

Revista de Gestão Costeira Integrada

Journal of Integrated Coastal Zone Management

Vulnerabilidade diante da ação energética do mar: Estudo de caso no Município de Salinópolis, Zona Costeira Amazônica, Brasil

Vulnerability to the energy action of the sea: Case study in the Municipality of Salinópolis, Amazon Coastal Zone, Brazil

Ronaldo da Cruz Braga^{@ 1}, Márcia Aparecida da Siva Pimentel², Carlos Coelho³,
Claudio Fabian Szlafsztein⁴, Marcelo Rollnic⁵

@ Corresponding author: rcbragageo@yahoo.com.br

¹ Doutor em Ciências Ambientais PPGCA da Universidade Federal do Pará (UFPA). Professor Efetivo de Geografia do Instituto Federal do Pará (IFPA) e Coordenador do Curso de Licenciatura em Geografia do IFPA. Email: rcbragageo@yahoo.com.br

² Doutora em Geografia Física pela Universidade de São Paulo (USP). Professora Efetiva de Geografia da Faculdade de Geografia da Universidade Federal do Pará (UFPA). Email: mapimentel@ufpa.br

³ Doutorado em Engenharia Civil. Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil. Email: ccoelho@ua.pt

⁴ Doutor em Ciências Naturais (Geografia) pela Kiel University, Alemanha. Núcleo de Altos Estudos Amazônicos. Universidade Federal do Pará. Email: cszslafsztein@hotmail.com

⁵ Doutor em Oceanografia. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia – PPGOC. Universidade Federal do Pará. Email: rollnic@ufpa.br

RESUMO: Amazônia possui uma extensa Zona Costeira, com aproximadamente 3.044 km, ocupando 35% do litoral Brasileiro, com grande parte da Orla em diferentes níveis de vulnerabilidade física. Este artigo analisou a vulnerabilidade à ação energética do mar no Município de Salinópolis na Zona Costeira Amazônica a partir dos agentes físicos: geológicos/geomorfológicos e oceanográficos. Na metodologia utilizada foram selecionadas seis variáveis físicas: Geologia, Geomorfologia, Declividade da Costa, Cota Topográfica, Altura da Onda e Amplitude de Maré. Subdividiu-se a Orla costeira da área em sete setores, determinados a partir dos parâmetros do Projeto Orla. Os índices de vulnerabilidade de cada variável foram determinados com base em valores pré-estabelecidos na literatura nacional e internacional e modificados a partir das características regionais e locais da área de estudo. Foram elaborados mapas no Software ArcGis 10.3 com imagens SPOT, de resolução de 2,5 metros e SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) para análise da declividade e cota topográfica. Para cada setor foi calculado um valor do índice de vulnerabilidade, de acordo com as variáveis. Foi realizada uma média aritmética para a determinação do Índice de Vulnerabilidade Costeira Geral-IVCG. Dos sete setores, cinco apresentaram vulnerabilidade à ação energética do mar Muito Alta e dois Moderada. A elevada vulnerabilidade costeira evidencia a necessidade de iniciativas de planejamento para áreas ocupadas em processo erosivo e considera-se que a metodologia pode ser replicada para outros locais da costa amazônica.

Palavras-chave: Amazônia. Vulnerabilidade. IVC. Impactos.



ABSTRACT: Amazonia has an extensive Coastal Zone, with approximately 3,044 km, occupying 35% of the Brazilian coast, where innumerable ecosystems are located in different levels of physical vulnerability. This article analyzes the vulnerability to the energy action of the sea in the Municipality of Salinópolis in the Amazon Coastal Zone from the physical agents: geological/geomorphological and oceanographic. Six physical variables were selected: Geology, Geomorphology, Coast Declivity, Topographic Dimension, Wave Height and Tidal Amplitude. The coastal border of the area was subdivided into seven sectors, determined from the parameters of the Orla Project. The vulnerability indexes of each variable were determined from pre-established values in the national and international literature and modified from the regional and local characteristics of the study area. Maps were elaborated on the ArcGis 10.3 Software from SPOT images, 2.5-meter resolution and SRTM images (Shuttle Radar Topography Mission) for analysis of slope and topography. For each sector a value of the vulnerability index was calculated according to the variables and, finally, an arithmetic mean was determined for the determination of the General Coastal Vulnerability Index-IVCG. Of the seven sectors, five presented vulnerability to the energy action of the Sea Very High and two Moderate. The high coastal vulnerability evidences the need for planning initiatives for areas undergoing erosion, and it is considered that the methodology can be replicated to other sites on the Amazon coast.

Keywords: Amazon. Vulnerability. IVC. Impacts

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia sempre desempenhou papel de importância global no que tange às questões ecológicas, ambientais e sociais. Os conhecimentos sobre a importância da vegetação e da hidrografia para o equilíbrio dinâmico ecossistêmico, bem como da dinâmica climática já foram discutidos no passado por autores como Neto (1976), Sioli (1985), Ab'Saber (2000, 2003, 2004), Gonçalves (2008), e Stenberg (2012), reconhecidos por serem grandes defensores das potencialidades paisagísticas amazônicas ante a exploração antrópica da natureza.

Pela grande importância a nível global, nacional e regional, a Amazônia continua sendo uma fonte de estudos para pesquisadores dos mais diversos ramos do conhecimento. Os potenciais impactos socioambientais atualmente existentes são resultantes, de maneira geral, da força antrópica sobre o meio físico, que tem provocado a quebra do equilíbrio dos sistemas ambientais naturais, ao que Becker (2004) chama de legado histórico de exploração humana sobre a natureza amazônica.

A Região Amazônica possui extenso litoral, com aproximadamente 3.044 km, ocupando 35% do total do litoral brasileiro (MMA, 2008; Júnior, 2016), onde se encontram inumeráveis ecossistemas e setores costeiros com diferentes níveis de vulnerabilidade, quando se consideram as forças antrópicas e a ação dos fatores físicos e cuja ocupação ocorre desprovida do necessário conhecimento científico dos principais fatores e agentes oceanográficos/hidroclimáticos, meteorológicos/climáticos, geológicos/geomorfológicos responsáveis pela dinâmica física de formação e equilíbrio ambiental e do modo de vida das populações já residentes

A nível mundial a falta de conhecimento da dinâmica

física das zonas costeiras, tem levado as populações a construir suas habitações próximo do mar. Esse fator tem potencializado o fenômeno da erosão, causada pela ação energética de agentes físicos de naturezas oceanográficas e meteorológicas. As zonas costeiras mundiais são extremamente vulneráveis à ação energética do mar, devido a fatores como exposição direta aos agentes oceanográficos, áreas densamente povoadas e habitat de inúmeras espécies que formam milhares de ecossistemas (Gornitz, 1991; Tagliani *et al.*, 2006; Goosse, 2010; Muehe e Rosman, 2011).

Ao longo do litoral brasileiro os impactos da ação energética do mar, provocando principalmente erosão são bem documentados na literatura nacional. Autores como Souza *et al.* (2005), Muehe (2005, 2006), Muehe e Nicolodi (2008) e Souza (2009) fazem análise do processo erosivo no Brasil com base em fatores oceanográficos e características fisiográficas da costa, e consideram as marés, ondas e correntes como os principais agentes da dinâmica física. As mesmas análises apontam que os processos de retrogradação predominam sobre a progradação. Muehe (2006) destaca também que a principal causa desse predomínio é atribuída à intervenção do homem relacionada à urbanização e à interferência no balanço sedimentar em decorrência da construção de estruturas rígidas.

A problemática da erosão em costas urbanizadas conduz à respostas de contenção da orla, como muros, espigões, sacos de areia, entulho e pedras, árvores, etc. Ante ao paradoxo de causa e efeito, Muehe (2005) e Souza (2009), entendem que a erosão que essas estruturas sofrem, são indicadores de eventos erosivos mais intensos, provocados pela ação energética dos agentes físicos formadores e modeladores da costa. O mesmo

entendimento permeia o estudo do Ministério do Meio Ambiente do ano de 2006 (Muehe, 2006) ao analisar os processos de erosão e progradação do litoral brasileiro.

Na Zona Costeira Amazônica (ZCA) os impactos da ação antrópica sobre os sistemas naturais são potencializados pelas características de vulnerabilidade física da costa. Os principais fatores de vulnerabilidade física à ação energética do mar no litoral amazônico são: dissipação diferenciada de potência de ondas, altas amplitudes de marés, baixa cota topográfica, baixa declividade da costa, características geológico-geomorfológicas e configuração fisiográfica de alguns setores, como as “Rias” amazônicas. Verifica-se que grande parte do litoral amazônico ainda se encontra preservado (Prost *et al.*, 2013), no entanto, inúmeros setores apresentam grandes extensões em processo de retrogradação, causada pela erosão da linha consta (França e Souza Filho, 2003; Souza Filho, 2005; El-Robrini *et al.*, 2006)

De maneira geral, a vulnerabilidade física relaciona-se as principais causas da erosão costeira. As principais causas são: dinâmica das correntes costeiras, morfodinâmica praial, com presença de praias intermediárias e reflexivas ao longo do litoral, configuração fisiográfica costeira regional e localmente diferenciada, potencial energético das ondas na arrebentação, amplitudes de marés diferenciadas e outros, como os relacionados à elevação do nível do mar (Souza, 2009).

A vulnerabilidade dos setores costeiros é medida a partir da ação diferenciada dos agentes físicos responsáveis pela dinâmica do litoral. São as diferenciações regionais nas forçantes climatológicas e oceanográficas que impõem respostas diferenciadas aos variados ambientes geológico-geomorfológicos (Muehe, 2005). A ocupação da costa para moradias e para atividade turística, além de serem fatores de degradação de ambientes naturais, também sofrem com os impactos da erosão e da inundação provocados pela ação do mar.

A ação energética do mar sobre a orla costeira é determinada pela ação diferenciada dos agentes costeiros ao longo de uma determinada região (Coelho *et al.*, 2006), bem como, também influencia na evolução da posição da linha de costa (Lima e Coelho, 2017). A zona costeira absorve a ação energética do mar e reflete em forma de impactos. Visto seus ecossistemas serem naturalmente vulneráveis, qualquer alteração nas variáveis físicas, pode causar impactos com diferentes magnitudes.

Em Salinópolis, área de estudo, as particularidades regionais relacionadas à fisiografia da costa (litoral de reentrâncias) e as altas amplitudes de marés (segunda maior considerando os principais portos do Brasil), que materializam ao longo dos setores costeiros, diferentes dinâmicas e diferentes níveis de vulnerabilidade. Dessa forma, é objetivo deste artigo, mostrar aspectos

da vulnerabilidade à ação energética do mar na orla do Município de Salinópolis, Litoral de Rias da ZCA. O trabalho desenvolvido baseia-se nas proposições metodológicas da Ciência da Vulnerabilidade (Cutter, 2011) e adaptações do escopo metodológico e conceitual de Gornitz (1991), Coelho *et al.* (2006) e Pereira e Coelho (2013), nas Adaptação baseada em Ecossistemas (AbE) (ICLEI, 2015, 2016; PNA/MMA, 2016) e na teoria sistêmica da paisagem geográfica (Bertrand, 1973).

O trabalho subdivide-se em quatro partes: na primeira é apresentada a localização da área de estudo, com os sete setores destacados e algumas características regionais. Nesta primeira porção, também são apresentados os materiais e métodos utilizados na pesquisa. Na segunda parte são apresentados os resultados da análise da vulnerabilidade à ação energética do mar para cada variável estudada e a matriz de vulnerabilidade. Na terceira parte é feita a discussão dos resultados do trabalho. Na quarta parte elaboraram-se algumas considerações sobre os resultados e as principais propostas de adaptação e contenção de impactos nos sete setores costeiros a partir na análise da vulnerabilidade e de visitas a campo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo selecionada foi a costa do Município de Salinópolis. Na subdivisão dos macrocompartimentos propostos por Muehe (2003) para a ZCA, a área está inserida no Litoral de Reentrâncias ou de Rias Pará-Maranhão (Figura 1). O Município é um importante polo turístico na Amazônia Oriental. As quatro principais praias: Curvina, Maçarico, Farol Velho e Atalaia recebem em torno de 300.000 visitantes na alta temporada do mês de julho (SEMMA, 2015; Ribon *et al.*, 2017). No entanto, por estar sujeita a ação energética do mar tem apresentado forte tendência à erosão ao longo de alguns setores da orla (Melo, 2008; Ranieri e El-Robrini, 2015, 2016).

