

VULNERABILIDADE COSTEIRA A DERRAMES DE ÓLEO E À INUNDAÇÃO DE UMA ILHA FLUVIO-ESTUARINA AMAZÔNICA – ILHA DE MOSQUEIRO (BELÉM-PARÁ-BRASIL)

Yago Yguara Parente¹, Amílcar Carvalho Mendes², Artur Gustavo Oliveira de Miranda³, Karina da Silva Lopes⁴

RESUMO: O Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) consiste em um método que foi projetado para sinalizar segmentos costeiros de alta vulnerabilidade, no qual são combinados diversos fatores de risco individuais para compor um único índice. Desse modo, representa uma ferramenta para a geração de informações de grande significância para o planejamento e o gerenciamento costeiro integrado. O objetivo desse trabalho foi apresentar o diagnóstico da vulnerabilidade costeira aos incidentes que envolvam derrame de derivados de hidrocarbonetos e, também, o prognóstico da vulnerabilidade costeira à inundações da Ilha de Mosqueiro (Belém-Pará-Brasil), em escala de 1:25.000. Foram utilizados dois tipos de IVC: o primeiro, por ser amplamente difundido, foi denominado de IVC-Padrão, que levou em consideração as seguintes variáveis: geomorfologia, variação da linha de costa, declividade, cenários de elevação do nível médio do mar, altura significativa de ondas e amplitude de maré; o segundo, IVC ao Derrame de Derivados de Petróleo (IVC-DDP), é uma metodologia inédita que integra o Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL), a variação da linha de costa, a infraestrutura urbana e a vegetação. A partir da análise dos resultados foi constatado que o mapeamento do IVC-Padrão apresentou apenas duas classes de vulnerabilidade (baixa e média), sendo que, para a escala proposta, não houve variação significativa da linha de costa da área estudada. Por outro lado, o IVC-DDP permitiu a definição de quatro classes, onde as classes mais frágeis se concentraram no setor noroeste da Ilha, devido à mancha urbana encontrar-se nesta região. Assim, a Ilha de Mosqueiro apresenta pequeno grau de vulnerabilidade associado à inundações, entretanto alto grau, em relação ao derramamento de óleo.

Palavras-chaves: Gestão costeira, sensibilidade litorânea, mudanças climáticas, inundações.

ABSTRACT: The coastal vulnerability index (CVI) consists in a method that was projected to indicate high vulnerability coastal segments, which combines several factors of individual risks in only an index. Thus, it represents a tool for the creation of high significance information for the coastal planning and management. The aim of this study was to introduce the coastal vulnerability diagnosis to the incidents that involve oil spill and also the coastal vulnerability outlook to the flooding of Mosqueiro island (Belém-Pará-Brazil) in a scale of 1:25.000. Two kinds of CVI were used: the first, because it was widespread, was called of standard CVI, and took into consideration: geomorphology, shoreline changes, coastal slope, scenarios of relative sea level change, significant wave height and the tides range; the second, CVI Oil spill (CVI-OS), is an unpublished methodology that integrates the seashore sensibility index (SSI), shoreline change, urban infrastructure and vegetation. From the analysis of results, it was verified that the mapping of standard CVI presented just two vulnerability classes (low and medium). For the proposed scale, there wasn't significant shoreline change. On the other hand, the CVI-OS allowed the definition of four classes, where the weakest gathered on the northwest island place, due to the urban spot find itself on this region. So, the Mosqueiro island presents a small degree of vulnerability associated to the flooding, however a high degree, with respect to the oil spill.

Keywords: Coastal management, oil spill, climate changes, flooding.

@ Autor correspondente: yagoparente96@gmail.com

1 Universidade Federal do Pará.

2 Museu Paraense Emílio Goeldi. Email: amendes@museu-goeldi.br.

3 Universidade Federal do Pará. Email: arturgustavomiranda@gmail.com.

4 Universidade Federal do Pará. Email: Karinaslopes0@gmail.com.

1. INTRODUÇÃO

O aumento relativo do nível do mar representa ameaça significativa para os sistemas costeiros, assim como para os ambientes fluvio-estuarinos, planos e de baixa altitude em todo o mundo, levando à inundações e à erosão da zona costeira, à salinização das reservas de água doce, perdas de habitats (e.g. manguezais, marismas, etc.), de culturas agrícolas e danos a estruturas costeiras (Nicholls e Cazenave, 2010; Busman, 2016).

O Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) adverte que a superfície da Terra pode aquecer entre 2,6 e 4,8°C ao longo deste século, o que faria com que o nível dos oceanos se elevasse, em média, entre 52 e 82 cm. Estudos anteriores (Brasil, 2008; Oliveira e Rutkowski, 2008) mostraram que o nível médio dos oceanos já subiu, em média, 20 cm entre 1900 e 2012 (IPCC, 2014). Segundo os cenários tratados no IPCC, se a taxa de elevação dos oceanos exceder outros 60 cm, com a atuação das forçantes hidrodinâmicas, sobretudo os regimes de marés e do clima de ondas, o resultado será forte erosão nas áreas costeiras de todo o planeta (IPCC, 2014), notadamente aquelas submetidas aos efeitos de macromarés.

Tem sido cada vez mais premente o desenvolvimento de métodos e análises que busquem quantificar os diferentes graus de vulnerabilidade costeira às mudanças climáticas, sobretudo considerando as diferentes escalas de ocorrência dos fenômenos, que incluem agregações de dados que interagem de diferentes maneiras e em distintas situações (Mello *et al.*, 2010).

De acordo com a Política Nacional de Mudanças Climáticas do Brasil (Lei nº 12.187/2009), vulnerabilidade pode ser descrita como o grau de suscetibilidade e incapacidade de um sistema, em função de sua sensibilidade (capacidade de adaptação) e do caráter (magnitude e taxa de mudança e variação do clima a que está exposto) de lidar com os efeitos adversos da mudança do clima, entre os quais a variabilidade climática e os eventos extremos.

Segundo Santos *et al.* (2015), mapeamentos de vulnerabilidades à elevação do Nível Médio do Mar (NMM), em escala regional, foram realizados em várias regiões do planeta, como ferramenta de gestão costeira de áreas susceptíveis a desastres naturais. Citam-se, como exemplos, os trabalhos de Gornitz *et al.* (1994), Shaw *et al.* (1998), Thieler e Hammar-Klose (1999), Hammar-Klose *et al.* (2003), Boruff *et al.* (2005), Kumar *et al.* (2010), Pendleton *et al.* (2010), Boori e Amaro (2011) e Gorokhovich *et al.* (2014).

O mapeamento sistemático da linha de costa e das suas mudanças ao longo do tempo, representa uma ferramenta de elevada importância para a geração de dados para o planejamento e gerenciamento costeiro. Eles fornecem subsídios para o estabelecimento de faixas de recuos da zona litorânea, permitem a determinação de áreas de risco de erosão costeira e contribuem com informações para a implantação de obras de intervenção direta na linha de costa (Anders e Byrnes, 1991; Crowel *et al.*, 1991; Mazzer, 2007).

Segundo Oliveira *et al.* (2019) grande parte dos problemas relacionados à erosão costeira em áreas urbanizadas decorrem da falta de conhecimento das dinâmicas costeiras, o que resulta em um planejamento inadequado da ocupação, principalmente pela desconsideração das variações relativas do nível médio do mar.

As zonas costeiras possuem condições naturais que propiciam as mais diversificadas atividades, destacando-se o turismo (Cristiano *et al.*, 2018), notadamente nas regiões intertropicais, pois apresentam elementos como: praias, sol durante o ano todo e grandes faixas de areia. Tais características fisiográficas levam a um desenvolvimento da infraestrutura local focado no potencial turístico, com o surgimento de diversos hotéis, restaurantes, companhias de turismo, entre outros. Segundo Silva e Soriano-Sierra (2013), o mercado turístico tem sido estudado para organizar as áreas costeiras deste tipo de destino, tendo como objetivo: princípios da sustentabilidade e promoção do turismo de qualidade. No entanto, a falta de planejamento do uso e ocupação das regiões costeiras prejudica demasiadamente seu potencial turístico.

Em virtude dos cenários previsionais de aumento relativo do NMM, a avaliação da vulnerabilidade a esse processo é ferramenta fundamental para identificar áreas mais susceptíveis a desastres naturais e antecipar impactos geoambientais e socioeconômicos em áreas litorâneas, onde estão instaladas importantes cidades e, conseqüentemente, atividades antrópicas. Apesar disso, a maioria dos municípios costeiros ainda não possui ferramentas de gestão de desastres naturais, sobretudo da erosão costeira e dos prejuízos socioeconômicos e ambientais decorrentes. Nesse sentido, a elaboração do mapa de vulnerabilidade costeira tem grande aplicabilidade, por identificar áreas prioritárias para intervenções de prevenção e/ou mitigação de impactos provocados por desastres naturais (Santos *et al.*, 2015).

