

PADRÕES DIFERENCIADOS DE RECUO DA LINHA DE COSTA E SUA CORRELAÇÃO COM PROCESSOS EROSIVOS E AS ÁREAS DE RISCO À EROSÃO COSTEIRA NO ESTADO DO PARÁ

SHORELINE CHANGE PATTERNS AND THEIR CORRELATION WITH EROSION PROCESSES AND COASTAL EROSION RISK AREAS IN PARÁ STATE- BRAZIL

SHEILA GATINHO TEIXEIRA

*Serviço Geológico do Brasil, Belém, Pará-Brasil.
sheila.teixeira@cprm.gov.br*

ÍRIS CELESTE DO NASCIMENTO BANDEIRA

*Serviço Geológico do Brasil, Belém, Pará-Brasil.
iris.bandeira@cprm.gov.br*

RESUMO ABSTRACT

A região costeira do Estado do Pará possui uma rede complexa de estuários, submetida à macromarés, mesomarés e a altas correntes de marés, que associadas a ondas, alto índice pluviométrico e a uma geologia diversificada, composta por materiais pouco consolidados proporcionam processos erosivos costeiros diferenciados. Estas áreas suscetíveis a processos erosivos foram ocupadas sem planejamento territorial, levando ao surgimento de áreas de risco à erosão. Portanto, este trabalho tem como objetivo caracterizar os agentes e processos erosivos, associando com a forma de ocupação dos setores de risco, a fim de diferenciar padrões de recuo da linha de costa. Para isso foi realizada revisão bibliográfica, análise temporal de dois mosaicos de imagens Landsat (1988 e 2019), para verificar a dinâmica costeira em escala regional, e avaliação estatística e a forma de ocupação de 54 setores de risco alto e muito alto à erosão costeira mapeados pelo Serviço Geológico do Brasil, no período de 2012 a 2019, em 12 municípios do Estado do Pará. Foi possível identificar dois padrões de recuo de linhas de costa, que envolvem diferentes processos. Quando estes setores ocorrem nas margens dos estuários (região interna), estão associados à ocupação do topo das falésias, sendo submetidos aos processos de deslizamentos, solapamentos e erosão laminar, bem como, a influência do despejo de águas servidas na face da falésia. Quando estes ocorrem nas porções externas dos estuários, estão associados ao dé-

The coastal State of Pará has a complex estuaries network, subjected to macrotides, mesotides and high tidal currents, which associated with waves, high rainfall and a diversified geology, composed of poorly consolidated materials provide differentiated coastal erosive processes. These areas susceptible to erosive processes were occupied without territorial planning, leading to the emergence of risk erosion areas. Therefore, this work aims to characterize the erosive agents and processes, associating them with the occupation of the risk sectors, in order to differentiate patterns of shoreline retreat. For this, a bibliographic review was carried out, a temporal analysis of two Landsat images mosaics (1988 and 2019), to verify the coastal dynamics on a regional scale. And statistical evaluation and the occupation patterns of 54 sectors of high and very high risk coastal erosion mapped by the Geological Survey of Brazil, in the period from 2012 to 2019, in 12 municipalities in the State of Pará. It was possible to identify two patterns of shorelines retreat, which involves different processes. When these sectors occur on the estuaries margins (inland), they are associated with the occupation of cliffs top, being subjected to the processes of landslides, undermining and laminar erosion, as well as, the influence of the wastewater discharge on the cliff face. When these occur in the outer estuaries portions, they are associated with a sedimentary deficit on sandy beaches

ficit sedimentar nas praias arenosas e estão relacionados a processos como: retenção dos sedimentos oriundos da plataforma pelos bancos submersos localizados na foz dos estuários, ocupação desordenada da faixa dinâmica das praias e migração dos canais de maré em direção ao continente. Essa caracterização pode ser utilizada como subsídio pelos órgãos competentes no gerenciamento costeiro e na mitigação dos eventos, que devem levar em consideração as características físicas e oceanográficas locais.

Palavras-chave: risco geológico, desastres naturais, macromarés e zona costeira amazônica

and are associated with processes such as: retention of sediments from the platform by the submerged banks located at the mouth of the estuaries, disordered occupation of the dynamic beaches zones and migration of the channels tide towards the continent. This characterization can be used as a subsidy by competent institutions in coastal management and in the mitigation of events, which must take into account the local physical and oceanographic characteristics.

Keywords: geological risk, natural disaster, microtides and amazon coastal zone

1 INTRODUÇÃO

A região costeira é a zona mais fortemente urbanizada no mundo, cerca de 45% a 60% da população mundial vive nessa região (Syvitski et al. 2005, Church et al. 2006, Jonah et al. 2016, Boye et al. 2018). Segundo IBGE (2011), no Brasil aproximadamente 50,7 milhões de pessoas (24,6% da população) vivem na zona costeira. Essas regiões são altamente dinâmicas e frequentemente vulneráveis à processos naturais e interferências artificiais com mudanças ocorrendo continuamente em diferentes momentos e escalas espaciais (Bird 2008). As mudanças morfológicas são controladas pela constituição geológica da linha de costa, que possui diferentes graus de resistência aos vários agentes erosivos como a chuva, maré, ondas e ventos.

Segundo Souza (1997), como consequência dessas interações têm-se, o balanço sedimentar, que é a relação entre perdas/saídas e ganhos/entradas de sedimentos na zona costeira. Essas trocas podem ocorrer entre a praia e o continente, a plataforma continental e a própria praia. Assim, quando o balanço sedimentar for positivo, haverá a predominância de acreção, enquanto que o mesmo for negativo, haverá um déficit sedimentar, predominando o processo erosivo.

A ocupação desordenada dessa região, em alguns casos acelera o processo erosivo, levando à ameaça de áreas de interesse socioeconômicos e o surgimento de áreas de risco à erosão costeira (Finkl & Makowski 2013).

Conforme o inciso IV do artigo 6º da lei número 12.608/12, “compete à União apoiar os Estados, o Distrito Federal e os Municípios no mapeamento das áreas de risco”. Dessa forma, o Serviço Geológico do Brasil – CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), empresa do governo federal ligada ao Ministério de Minas e Energia, vem realizando desde novembro de 2011, o mapeamento, descrição e classificação de áreas de risco geológico alto e muito alto em municípios de todas as unidades da federação selecionados pelas Defesas Civas Nacional e Estadual. A finalidade de tal estudo é a prevenção e consequente redução de perdas sociais e econômicas relacionadas a desastres naturais. Nessas áreas o risco geológico está relacionado com a possibilidade de ocorrência de acidentes causados por movimentos de massa, feições erosivas, enchente e inundação.

No Estado do Pará o mapeamento de risco iniciou no ano de 2012 e até o final de 2019 já foram mapeados 74 municípios, o que permitiu avaliar as principais tipologias de risco que ocorrem em 50% dos municípios do estado. Entre as tipologias mapeadas está a erosão costeira que foi setorizada em 12 municípios. Desta maneira, a presente pesquisa propõe-se em analisar a tendência regional aos processos de erosão de parte da zona costeira do estado, através de análise de imagens de sensores remotos e também integrar, caracterizar e analisar os dados dos mapeamentos de risco realizados pelo SGB-CPRM, na costa do Estado do Pará, a fim de gerar informações dos processos dominantes envolvidos no recuo da costa. Estas

informações servirão de subsídios para que os órgãos competentes possam trabalhar no monitoramento, prevenção e mitigação de desastres, levando em consideração as condicionantes físicas da região.