O Litoral de Reentrâncias ou Rias, no qual Salinópolis está inserida é resultante da progradação lamosa, que ressalta a irregularidade da linha de costa configurando um litoral afogado pela transgressão marinha, caracterizado por uma sucessão de pequenos estuários e acréscimos sedimentares que, em conjunto, dão um aspecto de rias, razão da denominação de “*reentrâncias*” (Muehe e Nicolodi, 2008).

A costa do Município de Salinópolis foi dividida em sete subsetores cujo cálculo da extensão foi realizado no Software ArcGis 10.3. A descrição dos setores e suas extensões são descritos na Tabela 1.

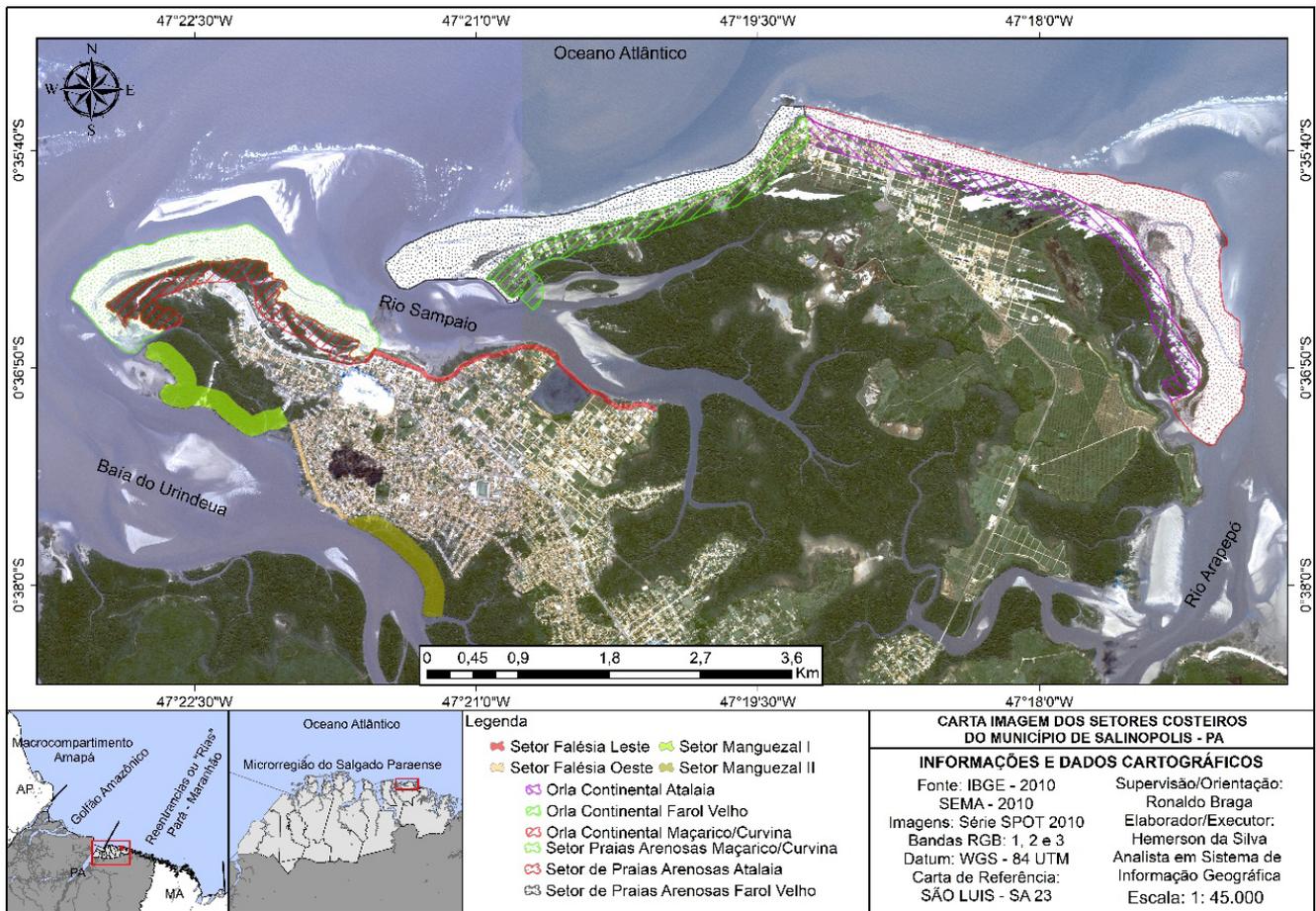


Figura 1. Localização da área de estudo com a subdivisão dos sete setores costeiros (Orla Costeira) em Salinópolis. Fonte: Elaborado pelos autores, com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE e imagens de satélite SPOT da Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Pará-SEMA-PA.

Figure 1. Location of the study area with the subdivision of the seven coastal sectors (Coastal Orla) in Salinópolis. Source: Prepared by the authors, with data from the Brazilian Institute of Geography and Statistics-IBGE and SPOT satellite images provided by the Environment Secretariat of the State of Pará-SEMA-PA.

Tabela 1. Setores e subsetores de Município de Salinópolis-Pará para análise de vulnerabilidade costeira. Fonte: elaborado pelos autores a partir de observações de imagens SPOT e rotinas de geoprocessamento no Software ArcGis.

Table 1. Sectors and subsectors of the municipality of Salinópolis-Pará to analyze coastal vulnerability. Source: elaborated by authors based on observations of SPOT images and geoprocessing routines in ArcGIS Software.

Setor do Maçarico/Curvina	Extensão (km)	Setor do Farol Velho/Atalaia	Extensão (m)
Setor de praia Maçarico/Curvina	5.186,19	Praia do Farol Velho	6.266,66
Costa de Falésias Leste	3.279,65	Praia do Atalaia	7.483,98
Costa de Falésias Oeste	1.221,30		
Setor de Manguezal I	2.288,97		
Setor de Manguezal II	1.525,66		

Para a avaliação da vulnerabilidade da área de estudo foram adaptadas as metodologias para o cálculo do Índice de Vulnerabilidade Costeira-IVC proposto por Gornitz (1991), Coelho (2005), Coelho *et al.* (2006), Pereira e Coelho (2013) e Germani *et al.* (2015). A determinação da vulnerabilidade à ação energética do mar em Salinópolis foi realizada a partir da análise e caracterização das variáveis apresentadas na Tabela 2.

A análise dos parâmetros físicos recebe destaque neste artigo, no entanto, considera-se que as características socioeconômicas podem aumentar ou diminuir o grau de vulnerabilidade (Cutter, 2011). Para o estudo dessa temática na Amazônia, consultar proposição metodológica de Szlafsztein (2006) e outros trabalhos relacionados (Szlafsztein *et al.*, 2006, 2010). Neste artigo, o objetivo correspondeu à caracterização das variáveis físicas relacionadas com a ação energética do mar.

2.2 Geomorfologia e Geologia

A determinação e caracterização das unidades geomorfológicas em campo foram confirmadas com a análise de imagens de satélite SPOT/ano 2010 (*Satellite Pour l'Observation de la Terre*) de 2,5 metros de resolução espacial e com leituras de artigos relacionados ao tema, como Folha (South America) SA 23 do Projeto Radam Brasil (BRASIL, 1973), Melo (2008) e Ranieri e El-Robrini (2016). Com o levantamento altimétrico da área realizado por levantamento aerofotogramétrico

e observações em campo definiu-se a nomenclatura de falésias baixas, entre 0 até 2 metros; falésias médias, com topografia maior que 2 e inferiores a 5 metros e falésias altas, superiores a 5 metros, sendo as duas últimas de ocorrência mais frequente na área de estudo. Considerando a dinâmica costeira dos agentes oceanográficos sobre a costa, entende-se, que as falésias passivas em Salinópolis são escarpamentos de alturas variadas que não são na atualidade solapadas com a ação energética dos agentes exodinâmicos, tais como ondas, marés e correntes longitudinais. E as falésias ativas são escarpamentos atingidos e solapados diariamente pela ação dos agentes exodinâmicos, tais com ondas, correntes e marés.

2.3 Declividade (DC) e Cota Topográfica (CT)

A determinação da declividade da costa e da cota topográfica foi efetuada a partir da elaboração do Modelo Digital de Terreno (MDT). O MDT foi elaborado com rotinas de geoprocessamento utilizando as imagens da Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM) com quatro imagens unidas em mosaico com resolução espacial de 30 metros, obtidas do banco de dados da Embrapa (2016), tratadas seguindo metodologia proposta pelo Projeto TOPODATA do INPE, descritos por Valeriano e Rosseti (2008) e interpoladas por Krigagem com as cotas do aerolevante da Companhia de Habitação do Estado do Pará - COHAB (2000). Dois mapas foram elaborados: o de cotas topográficas e o de declividade.

Tabela 2. Variáveis e valores para a análise do Índice de Vulnerabilidade à ação energética do mar em Salinópolis. Fonte: adaptado de Gornitz (1991); Coelho (2005), Coelho *et al.* (2006); Pereira e Coelho (2013) e Germani *et al.* (2015).

Table 2. Variables and values for the analysis of the Vulnerability Index to the energy action of the sea in Salinópolis. Source: Adapted from Gornitz (1991), Coelho (2005), Coelho *et al.* (2006); Pereira e Coelho (2013) and Germani *et al.* (2015).

Variáveis	Muito Baixa 1	Baixa 2	Moderada 3	Alta 4	Muito Alta 5
Geomorfologia (GM)	Costa de falésias alta passivas	Costa de Falésias médias passivas	Costa de Falésias baixas passivas	Costa de falésias ativas	Praias arenosas e planícies de marés,
Geologia (GL)	Rochas magmáticas	Rochas metamórficas	Rochas sedimentares	Rochas sedimentares sobrepostas por formação com sedimentos inconsolidados	sedimentos arenosos ou argilosos inconsolidados
Declividade da costa (DC) (%)	>1,2 Alta declividade	1,2 a 0,9 Alta declividade	0,9 a 0,6 Média declividade	0,6 a 0,3 Baixa declividade	< 0,3 Muito baixa declividade
Cota Topográfica (CT) (metros)	> 30	> 20 ≤ 30	> 10 ≤ 20	> 5 ≤ 10	≤ 5
Altura máxima significativa da onda (AO) (m)	<0,55	0,55 a 0,85	0,85 a 1,05	1,05 a 1,25	> 1, 25
Amplitude da Maré (AM) (m)	< 1	1 – 2	2 – 4	4 – 6	> 6

2.4 Altura Significativa da Onda

De acordo com Ranieri e El-Robrini (2016) ao longo da costa de Salinópolis as ondas variam de 0,6 a 1,2 metros. Em águas rasas, na zona de arrebentação das praias da Corvina e Maçarico alcança 0,6 metros, na praia do Farol Velho e Atalaia variam de 0,9 a 1,2, respectivamente. Nos setores de falésia e manguezais, localizados mais para o interior, a morfologia da costa dissipa a energia das ondas, que não ultrapassam 0,6 metros. Muehe e Nicolodi (2008), estudando as características oceanográficas do litoral brasileiro identificaram para esse setor costeiro alturas das ondas incidentes inferiores a 1,5 metros.

Para diferenciar a vulnerabilidade entre as praias do Maçarico, Curvina, Farol Velho e Atalaia foram utilizadas outras duas variáveis: energia potencial e de propagação das ondas no local e a velocidade da corrente longitudinal. Para o cálculo da energia potencial, recorreu-se à Equação (1) (Fernandes *et al.*, 2015).

$$P = \frac{1}{8} \rho g H^2 \cdot \sqrt{g \cdot h} \quad (1)$$

Onde: ρ é a densidade da água (kg/m^3), g é a aceleração gravítica ($9,8 \text{ m/s}^2$), H é a altura da onda em metros, e h é a profundidade/batimetria local em metros. Os valores de profundidade foram obtidos da análise da Carta Náutica 32 de Salinópolis ao Canal do Espadarte da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN, 2017). Os valores de correntes de marés foram retirados de Ranieri e El-Robrini (2016), que utilizaram correntômetro para a determinação da velocidade da corrente costeira e os resultados foram utilizados para a classificação do estado morfodinâmico das praias.

