alternância entre setores em processos de recuos e de avanços ao longo de seu segmento praiial. Já os segmentos Paraíso e Baía do Sol mostraram similaridades de comportamentos na divisão de seus segmentos em setores com majoritárias tendências de recuos como de avanços.

O estudo da vulnerabilidade física à erosão costeira da Ilha de Mosqueiro realizado através da análise individual de cada variável escolhida (físicas e oceanográficas), apresentou áreas com graus de vulnerabilidade classificadas como muito baixa, baixa, moderada, alta e muito alta, distribuídas ao longo de sua área.

De maneira geral, as zonas costeiras da ilha banhadas pela Baía do Guajará, Furo das Marinhas e Furo do Maguari foram classificadas como de “alta a muito alta” vulnerabilidade, com exceção de alguns setores localizados a noroeste, nordeste e a sudeste da ilha que foram classificados como de “baixa a moderada” vulnerabilidade.

As áreas localizadas mais ao centro da ilha não impactadas diretamente pelas variáveis oceanográficas foram classificadas majoritariamente como de “muito baixa a moderada” vulnerabilidade, além de algumas áreas contíguas as zonas costeiras que foram classificadas como de “alta” vulnerabilidade.

Essas classificações corroboram com os resultados encontrados no estudo do comportamento da linha de costa que indicou uma clara tendência de erosão da zona costeira da Ilha de Mosqueiro (taxa média geral de $-9,67$ m/ano), além de apresentar concordância com as bibliografias pesquisadas sobre os temas estudados.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M. A. M. S. *et al.* **Morfodinâmica das Praias de Meso-Macromarés da Zona Costeira do Estado do Pará**, 2004. Disponível em: <http://www.abequa.org.br/trabalhos/0258_paper_abequa_2005.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2017.
- ALMEIDA, H. R. R. C. **Séries Temporais de Imagens Sub-Orbitais e Orbitais de Alta Resolução na avaliação da morfodinâmica praias do município de Cabo Santo Agostinho – PE**. 2008. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias de Geoinformação) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.
- BERGER, A. R. The geoinicator concept and its application: An introduction. *In*: BERGER, A. R.; IAMS, W. J. (Ed.). **Geoinicators: Assessing rapid environmental changes in earth systems**. [S. l.]: A. A. Balkema, 1996. p. 1-14.
- BIRD, E. C. F. **Coastline Changes: a global review**. Chinchester: John Wiley & Sons, 1985.
- _____. **Beach Management**. New York: John Wiley & Sons, 1999.
- _____. **Costal Geomorphology: An introduction**. West Sussex: John Wiley and Sons, 2008.
- BOAK, E. H.; TURNER, I. L. Shoreline Definition and Detection: A Review. **Journal of Coastal Research**, v. 21, n. 4, p. 688-703, 2005.
- BRASIL. **Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988**. Dispõe sobre o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC). Disponível em: <www.planalto.gov.br> Acesso em: 10 maio 2018.
- BRUUN, P. Sea level rise as a cause of shoreline erosion. **Journal of Waterways and Harbor Division**, v. 88, p. 117-130, 1962.
- CHU, Z. X. *et al.* Changing pattern of accretion/erosion of the modern Yellow River (Huanghe) subaerial delta, China: Based on remote sensing images. **Marine Geology**, v. 227, p. 13-30, 2006.
- CALLAGHAN, D.; RANASINGHE, R.; SHORT, A. Quantifyng the storm erosion hazard for coastal planning. **Coastal Engineering**, v. 56, p. 90-93, 2009.
- CALLIARI, L. J. *et al.* Morfodinâmica praias: uma breve revisão. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 51, p. 63-78, 2003.
- CAMFIELD, F. E.; MORANG, A. Defining and interpreting shoreline change. **Ocean and Coastal Management**, v. 32, n. 3, p. 129-151, 1996.
- CAMPOS, W. V. S. *et al.* Influência da Urbanização na Erosão da Área Costeira na Praia do Murubira, Ilha de Mosqueiro – PA. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 14., 2016, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Blucher, 2016. p. 00-00.

CARDOSO, R. N. C.; BORGES, M. S.; LIMA, R. F. L. **O trabalho de campo como fator de integração entre a geologia dos terrenos de marinha e a engenharia ambiental: exemplo da excursão a ilha do mosqueiro, Pará.** Disponível em: <<http://www.academia.edu/download/24153547/VI-094.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2017.

CARLA, P.; CARLOS, C. Revista de Gestão Costeira Integrada. **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 13, n. 1, p. 27-43, 2013.

CREPANI, E. *et al.* **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial.** São José dos Campos: INPE, 2001.

CUTTER, S. L. A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, p. 59-69, 2011.