2 ÁREA DE ESTUDO

De acordo com a Lei Estadual no 9.064, de 25 de maio de 2020, e para fins da Política Estadual

de Gerenciamento Costeiro, a Zona Costeira do Estado do Pará é o espaço geográfico constituído pela faixa terrestre, composta por 47 municípios subdivididos em 5 setores: I - Setor 1 - Marajó Ocidental; II - Setor 2 - Marajó Oriental; III - Setor 3 - Continental Estuarino; IV - Setor 4 - Flúvio Marítimo e V - Setor 5 - Costa Atlântica Paraense (Figura 1).

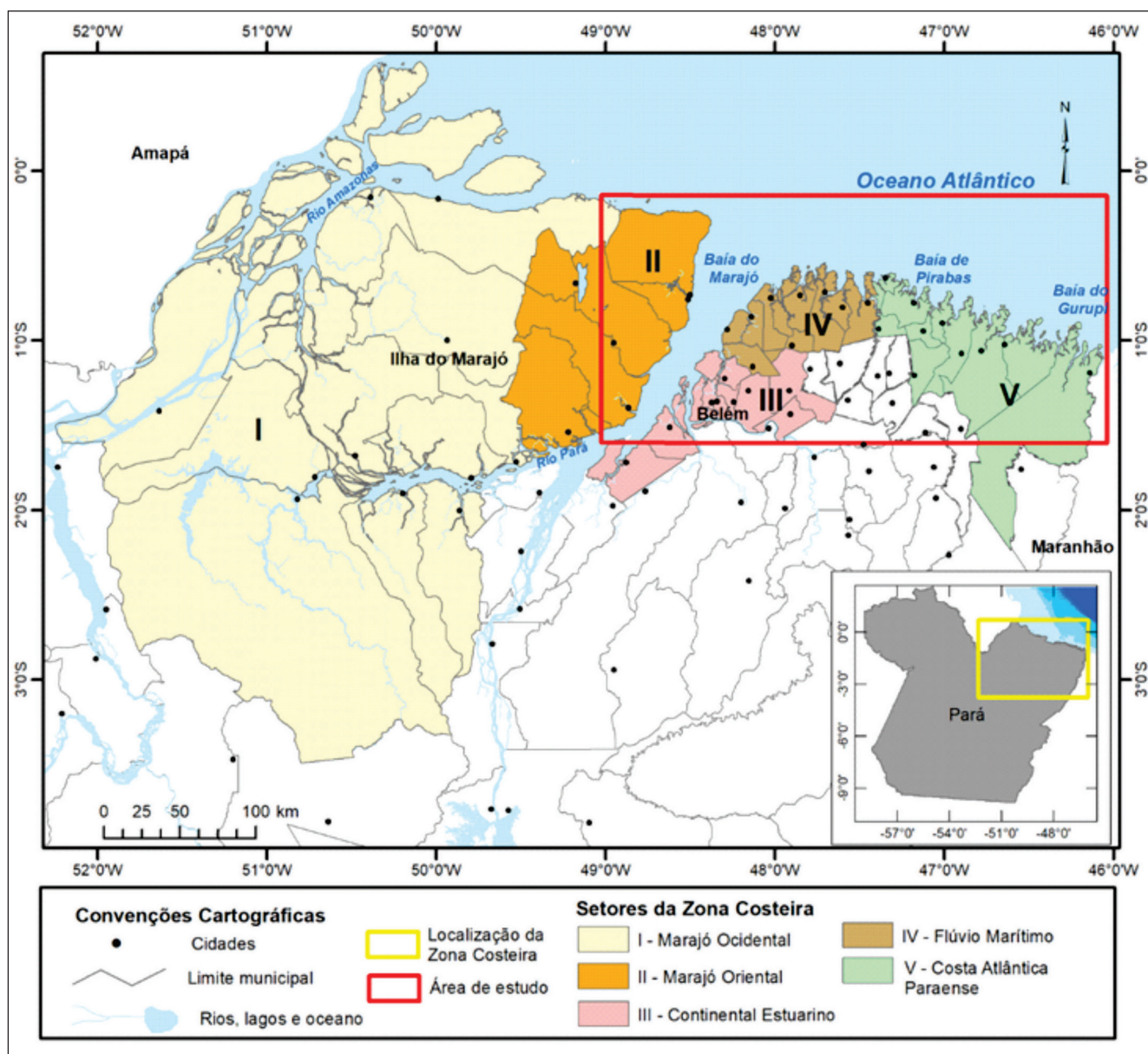


Figura 1. Setores da Zona Costeira do Estado do Pará, segundo a Lei Estadual no 9.064 e a localização da área de estudo.

A costa paraense é dominada por um clima tropical úmido, influenciado pela Zona de Convergência Intertropical, com precipitação que varia de 2500 a 3000 mm entre os meses de janeiro a abril, enquanto que no período de julho a dezembro a precipitação é inferior a 60mm, com média anual de temperatura de 27,7° C (Martorano et al. 1993).

Essa região é cortada por uma complexa rede de estuários, onde os setores Marajó Ocidental e Oriental, Continental Estuarino e parte do setor Flúvio Marítimo, são influenciados por mesomarés semi-diurnas de amplitudes que alcançam 3,65m, durante as marés de sizígia no período chuvoso (El-Robrini et al. 2018). A outra parte do setor Flúvio Marítimo, principalmente a área da foz da Baía do Marajó e a Costa Atlântica Paraense, os estuários são influenciados por macromarés semi-diurnas que alcançam 6 m de amplitude durante as marés de sizígia.

As correntes de marés são intensas na costa paraense, alcançando na Baía do Marajó valores durante a descarga máxima do rio Pará: 1,7m/s (enchente) e 1.1m/s (vazante), entretanto durante a descarga mínima, as velocidades foram de 1,5m/s (enchente) e 1,33m/s (vazante) (Prestes 2016). No estuário do Rio Caeté, costa Atlântica Paraense, Araújo e Asp (2013) indicam que durante o período chuvoso, a corrente de maré (vazante) atinge velocidade de 1,4m/s, entretanto, durante a enchente, a velocidade atinge 0,8m/s.

O litoral norte sofre influência das ondas formadas a partir dos alísios, de direção NE e E, que apresentam em regra geral, alturas abaixo de 1-1,5m em mar aberto (El-Robrini et al. 2006, Pereira et al. 2014).

A linha de costa corta afloramentos do grupo Barreiras e Pós Barreiras além de sedimentos recentes. A Ilha do Marajó é caracterizada em grande parte por um relevo plano e baixo constituído por sedimentos recentes. Na borda da ilha ocorrem os sedimentos do Grupo Barreiras e Pós-Barreiras que sustentam os tabuleiros costeiros formando as falésias ativas, assim como ocorre no setor continental estuarino, flúvio marítimo e na costa atlântica paraense até a baía de Pirabas. Em geral as falésias variam de 5 a 18 m, sendo constituídas por sedimentos pouco coesos do Grupo Barreiras, composto na base por argilito laminado

de coloração cinza a avermelhada, gradando para camadas de pelitos com intercalações de areia, sobrepostas por um nível de concreções ferruginosas e no topo ocorrem os sedimentos da Unidade Pós-Barreiras, que são caracterizados por um pacote de sedimento arenoso, de granulação fina com contribuição de silte, homogêneo de coloração creme amarelada, muito friável (Teixeira e Bandeira 2020). Estas falésias estão sujeitas à ação das ondas e correntes de marés, descritas anteriormente e ocorrem associadas as praias estuarinas, que geralmente são estreitas e formam enseadas (El-Robrini et al. 2006).