2.5 Amplitude de Maré

Os dados sobre amplitude da maré foram calculados a partir das Tábuas de Marés do Departamento de Hidrografia e Navegação-DHN da Marinha do Brasil, dos anos de 2005 a 2016. Procedeu-se da seguinte forma: calculou-se o MHWS, da sigla em inglês Mean High Water Spring ou (Média das Preamar de sizígia ou altura da Preamar média de sizígia, deduzida de uma longa série de observações das alturas das Preamar de sizígia.) e MLWS da sigla Mean Low Water Spring ou (Média das Baixamar de sizígia ou altura da Baixamar média de sizígia, isto é, altura média, deduzida de uma longa série de observações, das alturas das Baixamar de sizígia.) médio do cada mês. Cabe ressaltar que os valores encontrados estão acima do Nível de Redução (NR-Corresponde ao nível médio das Baixa mares de sizígia (MLHS). É um nível em que o mar não desce ou

desce raramente) determinado pela Fundação de Estudo do Mar (FEMAR) e pela DHN. Em seguida fez-se a subtração dos valores ($\text{MHWS} - \text{MLWS} = \text{Amplitude de Maré}$) (Miguens, 1996). O mesmo procedimento foi realizado para a determinação da amplitude de maré entre os meses de novembro a março, considerados mais chuvosos e os meses de abril a outubro, menos chuvosos.

2.6 Cálculo da vulnerabilidade à ação energética do mar

Após a manipulação dos dados, confecção dos mapas necessários e perfis topográficos, foram determinadas as vulnerabilidades da área de estudo de acordo com cada uma das variáveis. Com o valor de cada variável foi determinado o Índice de Vulnerabilidade Costeira Geral-IVCG, calculado considerando a média aritmética da classificação dos parâmetros individuais de vulnerabilidade. A determinação do IVCG realizou-se conforme a classificação do modelo da Tabela 3, utilizando a Equação 2.

$$IVCG = \frac{GM + GL + DC + CT + AO + AM}{6} \quad (2)$$

Tabela 3. Valores para a determinação do Índice de Vulnerabilidade Geral para o Litoral de “Rias” e Salinópolis, costa amazônica. Fonte: Elaborado pelos autores com dados modificados de Gornitz (1991), Coelho *et al.* (2006); Pereira e Coelho (2013) e Germani (2015).

Table 3. Values for the determination of the General Vulnerability Index for the Coast of “Rias” and Salinópolis, Amazon coast. Source: Elaborated by the authors with modified data of Gornitz (1991), Coelho *et al.* (2006); Pereira and Coelho (2013) e Germani (2015)

Muito baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
≤ 1	> 1 e ≤ 2	> 2 e ≤ 3	> 3 e ≤ 4	> 4

2.7 Trabalho de Campo

Para a elaboração deste artigo, foram realizadas três visitas a campo. A primeira ocorreu no período de 29 a 30 de 09/2016, na qual realizou-se o reconhecimento das principais unidades geomorfológicas e validação das cotas topográficas, anteriormente processadas do levantamento aerofotogramétrico para delimitação dos setores costeiros, bem como observou-se áreas de ocorrência do processo erosivo. A segunda deu-se no período de 02 a 03 de 06/2018, onde se fez registo fotográfico e verificação da geologia, geomorfologia e do processo erosivo por setores de Orla costeira. A última visita de campo ocorreu entre 04 a 06 de 07/2018, fez-se registo fotográfico e análise dos resultados da pesquisa por Setores de Orla.

3. RESULTADOS

3.1 Geomorfologia (GM)

A geomorfologia (GM) permite a distinção entre a menor vulnerabilidade de zonas costeiras montanhosas, quando comparadas com praias ou dunas (Coelho *et al.* 2006). Diversas unidades de paisagem são encontradas no município, como planícies de marés, campos de dunas, falésias, lagos interdunares (Melo, 2008). Todas, no entanto, fazem parte das duas unidades geomorfológicas dominantes, o Planalto Costeiro e a Planície Costeira.

Em Salinópolis, a extensa planície de maré se formou ao longo das margens dos três principais canais: Urindeua, Sampaio e Arapepó. Sobre esta planície se coloniza extensa formação de manguezais, que ocupa grande porção do Município, principalmente a Norte. Também se destaca na paisagem, a unidade morfológica de praia. As principais praias são: praia do Maçarico, Curvina, Farol Velho e Atalaia. O cordão arenoso ocupa todo o litoral mais exposto à ação energética do mar, cuja morfodinâmica está ligada principalmente à dinâmica das ondas, marés e das correntes longitudinais (Ranieri e El-Robrini, 2015).

Outra unidade morfológica da Planície Costeira em Salinópolis são as dunas, que estão presentes entre as praias e as formações de mangues. Ao longo da praia do Maçarico e Curvina, as dunas dominam toda a extensão. No Farol Velho, as dunas ocupam principalmente a porção central e sul. Ao longo da praia do Atalaia são encontradas as mais extensas formações de dunas do Município, alcançando até 42 metros de altitudes, colonizadas por restingas e possuindo no seu interior lagos interdunares, que se formam devido ao afloramento dos lençóis freáticos durante o período chuvoso.

A área de planície de maré é caracterizada pela influência direta da ação energética do mar que, também por

esse motivo, se apresenta em constante dinâmica. A vulnerabilidade para a variável que caracteriza a geomorfologia foi classificada de acordo com o Tabela 4.

3.2 Geologia (GL)

As características geológicas permitem avaliar a natureza das rochas e dos sedimentos que constituem a região costeira, e fazer uma classificação baseada no comportamento desses materiais quando sujeitos a ação do mar. Por exemplo, as rochas magmáticas ou eruptivas são rochas de elevada dureza e por isso pouco vulneráveis, ao contrário dos sedimentos não consolidados de pequenas dimensões, que apresentam alta ou muito alta vulnerabilidade (Coelho *et al.*, 2006).

O Litoral Norte amazônico da foz dos rios Amazonas ao rio Gurupi, no Estado do Maranhão, apresenta um forte controle estrutural, seguindo as orientações das falhas normais NW-SE e falhas transcorrentes NE-SW, vinculadas à atuação de binário textural E-W, no Terciário-Quaternário (Costa *et al.*, 1993; Costa *et al.*, 1996).

O Município de Salinópolis apresenta evolução sedimentar correspondente à morfogênese regional, com três unidades litoestratigráficas que afloram ao longo da costa e do interior. A formação Pirabas, datada do Mioceno, cuja gênese é representada por calcários marinhos, compostos de micritos, bioclastitos, dolomicritos, biohermitos e margas intercalados com folhelhos cinza esverdeados a negros, contendo vegetais piritizados, tendo sido encontrados arenitos calcíferos nas camadas superiores (Góes *et al.*, 1990); a formação Barreiras, Plio-plestocênica, marcada também de características miocênicas e os sedimentos Pós-Barreiras não consolidados que são encontrados aflorando em todo o Município (Rossetti *et al.*, 1989; Góes *et al.*, 1990; Rossetti, 2000, 2006).

Tabela 4: Classificação da vulnerabilidade para a variável Geomorfologia em Salinópolis.

Table 4: Vulnerability classification for the variable Geomorphology in Salinópolis.

Setores costeiros	Unidades morfológicas	Vulnerabilidade
Costa de praias arenosas Maçarico / Curvina	Predominância de praia arenosa limitada por manguezais e dunas vegetadas	Muito Alta
Setor de Falésias Leste	Predominância de Falésias Altas e Médias Ativas	Alta
Setor de Falésias Oeste	Predominância de Falésia Altas passivas	Muito Baixa
Setor de Manguezais Leste I	Planície de maré	Muito Alta
Setor de Manguezais Leste II	Planície de maré	Muito Alta
Praia do Farol Velho	Praia arenosa limitada por falésias ativas baixas, médias e altas	Muito Alta
Praia do Atalaia	Praia arenosa limitada na extremidade Oeste por falésias ativas de altura variada e a Leste por dunas vegetadas e antropizadas.	Muito Alta

Nas falésias que circundam Salinópolis afloram principalmente a formação Barreiras e os sedimentos Pós-Barreiras, já a formação Pirabas apresenta ocorrência em poucos setores (Figura 2), com afloramento principalmente na porção central da praia do Atalaia, e nas praias do Maçarico e Farol Velho (Ranieri e El-Robrini, 2016).

Diante das características geológicas da zona de estudo, constata-se que todas as formações geológicas presentes ou que afloram em Salinópolis são de origem sedimentar. Tais características também podem ser constatadas em cartas geológicas do Projeto Radam Brasil (BRASIL, 1973) e foram confirmadas em trabalho de campo. Dessa forma, a vulnerabilidade local que caracteriza a geologia segue como mostra a Tabela 5.

3.3 Cota Topográfica (CT)

A cota topográfica (CT) é um parâmetro de vulnerabilidade que estabelece a distinção entre zonas costeiras planas e zonas costeiras com grande declive (Coelho *et al.*, 2006). Para estudos da elevação e da ação energética do mar, considera-se que locais com cotas até dez metros de altitude compõem o que Tagliani (2006), Williams *et al.* (2009) e Nicholls *et al.* (2013) denominam de Zona Costeira de Baixa Elevação (ZCBE), ou seja, áreas sujeitas a maiores impactos à ação energética e à subida do nível do mar (Gutierrez *et al.*, 2014).

O Litoral de Rias da Amazônia, que também inseri a área de estudo (Figura 3) possui grande parte de sua área na ZCBE, formada em sua maior extensão de planícies lamosas e praias. Essa característica faz com

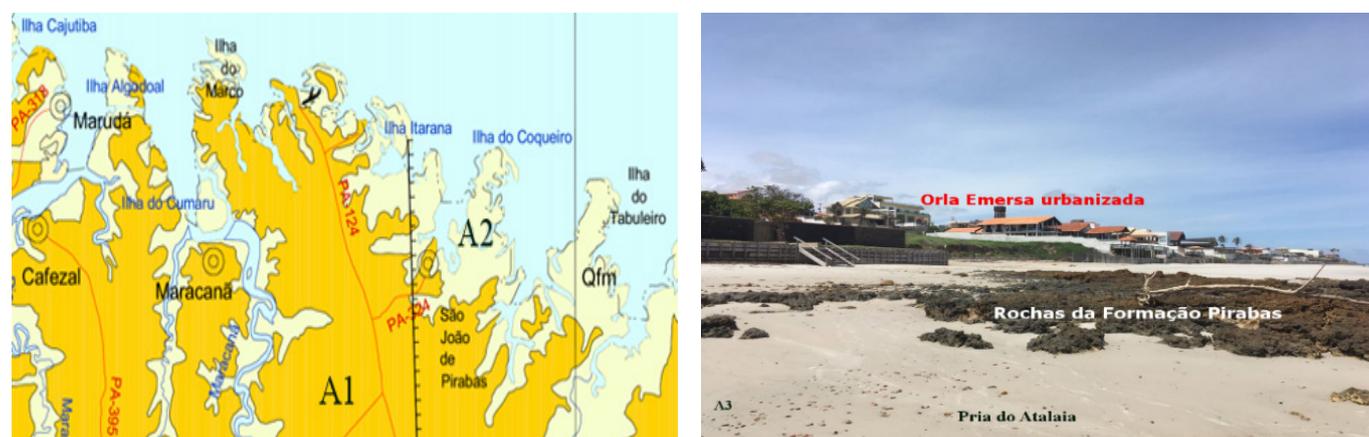


Figura 2. Principais formações geológicas da área de estudo: A1 (Grupo Barreiras: arenito e conglomerado, intercalações de siltito e argilito); A2 (Depósitos flúvio-marinhos indiscriminados de pântanos e mangues, flúvio-lagunares e litorâneos). A3 Afloramento da Formação Pirabas (Formação Miocênica resultante de transgressão marinha) na praia do Atalaia. Fonte: Serviço Geológico do Brasil/CPRM e fotografia de Ronaldo Braga de março de 2016.

Figure 2. Main geological formations of the study area: A1 (Barreiras group: sandstone and conglomerate, siltite and argillite intercalations, A2 (Indiscriminate fluvial-marine deposits of marshes and mangroves, fluvial lagoons and coastal areas) A3 Outcropping of the Pirabas Formation (Miocene Formation resulting from marine transgression) at Atalaia beach. Source: Geological Survey of Brazil / CPRM and photograph of Ronaldo Braga from March 2016.

Tabela 5. Subsetores costeiros, características geomorfológico-geológicas e classificação da vulnerabilidade. Fonte: elaborado pelos autores.

Table 5. Coastal subsectors, geomorphological-geological characteristics and vulnerability classification. Source: prepared by the authors.