DAVIS, R. A. **Coastal Sedimentary Environments.** 2nd ed. USA: Halliday Lithograph, 1985.

DILLENBURG, S.; ESTEVES, L.S.; TOMAZELLI, L. A critical evaluation of coastal erosion in Rio Grande do Sul, Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 76, n. 3, p. 611-623, 2004.

DOMINGUEZ, J. M. L. **Avaliação regional do problema da erosão na região nordeste do Brasil.** Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2007. Disponível em: <<http://www.cpgg.ufba.br/lec/BEeros.htm>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

EL-ROBRINI, M. *et al.* Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro - Pará. *In*: MUEHE, Dieter (Org.). **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro.** Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

_____. **Programa da erosão costeira no Brasil.** Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2018.

EL-ROBRINI, M. **Variabilidade morfológica e sedimentar de praias estuarinas, ilha de Mosqueiro.** 2001. 87 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2001.

ESPÍRITO SANTO, C. M. **A gestão dos riscos naturais à erosão e inundação nos planos diretores de municípios da zona costeira (estado do Pará).** 2011. 93 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia) - Núcleo de Meio Ambiente, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

FORBES, D. L.; LIVERMAN, D. G. E. Geological indicators in the coastal zone. *In*: BERGER, A.R.; IAMS, W.J. (Ed.). **Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems.** [S. l.]: A. A. Balkema, 1996. p. 175-192.

FRANÇA, C. F. **Morfologia e mudanças costeiras da margem leste da Ilha de Marajó (PA).** 2003. 144 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2003.

FRANÇA, C. F.; SOUZA-FILHO, P. W. M. Análise das mudanças morfológicas costeiras de médio período na margem leste da Ilha do Marajó (PA) em imagem Landsat. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n. 2, p. 127–136, 2003.

GOMES, R. C. **Perfil praias de equilíbrio da praia de Meaípe – Espírito Santo**. 2004. 65 f. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação) - Centro de Ciências Humanas e Naturais, Departamento de Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2004.

GORNITZ, V. M.; BEATY, T. W.; DANIELS, R. C. **A coastal hazards data base for the U.S. West coast**. United States: Oak Ridge National Laboratory, 1997.

GORNITZ, V. M. Global coastal hazards from future sea level rise. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 89, p. 379-398, 1990.

GORNITZ, V. M.; WHITE, T. W.; CUSHMAN, R. M. **Vulnerability of the US to future sea level rise**. United States, 1991.

GRIGIO, A. M. *et al.* Use of remote sensing and geographical information system in the determination of the natural and environmental vulnerability of the Guamaré municipal district. **Journal of Coastal Research**, v. 39, p. 1427-1431, 2006.

GUERREIRO, J. S. **Análise da dinâmica morfosedimentar da praia da Marieta Ilha de Marco (NE do Pará)**. 2010. 84 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

GUIMARÃES, U. S.; NARVAES, I. S.; GALO, M. L. B. T. Aplicação de dados ERS, Envisat e Sentinel para Detecção de Mudanças nos Ambientes Costeiros Amazônicos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 2, p. 257-278, abr./jun. 2017.

GUIMARÃES, U. S. *et al.* **Change detection applied on shorelines in the mouth of amazon river**, 2014.

HOEFEL, F. G. **Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica**. Itajaí: UNIVALI, 1998.

HORING, N. **Selecting the appropriate band combination for an RGB image using Landsat imagery**, 2004. Disponível em: <https://www.amnh.org/our-research/center-for-biodiversity-conservation/capacity-development/biodiversity-informatics/remote-sensing-guides/selecting-the-appropriate-band-combination-for-an-rgb-image-using-landsat-imagery/>. Acesso em: 10 fev. 2018.

IBGE. **Grade Estatística**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm. Acesso em: 20 mar. 2019.

Instituto de Pesquisa Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá. **Banco de Dados Geográficos do Projeto Cartas SAO FZA**. Amapá, 2017. Disponível em: <http://www.iepa.ap.gov.br/saofza/bancodados/bmfza.php>. Acesso em: 10 jan. 2019.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Relatório do IPCC/ONU: Novos Cenários Climáticos**. Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática, 2007. Disponível em: <<http://www.ecolatina.com.br/pdf/IPCCCOMPLETO.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

IPCC. Summary for Policymakers. In: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (Ed.). **Climate Change 2013 - The Physical Science Basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014a. p. 1-30.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Coastal systems and low-lying areas. In: **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. United Kingdom and New York: Cambridge University Press, 2014b. p. 361-409.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Managing the Risk of Extreme Events and Desasters to Advance Climate Change Adaptation. In: **A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. United Kingdom and New York: Cambridge University Press, 2014c. p. 582.

KING, M. A. **Beachs and Coasts**. Londres: LTD, 1959.