As zonas costeiras também são altamente vulneráveis a perigos antrópicos, destacando-se o derrame de óleo (Santos

e Andrade, 2009), que pode causar prejuízos ao ambiente e a sociedade afetada (Kankara *et al.*, 2016). O derrame de derivados de petróleo é um assunto que tem gerado grande preocupação no gerenciamento costeiro, pois são eventos que causam severos danos a essas zonas (Frazão Santos *et al.*, 2013), dado o tempo de permanência nos ecossistemas costeiros e a dificuldade de remoção desses poluentes. Há uma gama de fatores que determinam a magnitude e significância dos impactos, sendo os principais: o tipo de ambiente costeiro, os recursos biológicos presentes, o grau de ocupação e a dependência econômica.

Ferramentas que integram essas informações são essenciais para a prevenção, avaliação, e gerenciamento desse risco. Nesse contexto, surgem os mapas de sensibilidade ambiental ao derrame de óleo (Cartas SAO), que tem como objetivo subsidiar as ações das equipes de resposta para reduzir os impactos ambientais durante o incidente, além de poderem ser usados por gestores na identificação de áreas vulneráveis, no estabelecimento de medidas prioritárias de proteção e na identificação de estratégias de resposta (Petersen *et al.*, 2019).

Os mapas de sensibilidade ambiental são compostos por três tipos de informações básicas (Santos e Andrade, 2009; Petersen *et al.*, 2019): classificação da linha de costa, recursos biológicos e atividades socioeconômicas desenvolvidas. O mapeamento da sensibilidade costeira é de fundamental importância, por ser utilizado como um instrumento de suporte no desenvolvimento de medidas de mitigação e reposta ao derrame de óleo (Andrade *et al.*, 2018).

Segundo Nicolodi e Petermann (2010), a linha de costa paraense se caracteriza por sua forma irregular e aspecto de litoral afogado pela transgressão marinha, caracterizado pela sucessão de estuários e acréscimos sedimentares, razão pela qual é formado por diversas “reentrâncias”, muitas das quais resultam da progradação de depósitos lamosos que, desse modo, formam feições alongadas de orientações quase perpendicular à costa. Para Muehe e Nicolodi (2008) essa região, corresponde a um segmento altamente energético, com grande mobilidade sedimentar, fortemente influenciado pela intensa descarga hídrica e sedimentar do rio Amazonas e pelos fatores hidrodinâmicos do setor oceânico, ressaltando a ação das macro e mesomarés semidiurnas.

Desse modo, a linha de costa paraense é um setor com características fisiográficas peculiares, como macro e mesomarés semidiurnas, morfologia recortada por uma série de baías e estuários e proeminência de ecossistemas importantes

do ponto de vista ecológico e socioeconômico, como praias, restingas e manguezais.

As características fisiográficas e hidrodinâmicas da linha de costa proporcionaram excelentes condições para o estabelecimento de instalações portuárias, como os portos organizados de Belém e Vila do Conde, o Terminal Portuário de Outeiro e o Terminal Petroquímico de Miramar, os quais respondem por intensa movimentação de cargas inflamáveis - líquidas e gasosas - em grande parte consumida em Belém, mas que também são transportadas para parte do interior do Estado, através de cursos fluviais.

No contexto supracitado, destaca-se a Ilha de Mosqueiro (Belém-PA), que conta com um contingente populacional de aproximadamente 30 mil habitantes (IBGE, 2010) e sua ocupação litorânea é baseada predominantemente por residências e comércios ligados ao turismo. Segundo Nóbrega (2010), a ilha apresenta grande potencial turístico, sendo visitada por cerca de 300 mil pessoas no período das férias escolares de julho.

Contudo, vários trechos ao longo de sua orla estão submetidos à forte ação erosiva, que está prejudicando o turismo e a infraestrutura urbana, com prejuízos socioeconômicos. Além disso, a Ilha de Mosqueiro está potencialmente vulnerável a ameaças de poluição/contaminação por derivados de petróleo, pois está situada em uma área de influência direta do complexo portuário de Belém, o que remete a constante tráfego e fundeio de embarcações, dos mais variados portes, sobretudo adjacente ao litoral noroeste da Ilha.

Diante do exposto, este trabalho objetivou contribuir para a definição e mapeamento da vulnerabilidade costeira da Ilha de Mosqueiro e, também, subsidiar a gestão costeira integrada, realizando o diagnóstico da vulnerabilidade aos incidentes que envolvam derrame de óleo e, também, o prognóstico da vulnerabilidade à inundação.

2. ÁREA DE ESTUDO

A Ilha de Mosqueiro é um distrito administrativo do Município de Belém (Distrito Administrativo de Mosqueiro - DAMOS). Está situada ao norte da cidade de Belém, entre as coordenadas 01°03'S e 01°14'S e 48°29'W e 48°18'W (Figura 1), mais precisamente na margem oriental do rio Pará, margeada pelo estuário homônimo. O acesso à ilha se dá, a partir de Belém, por via fluvial pela Baía de Guajará ou via rodoviária, através da BR-316 e, em seguida pela rodovia PA-391.

Ocupa uma área aproximada de 208 km², sendo a maior das 39 ilhas que compõem o município de Belém. Segundo o Censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2010, a população residente na ilha está concentrada na porção NW da mesma e concentra aproximadamente 30 mil habitantes distribuídos em 20 bairros.

2.1 Características ambientais

De acordo com Behling e Costa (2004), a Ilha é constituída principalmente por sedimentos da Formação Barreiras, que estão expostos nas falésias e ao longo das margens. A seqüência da seção ascendente de sedimentos compreende em argilitos, siltitos, arenitos e conglomerados. Com grande parte da seqüência sofrendo laterização, formando um perfil laterítico imaturo. No topo do perfil, se desenvolve uma ampla cobertura de latossolo

amarelo, que constitui o principal material do afloramento.

Desta forma, a Ilha é formada sobre sedimentos continentais, principalmente fluviais, provavelmente depositados durante o final do Mioceno ou até mesmo durante o Plioceno em condições úmidas. Durante o Pleistoceno, sofreram intemperismo tropical, que levou à formação de perfis lateríticos imaturos e, posteriormente, latossolos e podzóis arenosos, produtos do clima tropical quente e úmido (Behling e Costa, 2004).

De acordo com os dados de Meteoblue (2017), as ondas são de baixa intensidade e altura, visto que a altura máxima identificada foi de 0,55 m, com média em torno de 0,4 m. Apesar de toda ilha apresentar pequena altura de ondas, ressalva-se que no setor SW a frequência e altura de ondas é insignificante, devido ser uma região abrigada da ação de ventos.