Subsetores Costeiros	Unidade geomorfológica/ Geológicas	Vulnerabilidade Geologia
Costa de praias arenosas Maçarico/Curvina	Sedimentos arenosos inconsolidados Holocênicos	Muito Alta
Costa de Falésias Leste	Falésias de rochas sedimentares do Grupo Barreiras (arenito e conglomerado, intercalações de siltito e argilito)	Moderada
Costa de Falésias Oeste	Falésias de rochas sedimentares do Grupo Barreiras (arenito e conglomerado, intercalações de siltito e argilito)	Moderada
Setor de Manguezal Leste I	Sedimentos inconsolidados Holocênicos	Muito Alta
Setor de Manguezal Leste II	Sedimentos inconsolidados Holocênicos	Muito Alta
Setor Farol Velho	Sedimentos arenosos inconsolidados Holocênicos	Muito Alta
Setor Atalaia	Sedimentos arenosos inconsolidados Holocênicos	Muito Alta

que grande extensão do litoral esteja a menos de dez metros de altitude, caracterizando vulnerabilidade Alta a Muito Alta. A ZCBE dessa porção das Rias do Nordeste paraense penetra para o interior do continente, seguindo os canais de marés, cuja baixa altimetria se intercala com maiores cotas topográficas do Planalto Costeiro Amazônico.

Na subdivisão por setores costeiros propostos nesse trabalho, a maioria de suas áreas estão inseridas na ZCBE. A variação das cotas topográficas que se verifica ao longo da costa Municipal (Figura 4) é devido à sucessão de canais e planícies de marés que recortam o litoral. Os três principais rios ou baías: Baía do Urindeua, Rios Sampaio e Arapepó, com desembocaduras superiores a 2 km de largura, somam juntos aproximadamente 50 canais ou afluentes, que caracteriza uma hierarquia fluvial que se ramifica para interior, justificando a baixa cota topográfica.

A ZCBE do Município é composta de planícies lamosas colonizadas por manguezais, por depósitos arenosos que formam as praias e por formações dunares. Ante a essas características topográficas, o Tabela 6 mostra a classificação da vulnerabilidade para o parâmetro cota topográfica em Salinópolis.

Devido a Muito Alta e Alta vulnerabilidade para todos os setores, as variáveis oceanográficas como ondas e marés dissipam suas energias sobre essas estruturas artificiais, causando erosão e alagamentos e obrigando ocupantes e

moradores a criarem estratégias de adaptação.

A Figura 5 mostra o perfil topográfico CD, abrangendo o setor de praia da Curvina, planície antropizada, setor de Manguezal I, setor de Falésia Oeste e setor de Manguezal II. Toda essa porção da orla está abaixo de cinco metros topográficos, ou seja, Muito Alta vulnerabilidade a ação energética do mar.

3.4 Declividade (DC)

Quanto menos íngreme a costa for, maior será sua vulnerabilidade, tanto à elevação do nível do mar quanto a ação energética do mar (Gonitz, 1991; Pereira e Coelho, 2013). A Figura 5 mostra a declividade da costa do Município de Salinópolis. A baixa declividade da costa facilita a penetração das marés e correntes oceânicas para o interior do continente.

Em Salinópolis a predominância da baixa declividade, principalmente nos setores de praias e manguezais, faz a ação do mar dissipar a energia das ondas sobre as estruturas artificiais e ambientes naturais. Para os setores de praias arenosas: Maçarico/Curvina, Farol Velho e Atalaia com declividade $< 3\%$, a vulnerabilidade é Muito Alta. As mesmas classificações apresentam os setores de Manguezais I e II. O setor de Falésia Leste apresenta declividade muito alta na maioria de sua extensão, dessa forma, possui Muito Baixa vulnerabilidade. No entanto, o depósito lamoso na base da falésia apresenta

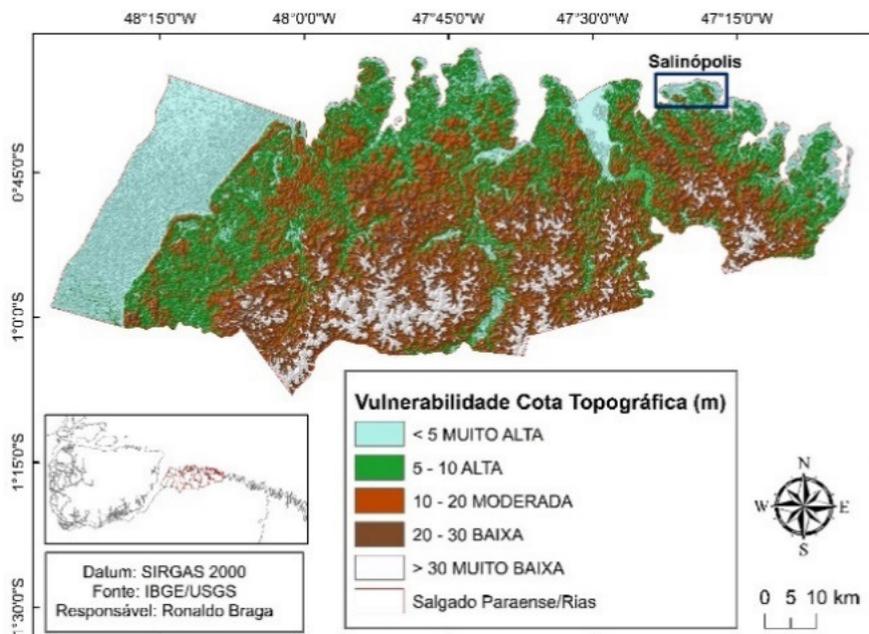


Figura 3: Mapa de Vulnerabilidade para a variável Cota Topográfica do Litoral de Rias paraense, NE da Amazônia. Fonte: Elaborada pelos autores.

Figure 3: Map of Vulnerability for the Variable Topographic Dimension of the Coast of Rias paraense, NE of the Amazon. Source: Prepared by the authors.

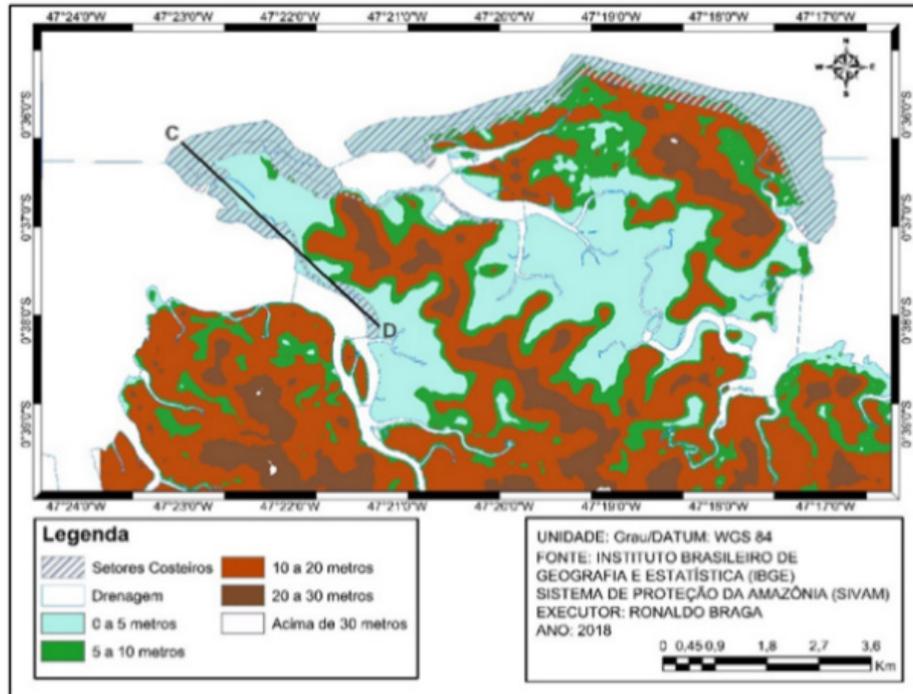


Figura 4: Mapas de Vulnerabilidade para a variável Cota Topográfica de Salinópolis, NE da Amazônia.

Figure 4: Vulnerability maps for the Variable Topographic Elevations of Salinópolis, NE of the Amazon.

Tabela 6: Vulnerabilidade do parâmetro cota topográfica por setores costeiros de Salinópolis

Table 6: Vulnerability of the parameter topographic dimension by coastal sectors of Salinópolis

Setores costeiros em Salinópolis	Vulnerabilidade Cota Topográfica (m)
Costa de praias arenosas Maçarico/Curvina	≤ 5 Muito Alta
Setor de falésias Leste	> 5 ≤ 10 Alta
Setor de Falésias Oeste	> 5 ≤ 10 Alta
Setor de Manguezais Leste I	≤ 5 Muito Alta
Setor de Manguezais Leste II	≤ 5 Muito Alta
Praia do farol Velho	≤ 5 Muito Alta
Praia do Atalaia	≤ 5 Muito Alta

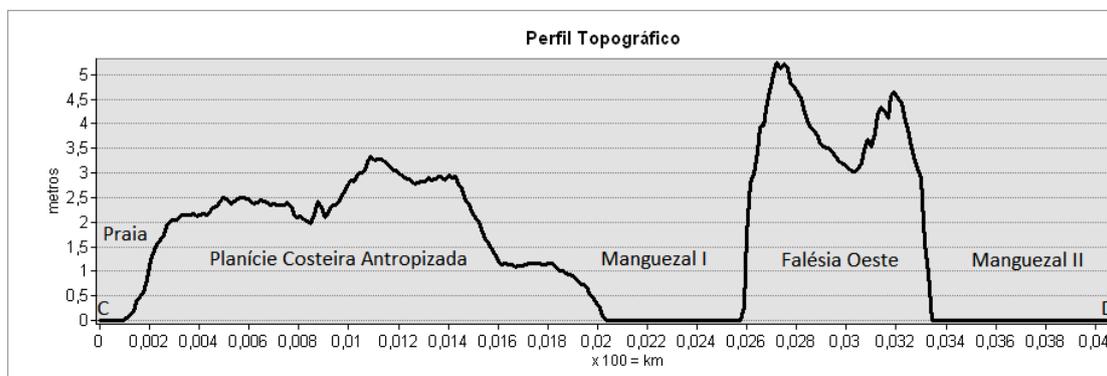


Figura 5: Perfil topográfico CD em Salinópolis, demonstrando grande extensão compoendo a Zona Costeira de Baixa Elevação ao longo dos setores costeiros.

Figure 5: CD topographic profile in Salinópolis, demonstrating a great extension composing the Coastal Zone of Low Elevation along the coastal sectors.

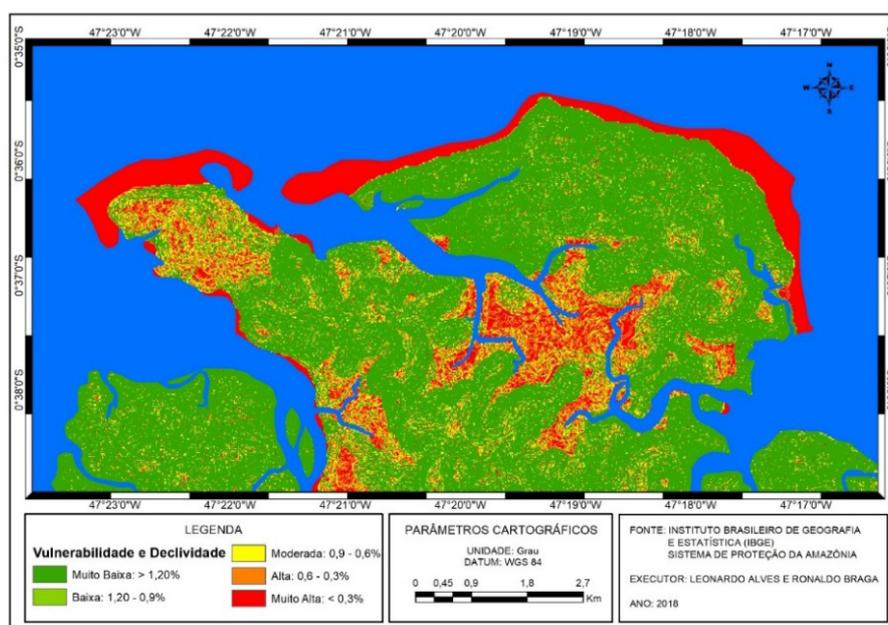


Figura 6: Vulnerabilidade para a variável Declividade em Salinópolis, Litoral NE da Amazônia.

Figure 6: Vulnerability for the variable Declivity in Salinópolis, NE Coast of Amazonia.

baixa declividade e consequentemente uma Muito Alta vulnerabilidade. O Setor de Falésia Oeste apresenta em sua maior área muito alta declividade, o que o configura em Muito Baixa vulnerabilidade.