KOMAR, P. D. **Beachs Processes and Sedimentation**. New Jersey: Prentice-Hall, 1976.

LIMA, F. G. F.; MATOS, M. F. A.; AMARO, V. E. Contribuição para os Estudos sobre a Influência das Forçantes Meteoceanográficas sob a Morfodinâmica Costeira do Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte – Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 9., 2012, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2012.

MARINO, M. T. R. D.; FREIRE, G. S. S. Análise da evolução da linha de costa entre as Praias do Futuro e Porto das Dunas, Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), estado do Ceará, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 13, n. 1, p. 113-129, 2013.

MARTINS, L. R.; TABAJARA, L. L.; FERREIRA, E. R. **Linha de Costa: problemas e estudos**, 2004. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/gravel/2/Gravel_2_04.pdf>. Acesso em: 10 set. 2017.

McLAUGHLIN, S.; COOPER, J. A. G. A multi-scale coastal vulnerability index: A tool for coastal managers? **Environmental Hazards**, v. 9, n. 3, p. 233-248, 2010.

MIRANDA, E. E. de; COUTINHO, A. C. (Coord.). **Brasil Visto do Espaço**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004. Disponível em: <<http://www.cdbrazil.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 11 mar. 2018.

MOHAMED, M. F.; LEE, L. H.; SAMION, M. K. H. Coastal Vulnerability Assessment towards Sustainable Management of Peninsular Malaysia Coastline. **International Journal of Environmental Science and Development**, v. 5, n. 6, p. 533-538, 2014.

MOORE, L. J. 2000. Shoreline mapping techniques. **Journal coastal research**, v. 16, n. 1, p. 111-124, 2000.

NEVES, C. F.; MUEHE, D. Vulnerabilidade, impactos e adaptação a mudanças do clima: a zona costeira. **Parcerias Estratégicas**, v. 27, p. 1-360, 2008.

NEREM, R. S. *et al.* Estimating Mean Sea Level Change from the TOPEX and Jason Altimeter Missions. **Marine Geodesy**, v. 33, n. 1, p. 435–446, 16 ago. 2010.

NICHOLLS, R. J.; CAZENAVE, A. Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones. **Science**, v. 328, n. 5985, p. 1517-1520, 18 jun. 2010.

NICHOLLS, R. *et al.* **Coastal systems and low-lying areas**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

NICOLODI, J. L.; PETERMANN, R. M. Mudanças Climáticas e a vulnerabilidade da zona costeira do Brasil: aspectos ambientais, sociais e tecnológicos. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 10, p. 151-177, 2010.

PALHETA, E. S. M. **Estudo de compartimentação e arcabouço neotectônico da ilha de Mosqueiro-PA empregado no conhecimento hídrico subterrâneo**. 2008. 269 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.

PEREIRA, C.; COELHO, C. Mapas de Risco das Zonas Costeiras por Efeito da Ação Energética do Mar. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 13, n. 1, p. 27-43, 2013. Disponível em < http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-325_Pereira.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2018.

QUADROS, M. A. R. *et al.* Avaliação Multitemporal do Comportamento da Linha de Costa no Litoral entre Carapebus e Quissimã, RJ: aplicações com Geotecnologias e Radar de Penetração de Solo (GPR). *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 9., 2012, Rio de Janeiro. **Anais...** Geomorfologia Costeira, nº 351. Rio de Janeiro, 2012.

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. 207-226, 2015.

ROSSETTI, D. F. Ambientes costeiros. *In*: FLOREZANO, T. G. (Org). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 247-283.

SALES, G. M. **Ecologia da Paisagem da Ilha de Mosqueiro, NE do Estado do Pará**. 2005. Dissertação (Mestrado em Geogologia e Geoquímica) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

SANTOS, A. R. **Enchentes e Deslizamentos: causas e soluções**. São Paulo: Pini, 2012.

SANTOS, I. R. **Avaliação da vulnerabilidade e percepção de risco à erosão costeira na ilha de Mosqueiro – PA**. 2018. 72 f. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2018.

SANTOS, V. F. Dinâmica de formação de cristas praias na planície costeira da ilha de Algodal – Nordeste do Pará, Brasil. *In*: WORKSHOP ECOLAB, 5., Macapá. **Boletim de Resumos...** Macapá, 2000. p. 129-133.

SERAFIM, M. B. **Análise espacial da vulnerabilidade das praias do Estado de Santa Catarina a ondas por meio de um índice multicritério**. 2017. 101 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

SÉRGUIER, J. **Diccionario práctico ilustrado**. Porto: Chardron, 1935.

SHORT, A. D. **Beach and Shoreface Morphodynamics**. United States: John Wiley & Sons, 1999.