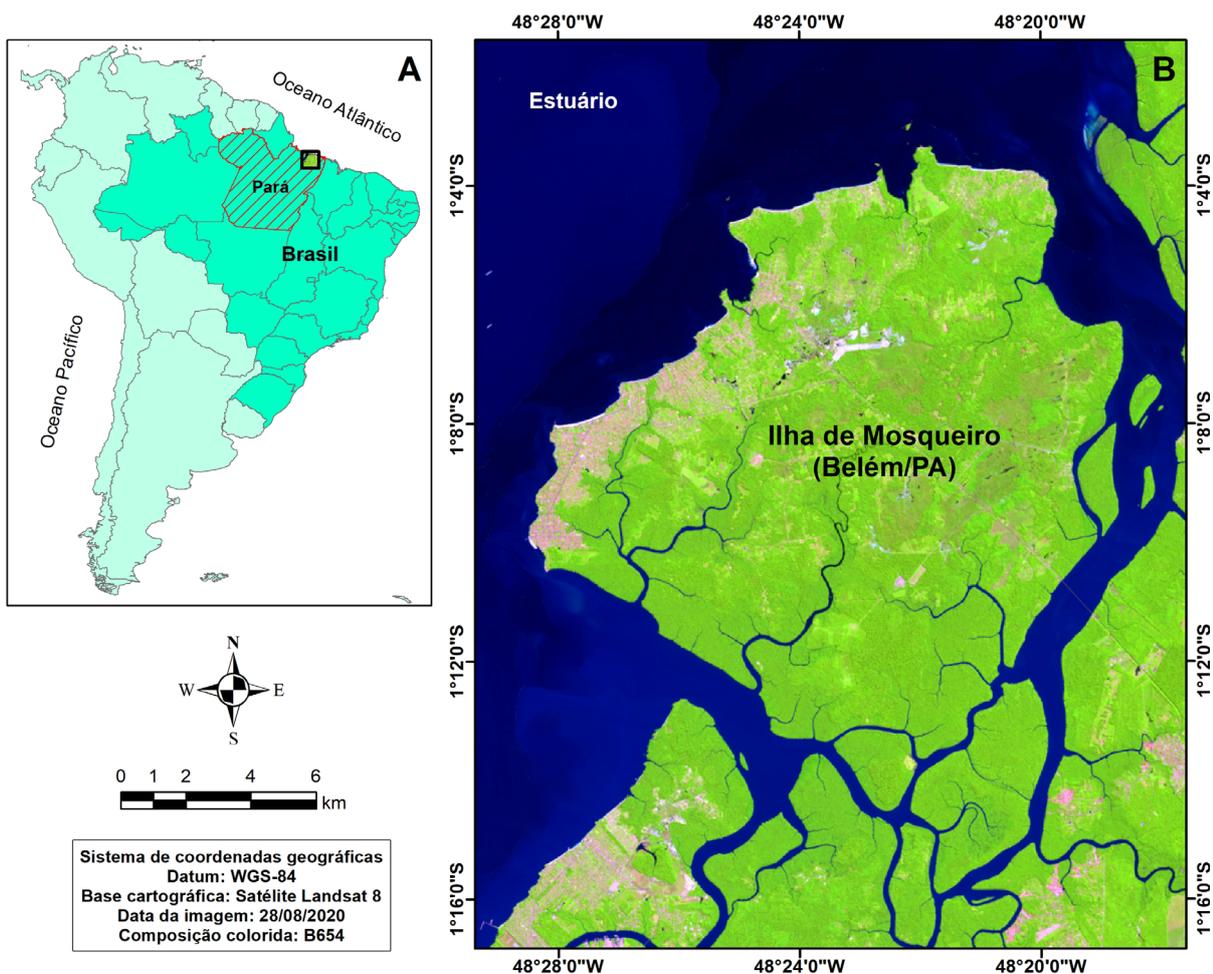


Figura 1: A) Localização da área de estudo. B) Imagem detalhando a fisiografia da Ilha de Mosqueiro.

3. METODOLOGIA

3.1 Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC)

O IVC foi projetado para sinalizar segmentos costeiros de alta vulnerabilidade, no qual foram combinados diversos fatores de riscos individuais em um único índice. Desse modo, permitiu identificar as áreas potencialmente afetadas por danos relativos a mudanças climáticas, principalmente pelo aumento do nível de inundação costeira. Assim, foram utilizados dois tipos de IVC:

- i. IVC Padrão, o qual leva em consideração seis variáveis (Tabela 1);
- ii. IVC-DDP, que acrescenta ao IVC variáveis pertinentes à sensibilidade ao derramamento de derivados de hidrocarbonetos. Leva em consideração quatro variáveis (Tabela 1): As variáveis de altura significativa de ondas, amplitude de maré, declividade e geomorfologia foram excluídas do IVC-DDP, por estarem inseridas no Índice de

Sensibilidade do Litoral (ISL) e devido ao IVC-DDP realizar uma análise atual, os cenários de aumento relativo do NMM também foram retirados.

O cálculo do IVC-Padrão consiste na normalização e posterior utilização média aritmética simples. Enquanto que para o IVC-DDP, por ser uma metodologia inédita, foi integrada uma Análise Hierárquica Pareada (AHP) descrita por Saaty (1980), de modo a atribuir diferentes pesos às suas variáveis. As fórmulas usadas para calcular os dois índices estão evidenciadas na Tabela 2.

A Tabela 3 apresenta a síntese das variáveis propostas, bem como os autores utilizados para realizar o repartimento dos valores de cada variável, distribuindo-os nos intervalos de cinco classes de vulnerabilidade consideradas (muito baixa, baixa, média, alta e muito alta), como proposto por Gornitz (1991).

Os procedimentos metodológicos adotados para a determinação de cada variável estão descritos a seguir.

Tabela 1. Variáveis físicas, hidrodinâmicas e antrópicas componentes dos Índices de Vulnerabilidade Costeira.

Número	Variáveis	IVC-Padrão	IVC-DDP
1	Altura significativa de ondas	X	
2	Amplitude de maré	X	
3	Cenários de aumento relativo do Nível Médio do Mar	X	
4	Declividade	X	
5	Geomorfologia	X	
6	Índice de Sensibilidade do Litoral		X
7	Urbanização		X
8	Varição da Linha de Costa	X	X
9	Vegetação		X

Tabela 2. Fórmulas aplicadas aos índices de vulnerabilidade costeira.

Índice	Fórmula
IVC-Padrão (Índice de Vulnerabilidade Costeira Padrão)	$\frac{a + b + c + d + e + f}{6}$
IVC-DDP (Índice de Vulnerabilidade Costeira ao Derrame de Derivados de Petróleo)	$f*(\text{peso}) + g*(\text{peso}) + i*(\text{peso}) + j*(\text{peso})$

a: Altura significativa de ondas, b: Amplitude de maré, c: Cenários de aumento relativo do nível médio do mar, d: Declividade, e: Geomorfologia, f: Variação da linha de costa, g: Urbanização, i: Vegetação, j: Índice de sensibilidade do litoral

Tabela 3. Classes de vulnerabilidade do IVC.

RANKING DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE COSTEIRA							
VULNERABILIDADE			MUITO BAIXA	BAIXA	MÉDIA	ALTA	MUITO ALTA
Valores			1	2	3	4	5
Variáveis	Referências de intervalos de análise	Unidade	Intervalo				
Altura significativa de ondas	Thieler e Hammar-Kloser (1999)	m	0 - 0,55	0.55 - 0.85	0.85 - 1.05	1.05 - 1.25	> 1.25
Amplitude de maré	Gornitz (1991)	m	< 0.99	1.0 - 1.9	2.0 - 4.0	4.1 - 6	> 6.1
Cenários de aumento relativo do NMM	IPCC (2014)	-	-	-	RPC 2.6	RPC 4.5	RPC 8.5
Declividade da costa	EMBRAPA (2003)	%	> 45	45 - 20	20 - 08	08 - 03	03 - 00
Geomorfologia	Sales (2005)	-	Tabuleiros Pleistocênicos	-	Praias	-	Planícies Inundáveis
ISL	MMA (2004)	-	1 - 2	3 - 4	5 - 6	7 - 8	9 - 10
Urbanização	Busman (2016)	-	Ausente	-	-	-	Presente
Variação da linha de costa	-	m	-	-	0	-	-
			Acresção		Estável	Erosão	
Vegetação	Busman (2016)	-	Solos expostos	-	-	-	Mangue e Floresta de Várzea

3.1.1 Altura significativa de onda

As informações sobre esta variável foram obtidas através de Meteoblue (2017), que realiza uma análise de dados de modelagem computacional, cuja metodologia se baseia na Nonhydrostatic Meso-Scale Modelling.

3.1.2 Amplitude de maré

Estas informações foram disponibilizadas e coletadas através da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN, 2019), que realiza previsões sobre a altura de maré na área de influência da Ilha de Mosqueiro. Após a aquisição foi efetuado o processamento e análise estatística dos dados referentes ao período 2005- 2016, para a obtenção da média, moda, valor máximo e mínimo das marés de sizígia (maiores amplitudes).

3.1.3 Cenários de aumento relativo do nível médio do mar

Foram usados os dados do IPCC (2014), com cenários organizados conforme os Representative Concentration Pathways (RCP), que indicam a forçante radiativa possível de acontecer até o ano de 2100. Estes cenários foram divididos em: I) 2.6W/m² - prever aumento do NMM nível entre 26 e 55 centímetros; II) 4.5W/m² - prever aumento do NMM nível entre 32 e 62 centímetros; III) 6.0W/m² - prever aumento do NMM nível entre 33 e 63 centímetros; IV) 8.5W/m² - prever aumento do NMM nível entre 45 e 82 centímetros.

Para calcular o IVC, foram utilizados três cenários de aumento relativo do NMM (RCP 2.6; RCP 4.5 e RCP 8.5), excluindo-se o RCP 6,0, pois apresenta projeção muito semelhante ao RCP 4.5. Cada RCP foi trabalhado separadamente, para que fosse expressa a vulnerabilidade da ilha à cada cenário, de modo que receberam as seguintes classificações de vulnerabilidade: média (RCP 2.6), alta (RCP 4.5) e muito alta (RCP 8.5).

3.1.4 Declividade da costa

A declividade foi analisada em uma faixa de 30 m a partir da linha de costa. O levantamento da declividade foi gerado a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE), elaborado com o uso de dados da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), adquirido no projeto TOPODATA (INPE, 2020). Todos esses dados foram processados em ambiente SIG. Os intervalos das classes de declividade foram baseados em EMBRAPA (2003).

3.1.5 Geomorfologia

As classes de Geomorfologia foram baseadas em Sales (2005), que retratou a geomorfologia de toda a Ilha de Mosqueiro. Este autor dividiu a ilha em três unidades geomorfológicas: tabuleiros pleistocênicos, praias e planícies inundáveis. Deste modo, cada unidade geomorfológica recebeu um valor distinto de vulnerabilidade, considerando seu período de inundação. Os tabuleiros pleistocênicos receberam a menor vulnerabilidade,

pois não há influência da maré nessa região; enquanto que as planícies inundáveis receberam o maior nível de vulnerabilidade, devido a ficarem submersas a cada ciclo de maré. As praias obtiveram um nível intermediário de vulnerabilidade (médio).