3.5 Altura significativa da onda (AO)

A altura de ondas para os as quatro praias da área de estudo em águas rasas na zona de rebentação alcançam em média de 0,5 a 1 m de altura. Na face oceânica

desses setores costeiros praias, as ondas incidentes são inferiores a 1,5 m (Muehe e Nicolodi, 2008). Os valores da altura de ondas locais coletados por Ranieri e El-Robrini (2016) na praia da Corvina, Maçarico, Farol Velho e Atalaia são apresentados na Tabela 7. Os valores da altura de ondas nos setores de falésias e manguezais foram inferidos como menores que 0,6 m, pois são locais mais protegidos da ação direta das ondas e por se localizarem mais no interior dos canais.

Tabela 7: Valores de altura média de onda nas principais praias de Salinópolis coletados durante o período equinocial por Ranieri e El-Robrini (2006) (26, 27 e 28/04/2013 – estação chuvosa e 04, 05 e 06/10/2013 – período menos chuvoso) e suas respectivas vulnerabilidades.

Table 7: Mean wave height values in the main beaches of Salinópolis collected during the equinoctial period by Ranieri e El-Robrini (2006) (26, 27 and 28/04/2013 - rainy season and 04, 05 and 06/10 / 2013 - less rainy season) and their respective vulnerabilities.

Setores	Altura média das ondas (m)	Vulnerabilidade
Costa de praias arenosas Maçarico/Curvina	0,6	Baixa
Setor de falésias Leste	< 0,6	Muito Baixa
Setor de Falésias Oeste	< 0,6	Muito Baixa
Setor de Manguezais Leste I	< 0,6	Muito Baixa
Setor de Manguezais Leste II	< 0,6	Muito Baixa
Praia do Farol Velho	0,9	Moderada
Praia do Atalaia	1,2	Alta

3.6 Amplitude de Maré (AM)

No Litoral de Rias da Amazônia, a amplitude de maré é de 5,5 m (Muehe e Nicolodi, 2008), valor que se aproxima ao calculado por El-Robrini *et al.* (2006), que assinalam para toda a costa do Atlântico do Salgado Paraense um valor aproximado da amplitude média de maré de 5,3 m, com influência direta das macromarés semidiurnas. Para Salinópolis a FEMAR apresenta amplitude de maré de 4,75 m, quando comparadas as médias da preamar e baixamar de sizígia. De forma geral as “Rias” amazônicas, especificamente na área de estudo, apresentam marés bem superiores a outros locais do país, quando comparado aos principais portos do país. O MHSW calculado para o período de 2005 a 2016 nas Tábuas de Marés foi de 5,04 m acima do Nível de Redução. Esse valor é praticamente igual ao valor oficial calculado pela FEMAR. Para a MLWS verificam-se diferenças nos valores, pois a FEMAR estipula o valor de 0,46 m e nas Tábuas, foi de 0,33 m. As amplitudes de marés foram calculadas para o período chuvoso e menos chuvoso no NE do Pará. Para o período conhecido como mais chuvoso, nos meses de novembro a março, a amplitude de maré foi de 4,75 m. Para os meses menos chuvosos, de abril a outubro, a amplitude de maré foi de 4,67 m (Figura 7). Importante destacar que a diferença de 0,12 m está relacionada com as marés altas equinociais de março e setembro.

Durante o período de sizígia em Salinópolis, as marés alcançam locais com maior altitude, que em conjunto com as ondas de altura entre 0,6 e 1,2 m, influenciam

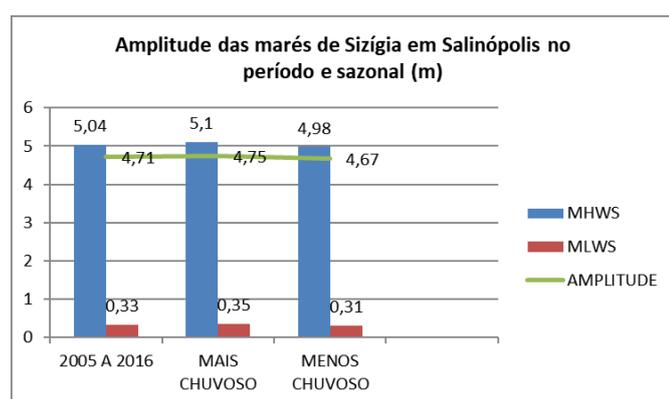


Figura 7: Marés e amplitude de marés no período de 2005 a 2016 e durante os meses mais e menos chuvosos amazônicos, para maré alta e baixa de sizígia em Salinópolis, Amazônia. Fonte: Elaborado pelos autores com dados das Tábuas de marés da Diretoria de Hidrografia Nacional-DHN de Salinópolis entre os anos de 2005 a 2016.

Figure 7: Tides and amplitude of tides in the period from 2005 to 2016 and during the more and less Amazonian rainy months, for high and low tide of syzygy in Salinópolis, Amazonia. Source: Elaborated by the authors with data from the Tide Table of the Salinópolis National Hydrographic Board-DHN between the years 2005 and 2016.

a dinâmica sedimentar, aumentando a capacidade de transporte ao longo da costa. Nos setores costeiros em estudo, a ocupação humana, com construções para habitação e para infraestrutura para o turismo sobre o estirâncio, pós-praia e orla continental, sofrem o impacto direto desses agentes físicos, que agem sobre essas estruturas, causando danos. Esses impactos são advindos da Alta vulnerabilidade do litoral de Salinópolis às amplitudes de marés, tanto para o período de 2005 a 2016 (4,71 m), como para os períodos sazonais mais chuvosos (4,75 m).

4. DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE COSTEIRA GERAL (IVCG)

Os valores da vulnerabilidade para cada variável estão descritos no Tabela 8. Cada setor apresenta características singulares de vulnerabilidade quando expostas a ação energética do mar.

No setor de praias Maçarico/Curvina o IVCG à ação energética do mar foi determinada como Muito Alta (4,33). Os parâmetros geomorfológicos/geológicos (Geomorfologia, Geologia, Declividade da Costa e Cota topográfica) apresentaram valor de vulnerabilidade Muito Alta, enquanto que o parâmetro oceanográfico Altura da Onda apresentara valor menor.

Os setores de falésias Leste e Oeste apresentam IVCG Moderado, com valores de 2,83 e 2,33, respectivamente. O parâmetro Geomorfologia é o que os diferencia. No setor Leste grande parte da costa é composta de falésias ativas, fato que o classifica em Alta vulnerabilidade, enquanto no setor Oeste as falésias são passivas, o que classifica este parâmetro neste setor em Muito Baixa vulnerabilidade.

Os setores de Manguezais I e II apresentam os mesmos valores de vulnerabilidade para os parâmetros geomorfológicos/geológicos e oceanográficos, apresentando Muito Alto IVCG para a média dos valores de vulnerabilidade. Por não serem contínuos, optou-se pela classificação separada dos dois setores.

Os setores de praias do Farol e Velho e Atalaia apresentam IVCG Muito Alto, 4,50 e 4,66, respectivamente. Com exceção dos valores de Altura de Ondas, todos os parâmetros nesses setores apresentam vulnerabilidade a ação energética do mar semelhante.

Das quatro praias analisadas verificou-se IVCG Muito Alto em todas. O único parâmetro que as diferencia é a Altura das Ondas. Dessa forma, calculou-se a energia potencial das ondas que chegam em cada praia, objetivando encontrar alguma diferença que justifique os diferentes índices de vulnerabilidade e o processo erosivo

Tabela 8: Matriz de vulnerabilidade e Índices de Vulnerabilidade Costeira Geral à ação energética do mar por setores em Salinópolis, Amazônia. Fonte: elaborado pelos autores.

Table 8: Vulnerability matrix and General Coastal Vulnerability Indexes to the energy action of the sea by sectors in Salinópolis, Amazônia. Source: prepared by the authors.

Setores costeiros	Parâmetros de Vulnerabilidade						Índice de Vulnerabilidade Costeira Geral-IVCG
	GM	GL	DC	CT	AO	AM	
Costa de praias arenosas Maçarico / Curvina	5	5	5	5	2	4	4,33 (Muito Alto)
Setor de Falésias Leste	4	3	1	4	1	4	2,83 (Moderado)
Setor de Falésias Oeste	1	3	1	4	1	4	2,33 (Moderado)
Setor de Manguezais I	5	5	5	5	1	4	4,16 (Muito Alto)
Setor de Manguezais II	5	5	5	5	1	4	4,16 (Muito Alto)
Praia do Farol Velho	5	5	5	5	3	4	4,50 (Muito Alto)
Praia do Atalaia	5	5	5	5	4	4	4,66 (Muito Alto)

diferenciado na orla das praias já identificado por Ranieri e El-Robrini (2016) e confirmados nesse trabalho em pesquisa de campo. Para o cálculo da Energia Potencial considerou-se a densidade (ρ) da água do mar com valor de 1.030 kg/m^3 (APRH/Glossary, 2007)

Constatou-se que a praia do Atalaia é a mais energética, dissipando $11.387,91 \text{ w/m}$. A praia do Farol Velho é a segunda mais energética, com energia de onda de 6.405 w/m . As praias do Maçarico e Curvina possuem 2.013 W/m de energia potencial cada, sendo consideradas com menos dinamismo com relação à energia potencial das ondas.

A velocidade das correntes costeiras é outro parâmetro que diferencia as praias. De acordo com Ranieri e El-Robrini (2016), na praia do Atalaia as correntes são fortes, em média, maiores que $0,4 \text{ m.s}^{-1}$. Nas praias do Farol Velho e Maçarico as correntes são moderadas, com velocidade média superior a $0,3 \text{ m.s}^{-1}$. A praia da Curvina apresenta correntes fracas, com velocidades inferiores a $0,3 \text{ m.s}^{-1}$ (Tabela 9).

A Figura 8 mostra a síntese do cálculo dos valores de cada variável analisada, destacando o Índice de Vulnerabilidade Geral para toda a Orla de Salinópolis.

5. DISCUSSÃO

Ostrês setores de praias arenosas (Maçarico/Curvina, Farol Velho e Atalaia) apresentam Muito Alta vulnerabilidade, com todos os seis parâmetros apresentando elevados valores individuais. A vulnerabilidade elevada das praias à ação energética do mar se expressa, principalmente, pela ação diária e constante das correntes costeiras, amplitudes de marés anuais superiores a quatro metros, ondas que dissipam energia potencial sobre a costa, erodindo estruturas artificiais e removendo sedimentos arenosos inconsolidados que formam a praia e construções sobre a faixa emersa da Orla.

Os setores de praias arenosas, mesmo apresentando Muito Alta vulnerabilidade para o total das variáveis, possuem diferença quanto à potência das ondas incidentes no local e à velocidade das correntes costeiras. Na praia do Atalaia e do Farol Velho as ondas dissipam energia potencial de $11.387,91 \text{ w/m}$ e $6.405,48 \text{ w/m}$, respectivamente. Uma das consequências é a erosão da costa, que na orla se materializa pela destruição de estruturas como bares e restaurantes construídos sobre a pós-praia e estirâncio e ameaçam hotéis e residências. As correntes que alcançam as praias são fortes, maiores que $0,4 \text{ m.s}^{-1}$ para o Atalaia e

Tabela 9: Valores de profundidade local e altura da onda para o cálculo da energia potencial e de propagação das ondas nas quatro praias em análise. E velocidade das correntes. Fonte: Produzido com dados de Ranieri e El-Robrini (2016), da Carta Náutica da Diretoria de Hidrografia Nacional revisada em 2017 e do APRH/Glossary (2007) do Journal of Integrated Coastal Zone Management.