SHORT, A.D.; TREMBANIS, A. C. Decadal scale patterns in beach oscillation and rotation Narrabeen beach, Australia - times series, PCA and wavelet analysis. **Journal of Coastal Research**, v. 20, n. 2, p. 523-532, 2004. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/4299308>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

SILVA, B. N. R. **Levantamento de reconhecimento detalhado dos solos da Ilha de Mosqueiro (PA) com auxílio de fotointerpretação**. 1975. 159 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1975.

SILVA, F. G. **Dinâmica morfo-sedimentar ao longo do sistema praias da Ilha Comprida-SP**. 2014. 132 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

SILVA JUNIOR, A. G. **Estudo da vulnerabilidade e risco à erosão costeira na região do Estuário do Rio Pará**. 2019. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

SILVEIRA, Y. G.; BONETTI, J. Assessment of the physical vulnerability to erosion and flooding in a sheltered coastal sector: Florianópolis Bay, Brazil. **Journal of Coastal Conservation**, 2018.

SOUZA, C.R. G. A Erosão nas Praias do Estado São Paulo: Causas, Conseqüências, Indicadores de Monitoramento e Risco. *In*: BONONI, V. L. R.; SANTOSTOS JUNIOR, N. A. (Org.). **Memórias do Conselho Científico da Secretaria do Meio Ambiente: A Síntese de Um Ano de Conhecimento Acumulado**. São Paulo: Instituto de Botânica 2009. p. 48-69.

SOUZA FILHO, P. W. M. **Mangroves as geological indicator of coastal changes in Bragança, Pará, Northern Brazil**. Recife: Mangrove, 2000a.

_____. **Avaliação e aplicação de sensores remotos no estudo de ambientes costeiros tropicais úmidos, Bragança, norte do Brasil**. 2000. 236 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) –Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2000b.

SOUZA FILHO, P. W. M.; PARADELLA, W. R. Recognition of the main geobotanical features in the Bragança Mangrove Coast (Brazilian Amazon Region) from Landsat TM and RADARSAT-1 data. **Wetlands Ecology and Management**, v. 10, p. 123-132, 2002.

SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K. The coastal erosion risk zoning and the São Paulo State Plan for Coastal Management. **Journal of Coastal Research**, v. 35, p. 530-547, 2003. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/40928805>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

THIELER, E. R.; HAMMAR-KLOSE, E. S. **National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise**. Atlantic Coast: Geological Survey Open-File Report, 1999. p. 99-593.

TREBOSSON, H. *et al.* Monitoring coastal evolution and associated littoral hazards of French Guiana shoreline with radar images. C. R. **Geoscience**, v. 337, p. 1140-1153, 2005.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: SUPREN, 1977.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. **Frontline Observations on Climate Change and Sustainability of Large Marine Ecosystems**. New York: [s.n.], 2004.

UNITED NATIONS. **The First Global Integrated Marine Assessment**. New York: USGS, 2018. Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov/what-are-band-designations-landsat-satellites>>. Acesso em: 10 fev. 2018.

USGS - United States Geological Survey. Digital Shoreline Analysis System – **DSAS 4.4**: Installation, Instructions and User Guide, 2017. Disponível em: <https://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/DSAS/version4/data/DSASv4_4_manual.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2018.

VIANA, I. G. S. **Estrutura e Fisiologia da Paisagem da Praia do Areião, Ilha de Mosqueiro (Belém/PA)**. 2013. 72 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D.; GREEN, M. O. Short term changes in the morphodynamic states of beaches and surf zones: an empirical predictive model. **Marine geology**, v. 62, p. 339-344, 1985.

APÊNDICE A – REGISTROS DE IMAGENS DA ÁREA DE ESTUDO (2017 E 2019)



Imagens A, B e C - Erosão de falésia e residências com risco de desmoronamento – Segmento Paraíso (2017)



Imagens D, E e F - Muro de contenção para conter a erosão – Segmento Paraíso (2019)



Imagem G - Muro de contenção para conter a erosão – Segmento Marahú (2017)

Imagens H e I - Efeitos da erosão – Segmento Marahú (2017)



Imagens J e K - Muro de contenção contra erosão – Segmento Marahú (2019)

Imagem L - Erosão de parte do muro de contenção – Segmento Marahú (2019)



Imagens M e N - Reconstrução de muro de proteção - Segmento Murubira (2019)

Imagem O - Muro de proteção contra erosão - Segmento Murubira (2019)



Imagens P, Q e R - Efeitos da erosão de parte da orla - Segmento Murubira (2017)



Imagens S e T - Erosão de parte da orla - Segmento Bispo/Praia Grande (2017)

Imagem U - Proteção contra erosão - Segmento Bispo/Praia Grande (2019)



Imagens V e X- Proteção contra erosão - Bispo/Praia Grande (2019)

Imagem Z- Estrutura do Trapiche - Bispo/Praia Grande (2019)