3.1.6 Índice de sensibilidade do litoral (ISL)

O ISL é utilizado para determinar o grau de impacto e permanência do óleo derramado, assim como, em muitos casos, para os tipos de procedimento de limpeza passíveis de serem empregados (MMA, 2004). Através de informações adquiridas de Parente *et al.* (2016), os dados de sensibilidade do litoral de Mosqueiro foram analisados.

Com o intuito de usar o ISL no cálculo do IVC-DDP, foi realizada uma simplificação de suas classes com finalidade exclusiva de ajuste para utilização neste modelo. Desse modo, suas dez classes de sensibilidade foram convertidas em cinco, de modo que o ISL 1 e 2 foram transformados na primeira classe (vulnerabilidade muito baixa), o ISL 3 e 4, na segunda classe de vulnerabilidade (vulnerabilidade baixa), o que ocorreu sucessivamente até o número de classes fosse reduzido de dez para cinco.

3.1.7 Urbanização

A técnica descrita por Busman (2016) foi usada nesse estudo, que classifica a urbanização em duas medidas: i) grau de maior vulnerabilidade, quando há presença de uso e ocupação; ii) grau de menor, quando não existe infraestrutura urbana. A classificação da área de estudo foi realizada através da fotointerpretação de imagens de sensores ópticos adquiridas no software Google Earth Pro.

3.1.8 Variação da linha de costa (VLC)

O procedimento utilizado nessa etapa foi dividido em seis estágios distintos, apresentados na figura 02, conforme proposto por Araújo *et al.* (2009).



Figura 2. Etapas da metodologia empregada para análise da VLC.

Imagens de satélite adquiridas no software Google Earth Pro foram analisadas com o intuito de realizar a digitalização da linha de costa para os anos de 2003, 2006, 2010, 2012, 2013 e 2015. Devido à indisponibilidade de imagens que cobrissem

toda ilha, optou-se por dividi-la em setores (Figura 3) para que fossem analisados de forma independente, de modo a não comprometer o resultado.

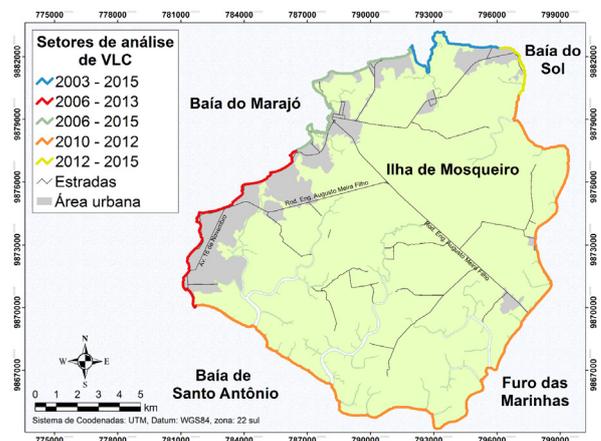


Figura 3. Representação dos períodos e setores analisados a partir da Variação da Linha de Costa (VLC).

A linha de costa foi vetorizada em ambiente de Sistema de Informação Geográfica. A definição da linha de costa seguiu o método de Mazzer e Dillenburg (2009), no qual é adotado o critério da linha de preamar média, que é determinada pela linha de substratos secos/substratos molhados, que segundo Leatherman (2003) representa melhor as posições de máximas variações durante o dia da obtenção da aerofoto, minimizando erros de variações diurnas.

3.1.9 Vegetação

A elaboração do mapa de vegetação ocorreu por meio da classificação de imagens adquiridas do software Google Earth Pro. Optou-se por utilizar os graus de vulnerabilidade propostos por Busman (2016), que divide os ambientes em dois grupos: i) maior vulnerabilidade (áreas que havia presença de vegetação nativa); ii) menor vulnerabilidade (áreas com supressão vegetal, onde prevaleciam solos expostos).

3.2 Tratamento em ambiente de sistema de informações geográficas

Os dados e informações adquiridas foram tratados em ambiente SIG (ArcGIS® 10.1), onde foram modelados e organizados. As variáveis físicas, hidrodinâmicas e antrópicas foram mapeadas para a faixa costeira por meio de *smartline*, como realizado por Busman (2016).

Após a elaboração em *smartline*, os mapas foram combinados por meio de álgebra de mapas, para elaboração dos mapas

de diagnóstico da vulnerabilidade costeira e, posteriormente, a combinação com os cenários de RCP, para elaboração dos mapas de prognóstico da vulnerabilidade costeira.

3.3 Ponderação das variáveis

Essa etapa foi aplicada somente ao processo do IVC-DDP. Para a determinação dos pesos de cada variável foi utilizado o método de AHP, onde cada fator é comparado aos demais por meio de uma matriz, levando-se em conta a importância relativa para a vulnerabilidade costeira. Foi utilizada a escala fundamental de Saaty (1980) que estabelece as relações qualitativas

A comparação entre as variáveis de mesma importância adquire valores iguais, variáveis de importância menor em relação a outro adquirem valores menores que um e variáveis de maior importância em relação ao seu par obtêm valores maiores que um.

O cálculo dos pesos de prioridade relativa resultantes da matriz indica a importância dos fatores em relação aos demais (Tabela 04). Baseados no resultado da Razão de Consistência (RC), pode-se considerar essa AHP válida, pois atende o requisito de Saaty de que uma consistência aceitável deve ser menor ou igual a 0.1.

A análise hierárquica é um processo subjetivo, por levar em consideração a experiência e o conhecimento do operador. Porém, segundo Pereira (2005), a consulta de especialistas sobre o tema abordado é responsável por diminuir a subjetividade e aumentar o aporte científico da tomada de decisão. Nesse contexto, foi realizada consulta com diversos pesquisadores do Museu Paraense Emílio Goeldi, onde cada pesquisador recebeu uma planilha para serem elencadas as variáveis mais críticas, justificando sua escolha. De posse destes dados, foi realizada a AHP com o mínimo de tendência nos valores.

Tabela 4. Resultados da ponderação realizada.

Variáveis	Prioridade relativa
ISL	0.15008
Urbanização	0.43508
VLC	0.30921
Vegetação	0.10563
Razão de Consistência	0.04527

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Amplitude de maré

Através da análise estatística sobre os dados de maré, foi possível observar que a Ilha de Mosqueiro é influenciada pelo regime de mesomares semidiurnas. As maiores amplitudes de marés ocorreram em períodos de lua cheia e nova (marés de sizígia), que oscilaram em torno de 3.80 m. A média envolvendo as amplitudes de cada dia, incluindo as marés de quadratura e de sizígia, ficou em torno de 2.66 m. O valor de amplitude mais recorrente foi de 2.9 m.

Quanto a análise da vulnerabilidade, pode-se notar que cerca de 90% de todas as amplitudes de maré foram enquadradas na classe de média vulnerabilidade (figura 04). Uma vez que a ilha apresentou dominância de amplitudes de maré que variaram de 2 a 4 m (mesomaré), optou-se por desconsiderar os valores abaixo de 2 m. Tendo em vista o pior cenário classificado, todo o perímetro estudado recebeu classificação de média vulnerabilidade.

Segundo Tano *et al.* (2016) a alta exposição da região costeira à influência do regime de maré pode agravar a erosão e a inundação costeira, levando a ocorrência de sérios danos à infraestrutura local.

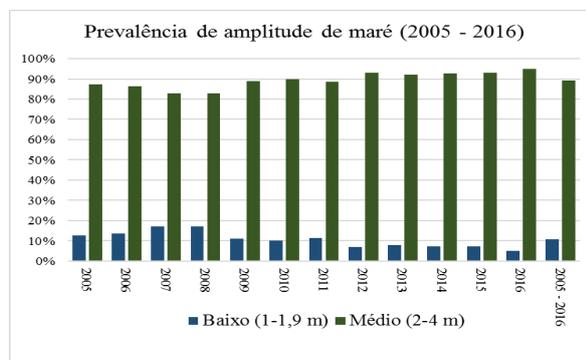


Figura 4. Prevalência de amplitudes de maré, entre os anos de 2005 e 2016 (DHN,2019).

4.2 Declividade da costa

A maior parte da Ilha de Mosqueiro (52%) apresentou declividade variando de 3 a 8% (suave-ondulado), enquanto que apenas 0.58% foi registrado como “forte-ondulado”. As classes “montanhoso” e “escarpado” (declividades acima de 45%) não foram registradas na ilha. Regiões de maior declividade (ondulado e forte-ondulado) foram concentradas

no setor central a ilha, associadas às regiões de maior altitude. Declividades de 0 a 8% somaram cerca de 82% (163.21 km²) da extensão total, e foram distribuídas por toda ilha. A Figura 5 apresenta o mapa de declividade da ilha de Mosqueiro com base nas classes de declividade de EMBRAPA (2003).