Table 9: Local depth and wave height values for the calculation of potential energy and wave propagation in the four beaches under analysis. And speed of chains. Source: Produced from Ranieri and El-Robrini (2016), the Nautical Chart of the National Hydrography Board revised in 2017 and the APRH / Glossary (2007) from the Journal of Integrated Coastal Zone Management

Praia	Profundidade (h)	Altura (H)	Potência (w/m)	Velocidade da Correntes
Setor Praia do Maçarico	2 m	0,6 m	2013,67	Correntes moderadas (em média maiores que $0,3 \text{ m.s}^{-1}$).
Setor Praia da Curvina	2 m	0,6 m	2013,67	Correntes fracas (em média menores que $0,3 \text{ m.s}^{-1}$)
Setor Praia do Farol Velho	4 m	0,9 m	6405,48	Correntes moderadas (em média maiores que $0,3 \text{ m.s}^{-1}$)
Setor Praia do Atalaia	4 m	1,2 m	11387,91	Correntes fortes (em média maiores que $0,4 \text{ m.s}^{-1}$)

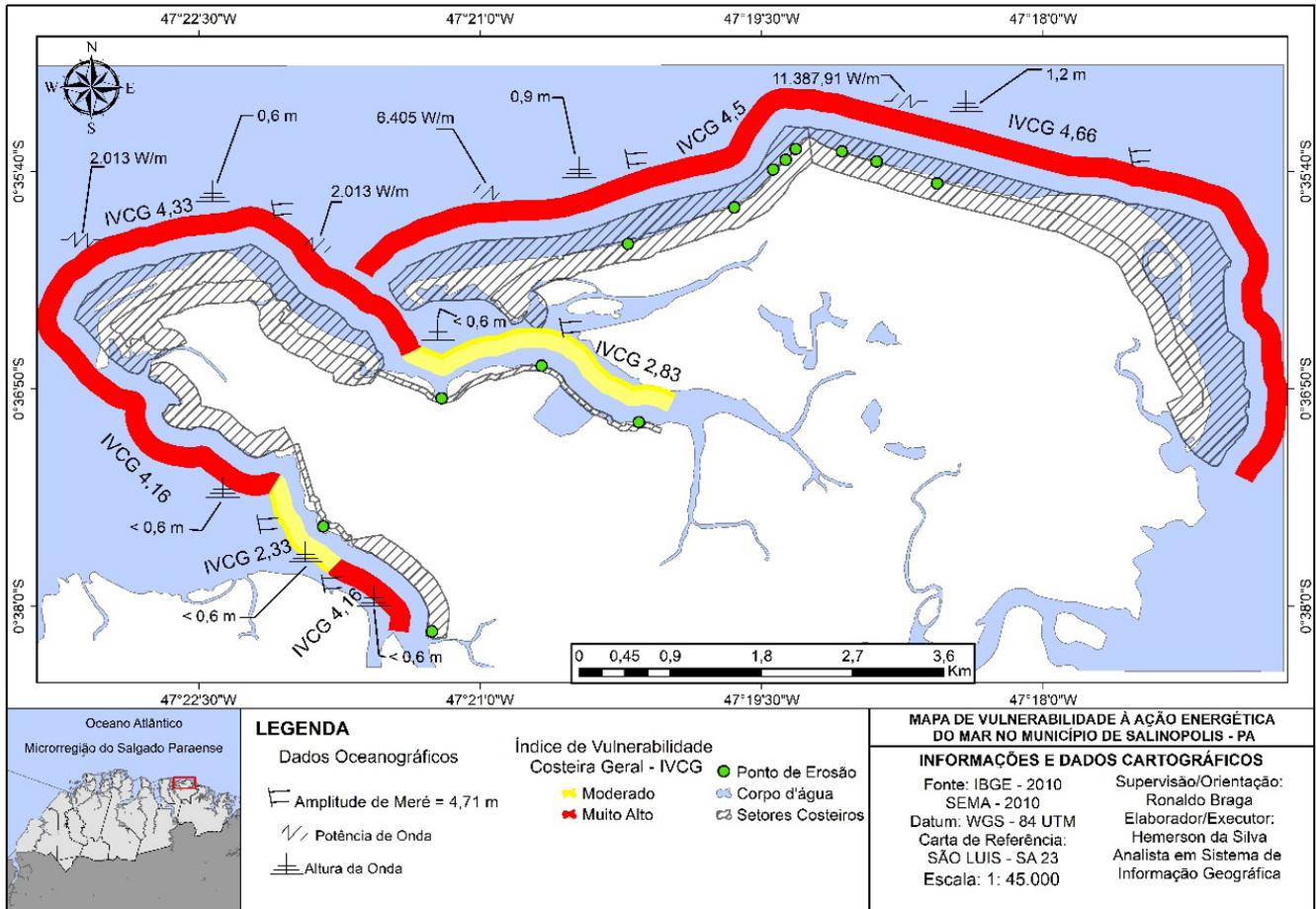


Figura 8: Mapa síntese do Índice de Vulnerabilidade Costeira Geral (IVCG) à ação energética do mar em Salinópolis, Pará.

Figure 8: Summary map of the General Coastal Vulnerability Index (IVCG) to the energy action of the sea in Salinópolis, Pará.

moderadas (maiores que $0,3 \text{ m.s}^{-1}$) para o Farol velho. A ação dessas correntes é responsável pelos deslocamentos de sedimentos longitudinalmente à praia, formando banco e calhas e erodindo falésias. A dissipação da energia potencial das ondas e ação das correntes locais, são dois dos principais agentes oceanográficos atuantes em Salinópolis e responsáveis pela erosão.

O setor de praias do Maçarico/Curvina é menos energético dentre as praias, apresentando energia potencial de ondas de $2013,67 \text{ w/m}$. Sobre a face praial dissipativa formam-se trem de ondas que vão dissipando sua energia e atingem as dunas ou a pós-praia com menos energia (Ranieri e El-Rbrini, 2016). As praias são pouco frequentadas pelo turismo e são limitadas por dunas colonizadas por vegetação de restinga e mangue. Para aqueles autores as correntes que atuam no local são moderadas e fracas, variando em torno de $0,3 \text{ m.s}^{-1}$. Pelo fato de as praias não serem muito dotadas de infraestrutura para turismo, a pós-praia, estirâncio e as dunas não sofrem impactos intensos provenientes da ocupação e os danos sobre estruturas construídas não são muito observados.

A principal estrutura para o turismo do local, conhecida como a “Orla do Maçarico” (Figura 9), construída sobre os manguezais e dunas nos anos de 1997 a 2000 (Souza, 2014), até o presente, não tem sofrido impacto da energia potencial das ondas, visto que estas dissipam a energia sobre as dunas vegetadas. No entanto, a obra tem provocado mudanças nas áreas de migração de dunas e desenvolvimento da vegetação de mangue (Reis e Mendes, 2001; Mendes *et al.*, 2013).

Os setores de falésias Leste e Oeste apresentam vulnerabilidade Moderada. Estas classificações estão relacionadas, principalmente, à altura das falésias no local, que alcançam cotas superiores a 17 metros, à sua localização mais protegida, visto estarem localizadas mais no interior dos canais e pela deposição lamosa em suas bases. Tais fatores limitam a ação energética do mar sobre o continente. Uma das consequências da energia do mar sobre as falésias é a erosão, que provoca perdas de ambientes e, em alguns locais, como no Setor de Falésias Leste, tem causado preocupação às populações residentes.



Figura 9: Orla turística do Maçarico (B). Para a construção de aproximadamente 2 km de orla, foi derrubado vegetação de mangue e restinga e a compactação do solo com aterro e concreto. A vegetação de mangue e as dunas que se formaram paralelamente à “Orla” tem funcionado como barreiras de proteção da estrutura ao ataque das ondas. Foto: COHAB, 2000.

Figure 9: Curlew tourist border (B). For the construction of approximately 2 km of waterfront, vegetation of mangrove and restinga was demolished and the compaction of the soil with embankment and concrete. The mangrove vegetation and the dunes that formed parallel to the “Orla” have functioned as barriers to protect the structure from attack by waves. Photo: COHAB, 2000.

Para os setores de manguezais que foram classificados como Vulnerabilidade Muito Alta, observou-se que a ação do mar é um fator preponderante. Diariamente no local, as marés semi-diurnas inundam as planícies, depositando sedimentos e facilitando a colonização de espécies típicas do ecossistema de manguezal. A diminuição da energia das ondas não justifica uma baixa vulnerabilidade nos mangues, visto que sua dinâmica é dominada pelas marés, fato que comprova sua Muito Alta Vulnerabilidade, principalmente por sua baixa topografia. A Figura 10 mostra três setores de Muito Alta vulnerabilidade sob a ação energética do mar.

5.1 Proposta metodológica de estratégias de intervenção em Salinópolis

Na literatura internacional há diversos trabalhos que tratam do tema da adaptação, cujas metodologias podem ser ajustadas ou aplicadas em diversas realidades costeiras (Odeku, 2004; Musa *et al.*, 2016; Ekström *et al.*, 2016).

Em Salinópolis a determinação da vulnerabilidade à ação energética do mar requer respostas de intervenção, tanto advindas de governantes como da comunidade local. Dessa forma, em função da avaliação da vulnerabilidade e das características atuais dos setores costeiros, com vistas à minimização dos impactos, principalmente à erosão, a estratégia metodológica sugerida para a área de estudo é a Adaptação baseada em Ecossistema (AbE), ou seja, o uso dos serviços ecossistêmicos e da biodiversidade como parte de uma estratégia de adaptação para auxiliar as pessoas e as comunidades a se adaptarem aos efeitos negativos das mudanças climáticas em nível local, nacional, regional e global (ICLEI, 2015, 2016). A AbE tem como finalidade diminuir os impactos da ação do mar sobre a costa, utilizando infraestrutura verde, ou seja, áreas naturais interconectadas, como corredores verdes, parques, zonas úmidas, reservas florestais e comunidades de plantas nativas, e áreas marinhas que naturalmente regulam o regime de chuvas, a temperatura, o risco de inundações e a qualidade da água, do ar e do ecossistema, que juntas aumentam a saúde e a resiliência dos ecossistemas, contribuem para a conservação da biodiversidade e beneficiam populações humanas por meio da manutenção e aprimoramento dos serviços ecossistêmicos. (ICLEI, 2015, 2016; PNA/MMA, 2016).

Em determinados setores da costa de Salinópolis, como nas praias do Farol Velho e Atalaia, as habitações e estruturas comerciais estão sob ataque direto do mar em maré alta, para esses locais, não se descarta a possibilidade de instalação de infraestrutura cinza, aquelas relacionadas às estruturas convencionais, como barreiras de concreto, madeira e concreto, metal, metal e concreto. Atualmente, são essas as principais formas de contenção do processo erosivo em Salinópolis. O que se constata, é que tais iniciativas possuem caráter imediatista e paliativa, sem estudo ambiental detalhado prévio. A tabela 10, mostra as possíveis estratégias de adaptação e intervenção por setores de Orla em Salinópolis, com base em análise de campo e (ICLEI, 2015, 2016; PNA/MMA, 2016).

Intervenções do poder público Municipal e da população podem ser vistas ao longo da orla de Salinópolis (Figura 11). No setor de Falésia Leste a Defesa Civil protocolou pedido à Prefeitura Municipal por meio do Ministério Público para interditar uma parte desse setor.



Figura 10: Ação das ondas e correntes longitudinais e de marés sobre estruturas artificiais: (C) Setor da praia do Atalaia, em Muito Alta Vulnerabilidade, sofrendo ataque das ondas; (D) Setor da praia do Farol Velho em Muito Alta vulnerabilidade, apresentando intenso processo erosivo; (E e F) Setor de Falésia Leste, a ação, principalmente das correntes de marés tem provocado erosão nas vias de circulação. Fonte: Fotos de Ronaldo Braga (08/04/2018).

Figure 10: Action of waves and longitudinal currents and tides on artificial structures: (C) Atalaia beach sector, in Very High Vulnerability, suffering waves attack; (D) Sector of the beach of the Old Lighthouse in Very High vulnerability, presenting intense erosive process; (E and F) East Cliff Sector, the action, mainly of the tidal currents has caused erosion in the circulation ways. Source: Photos of Ronaldo Braga (04/08/2018).



Figura 11: Medidas de contenção da erosão em Salinópolis: (G) parte central do Setor de Falésia Leste interditado; (H) estrutura de contenção da erosão em madeira e rochas destruídas na praia do Atalaia.

Figure 11: Erosion containment measures in Salinópolis: (G) central part of the Eastern Closing Sector, (H) erosion containment structure in wood and destroyed rocks on the beach of Atalaia.

Tabela 10: Estratégia de adaptação local para Salinópolis.

Table 10: Local adaptation strategy for Salinópolis.