Entre as baías de Pirabas e Gurupi, os tabuleiros estão recuados em direção ao sul e formam falésias inativas, em geral, com cotas mais baixas. Os manguezais atingem uma largura de aproximadamente 30km, as baías são largas e os estuários alcançam cerca de 80km em direção ao continente (Franzinelli 1992, Souza Filho 2005). Nas porções externas dos estuários ocorrem as praias oceânicas, que geralmente são retilíneas com extremidades recurvadas e largas da ordem de centenas de metros durante a baixamar (El-Robrini et al. 2018).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho iniciou com uma extensa revisão bibliográfica sobre aspectos físicos e oceanográficos da região costeira do Estado do Pará, em seguida foi feita a avaliação da variação linha de costa, onde foram analisadas oito cenas Landsat sendo quatro do Landsat-5 TM do ano de 1988 e quatro cenas do Landsat 8 OLI de 2019. As cenas foram adquiridas no formato *geotiff*, já georreferenciadas, gratuitamente, no site da USGS (United States Geological Survey) <https://earthexplorer.usgs.gov/>. As imagens foram analisadas com resolução espacial de 30m, como forma de minimizar a interferência do tamanho de pixel na análise comparativa. As datas de aquisição selecionadas correspondem aos meses de julho e agosto para o ano de 1988 e junho para o ano de 2019 (Tabela 1), coincidentes com o verão amazônico e também com a mínima cobertura de nuvens.

Tabela 1. Características das imagens utilizadas.

Satélite	Sensor	Órbita/Ponto	Data de aquisição	Resolução espacial (m)
Landsat 5	TM	222/061	31/07/1988	30
Landsat 5	TM	223/060	22/07/1988	30
Landsat 5	TM	223/061	07/08/1988	30
Landsat 5	TM	224/061	14/08/1988	30
Landsat 8	OLI	222/061	19/06/2019	30
Landsat 8	OLI	223/060	26/06/2019	30
Landsat 8	OLI	223/061	26/06/2019	30
Landsat 8	OLI	224/061	17/06/2019	30

As imagens foram submetidas a correções radiométrica e atmosférica no software ENVI 5.5. Nas imagens foram utilizadas as composições coloridas falsa cor, com as composições das bandas 5R4G3B para as cenas Landsat - 5 TM e 6R5G4B para as cenas Landsat - 8 OLI, pois estas bandas possuem o mesmo comprimento de onda das bandas analisadas do Landsat-5 TM. Em seguida para cada ano foi construído um mosaico de imagens. Esses mosaicos foram organizados em planos de informações diferentes no ArcGis 10.7, a partir dos quais foram digitalizadas as linhas de costa para os anos de 1988 e 2019. As linhas de costa foram traçadas seguindo a metodologia sugerida por Dolan et al. 1980 e Crowell et al. (1991) adotada por França (2003) e Souza Filho & Parrella (2003), na zona costeira do Pará, que utilizam como linha de costa a linha de maré alta de sizígia, que corresponde: à linha de contato entre os manguezais e os cordões arenosos duna/praias; interface falésia e cordão arenoso praias e interface campo e cordões arenosos duna/praias.

Para a análise das áreas de risco à erosão costeira na costa do Pará foram compilados os dados produzidos pelo projeto Setorização de áreas de risco desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil - SGB - CPRM, entre os anos de 2012 e 2019. A metodologia utilizada pelo SGB-CPRM para mapear os graus de risco alto e muito alto a erosão costeira baseiam-se na intensidade das evidências de instabilidade, onde o grau de risco alto caracteriza-se pela presença menos expressiva de evidências, já o grau de risco muito alto caracteriza-se pela presença expressiva, em grande quantidade de evidências como: trincas no solo, degraus de abatimento em falésias, trincas em moradias

ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamento, feições erosivas, erosão dos depósitos costeiros (mangue, duna, banco de areia) proximidade da moradia em relação a linha de costa, destruição de estruturas artificiais, presença de troncos mortos da vegetação de manguezal e exposição de canais de maré na zona de intermarés (Teixeira et. al., s.d).

Estas informações foram organizadas, analisadas e inseridas em tabelas do Excel e no Arcgis. Assim, foi possível especializar e fazer uma análise estatística dos municípios mais atingidos por esta tipologia de risco, identificando o número de pessoas e de edificações afetadas. Além disso, os relatórios disponíveis de cada setorização foram consultados para auxiliar no entendimento e caracterização dos processos atuantes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise multitemporal de imagens, no período de 1988 a 2019, constatou que a costa do Estado do Pará apresenta uma intensa dinâmica, com tendência regional da variação da linha de costa, mostrando as áreas que sofreram com o processo de erosão e acreção (Figura 2). Identificou-se que a tendência regional é de acreção, com um ganho de cerca de 123,36 km² de área (54%) e as áreas erodidas foram de aproximadamente 104,65 km² (46%). Essa análise de apenas dois momentos não demonstra a dinâmica anual que a costa está submetida, mostra apenas o total e a localização das áreas em que os processos são dominantes durante o período analisado.

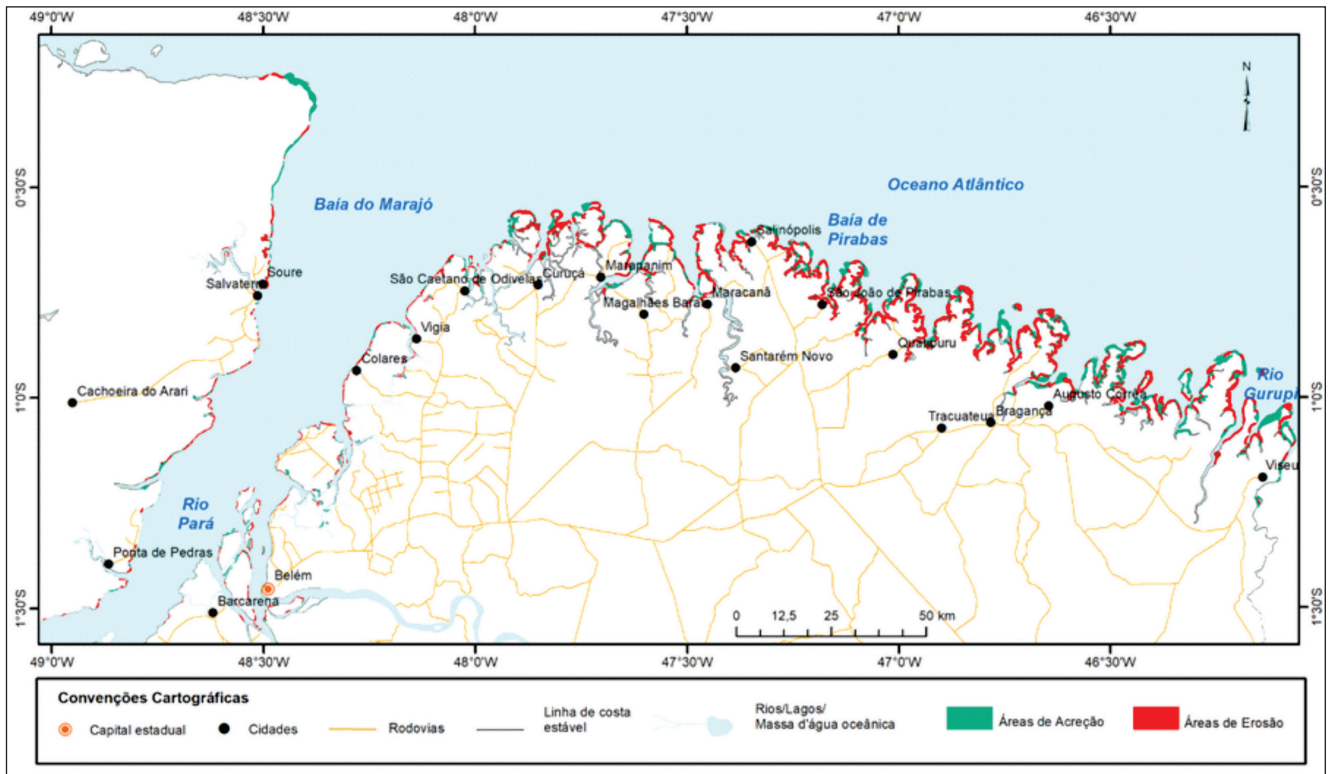


Figura 2. Áreas de erosão e acreção, no trecho estudado da costa do Pará, no período de 1988 a 2019.

Apesar da tendência regional de acreção, existem extensas áreas com suscetibilidade a erosão que foram ocupados pela população, constituindo assim, setores de risco a erosão costeira, que foram identificados no mapeamento realizado pelo Serviço Geológico do Brasil, no período de 2012 a 2019. O mapeamento registrou a ocorrência de 54

setores de risco alto e muito alto a erosão costeira em 12 municípios (Figura 3 e Gráfico 1). Alguns dos setores com processo destrutivo instalado e outros em potencial. Esses setores abrigam no total 571 edificações e 2891 pessoas em situação de risco à erosão costeira (Gráficos 2).

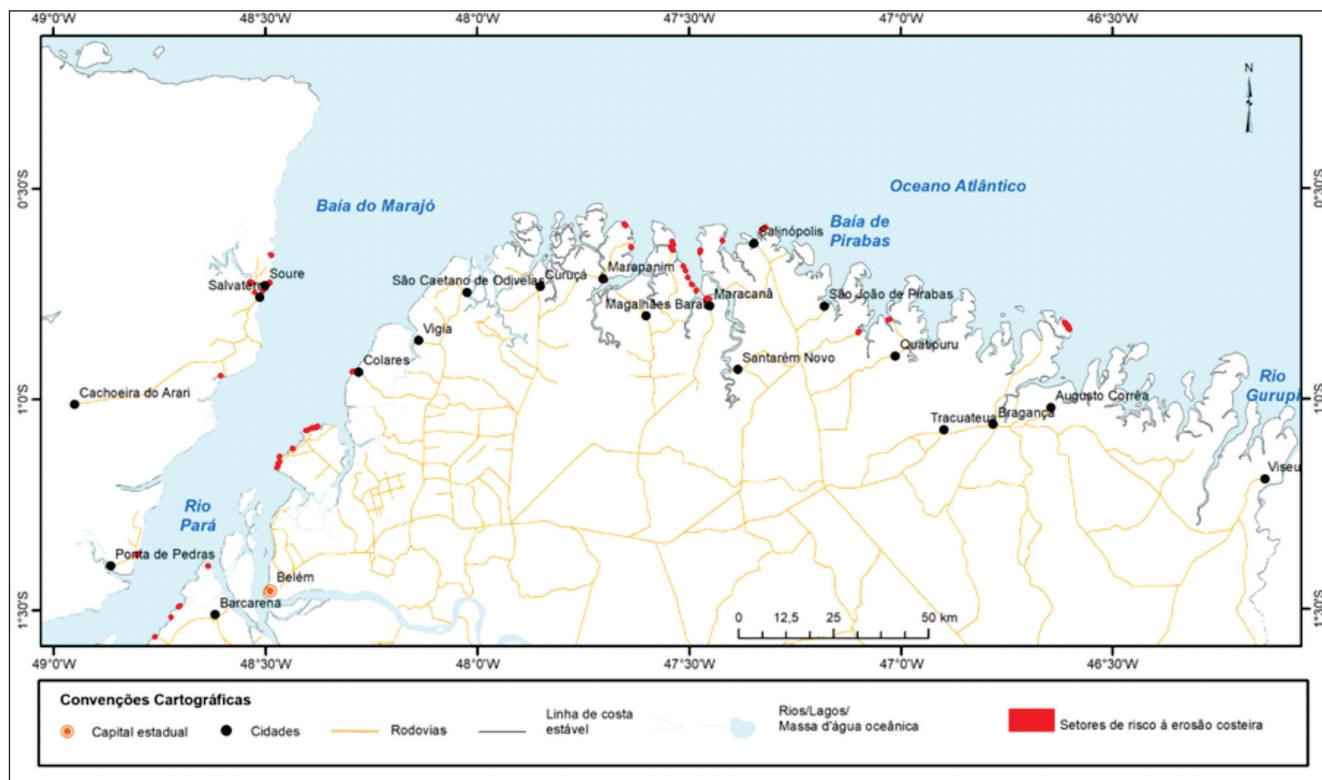


Figura 3. Setores de risco à erosão costeira mapeados pelo Serviço Geológico do Brasil no período de 2012 a 2019.

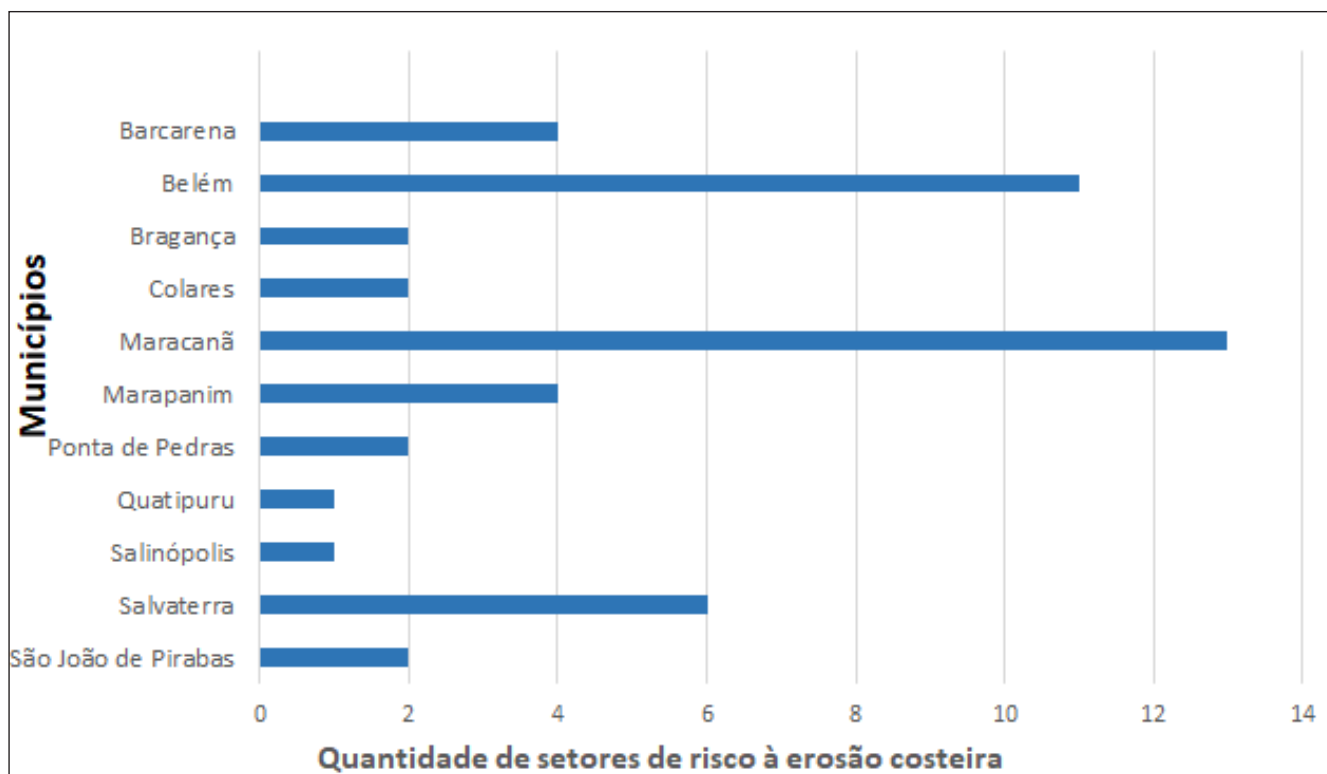


Gráfico 1. Quantidade de setores de risco à erosão costeira mapeados por município.