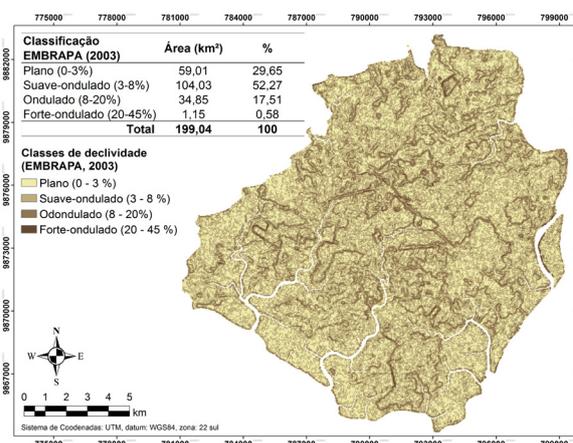


Figura 5. Mapa de declividade da Ilha de Mosqueiro, elaborado a partir de dados extraídos do SRTM e classificados de acordo com Embrapa (2003).

A declividade do litoral apresentou apenas duas classes: suave-ondulado e ondulado, que perfizeram, respectivamente, 44 e 54% do perímetro total mapeado, enquanto que apenas 2% do litoral foi registrado como relevo plano (0 - 3%). A Figura 6 evidencia a distribuição da declividade do litoral oeste da ilha.

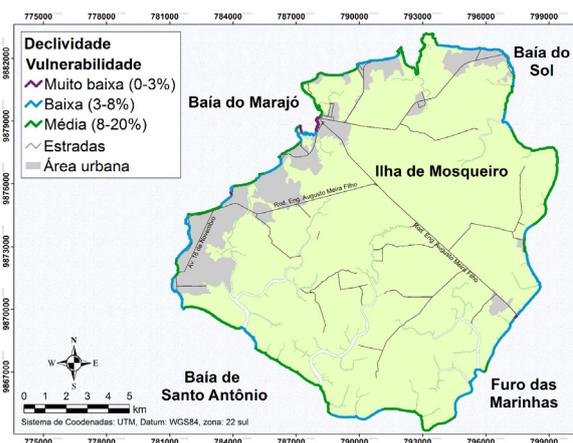


Figura 6. Classificação da vulnerabilidade quanto a declividade costeira, de acordo com dados extraídos do SRTM.

4.3 Geomorfologia

Cerca de 20% (16 km) da linha de costa foi caracterizada como tabuleiros pleistocênicos, 60% como planícies inundáveis e cerca

de 20% como praias. Devido aos tabuleiros não sofrerem a ação das marés, por estarem localizados em uma zona de altitude elevada (>10 m), receberam o grau de menor vulnerabilidade (muito baixa). As planícies de inundação são ambientes que periodicamente inundam com o ciclo de maré e, desse modo, são submetidas diariamente a períodos de inundação, sendo enquadradas no grau de maior vulnerabilidade (muita alta). As praias receberam o grau de vulnerabilidade intermediário (médio).

Os tabuleiros e as planícies estão distribuídos por todo o perímetro estudado (Figura 7), sendo que estas últimas foram associadas com a floresta de várzea e o manguezal, ambientes adaptados ao regime de inundação por maré, e caso sejam permanentemente inundados ou ocorra um derrame de óleo, sofrerão danos irreparáveis tanto à flora como a fauna abrigada. As praias foram registradas apenas no setor NW da ilha, sendo associadas com a mancha urbana da ilha.

Vale ressaltar que ambientes que apresentam uma larga zona de intermaré estão associados com altas amplitudes de maré (McLaughlin e Cooper, 2011) e são responsáveis por terem uma tendência a sofrer os maiores danos gerados por um incidente.

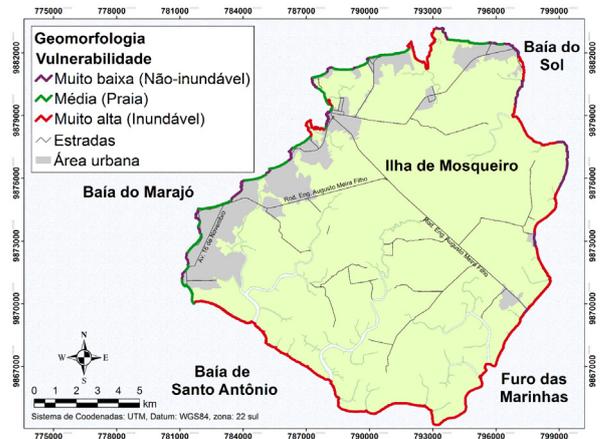


Figura 7. Mapa de classificação da vulnerabilidade da geomorfologia costeira, baseado em Sales (2005) e em informações adquiridas em campo.

4.4 Índice de sensibilidade do litoral

A maior parte do perímetro estudado, cerca de 60% (48 km), recebeu a classe de maior vulnerabilidade e foi concentrado no setor abrigado da ilha (SE). Isso ocorre pelo fato de que essa região não é habitada e, desse modo, preservando a mata virgem da região, planície inundável contendo floresta de várzea. No setor NW, a classe que se mostrou com maior prevalência foi o de baixa vulnerabilidade, pois as praias, que perfazem

um total de 20,6 km, estão contidas nesse grupo. A classe de menor vulnerabilidade, representada em grande parte pelas estruturas artificiais, se concentrou, principalmente, no setor NW, totalizando cerca de 10% do perímetro total (Figura 8).

Segundo MMA (2004), nos ambientes de muito baixa vulnerabilidade não há a penetração do óleo e sua remoção tende a ser rápida; para os de baixa vulnerabilidade (formado pelas praias) o óleo pode penetrar até 25 cm no substrato e sua remoção se torna mais difícil; no caso nos ambientes de média vulnerabilidade o óleo pode percolar até 1 m e sua limpeza é dificultada pela baixa trafegabilidade; já nos ambientes classificados como muito alta vulnerabilidade ocorre uma alta intoxicação da biota presente e a limpeza se torna impraticável pelo substrato lamoso presente.

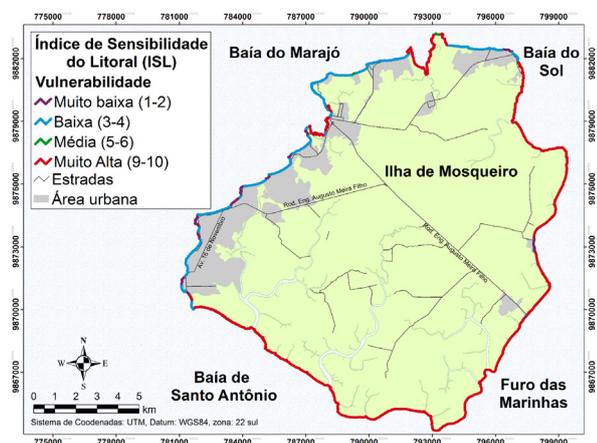


Figura 8. Mapa do ISL adaptado para o cálculo do IVC-DDP, elaborado de acordo com informações adquiridas em Parente *et al.* (2016).

4.5 Urbanização

Concentrada na face NW da ilha, a qual apresentou algum tipo de atividade antrópica associada, em sua maioria, à economia da ilha, como o turismo e a pesca. Essas atividades perfizeram aproximadamente 35% (27 km) da linha de costa. O restante do perímetro, cerca de 65%, não apresentou qualquer tipo de processo de urbanização, estando relativamente livre da ação antrópica.

Como visto na Figura 9, as regiões que apresentaram algum tipo de infraestrutura estão associadas à mancha urbana da ilha, de modo que no litoral da região NW ocorreu, praticamente, o seu predomínio. Em regiões onde não houve o avanço da mancha urbana ou esse aumento foi bastante reduzido, o litoral permaneceu com a vegetação, sem nenhum tipo de atividade antrópica.

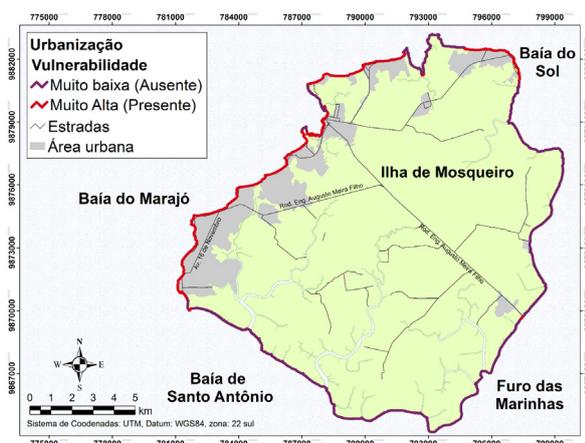


Figura 9. Mapa de classificação da vulnerabilidade da urbanização, elaborado por meio de técnicas de fotointerpretação e de etapas de campo.