Setores costeiros	Índice de Vulnerabilidade Costeira Geral-IVCG	Estratégia de adaptação à ação energética do mar
Costa de praias arenosas Maçarico / Curvina	4,33 (Muito Alta)	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar desmatamento de vegetação de mangues e restingas; • Manter dunas vegetadas; • Não interromper a conexão de vegetação de mangues e restingas entre as duas praias; • Controlar a atividade turística nas praias; • Impedir retirada de areia das praias.
Setor de Falésias Leste	2,83 (Moderada)	<ul style="list-style-type: none"> • Plantio de árvores de grande porte para evitar a erosão de falésias; • Interditar áreas de falésias altas em erosão.
Setor de Falésias Oeste	2,33 (Moderada)	<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção e plantio de árvores próximo às falésias habitadas; • Utilização do depósito lamoso na base das falésias para facilitar a colonização de vegetação, com vistas a dissipar a energia principalmente das correntes de marés.
Setor de Manguezais Leste I	4,16 (Muito Alta)	<ul style="list-style-type: none"> • Preservar a vegetação ainda existente através da aplicação da legislação ambiental de Área de Preservação Permanente, Lei nº 12.727/2012 (BRASIL, 2012); • Melhorar as condições de saneamento e moradia das populações.
Setor de Manguezais Leste II	4,16 (Muito Alta)	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar a Lei sobre Área de Preservação Permanente (BRASIL, 2012) para impedir a urbanização que avança sobre a vegetação; • Melhorar as condições de saneamento e moradia das populações.
Praia do Farol Velho	4,5 (Muito Alta)	<ul style="list-style-type: none"> • Construir estrutura de contenção para diminuir os danos causados pela erosão; • Impedir novas construções sobre a pós-praia; • Propor retirada de estruturas comerciais ou de habitações de áreas de erosão mais severa.
Praia do Atalaia	4,66 (Muito Alta)	<ul style="list-style-type: none"> • Construir estrutura de contenção para diminuir os danos causados pela erosão; • Impedir novas construções sobre a pós-praia; • Propor retirada de estruturas comerciais ou de habitações de áreas de erosão mais severa; • Impedir a circulação de carros na praia; • Preservar as dunas, que funcionam como fonte de sedimentos para a praia; • Impedir retirada de areia das dunas e da praia.

6. CONCLUSÕES

O estudo da ação energética do mar no litoral de Salinópolis demonstra um cenário atual onde a maioria da costa se apresenta em Muito Alta vulnerabilidade para a maioria das variáveis, devido às características físicas regionais particulares, tais como configuração e formação geomorfológica da costa, altas amplitudes de maré, baixa cota topográfica e diferencial de potencial energético das ondas.

As ondas dissipam energia potencial diferentes sobre as praias, devido às distintas características físicas da altura das ondas e da batimetria. Parte do processo erosivo evidenciado ao longo da Orla costeira é resultante dessa energia das ondas.

A metodologia utilizada para a determinação do Índice de Vulnerabilidade Costeira Geral, IVCG, em Salinópolis, importante cidade litorânea amazônica, pode ser replicado para o restante da Zona Costeira Amazônica, podendo ser instrumento de conhecimento da dinâmica física de umas das mais importantes regiões

do Planeta. Também serve como subsídio para a previsão de impactos ambientais na costa, podendo ser utilizado por gestores em diferentes instâncias de poder.

A ocupação da zona de maior dinamismo das praias (estirâncio) e da zona de depósito sedimentar (pós-praia) nas praias do Farol Velho e Atalaia, provocam destruição das estruturas comerciais e residenciais e impedem que os sedimentos o transporte de sedimentos entre as zonas praias, provocando erosão.

Por falta de conhecimento suficiente, da Esfera Pública, sobre a dinâmica física dos principais agentes oceanográficos responsáveis pela geomorfologia costeira em Salinópolis, há a permissão para as construções domiciliares e de hotelaria em setores da Orla Costeira em Alta ou Muito Alta Vulnerabilidade à ação energética do mar, como acontece nas orlas continentais dos setores das praias do Farol Velho e Atalaia.

A classificação por setores da vulnerabilidade à ação energética do mar em Salinópolis, seguiu-se de uma proposição metodológica para adaptação. As estratégias

propostas basearam-se em experiências positivas destacadas pela ICLEI (2015, 2016) e no Plano Nacional de Adaptação em Zonas Costeiras (PNA/MMA, 2016). Para cada setor, de acordo com a vulnerabilidade foram propostas medidas de adaptação e contenção.

De acordo com a teoria geográfica dos sistemas (Bertrand, 1973) a paisagem é resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução. Ab'Saber (2006) e Muehe (2005, 2006) afirmam que as paisagens costeiras se formam e se modificam a partir da interrelação dos agentes físicos e antrópicos. A classificação da vulnerabilidade em Salinópolis considerou a análise sistêmica entre os agentes geológico/geomorfológico e oceanográficos.

De acordo com Neves e Muehe (2008), os setores costeiros em estudo se caracterizam como os de maior susceptibilidade socioeconômica diante da ação do mar. Esta consideração foi reafirmada por Szlafsztein (2006), em estudo sobre as estratégias e medidas contra desastres naturais na zona costeira da Amazônia.

A constatação da elevada vulnerabilidade atual à ação energética do mar, em Salinópolis lança subsídios para a necessidade de melhoria das políticas públicas que considerem o equilíbrio dinâmico das diferentes paisagens e de mais pesquisas sobre os impactos que a ação energética do mar pode provocar na Zona Costeira Amazônica. Também se entende que a metodologia apresentada pode ser replicada noutros setores da costa amazônica.

REFERÊNCIAS

- Ab'sáber, A. (2000) - Fundamentos de Geomorfologia Costeira do Brasil atlântico inter e subtropical. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 1 (1): 27-43. DOI: DOI: 10.20502/rbg.v1i1.67
- Ab'sáber, A.N (2003) - Amazônia brasileira: um macrodomínio. In: Os domínios de natureza do Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo, pp. 65-82, *Ateliê Editorial*, SP, Brasil. ISBN: 85-780-099-6.
- Ab'sáber, A.N (2004) - Amazônia do discurso à práxis. 319p., *Edusp*, São Paulo. ISBN: 85-314-0091-0.
- Ab' Saber, A. N. (2006) - Brasil Paisagens de exceção, o litoral e o Pantanal Mato-Grossense: Patrimônios básicos. 182p., *Ateliê Editorial*, Cotia, SP, Brasil. ISBN: 978-85-7480-754-0.
- APRH/Glossary. (2007) - Associação Portuguesa de Recursos Hídricos. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*. <http://www.aprh.pt/rgci/glossario/aguadomar.html>.
- Becker, B.K. (2004) - Amazônia: geopolítica na virada do terceiro milênio. 168p., *Garamond*, Rio de Janeiro, Brasil. ISBN: 85-7617-042-6.
- Brasil. (2012) - Lei Federal nº 12.727, de 17 de outubro de 2012. Dispõe sobre alterações no Código Florestal. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12727.htm
- Brasil. (1973) - Departamento Nacional de Produção Mineral. *Projeto Radam*. Folha SA 23 São Luís e parte da Folha SA 24 Fortaleza: Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Usopotencial da terra. Rio de Janeiro, v. 3. <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=adebiblioteca=CPACebusca=autoria:%22PROJETO%20RADAMBASIL.%22>.
- Coelho, C. (2005) - Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira. 405p., Dissertação de Doutorado, *Universidade de Aveiro*, Aveiro, Portugal. Disponível em <http://ria.ua.pt/bitstream/10773/2405/1/2005001720.pdf>. 2005.
- Coelho, C.; Silva, R.; Veloso-Gomes, F.; Taveira-Pinto, F. (2006) - Avaliação de Riscos. Modelos de Previsão da Evolução da Configuração Costeira. Recursos Hídricos e Ambiente 1^{as} Jornadas de Hidráulica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, pp. 17-25. ISBN 978-989-95557-0-9.
- Cohab. (2000) Companhia de Habitação do Estado do Pará. Erolvamento de Salinópolis.
- Costa, J.; Borges, M.; Bemerguy, R.; Fernandes, J.; Costa Jr., P.; Costa, M. (1993). A evolução cenozoica da região de Salinópolis, nordeste do Estado do Pará, *Geociências* 12 (2), São Paulo, Brasil. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=614>.
- Costa, J.B.S.; Bemerguy, R.L.; Hasui, Y.; Borges, M.S.; Ferreira Júnior, C.R.P.; Bezerra, P.E.L.; Costa, M.L.; Fernandes, J.M.G. (1996) - Neotectônica da região Amazônica: aspectos Tectônicos, Geomorfológicos E Depositionais. *Geonomos*, 4 (2): 23-44. DOI: 10.18285/geonomos.v4i2.199.
- Cprm. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. (s/d) Serviço Geológico do Brasil. Cartas Geológica do Brasil ao milionésimo. <http://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/Geologia-Basica/Carta-Geologica-do-Brasil-ao-Milionesimo-298.html>.
- Cutter, S. A. (2011) - Ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. *Revista crítica de Ciências Sociais*, 93: 59-69. DOI: 10.4000/rccs.165.
- DHN. Diretoria de Hidrografia Nacional. Tabua de Marés de Salinópolis dos anos de 2005 a 2016 (s/d). *Marinha do Brasil*. <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-previsao-mare/tabuas/index.htm>.
- DHN. Diretoria de Hidrografia Nacional. (2017) - Carta Náutica 32 de Salinópolis ao Canal do Espadarte. www.marinha.mil.br/dhn/.
- El-Robrini, M.; Silva, M. A. M. A.; Souza Filho, P. W. M.; Silva Júnior, O. G.; França, C. F. (2006) - Erosão e progradação no Pará. In: Muehe, D (org.), *Ministério do Meio Ambiente*, Brasília, Brasil. ISBN 85-7738-028-9. <http://www.mma.gov.br/publicacoes/gestao-territorial/category/80-gestao-costeira-g-erosao-e-progradacao.html>.
- Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária. (2016) - <https://www.cnpm.embrapa.br/Projetos/Relevobr/Download/Pa/Pa.Htm>.
- Ekström, M.; Grose, M.; Heady, C.; Turner, S.; Teng, J. (2016) - The method of producing climate change datasets impacts the resulting policy guidance and chance of mal-adaptation. *Climate Services* 4: 13–29. DOI: 10.1016/j.cliserv.2016.09.003