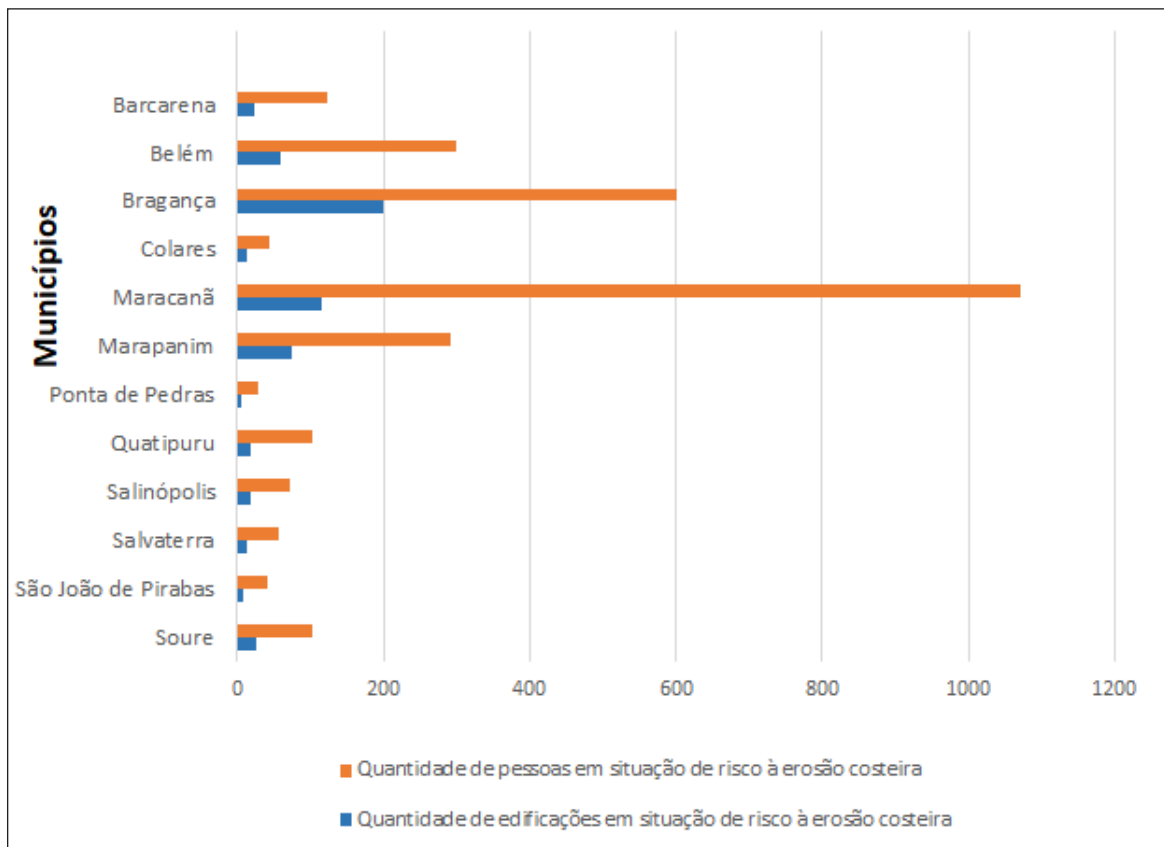


Gráfico 2. Quantidade de edificações e pessoas em situação de risco à erosão costeira mapeadas por município.

A partir da análise dos dados foi possível identificar que 40 setores de risco associam-se às ocupações irregulares do topo das falésias que estão sendo recuadas e 14 localizam-se nas praias ancoradas em manguezais ou praias expostas.

O **recuo de falésias** ocorre devido às mesmas serem sustentadas por sedimentos do Grupo Barreiras e do Pós-Barreiras, constituídos por material friável e altamente suscetíveis à erosão. Esse material é margeado por canais estuarinos, localizados na porção interna do estuário ou zona de mistura, sujeitos a interação de processos fluviais e marinhos (correntes de maré). Onde no período chuvoso, principalmente no mês de março, tem-se a ação das marés altas de sizígia equinociais, caracterizadas pelas maiores amplitudes de maré, provocando assim erosões nas bases das falésias, o que leva a um solapamento do topo (Figura 4a e b). Segundo (Miranda et al. 2002), nessa posição do estuário a água possui movimentos transversais e verticais que geram complexos movimentos tridimensionais na forma de espirais e acredita-

-se que esses movimentos podem influenciar na erosão basal das falésias. Esses processos são observados tanto nos trechos de falésia submetidos à ação das macromarés como as de mesomarés. Associado a esse processo, os altos índices pluviométricos geram erosão laminar na face da falésia, com o surgimento de sulcos e ravinas (Figura 4c e d). Assim, no período chuvoso, é frequente a ocorrência de desmoronamentos e deslizamentos, que também são influenciados pelo fluxo da água subterrânea, levando ao recuo da falésia (Figura 4e e f). Outro deflagrador observado foi a ocupação desordenada que ocorre no topo das falésias, onde observa-se o despejo de águas servidas (Figura 4b, d e f), através de tubulações, diretamente na porção superior das falésias, que é composta por sedimentos arenosos erodíveis, acelerando o processo erosivo.

A partir dos dados analisados, sugere-se a utilização do termo erosão estuarina, para classificar os recuos das margens dos canais estuarinos, que são influenciados pelos regimes de macro-

marés e mesomares, na costa do estado do Pará. Pois o termo é mais adequado em relação à erosão fluvial e erosão costeira, uma vez que leva em consideração o efeito do complexo movimento da água no estuário sobre as margens, levando em consideração também o efeito da maré rio acima, na porção conhecida como Zona de Mistura.

Diferenciando-se das erosões costeiras, que possui além da componente maré a arrebatção das ondas e das erosões fluviais que possuem como principal agente o rio. E nas erosões estuarinas estariam também incluídas as erosões laminares que ocorrem no topo das falésias, assim como já apresentado por Teixeira et al. (2019).

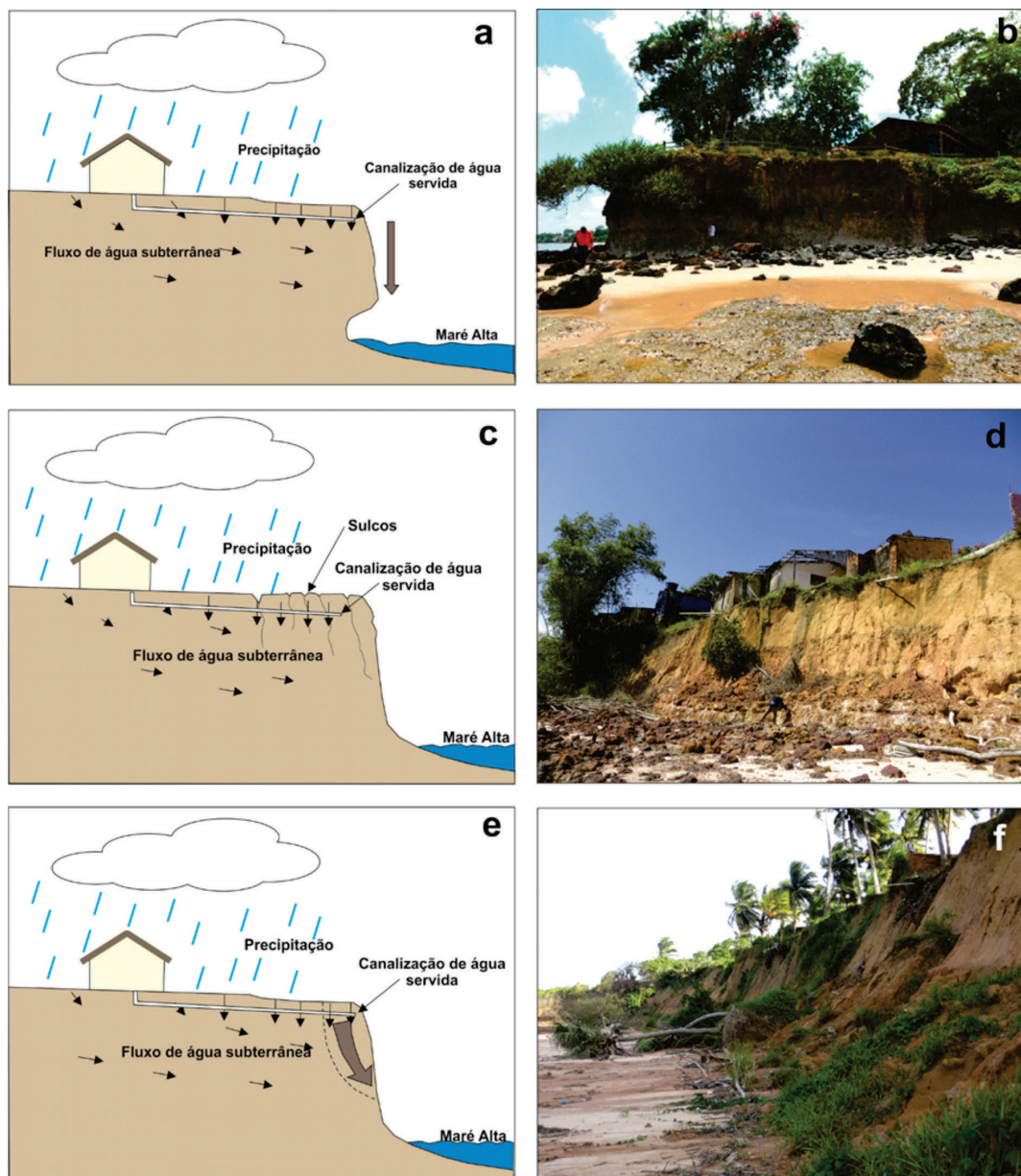


Figura 4. Representação dos processos envolvidos no recuo das falésias às margens dos canais estuarinos: **a:** esquema de erosão da base da falésia com solapamento do topo; **b** - Falésia com erosão de base na Praia do Ariramba - Ilha de Mosqueiro - Belém - Pará, Fonte: CPRM (2012); **c:** Esquema de lançamento de água servida e a presença de sulco e ravinas na face da falésia; **d:** Casas em situação de risco em falésia com presença de sulcos e exposição de canos de águas de servidas na Praia do Quarenta do Mocoóca - Maracanã, Fonte: Teixeira & Bandeira (2020); **e:** Esquema de erosão de falésia por deslizamento da porção superior da mesma; **f:** Deslizamentos da porção superior da falésia com árvores caídas na Praia do Mota - Maracanã, Fonte: Teixeira & Bandeira (2020).

As **praias das porções externas dos estuários** estão sujeitas a interação das ondas e das correntes de maré, que possuem uma energia destrutiva maior no período das marés de sizígia equinociais. Nessas áreas altamente suscetíveis a erosão como a faixa dinâmica da praia, incluindo a zona praial, berma e os campos de dunas, que também são fontes de sedimentos para todo o sistema de praia, verificou-se a ocupação irregular de moradias. Tal situação foi observada nas praias do Crispim (Marapanim), Ajuruteua (Bragança) (Figura 5a e b) e Farol Velho (Salinópolis). Outro fator que contribui para o déficit sedimentar é a posição dos deltas de maré vazante, que ocorrem na forma de bancos submersos na desembocadura dos estuários,

e que acabam retendo os sedimentos arenosos transportados da plataforma continental em direção à costa. Essa situação foi verificada nas praias de Ajuruteua (Bragança) e Boa Vista (Quatipuru). Além da destruição das edificações e estruturas urbanas, como ruas e postes, o recuo da linha de costa é observado pela migração dos cordões arenosos sobre os manguezais, acarretando a morte e tombamento de árvores do mangue (Figura 5c e d). Outros processos associados à erosão costeira foram vistos nas praias expostas da costa do Pará, como o escarpamento das dunas frontais e migração de canais de maré em direção ao continente (Figura 5e e f).