4.6 Variação da linha de costa

Constatou-se, que para a escala proposta (1:25.000), não houve variação significativa da linha de costa, ou seja, nos setores estudados, não ocorreu acreção e nem erosão na faixa costeira. Diante disso, a VLC recebeu valor intermediário de vulnerabilidade.

Contudo, em uma escala maior (1:1000), alguns trechos da ilha apresentaram um intenso processo erosivo, como é o caso da orla do Paraíso (Figura 10), que em análises de imagens de 2006 e 2015, ambas no período seco, foi possível registrar processo de retrogradação de aproximadamente 18 m, o que fez com que parte da pista que dá acesso à praia desmoronasse. Assim, como é o caso da orla do Paraíso, diversos outros setores da ilha sofrem esse mesmo processo erosivo, entretanto essa variação é imperceptível na escala de estudo.

Diversos autores (Júnior e França, 2016; Neves e França, 2016; Viana, 2013) atestam que a Ilha de Mosqueiro está sofrendo processo de erosão, sobretudo em sua porção noroeste (zona de maior influência dos processos dinâmicos). Estudos de França (citados acima) mostram que as orlas do Marahú, São Francisco e Orla Grande, apresentam vários indicadores de processos erosivos.

Alguns estudos (El-Robrini, 2001; El-Robrini *et al.*, 2006) atestam que os processos erosivos e de acreção são cíclicos, de modo que no período seco (setembro), as praias da ilha sofrem engordamento, enquanto que na estação chuvosa (março-abril) sofrem retrogradação. Segundo El-Robrini (2001), na praia do Paraíso, o pós-praia passou de 18.5 m no período seco para 6.1 m no período chuvoso.

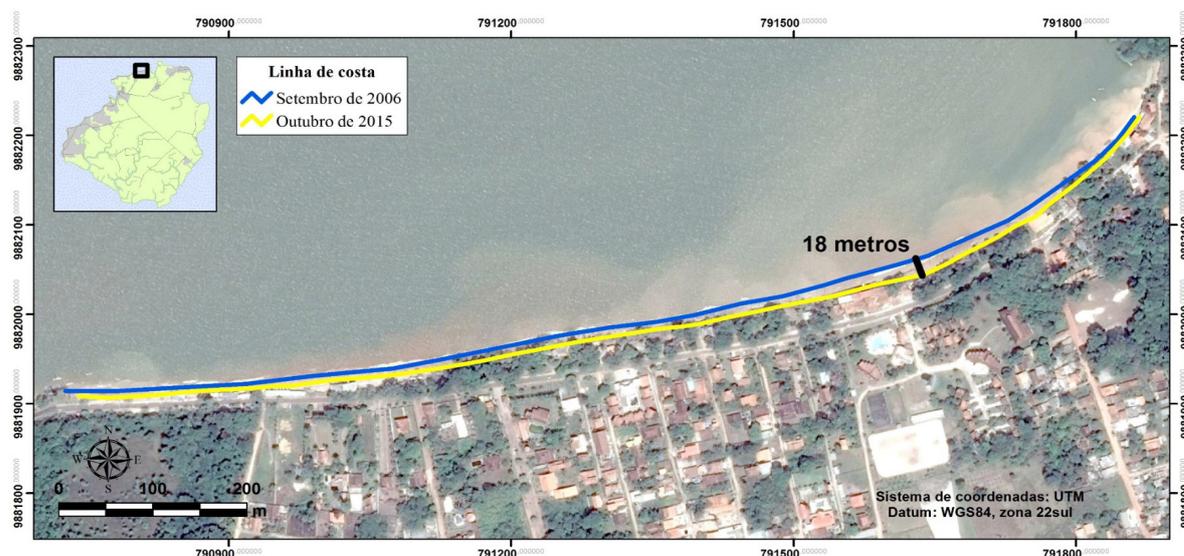


Figura 10. Linha de costa da orla do Paraíso em dois períodos distintos (2006 e 2015). Fonte de Dados: Imagem adquirida no software Google Earth Pro.

4.7 Vegetação

A porção estudada é composta por aproximadamente 35% (27 km) de solos expostos, que, na verdade, são representados pelas praias, muros de contenção (muros de arrimo) e setores que sofreram o processo de desmatamento advindo da expansão urbana. Cerca de 65% do perímetro permaneceu com vegetação, representada pela floresta de várzea.

As porções de vegetação foram encontradas em todo o setor abrigado e em apenas três localidades da região oeste da ilha, todas em pequenas reentrâncias de rios, onde não ocorreu o processo tão marcante da expansão urbana. As regiões de menor vulnerabilidade, quanto à vegetação, estão associadas às praias e ao seu entorno, visto que são consideradas áreas de lazer e recreação, o que levou a um processo de urbanização mais acentuado e, por consequência, um maior desmatamento. A Figura 11 mostra a distribuição dessa vulnerabilidade.

4.8 Índice de vulnerabilidade costeira ao derrame de derivados de petróleo (IVC-DDP)

O IVC-DDP (figura 12) apresentou cerca de 60% (46 km) de linha de costa, sendo classificado como baixa vulnerabilidade, concentrado nos setores SW e SE da ilha. O setor NW apresentou, aproximadamente, 30% de perímetro identificado com vulnerabilidade média. As classes muito baixa e alta vulnerabilidade foram pontuais, perfazendo 5% cada uma, de modo que apareceram apenas em quatro regiões do setor NW da ilha.

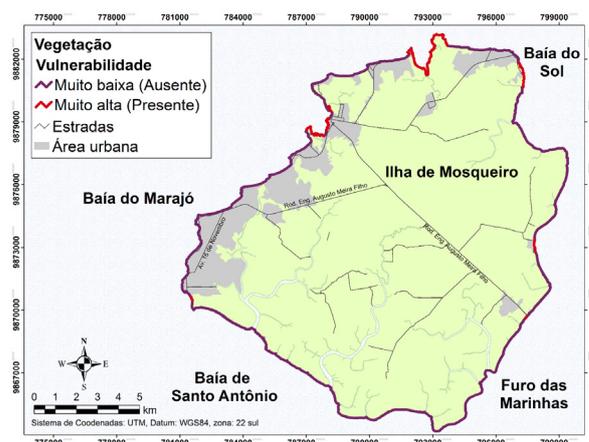


Figura 11. Mapa de classificação da vulnerabilidade da vegetação costeira, elaborado por meio de técnicas de fotointerpretação e de etapas de campo.

As regiões classificadas com baixa vulnerabilidade não apresentam qualquer processo de urbanização, contando apenas com a vegetação nativa da ilha que apesar de possuir elevada importância ecológica, que para a definição desse índice tem abrangência menor em relação às atividades antrópicas.

Os setores que concentraram a mancha urbana receberam o grau médio de vulnerabilidade, apesar deste possuir o maior peso na ponderação (43%). As demais variáveis pertinentes ao cálculo (ISL, VLC e vegetação) apresentaram baixos valores.

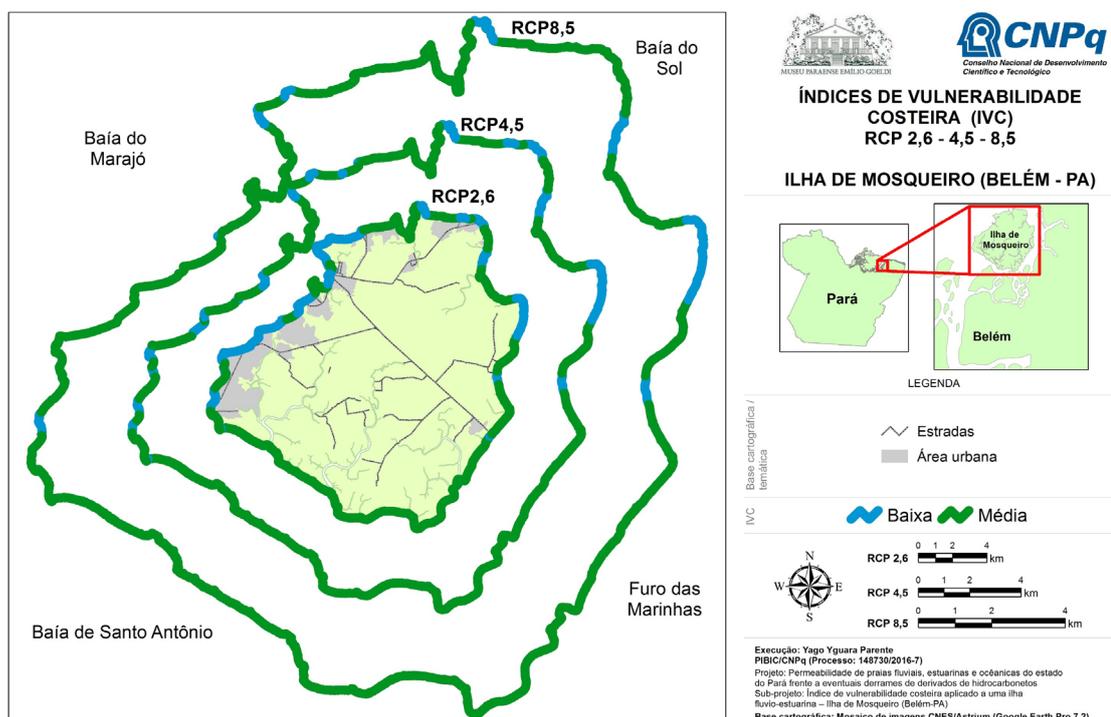


Figura 13: Mapa de IVC-Padrão da ilha de Mosqueiro, com os três cenários de Alto Relativo do Nível Médio do Mar (RCP 2,6; 4,5; 8,5)

5. CONCLUSÕES

Baseado no uso do IVC, foi possível realizar a delimitação dos setores costeiros da ilha de Mosqueiro com diferentes níveis de vulnerabilidade à inundação, seja temporária ou permanente.