- Fernandes, E.H.L.; Junior, O.O.M.; Cuchiara, D.P. (2015) - Ondas. In: Castello, J.P e Krug, L.C (org.), Introdução às ciências do mar, Pelotas, pp. 196-225, Ed. Textos, RS, Brasil. ISBN: 978-85-68539-00-2. https://www.researchgate.net/publication/295546141_Introducao_as_Ciencias_do_Mar/download
- França, C. F., Souza Filho, P. W. M. (2003) - Análise das mudanças morfológicas costeiras de médio período na margem leste da ilha de marajó (pa) em imagem landsat. *Revista Brasileira de Geociências* (ISSN: 0375-7536), 33, 127-136, São Paulo, Brasil. <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/9877>
- Góes, A.M., Rossetti, D.F., Nogueira, A.C.R., Toledo, P.M. (1990) - Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no nordeste do Estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi* (ISSN 1981-8122), Série Ciências da Terra, 2, 3-15, Belém, PA, Brasil. <https://biblat.unam.mx/pt/revista/boletim-do-museu-paraense-emilio-goeldi-serie-ciencias-da-terra/2>
- Germani, Y.F.; Figueiredo, S.A.; Calliari, L.J.; Tagliani, C.R.A. (2015) - Vulnerabilidade costeira e perda de ambientes devido à elevação do nível do mar no litoral sul do Rio Grande do Sul. *Revista de Gestão Costeira Integrada* 15(1):121-131. DOI:10.5894/rgci540
- Gonçalves, C. W. (2008) - Amazônia, amazônias. 178p., *Contexto*, São Paulo, Brasil. ISBN-13: 978-8572441667.
- Gornitz, V. (1990) - Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (Global and Planetary Change Section/Elsevier Science), 379-398. DOI: 10.1016/0031-0182(91)90173-O.
- Goosse, H. Barriat, P.Y.; Lefebvre, W.; Loutre, M.; Zunz, V. (2010) - Introduction to climate dynamics and climate modeling, *Université catholique de Louvain*, Louvain-la-Neuve Belgium. <http://www.climate.be/textbook>.
- Gutierrez, B, Plant, N., Pendleton, E.; Thieler, E. (2014) - Using a Bayesian Network to predict shore-line change vulnerability to sea-level rise for the coasts of the United States. *U.S. Geological Survey*, Reston, Virginia, USA. <http://dx.doi.org/10.3133/ofr20141083>
- ICLEI. Governos Locais pela Sustentabilidade. (2015) - Adaptação baseada em Ecossistemas: Oportunidades para políticas públicas em mudanças climáticas. 82p., *ICLEI/Boticário*, Curitiba, PR, Brasil. 2ª ed. <http://goo.gl/zpAg8H>.
- ICLEI; Programa Cidades Sustentáveis. (2016) - Guia de Acción Local por el Clima. 47p., *ICLEI*, São Paulo, SP, Brasil. ISBN 978-85-99093-30-6
- Júnior, W. R. N. (2016) - Análise da dinâmica das áreas de manguezal no litoral norte do Brasil a partir de dados multisensores e hidrossedimentológicos. Dissertação de Doutorado, Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, PA, Brasil. Unpublished.
- Lima, M.; Coelho. C. (2017) - O modelo de evolução da linha de costa LTC: pressupostos, evolução, validação e aplicação. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 17(1): 5-17. DOI:10.5894/rgci-n44
- Melo, P.A. (2008) - Apropriação da natureza e sensibilidade ambiental de paisagens costeiras: proposições para a gestão ambiental da urbana de Salinópolis-PA. Belém, 96p. Dissertação de Mestrado, IFCH, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil. Unpublished.
- Mendes, A.C. Silva, M.S; Santos, V.F. (2013) - Análise do meio físico para gestão ambiental das ilhas de Algodão e Atalaia (NE do Pará). In: Pros, M.T.; Mendes, A.C. (org.), *Ecossistemas costeiros: impactos e gestão ambiental*, pp. 103-111, *Museu Paraense Emílio Goeldi*, Belém, PA, Brasil. ISBN: 978-85-61377-66-3. <https://www.museu-goeldi.br/assuntos/publicacao/catalogo-de-publicacoes/ecossistemas-costeiros-impactos-e-gestao-ambiental>
- Miguens, A.P. (1996) - Navegação: a ciência e a arte. v. 1 – Navegação Costeira, estimada e em Águas Restritas. 538p., *Diretoria de Hidrografia e Navegação*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. <https://www.marinha.mil.br/dhn/?q=pt-br/npublicacoes>
- MMA. Ministério do Meio Ambiente. (2008) - Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil, *Ministério do Meio Ambiente*, Brasília, Brasil ISBN 978-85-7738-112-8. <http://www.mma.gov.br/component/k2/item/7562?Itemid=866>
- Muehe, D. (2003) - O litoral brasileiro e sua compartimentação. In: Guerra, A.; Cunha, S. (Org.), *Geomorfologia do Brasil*, pp.273-349, *Bertrand Brasil*, Rio de Janeiro, Brasil. ISBN: 8528606708. <https://www.saraiva.com.br/geomorfologia-do-brasil-419925.html>
- Muehe, D. (2005) - Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. *Mercator* (ISSN: 1984-2201), 4/7: 97-110, Fortaleza, CE, Brasil. <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/113>
- Muehe, D. (2006) - Erosão e progradação no litoral brasileiro. 476p., *Ministério Meio Ambiente*, Brasília, Brasil. : 2006. 476 p. ISBN 85-7738-028-9.
- Muehe, D., Nicolodi, J. (2008) - Geomorfologia. In: MMA (Org), *Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil*, pp.23-40, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Brasília, Brasil. ISBN 978-85-7738-112-8.
- Muehe, D.; Rosman, P. A. (2011). Orla costeira da região metropolitana do Rio de Janeiro: impactos das mudanças climáticas sobre o meio físico. In: Megacidades, vulnerabilidades e mudanças climáticas: região metropolitana do Rio de Janeiro. *CST/INPE e NEPO/UNICAMP*. https://www.researchgate.net/publication/264383509_Vulnerabilidades_das_megacidades_basileiras_as_mudancas_climaticas_Regiao_Metropolitana_de_Sao_Paulo_-Relatorio_Final.
- Musa, Z. N.; Popescu, I.; Mynett, A. (2016) - Assessing the sustainability of local resilience practices against sea level rise impacts on the lower Niger delta. *OceanCoastal Management*, 130 (221-228). DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2016.06.016
- Neto, M. (1976). O dilema da Amazônia. 232p., *Vozes*, Petrópoli, RJ, Brasil.
- Neves, C.F.; D. Muhe. (2008) - Vulnerabilidade, impactos e adaptação às mudanças do clima: a zona costeira, In: Mudanças do clima no Brasil: vulnerabilidade, impactos e adaptação. *CGEE/Parcerias Estratégicas* (ISSN: 2176-9729), 13 (27): 217-296. http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/view/325
- Nicholls, R.; Hanson, S.; Lowe, J.; Warrick, R.; Lu, X.; Long, A. (2013) -Sea-level scenarios for evaluating coastal impacts. *WIREs Clim Change*, 5: 129–150. DOI: 10.1002/wcc.253
- Odeku, K.O. (2004) - Climate change: strengthening mitigation and adaptation in south africa, *University of Fort Hare*, 54 (2): 159-183. DOI: org/stable/41149808
- Pereira, C; Coelho C. (2013a). Mapas de Risco das Zonas Costeiras por Efeito da Ação Energética do Mar (Coastal Risk Maps DuettoWavesAction). *Revista da Gestão Costeira Integrada* 13(1): 27-43. DOI:10.5894/rgci325

- Pereira, C. e Coelho, C. (2013b). Mapping Erosion Risk Map under different Scenarios of Climate Change for Aveiro Coast, Portugal. *Natural Hazards, Springer*; DOI: 10.1007/s11069-013-0748-1.
- PNA/MMA. (2016) Zonas costeiras. In: Ministério do Meio Ambiente, O Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima, pp. 237-262, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, Brasil. ISBN: 978-85-7738-273-6. <http://www.mma.gov.br/clima/adaptacao/plano-nacional-de-adaptacao>
- Prost, M. T.; Mendes, A. C.; Faure, J. F.; Berrêdo, J. F.; Sales, M. E. C.; Furtado, L. G.; Silva, M. G. S.; Silva, C. A.; Nascimento, I.; Gorayeb, I.; Secco, M. F. V. E Luz, L. M. (2013) – Manguezais e estuários da costa paraense: exemplo de estudo multidisciplinar integrado (Marapanim e São Caetano de Odivelas). In: Ecossistemas costeiros: impactos e gestão ambiental. (Prost, M. T. e Mendes, A. Orgs.), *Museu Paraense Emílio Goeldi* (ISSN: 978-85-61377-66-3): 75-87, Belém, PA, Brasil. <https://www.museu-goeldi.br/assuntos/publicacao/catalogo-de-publicacoes/ecossistemas-costeiros-impactos-e-gestao-ambiental>
- Ranieri, L.; El-Robrini, M. (2015) - Evolução da linha de costa de Salinópolis, nordeste do Pará, Brasil. *Pesquisas em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul*, 42 (3): 207-226. DOI: [org/10.22456/1807-9806.78121](https://doi.org/10.22456/1807-9806.78121)
- Ranieri, L. A.; El-Robrini, M. (2016) - Condição Oceanográfica, Uso e Ocupação da Costa de Salinópolis (Setor Corvina – Atalaia), Nordeste do Pará, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 16 (2): 133-146. DOI: [org/10.5894/rgci565](https://doi.org/10.5894/rgci565)
- Reis, M.C; Mendes, A.C. (2001) - Análise crítica do plano de urbanização da orla do maçarico (Salinópolis). *Traços* (ISSN: 1516-0025), 4, (7): 17-21, Belém, PA, Brasil.
- Ribon, H. C., Souza, I. C. M., Silva, I. M., Pfeiff G. K. (2017) - Turismo como potencial para promoção do desenvolvimento local sustentável no Atalaia, em Salinópolis/PA. *Revista Grifos*, 43: 96-132. DOI: [http://dx.doi.org/10.22295/grifos.v26i43](https://dx.doi.org/10.22295/grifos.v26i43)
- Rossetti, D.; Truckenbrodt, W.; Góes, A. (1989) - Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na região bragantina, nordeste do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi (Série Ciências da Terra)* (ISSN:), 1 (1): 25-74. <http://repositorio.museu-goeldi.br/handle/mgoeldi/623>
- Rossetti, D. (2000) - Influence of low amplitude/high frequency relative sea-level changes in a wavedominated estuary (Miocene), São Luís Basin, northern Brazil. *Sedimentary Geology*, 133(3-4): 295-324. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(00\)00046-4](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(00)00046-4)
- Rossetti, D. (2006) - Evolução sedimentar miocênica nos estados do Pará e maranhão. *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)* (ISSN: 2316-9595), 6(4), São José dos Campos, SP, Brasil. <http://www.revistas.usp.br/gusp/article/view/27420/29192>
- SEMMA. Secretaria Municipal de Meio de Ambiente de Salinópolis. Salinópolis, 2015.
- Sioli, H. (1985) - Amazônia: fundamentos de ecologia da maior região de florestas tropicais. *Vozes*, Petrópolis, RJ, Brasil. 72p.
- Souza, C.R., Souza Filho, P.W.M., Esteves, L.S., Vital, H., Dillenburg, S.R., Patchineelam, S.M., Addad, J.E. (2005) - Praias arenosas e erosão costeira. In: Souza, C.R., Suguui, K., Oliveira, A.M.S., Oliveira, P.E. (Orgs), Quaternário do Brasil, pp. 130-152, *ABEQUA/Holos*, São Paulo, Brasil. ISBN: 85-86699-47-0. <https://holoseditora.websiteseuro.com/index.php?area=produtoeprodid=58ecat=36>
- Souza, C.R. (2009) - A Erosão Costeira e os Desafios da Gestão Costeira no Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada* 9(1):17-37. DOI: 10.5894/rgci147
- Souza Filho, P. (2005) - Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. *Revista Brasileira de Geofísica* 23 (4): 427- 435. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-261X2005000400006>
- Souza, D.L. (2014) - Urbanização Turística, Políticas Públicas e Desenvolvimento: O Caso e Salinópolis/PA, *Geografia em Questão* (ISSN: 21750234), 7(1): 65-86. <http://e-revista.unioeste.br/index.php/geoemquestao/article/view/9443>
- Stemberg, H. (2012) - Reflexões sobre o desenvolvimento e o futuro da Amazônia. In: Ribeiro, H (Org.), *Estudos Amazônicos: dinâmica natural e impactos socioambientais*, pp. 35-52, *Edusp*, São Paulo, Brasil. ISBN: 9788531412578
- Szlafsztein, C. (2006) - Metodologia de análise e mapeamento da vulnerabilidade na Amazônia. In Chang M.; Goés, K.; Fernandes, L.; Freitas, M.; Rosa, L (Orgs.), *Metodologias de estudo de vulnerabilidade à mudança do clima*. Pp. 107-126, *Interciência*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. ISBN: 9788571933620 <https://www.editorainterciencia.com.br/index.asp?pg=prodDetalhado.aspeidprod=353etoken=>
- Szlafsztein, C.; Sterr, H; Lara, R. (2006) - Estratégias e medidas de proteção contra desastres naturais na zona costeira da região amazônica, Brasil. *Terra Livre* (ISSN: 0102-8030), 1(26): 109-125, Goiânia, GO, Brasil. <http://www.agb.org.br/publicacoes/index.php/terralivre/article/view/210/194>
- Szlafsztein, C.; Marques, O.; Maia, H.; Prette, M.; Fischenich, P.; Altieri, F. (2010) Referências Metodológicas para mapeamento de Riscos Naturais na Amazônia: Mapeando as vulnerabilidades. Brasília, *Ministério do Meio Ambiente/GTZ*. 60 p.
- Tagliani, C.; Conterato, M.; Antiquiera, J.; Calliari, L.; Tagliani, P.; Soares, M. (2006) - Construção de um modelo digital de elevação digital de terreno para Ilha dos Marinheiros, Rio Grande, RS, com uso de DGPS e rotinas de geoprocessamento. *Gravel* (ISSN: 1678-5975), 4: 89-98, Porto Alegre, RS, Brasil. <http://www.ufrgs.br/gravel/portugues/publica.htm>
- Valeriano, M.; Rossetti, D. (2008) - Topographic modeling of Marajó island with srtm data. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 9 (1): 53-64. DOI: [org/10.20502/rbg.v9i1.101](https://doi.org/10.20502/rbg.v9i1.101)
- Williams, S.J.; B.T. Gutierrez.; J.G. Titus.; K.E. Anderson.; S.K. Gill.; D.R. Cahoon.; E.R. Thieler.; D.B. Gesch. (2009). Implications of sea-level rise to the nation. In: K.E. Anderson.; D.R. Cahoon.; D.B. Gesch.; S.K. Gill.; B.T. Gutierrez.; E.R. Thieler.; S.J. Williams (orgs.), *Coastal Sensitivity to Sea-Level Rise: A Focus on the Mid-Atlantic Region*, pp. 179-184, *U.S. Environmental Protection Agency*, Washington, E.U.A. https://www.researchgate.net/publication/272293967_Coastal_Sensitivity_to_Sea-Level_Rise_A_Focus_on_the_Mid-Atlantic_Region