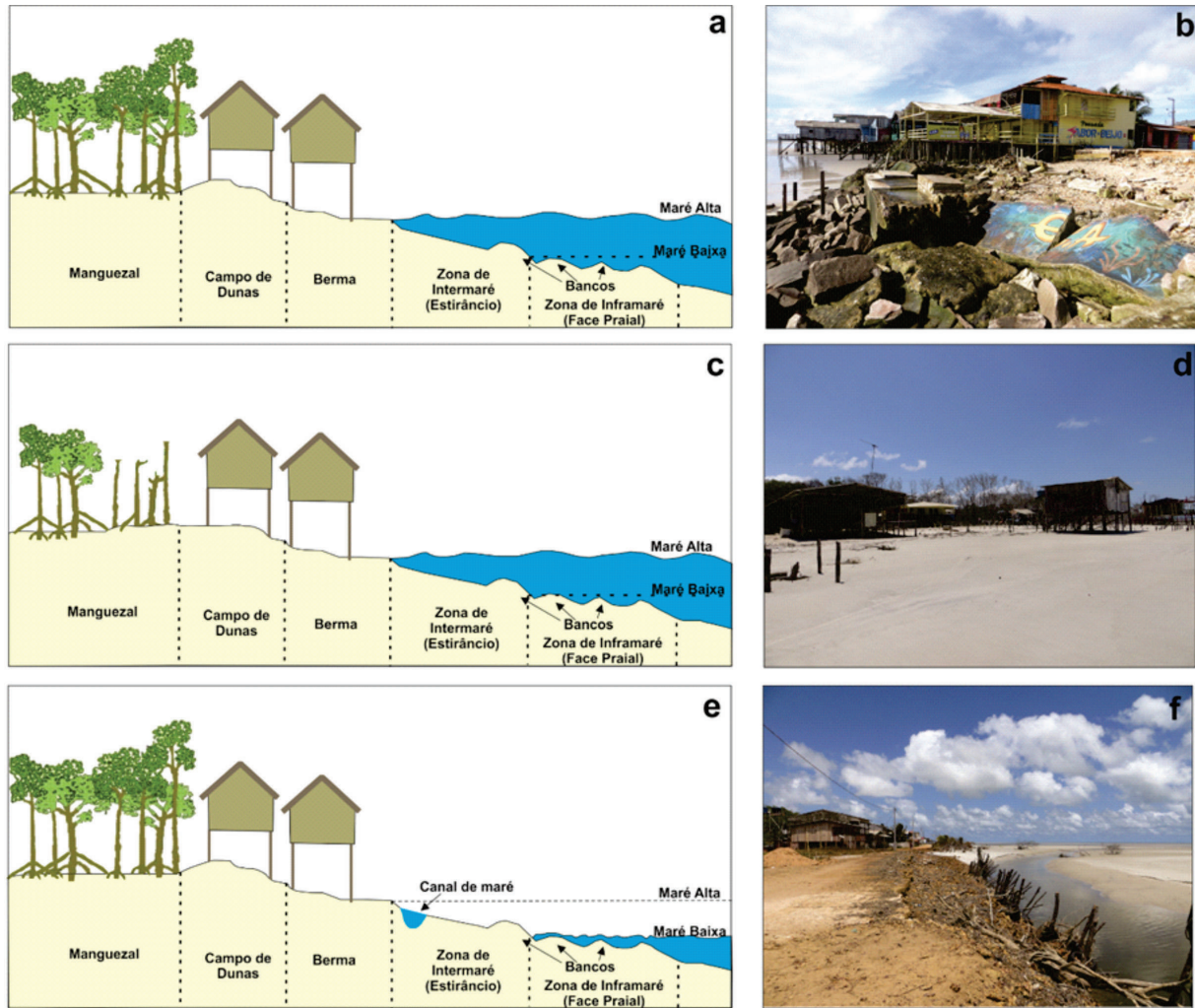


Figura 5. Representação de alguns processos envolvidos no recuo de praias expostas, baseado no perfil de praia da região elaborado por Alves (2002): **a:** esquema mostrando a ocupação do campo de dunas e berma; **b:** Ocupação da zona dinâmica da praia com processo erosivo instalado, Praia de Ajuruteua – Bragança, Fonte: Fonseca et al. 2015; **c:** Esquema de migração dos cordões arenosos em direção ao manguezal com a morte das árvores; **d:** Migração dos cordões arenosos sobre o mangue na Praia do Crispim – Marapanim, Fonte: Teixeira & Melo (2019); **e:** Esquema de migração de canais de maré em direção ao continente na zona de intermaré; **f:** Migração de canal na Praia do Crispim – Marapanim, Fonte: Teixeira & Melo (2019).

Foi observado como forma de contenção a construção de obras rígidas como muros de arrimo (Figuras 6a e b), uso de pneus (Figura 6c), que a longo prazo se mostraram ineficientes diante

à erosão costeira. Em algumas praias é possível verificar uma série de linhas de muro destruídas pela erosão como é o caso da praia do Maçarico em Salinópolis (Figura 6d).

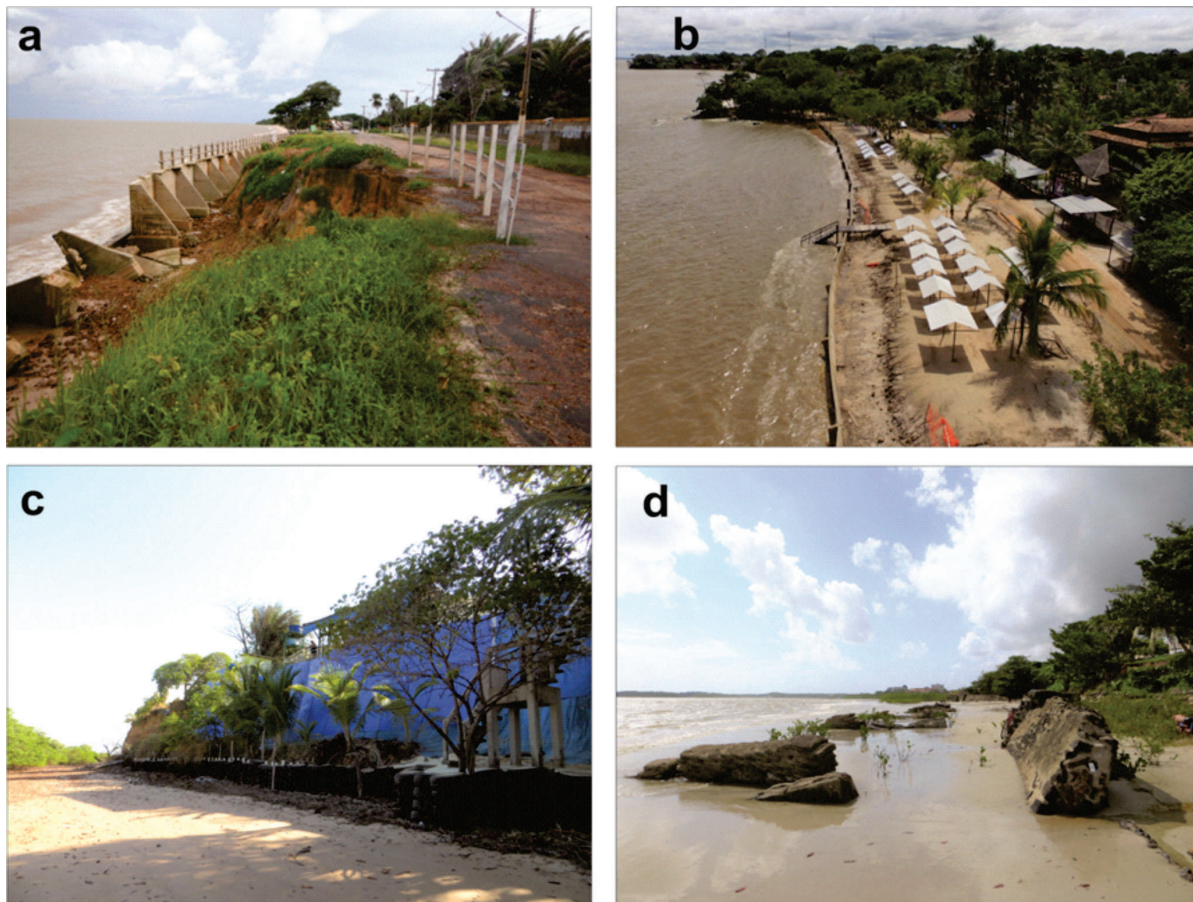


Figura 6. a: Muro de arrimo destruído pela erosão costeira na orla da cidade de Salvaterra, Fonte: Melo & Simões (2016) b: Muro de arrimo embarrigado na Praia do Paraíso, Ilha de Mosqueiro (Belém), situação em 2018; c: Utilização de pneus na base da falésia, bem como o uso de lonas para impedir o recuo da falésia na Praia do Recreio (Marapanim), Fonte: Teixeira & Melo (2019); d: Ruínas de duas posições de muro de arrimo destruídos pela erosão costeira na Praia do Maçarico (Salinópolis), Fonte: Teixeira & Bandeira (2020).

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostram que o trecho analisado da costa do Pará possui uma intensa dinâmica, e mesmo com uma tendência regional de acreção, no período de 1988 a 2019, diversos trechos encontram-se com processo erosivo instalado. E esse processo passa a ser problema quando ameaça áreas com ocupação, levando ao surgimento das áreas de risco à erosão costeira. A partir do mapeamento desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil foram identificados 54 seto-

res de risco alto e muito alto à erosão costeira no Pará. E de acordo com a localização destes setores, foi possível identificar dois padrões de recuo da linha de costa, levando em consideração os aspectos físicos (geológicos e geomorfológicos), oceanográficos e as formas de ocupação. Os setores localizados nas porções internas dos estuários estão associados ao recuo das falésias, onde processos de erosão laminar, deslizamentos e solapamentos estão presentes e como proposta para diferenciar das erosões que ocorrem nas praias arenosas da porção externa do estuário, sugere-se o uso de