A partir da análise do IVC-DDP e de suas variáveis, pode-se constatar que a ilha de Mosqueiro é um ambiente bastante frágil a derrames de óleo, visto que o setor NW apresentou altos valores de vulnerabilidade e que os demais setores, formados por margens inundáveis colonizadas por vegetação de várzea, apesar de possuírem baixos índices de vulnerabilidade, apresentaram altos índices de sensibilidade à derrame de óleo (ISL 10).

Exclusivamente para este estudo, o IVC-DDP se apresentou válido para a determinação da vulnerabilidade à derrames de óleo com enfoque nas atividades antrópicas, de modo que o setor urbanizado (porção NW) adquiriu os maiores valores quando comparados com outros setores da ilha. Todavia é necessário realizar mais testes com este índice, para melhor validar sua aplicabilidade.

Ressalva-se que para a variável VLC a escala proposta (1:25.000) não se mostrou adequada para representação cartográfica dos

reais setores de erosão e acreção da linha de costa, visto que os resultados evidenciam que a região costeira permaneceu estável durante o período estudado (2006 - 2015). Entretanto conforme demonstrado nas citações existentes na literatura, alguns setores da ilha de Mosqueiro estão sofrendo um intenso processo erosivo.

Assim, a Ilha de Mosqueiro apresenta pequeno grau de vulnerabilidade associado à inundação, entretanto alto grau, em relação ao derramamento de óleo. Isso corrobora a importância das informações aqui apresentadas no aprimoramento da gestão ambiental da Ilha de Mosqueiro.

REFERÊNCIAS

- Anders, F. J.; Byrnes, M. R. (1991) - Accuracy of shorelines change rates as determined from maps and aerial photographs. *Shore and Beach* (ISSN: 0037-4237), 59(1): 17-26. Fort Myers, Estados Unidos. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/284041608_Accuracy_of_shoreline_change_rates_as_determined_from_maps_and_aerial_photographs.
- Andrade, M.; Souza-Filho, P.; Szlafsztajn, C. (2018) - Sensibilidade Ambiental a Derramamento de Óleo e Mapeamento de Unidades

- de Paisagem na Região Portuária do Maranhão. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 18(2): 73-84. DOI: 10.5894/rgci-n65.
- Andrade, M.; Szlafsztein, C.; Souza-Filho, P.; Araújo, A.; Gomes, M. (2010) - A socioeconomic and natural vulnerability index for oil spills in an Amazonian harbor: A case study using GIS and remote sensing. *Journal of Environmental Management*, 91(10): 1972-1980. DOI: 10.1016/j.jenvman.2010.04.016.
- Araújo, R. S.; Silva, G. V.; Freitas, D.; Klein, A. H. F. (2009) - Georreferenciamento de fotografias aéreas e análise da variação da linha de costa. In: Alcántara-Cario, J.; Correa, I. D.; Isla, F.; Alvarado, M.; Klein, A. H. F.; Cabrera, J. A. (eds.), *Métodos en Teledetección Aplicada a la Prevención de Riesgos Naturales del litoral*, pp. 123-138, Cádiz, Espanha. ISBN: 978-84-96023-67-3. Disponível em: http://www.rc.unesp.br/igce/planejamento/download/isabel/sist_inf_geogr_aula5/foto_aerea_cap8.pdf.
- Behling, H.; Costa, M. L. (2004) - Mineralogy, geochemistry, and palynology of modern and late Tertiary mangrove deposits in the Barreiras Formation of Mosqueiro Island, northeastern Pará state, eastern Amazonia. *Journal of South American Earth Sciences*, 17(4): 285-295. DOI: 10.1016/j.jsames.2004.08.002.
- Boori, M. S.; Amaro, V. E. (2011) - Natural and eco-environmental vulnerability assessment through multi-temporal satellite data sets in Apodi valley region, Northeast Brazil. *Journal of Geography and Regional Planning* (ISSN 2070-1845), 4(4): 216-230. Disponível em: http://www.academicjournals.org/article/article1381835162_Boori%20and%20Amaro.pdf.
- Boruff, B. J.; Emrich, C.; Cutter, S. L. (2005) - Erosion Hazard Vulnerability of US Coastal Counties. *Journal of Coastal Research*, 21(5): 932-942. DOI: 10.2112/04-0172.1.
- Brasil. (2008) - *Mudanças climáticas e ambientais e seus efeitos na saúde: cenários e incertezas para o Brasil*. 44p., Ministério da Saúde; Pan-Americana da Saúde (org.), Brasília, DF, Brasil. ISBN 978-85-87943-79-8.
- Busman, D. V. (2016) - *Zoneamento da dinâmica costeira - aplicação de geotecnologias em apoio à gestão costeira integrada na praia Atalaia-PA e trecho de praias entre os municípios de Guimarães e Macau-RN, setor sob influência da indústria petrolífera*. 185p., Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil.
- Cristiano, S. da C. C.; Portz, L. C.; Anfuso, G.; Rockett, G. C.; Barboza, E. G. (2018) - Coastal scenic evaluation at Santa Catarina (Brazil): Implications for coastal management. *Ocean and Coastal Management*, 160: 146-157. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2018.04.004.
- Crowell, M.; Leatherman, S. P.; Buckley, M. K. (1991) - Historical Shoreline Change: Error Analysis and Mapping Accuracy. *Journal of Coastal Research*, 7(3): 839-852. DOI: 10.2307/4297899.
- Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). (2019) - *Previsões de marés*, Brasília, Brasil. In: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-previsao-mare/tabuas/>.
- El-Robrini, M. H. S. (2001) - *Variabilidade morfológica e sedimentar de praias estuarinas da Ilha do Mosqueiro (Belém-PA)*. 85p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará. Belém, Pará, Brasil.
- El-Robrini, M.; Silva, M. A. M. A.; Souza-Filho, P. W. M.; El-Robrini, M. H. S.; Júnior, O. G. S.; França, C. F. de. (2006) - *Pará*. In: Muehe, D. (org.), *Erosão e progradação do litoral brasileiro*, 476p., Ministério do Meio Ambiente (MMA). Brasília, DF, Brasil. ISBN 85-7738-028-9.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). (2003) - *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 286p., EMBRAPA, Rio de Janeiro, Brasil. ISBN 85-85864-19-2.
- Frazão Santos, C.; Michel, J.; Neves, M.; Janeiro, J.; Andrade, F.; Orbach, M. (2013) - Marine spatial planning and oil spill risk analysis: Finding common grounds. *Marine Pollution Bulletin*. 74(1): 73-81. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2013.07.029.
- Gornitz V. (1991) - Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 3(4): 379-398. DOI: 10.1016/0921-8181(91)90118-G.
- Gornitz, V. M.; Daniels, R. C.; White, T. W.; Birdwell, K. R. (1994) - The development of a coastal risk assessment database: Vulnerability to sea-level rise in the U.S. Southeast. *Journal of Coastal Research*. 10(2): 327-338, Nova Iorque, Estados Unidos. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/25735608>.
- Gorokhovich, Y.; Leiserowitz, A.; Dugan, D. (2014) - Integrating Coastal Vulnerability and Community-Based subsistence resource mapping in Northwest Alaska. *Journal of Coastal Research*. 30(1): 158-169. DOI: 10.2112/JCOASTRES-D-13-00001.1.
- Hammar-Klose E. S.; Pendleton, E. A.; Thielier, E. R.; Williams, S. J. (2003) - Coastal Vulnerability Assessment of Cape Cod National Seashore (CACO) to Sea-Level Rise. *U.S. Geological Survey*. Report 02-233. DOI: 10.3133/ofr02233.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2010) - *Dados Censitários 2010*. Brasília, Brasil. In: <http://censo2010.ibge.gov.br/>.
- Instituto de pesquisas espaciais (INPE). (2020) - *Banco de dados Geomorfométricos do Brasil*. Brasília, Brasil. In: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014). *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis*. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. DOI: 10.1017/CBO9781107415324.
- Júnior, J. L. do A. F.; França, C. F. de. (2016) - Caracterização morfológica e dinâmica da orla Grande, Ilha de Mosqueiro, Belém-PA.