erosões estuarinas para essas erosões localizadas na porção mais interna do estuário. Os setores localizados na porção externa do estuário estão relacionados ao déficit sedimentar que apresenta diversas causas, como as identificadas pelo trabalho, como retenção de sedimentos da plataforma continental pelos bancos arenosos localizados na foz dos estuários, ocupação da faixa dinâmica da praia e migração de canais de maré em direção ao continente. Essas informações podem auxiliar na política de gestão de riscos costeiros, pois podem servir de guia para a escolha da melhor maneira de mitigar o processo, levando em consideração as suas especificidades físicas e oceanográficas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro e institucional recebido do Serviço Geológico do Brasil para a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Alves M. A. M. S. 2001. Morfodinâmica e Sedimentologia da Praia de Ajuruteua - NE do Pará. 2001. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém. 110p.
- Araújo JR. W. P. & Asp, N. E. 2013. Hydrodynamic Connectivity between two macrotidal amazonian estuaries. *Journal of Coastal Research*, Special n. 65: p. 1086-1091.
- BRASIL. Lei Estadual no 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC. Brasília, Câmara dos Deputados [2012]. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2012/lei-12608-10-abril-2012-612681-publicacaooriginal-135740-pl.html>. Acesso em: 01 abr. 2021.
- Bird E. 2008. *Coastal Geomorphology: An Introduction*. England: John Wiley & Sons Ltd, 411p.
- Boye C.B., Appeaning Addo K., Wiafe G., Dzigbodi-Adjimah K. 2018. Spatio-temporal analyses of shoreline change in the Western Region of Ghana. *Journal of Coastal Conservation*, v.22, n.4, 769-776. <http://dx.doi.org/10.1007/s11852-018-0607-z>.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2012. Ação emergencial para delimitação de áreas de alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa no município de Belém, Estado do Pará. Belém, CPRM. <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20761.1>.
- Crowell M., Leatherman S.P., Buckley M.K. 1991. Historical Shoreline Change: Error Analysis and Mapping Accuracy. *Journal of Coastal Research*, v.7, n.3, 839-852.
- Dolan R., Hayden B.P., May P., May S. 1980. The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs. *Shore and Beach*, v.48, p.22- 29.
- El-Robrini M., Silva M. A., Souza Filho P. W. M., El-Robrini M. H. S., Silva Jr. O. G., França C. F. 2006. Pará. In: Muehe D. (org.). *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília: MMA, p. 45-86.
- El-Robrini M., Ranieri L. A., Silva P. V. W. S., Guerreiro S. J., Alves M.A.M. da S., Oliveira R. R. S. de, Silva M. do S. F. da, Amora P.B.C., El-Robrini M.H. S., Fenzl, N., Farias D. R. Pará. In: Muehe, D. (org.). *Panorama da Erosão Costeira no Brasil*. Brasília: MMA, 2018. p. 65-165.
- Finkl C.W. & Makowski C. 2013. The Southeast Florida Coastal Zone (SFCZ): A Cascade of Natural, Biological, and Human-Induced Hazards. In: Finkl, C.W (ed.). *Coastal Hazard*. Florida: Springer, p.3-56.
- 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*, v.33, n.2, 127-136.
- Fonseca D.D.F., Conceição R.A.C., Asp Neto N.E. 2015. Ação emergencial para delimitação de áreas de alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa no município de Bragança, Estado do Pará. Belém, CPRM, 37 p. <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18316>

Franzinelli E. 1992. Evolution of the geomorphology of the coast of the state of Pará, Brazil. In: Prost M.T. (ed.), *Évolution des littoraux de Guyane et de la Zone Caraïbe Méridionale pendant le Quaternaire*. Paris: ORSTOM. p. 203-230.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2011. Atlas Geográfico das zonas costeiras e oceânicas. IBGE, Diretoria de Geociências – Rio de Janeiro: IBGE, 176p.

Jonah F.E., Boateng I., Osman A., Simba M.J., Mensah E.A., Adu-Boahen, K., Chuku E.O., Eifah E. 2016. Shoreline change analyses using end point rate and net shoreline movement statistics: An application to Elmina, Cape coast and Moree section of Ghana's coast. *Regional Studies in Marine Science*. v.7, p.19-31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsma.2016.05.003>.

Martorano L.G., Pereira L.C., César E.G.M., Pereira I.C.B. Estudos Climáticos do Estado do Pará, Classificação Climática (Köppen) e Deficiência Hídrica (Thorntwhite, Mather). Belém: SUDAM/EMBRAPA, 59p.

Melo L. B. & Simões, P. 2016. Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa: Salvaterra – Ilha de Marajó – Pará. Belém: Serviço Geológico do Brasil – CPRM. 29 p. <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18364>

Miranda L.B. de, Castro B.M. de, Kjerfve B. 2002. Princípios de Oceanografia Física de Estuários. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 414 p.

PARÁ. Lei Estadual no 9.064, de 25 de maio de 2020. Institui a Política Estadual de Gerenciamento Costeiro (PEGC/PA). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade [2020]. Disponível em: [https://www.semas.pa.gov.br/legislacao/normas/view/6556#:~:text=Institui%20a%20Pol%C3%ADtica%20Estadual%20de%20Gerenciamento%20Costeiro%20\(PEGC%2FPA\).&text=Encontrou%20a%20norma%20que%20procurava%3F](https://www.semas.pa.gov.br/legislacao/normas/view/6556#:~:text=Institui%20a%20Pol%C3%ADtica%20Estadual%20de%20Gerenciamento%20Costeiro%20(PEGC%2FPA).&text=Encontrou%20a%20norma%20que%20procurava%3F). Acesso em: 01 abr. 2021.

Pereira L.C.C., Pinto K.S.T., Vila-Concejo A. 2014. Morphodynamic variations of a macrotidal beach (Atalaia) on the Brazilian Amazon Coast. In: Green A.N., Cooper J.A.G. (eds.), *Proceedings 13th International Coastal Symposium (Durban, South Africa)*, *Journal of Coastal Research*, Special Issue, 70, p. 681-686, 2014. ISSN 0749-0208.

Prestes Y. O. 2016. Interações Físicas entre o Estuário do rio Pará e a Plataforma Continental no Norte do Brasil. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Recife. 122 p.

Syvitski J.P.M., Vorosmarthy C.J., Kettner A.J., Green P. 2015. Impact of human on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science*, v.308 (5720), 376-380.

Souza C.R. de G. 1997. As células de deriva litorânea e a erosão nas praias do Estado de São Paulo. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 184 p.

Souza Filho P.W.M., Paradella W.R. 2003. Use of synthetic aperture radar for recognition of Coastal Geomorphological Features, land-use assessment and shoreline changes in Bragança coast, Pará, Northern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.75, n.3, 341-356.

Souza Filho P. W. M. 2005. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 23, p. 427-435.

Teixeira S. G. & Melo Júnior H. R. 2019. Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa: município de Marapanim – Pará. Belém: Serviço Geológico do Brasil – CPRM. 18 p. <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18338>

Teixeira S. G. S. G. & Bandeira, I. C. N. 2020. Geodiversidade da costa nordeste do Pará, Nota Explicativa: Serviço Geológico do Brasil – CPRM. <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/21510>

Teixeira S.G., Bandeira I.C.N., Dantas M.E. (s.d.). Shoreline variation and identification of local erosion ge indicators on the Brazilian Amazon coast. *Journal of Coastal Research*. [https://meridian.allenpress.com/jcr/article-abstract/doi/10.2112/JCOASTRES-D-20-00164.1/469348/Shoreline-Variation-and-Identification-of-Local?redirectedFrom=fulltextISSN 0749-0208](https://meridian.allenpress.com/jcr/article-abstract/doi/10.2112/JCOASTRES-D-20-00164.1/469348/Shoreline-Variation-and-Identification-of-Local?redirectedFrom=fulltextISSN%200749-0208).

Teixeira S. G., Bandeira I. C. N., Fonseca D.D.F. 2019. Erosões Estuarinas na Costa Nordeste do Estado do. *In: Simpósio de Geologia da Amazônia*, 16, Manaus, Anais, CD-ROM.