- Boletim Amazônico de Geografia* (ISSN: 2358-7040), 3(6): 92-109, Belém, Pará, Brasil. Disponível em: <http://ppgeoufpa.net/boletim/index.php/boletim/article/view/74>.
- Kankara, R. S.; Arockiaraj, S.; Prabhu, K. (2016) - Environmental sensitivity mapping and risk assessment for oil spill along the Chennai Coast in India. *Marine Pollution Bulletin*, 106(1-2): 95-103. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.03.022.
- Kumar, T.; Srinivasa, M. R. S.; Nayak, S.; Radhakrishnan, K.; Sahu, K. C. (2010) - Coastal vulnerability assessment for Orissa State, east coast of India. *Journal of Coastal Research*, 26(3): 523-534. DOI: 10.2112/09-1186.1.
- Leatherman S. (2003) - Shoreline change mapping and management along the U.S. East Coast. *Journal of Coastal Research*, 38: 5-13. DOI: 10.2307/25736596.
- Mazzer, A. M. (2007) - *Proposta metodológica para análise de vulnerabilidade da orla marítima à erosão costeira: aplicação em praias arenosas da costa sudeste da ilha de Santa Catarina (Florianópolis, Santa Catarina-Brasil)*. 170p., Tese de Doutorado. Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Mazzer, A. M.; Dillenburg, S. (2009) - Variações temporais da linha de costa em praias arenosas dominadas por ondas do sudeste da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis, SC, Brasil). *Revistas de Pesquisas em Geociências*, 36(1): 117-135. DOI: 10.22456/1807-9806.17880.
- Mclaughlin, S.; Cooper, A. (2011) - A multi-scale coastal vulnerability index: A tool for coastal managers? *Environmental Hazards*, 9(3): 233-248. DOI: 10.3763/ehaz.2010.0052.
- Mello, A. Y. I. de; D'antona, A. de O.; Alves, H. P. da F.; Carmo, R. L. do. (2010) - Análise da Vulnerabilidade Socioambiental nas Áreas Urbanas do Litoral Norte de São Paulo. V *Encontro Nacional da Anppas*, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
- Meteoblue. (2017) - Weather data. Universidade de Basileia, Basileia, Suíça. In: <https://www.meteoblue.com/>.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA). (2004) - *Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo: cartas SAO*. Secretaria de Qualidade nos Assentamentos Humanos Brasília, DF, Brasil. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/projeto/_arquivos/cartassao2007port.pdf.
- Muehe, D.; Nicolodi, J. L. (2008) - *Geomorfologia*. In: Zamboni, A.; Nicolodi, J. L. (org.), *Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil*, pp.23-58, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. Brasília. DF, Brasil. ISBN: 9788577381128.
- Neves, S. C. R.; França, C. F. De. (2016) - Indicadores de dinâmica costeira na orla do Marau - ilha de Mosqueiro, Belém-PA. *Boletim Amazônico de Geografia* (ISSN: 2358-7040), 3(6): 60-18, Belém, Pará, Brasil. Disponível em: <http://ppgeoufpa.net/boletim/index.php/boletim/article/view/72>.
- Nicholls, R. J.; Cazenave, A. (2010) - Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones. *Science*, 328: 1517-1520. DOI: 10.1126/science.1185782.
- Nicolodi, J. L.; Petermann, R. M. (2010) - Mudanças climáticas e a vulnerabilidade da zona costeira do Brasil: aspectos ambientais, sociais e tecnológicos. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 10(2): 151-177. DOI: 10.5894/rgci206.
- Nóbrega, W. R. de M. (2010) - Participação popular e as políticas públicas de turismo na Amazônia: o Proecotur no Distrito de Mosqueiro, Belém - PA. *Revista turismo & desenvolvimento*, 2(13/14): 783-794. DOI: 10.34624/rtd.v2i13/14.12367.
- Oliveira, E. T. de; Rutkowski, E. W. (2008) - Mudanças climáticas e mudanças socioambientais globais: reflexões sobre alternativas de futuro. 184p., UNESCO/IBICC, Brasília, Brasil.
- Oliveira, J. F.; Barboza, E. G.; Martins, E. M.; Scarelli, F. M. (2019) - Geomorphological and stratigraphic analysis applied to coastal management. *Journal of South American Earth Sciences*, 96. DOI: 10.1016/j.jsames.2019.102358.
- Parente, Y. Y.; Mendes, A. C.; Miranda A. G.; Berredo, J. F. (2016) - Mapeamento da sensibilidade ambiental a para derramamento de óleo (cartas SAO) para a Ilha de Mosqueiro (Belém - PA). In: *// Congresso Amazônico de Meio Ambiente e Energias Renováveis* (ISBN 978-85-5722-005-8), Belém, Pará, Brasil. Disponível em: [https://www.even3.com.br/Anais/camaer2016/31425-mapeamento-da-sensibilidade-ambiental-a-derramamento-de-oleo-\(cartas-sao\)-para-a-ilha-de-mosqueiro-\(belem--pa\)](https://www.even3.com.br/Anais/camaer2016/31425-mapeamento-da-sensibilidade-ambiental-a-derramamento-de-oleo-(cartas-sao)-para-a-ilha-de-mosqueiro-(belem--pa)).
- Pendleton, E. A.; Barras, J. A.; Williams, S. J.; Twichell, D. C. (2010) - Coastal Vulnerability Assessment of the Northern Gulf of Mexico to Sea-Level Rise and Coastal Change. *U.S. Geological Survey. Report Series 2010-1146*. DOI: 10.3133/ofr20101146.
- Pereira, P. De S. (2005) - *Variabilidade da orla oceânica do Rio Grande do Sul e suas implicações na elaboração de planos de contingência: aspectos morfodinâmicos, sedimentológicos e geomorfológicos*. 161p., Dissertação de Mestrado, Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Petersen, J.; Nelson, D.; Marcella, T.; Michel, J.; Atkinson, M.; White, M.; Boring, C.; Szathmary, L.; Weaver, J. (2019) - Environmental Sensitivity Index Guidelines, Version 4.0. NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 52. Disponível em: https://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/ESI_Guidelines.pdf.
- Saaty, T. L. (1980) - *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. 287p., McGraw-Hill, Nova Iorque, Estados Unidos.

- Sales, G. M. (2005) - *Ecologia da paisagem da ilha do Mosqueiro, NE do estado do Pará*. 119p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil.
- Santos, C.; Andrade, F. (2009) - Environmental Sensitivity of the Portuguese Coast in the Scope of Oil Spill Events - Comparing Different Assessment Approaches. *Journal of Coastal Research* (ISSN 0749-0258), 1(56): 885-889, Nova Iorque, Estados Unidos. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/25737706?seq=1>.
- Santos, M. S. T.; Amaro, V. E.; Ferreira, A. T. Da S.; Barboza, A. De A.; Figueiredo, M. C.; Araújo, A. G. (2015) - Metodologia para mapeamento de vulnerabilidade costeira à elevação do nível médio do mar (NMM) em escala local. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 21(4): 691-705. DOI: 10.1590/S1982-21702015000400040.
- Sekovski, I.; Rio, L.; Armaroli, C. (2019) - Development of a coastal vulnerability index using analytical hierarchy process and application to Ravenna province (Italy). *Ocean & Coastal Management*, 183: 1-11. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2019.104982.
- Shaw, J.; Taylor, R. B.; Forbes, D. L.; Ruz, M. H.; Solomon, S. (1998) - Sensitivity of the Canada Coast to Sea-Level Rise. *Geological Survey of Canada Bulletin*. DOI: 10.4095/210075.
- Silva, M. E. M. da; Soriano-Sierra, E. J. (2013) - Gestión sustentable de la orla marítima en destinos turísticos: Una perspectiva social sobre el proyecto ORLA. *Estudios y Perspectivas en Turismo*, 22(5): 805-827. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180728713001>.
- Tano, R.; Aman, A.; Kouadio, K.; Toualy, E.; Ali, K.; Assamoi, P. (2016) - Assessment of the Ivorian Coastal Vulnerability. *Journal of Coastal Research*, 32(6): 1495-1503. DOI: 10.2112/JCOASTRES-D-15-00228.1.
- Thieler, E. R.; Hammar-Klose, E. S. (1999) - National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: U.S. Atlantic Coast. U.S. Geological Survey. Reston: U.S. Geological Survey. DOI: 10.3133/ofr99593.
- Viana, I. G. da S. (2013) - Estrutura e fisiologia da paisagem da praia do Areião, Ilha de Mosqueiro (Belém-PA). 87p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil.