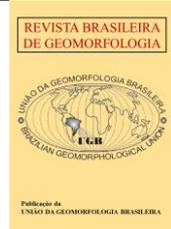


<https://rbgeomorfologia.org.br/>
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 26, n° 2 (2025)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v26i2.2599>



Artigo de Pesquisa

Mudanças morfológicas no Baixo Setor Costeiro Estuarino e Impactos Socioambientais – Amapá: entre 1992 e 2022

Morphological changes in the lower estuarine coastal sector and socio-environmental impacts – Amapá: between 1992 and 2022

Maxwell Moreira Baia ¹, Orleno Marques da Silva Junior ²

¹ Universidade Federal do Amapá, Departamento de Pós-Graduação em Geografia, Macapá-AP, Brasil. E-mail: maxwmoreirabaia.mmb@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8000-5634>

² Universidade Federal do Amapá, Departamento de Pós-Graduação em Geografia, Macapá-AP, Brasil. E-mail: orleno@ppe.ufrj.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1173-1429>

Recebido: 17/07/2024; Aceito: 18/02/2025; Publicado: 19/05/2025

Resumo: As regiões costeiras são áreas de transição entre ambientes terrestres e marinhos, com ecossistemas dinâmicos, grande biodiversidade, produtividade econômica, densidade populacional e fragilidade ambiental. A Zona Costeira Amapaense apresenta 800 km de extensão, é influenciada por agentes atmosféricos, oceanográficos e pelo rio Amazonas. O estudo examinou a variação entre processos erosivos e acresionários e suas consequências, como perda de infraestrutura, falta de energia e aumento da intrusão salina em comunidades entre os rios Gurijuba e Araguari, incluindo o arquipélago do Bailique. Analisou-se as características fisiográficas, trabalhos de campo e uma série multitemporal entre os anos 1992, 2005, 2014 e 2022. Identificou-se que 60% da área apresenta processos de acreção, representados pela formação de bancos lamosos, planícies de maré e a colmatagem da foz do rio Araguari, enquanto 40% sofre erosão, afetando 14 das 20 comunidades monitoradas, destaque para abertura de drenagens e modificação da hidrodinâmica. A deficiência na gestão dessas modificações tem gerado ações mitigadoras isoladas e ineficazes, agravando os efeitos da erosão e desperdiçando recursos, caso as tendências atuais sejam mantidas, incluindo previsões de aumento de eventos climáticos extremos e do nível do mar, mais perdas ocorrerão, causando mudanças irreversíveis na morfologia e na hidrodinâmica local, em curto prazo.

Palavras-chave: Costa do Amapá; Erosão; Rio Amazonas; Arquipélago do Bailique; Monitoramento.

Abstract: Coastal regions are transitional areas between terrestrial and marine environments, with dynamic ecosystems, high biodiversity, economic productivity, population density and environmental fragility. The Amapá Coastal Zone is 800 km long and is influenced by atmospheric and oceanographic agents as well as the Amazon River. The study examined the variation between erosion and accretionary processes and their consequences, such as loss of infrastructure, lack of energy and increased saline intrusion in communities between the Gurijuba and Araguari rivers, including the Bailique archipelago. The physiographic characteristics, fieldwork and a multi-temporal series between the years 1992, 2005, 2014 and 2022 were analyzed. It was identified that 60% of the area presents accretion processes, represented by the formation of muddy banks, tidal flats and the clogging of the mouth of the Araguari River, while 40% suffers erosion, affecting 14 of the 20 monitored communities, highlighting the opening of drainages and modification of hydrodynamics. The deficiency in the management of these modifications has generated isolated and ineffective mitigating actions, aggravating the effects of erosion and wasting resources. If current trends are maintained, including forecasts of increased extreme weather events and sea level, more losses will occur, causing irreversible changes in local morphology and hydrodynamics in the short term.

Keywords: Amapá Coast; Erosion; Amazon River; Bailique Archipelago; Monitoring.

1. Introdução

Nas últimas décadas, as ações humanas têm se configurado como principal agente modificador do ambiente, interferindo na ação dos demais agentes, acelerando processos e transformações cada vez mais amplas e efetivas na organização do espaço. Nas regiões costeiras essas transformações produzem impactos muitas vezes superiores à capacidade de resiliência dos sistemas naturais, destruindo funções ambientais, colocando em xeque a sustentabilidade socioeconômica e ambiental das populações (COSTA e SOUZA, 2009; WATERS et al., 2016).

Essas regiões são áreas de transição que conectam ambientes terrestres e marinhos, onde a hidrosfera, litosfera, atmosfera, biosfera e a sociedade humana interagem frequentemente em diferentes escalas temporais. Esses ambientes abrigam ecossistemas complexos, dinâmicos com alta fragilidade, elevada biodiversidade, produtividade, densidade populacional e atividades econômicas e estão entre os ambientes mais vulneráveis as mudanças climáticas (CROSSLAND et al., 2005; NICHOLLS et al., 2007; MUEHE, 2012; DETHIER; HARPER, 2011; MENTASCHI et al., 2018; AUCELLI et al., 2018; CHEN et al., 2023).

O Brasil possui uma das zonas costeiras mais extensas do mundo com aproximadamente 9.200 km de linha de costa margeando o Oceano Atlântico (VILLWOCK et al., 2005). A faixa terrestre abrange mais de 400 municípios distribuídos por 17 Estados, cerca de 111,28 milhões de pessoas vivendo em domicílios localizados a uma distância máxima de 150 quilômetros da costa, o que representa 54,8% do total da população nesse ano (IBGE, 2022).

A faixa pertencente à porção Amazônica corresponde à 35% do litoral brasileiro e se estende por 2.250 km entre os estados do Amapá, Pará e Maranhão. Esta porção se destaca pela elevada descarga de águas continentais, partículas e sedimentos, correntes atmosféricas e oceânicas, diversidade de ambientes de estuários, manguezais, planícies, pântanos, praias, florestas de várzea e terra firme, ilhas, deltas, dunas, restingas, áreas protegidas, atividades de pecuária, mineração, pesca e turismo. Essas características lhe atribuem um caráter de grande sensibilidade/instabilidade morfológica responsável por mudança na configuração dos ambientes costeiros, e, conseqüentemente, na evolução desta área (SOUZA FILHO et al., 2011; PEREIRA et al., 2012; MARENGO, 2016; PRESTES, SILVA e JEANDE, 2018; RODRIGUES e SILVA JUNIOR, 2021).

Inserida como um subsistema da zona costeira amazônica, a zona costeira amapaense se estende por cerca de 800 km entre as desembocaduras dos rios Jarí e Oiapoque, sendo subdividida nos setores estuarino e oceânico. É formada por uma extensa planície que engloba porções de 11 dos 16 municípios, e apresenta uma dinâmica marcada pela interação entre os agentes atmosféricos, oceanográficos e do sistema de dispersão de sedimentos do Rio Amazonas, os quais desenvolvem modificações numa escala temporal pequena em comparação com outros ambientes (TORRES, EL-ROBRINI e COSTA, 2018; ANTHONY et al., 2021; SILVA JUNIOR, SZLAFSZTEIN e BAIÁ, 2022).

Essas modificações são controladas pela ação interativa dos processos de maré, ondas e ventos causando erosão, transporte, sedimentação e mudanças sazonais nas linhas de costa. Essas mudanças refletem uma resposta integrada do comportamento da costa aos processos e agentes dinâmicos (SANTOS et al., 2018; SILVA JUNIOR, SANTOS e RODRIGUES, 2020; ANTHONY et al., 2021).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi analisar a variação da dinâmica erosiva e acrescionária e os impactos socioambientais nas comunidades locais, aplicando uma metodologia semiquantitativa a partir da integração de agentes naturais e fatores antrópicos que representam parâmetros espaciais importantes no desencadeamento de processos de erosão costeira, integrada com uma análise multitemporal entre os anos de 1992, 2005, 2014 e 2022, utilizando dados de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento em ambiente SIG.

2. Área de Estudo

A área de estudo está localizada no baixo setor costeiro estuarino, leste do estado entre a foz dos rios Gurijuba e Araguari abrangendo o arquipélago do Bailique. Possui um perímetro de 2.600 km², população superior a 10.000 habitantes e mais de 52 comunidades (IBGE, 2022). A economia local é baseada na pesca, extrativismo e Bubalinocultura, o acesso é feito via fluvial pelo canal do Norte, rio Amazonas num percurso de 180 quilômetros de Macapá (Figura 1).

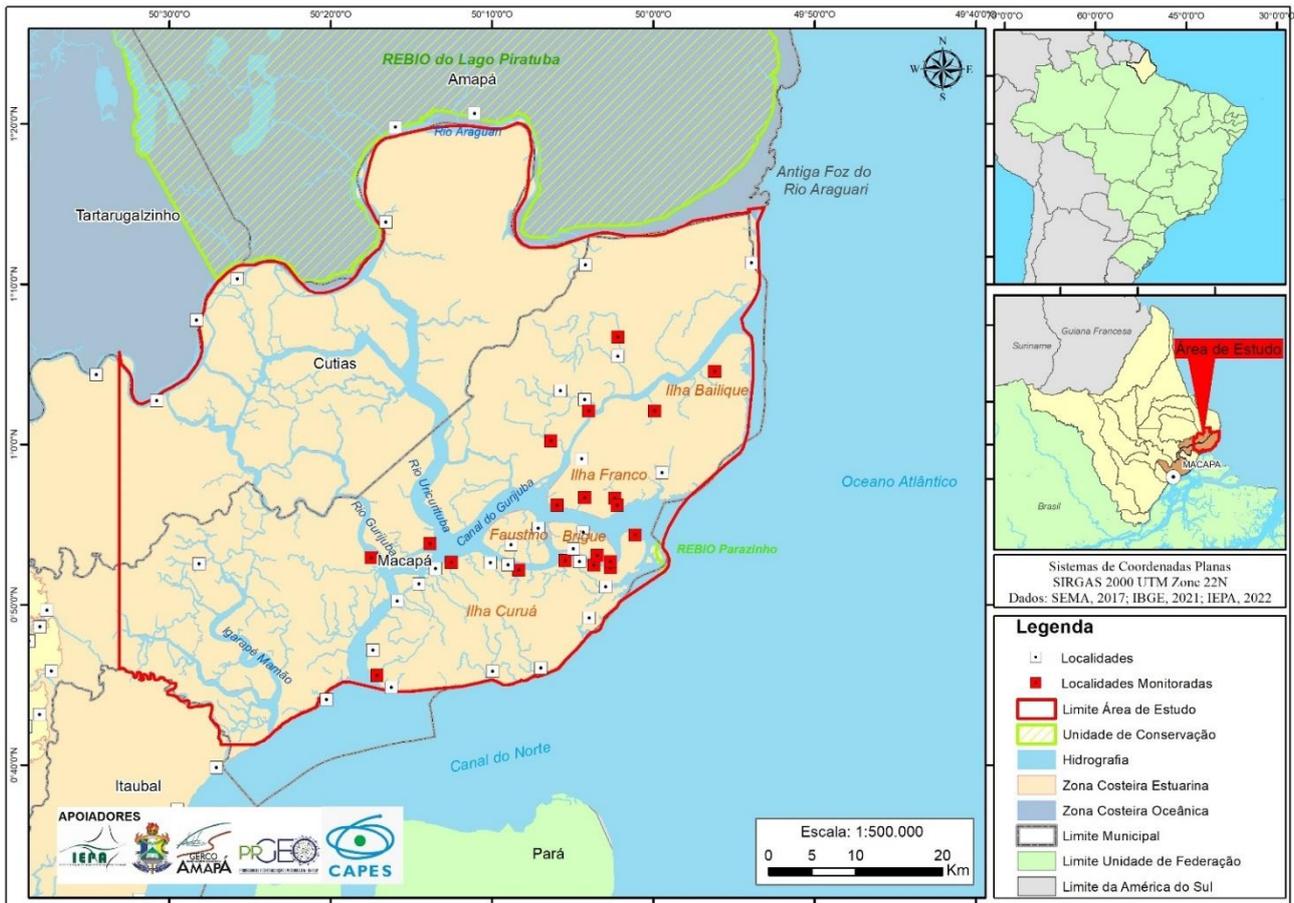


Figura 1. Área de estudo.

Esta porção apresenta uma grande variação no regime de precipitação anual, estimativas feitas a partir de dados do sensor *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations* (CHIRPS), para o período de 1992 a 2022 apresentaram valores de precipitação pluviométrica acumulada acima de 2600 mm, e mínimos abaixo de 1600 mm, com uma média anual de 2470,73 mm e temperatura média anual de 27°C (Gráfico 1). Isoietas mensais apontam para os meses de março e abril índices superiores a 400 mm/mês, e setembro, outubro e novembro índices inferiores a 200 mm/mês no auge da estiagem.

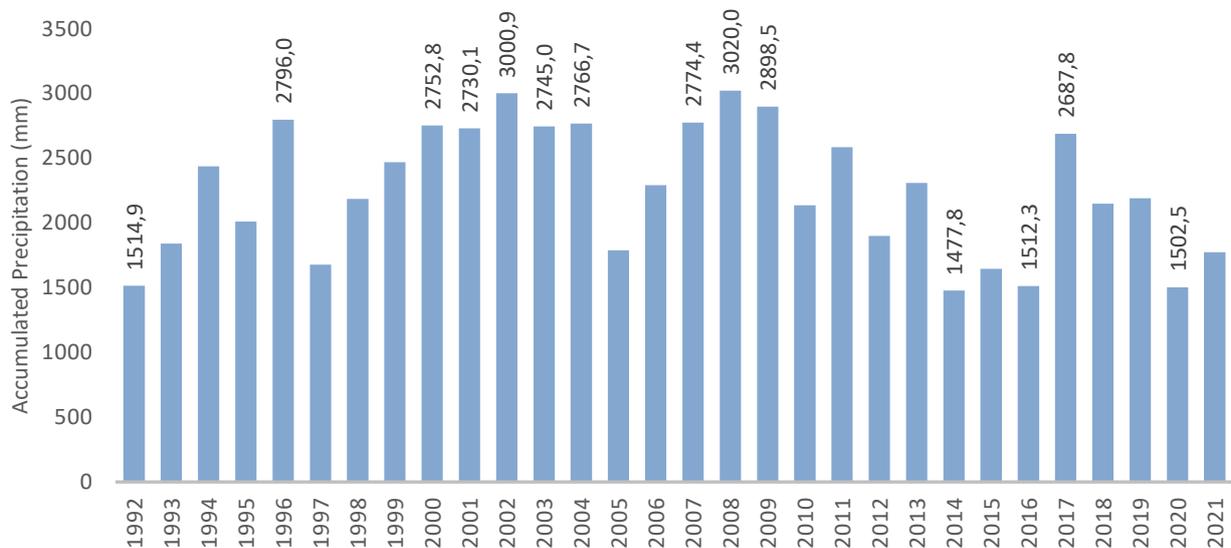


Gráfico 1. Estimativa de Precipitação Anual Acumulada para área de estudo.

Esta porção é composta por uma área de planície costeira muito baixa, plana onde os ambientes são marcadamente fluviolacustres e fluviomarinhos, com Depósitos Aluvionares, Terraços Pleistocênicos e Depósitos holocênicos (TORRES, EL-ROBRINI e COSTA, 2018). A cobertura pedológica contempla subordens de Gleissolos (Tiomórfico, Melânico e Háplico) são solos característicos de áreas alagadas ou sujeitas a alagamento e oscilação de marés, hidromórficos muito pouco desenvolvidos, níveis de acidez elevados, altos teores de matéria orgânica ricos em sais solúveis (IBGE, 2017).

A cobertura vegetal é composta por tipologias de Floresta Ombrófila Aluvial e Formações Pioneiras. As Formações Aluviais estão concentradas próximas aos rios adentrando o continente pelas planícies flúvioestuarinas. As Formações Pioneiras desenvolvem-se sobre áreas pedologicamente instáveis com constantes deposições sedimentares, as espécies predominantes *Avicennia germinans*, *Rhizophora harrisonii* e *Rhizophora mangle* (COSTA NETO e SILVA, 2004).

2. Materiais e Métodos

Para o mapeamento da variação da dinâmica erosiva e acrescionária, as proposições metodológicas estão ancoradas numa análise ambiental integrada dos componentes naturais, atividades antrópicas e técnicas de geoprocessamento. O trabalho foi dividido em quatro eixos: 1) Aquisição de dados 2) Caracterização 3) Processamentos e 4) Integração dos Resultados (Figura 2).

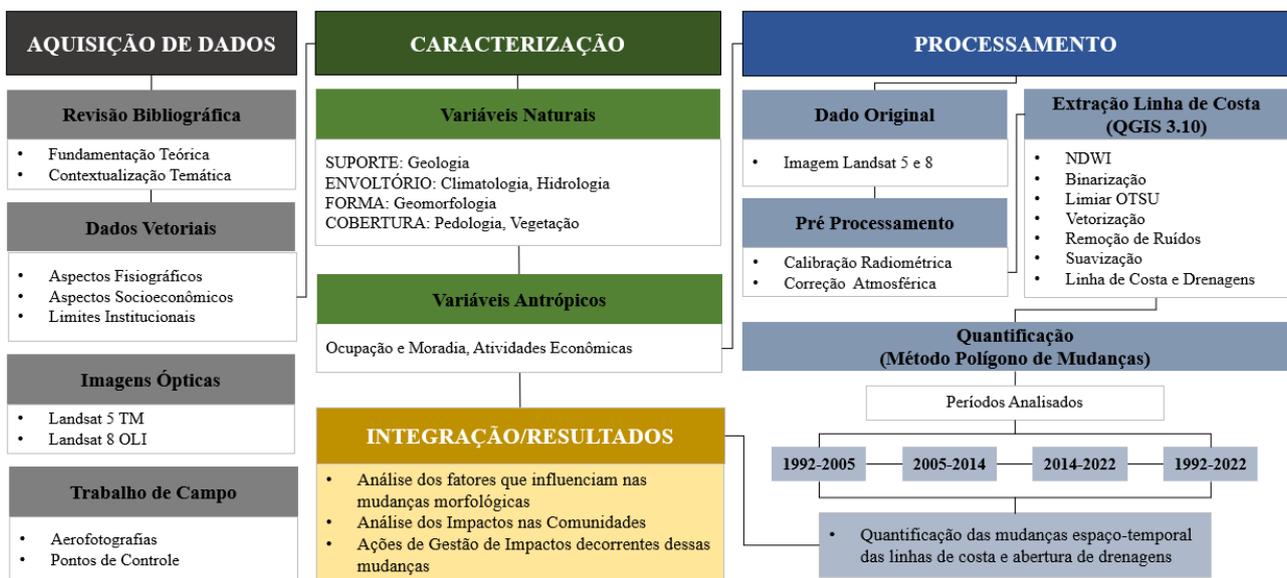


Figura 2. Fluxograma Metodológico Fonte: Elaborado pelos autores, (2024).

2.1. Aquisição de Dados

Para caracterização do meio físico (geologia, geomorfologia, pedologia, hidrografia e vegetação), utilizou-se as bases cartográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala de 1:250.000, disponíveis em <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>.

Diante da ausência de estações meteorológicas próximas da área de estudo, foram utilizados os dados do sensor *Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations* (CHIRPS), proposto por Funk et al. (2015) e aplicado para o Brasil por Costa et al. (2019). Estes dados possuem resolução espacial de 0,05° (~ 5 km) e estão disponíveis em: <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>, sob os formatos Esri Bil, GeoTiff e NetCDF.

Estudos apontam a validação para o Brasil como dados confiáveis, portanto plausíveis de utilização em distintas finalidades relacionadas às pesquisas climáticas, especialmente em regiões menos desenvolvidas ou com baixa densidade populacional onde ainda há uma escassez de informações de estações meteorológicas, se tornando uma opção para estudos climáticos para regiões tropicais e subtropicais (BAYISSA et al., 2017; PAREDES-TREJO, BARBOSA, e KUMAR, 2017; COSTA et al., 2019).

Para constituir as séries multitemporais foram selecionadas quatro imagens ópticas do satélite Landsat 5 para os anos de 1992 e 2005 e do Landsat 8 para os anos de 2014 e 2022, no site do Serviço Geológico Americano (USGS) disponíveis em <https://earthexplorer.usgs.gov/> (Quadro 1).

Os critérios para escolha das imagens foram: 1) baixa cobertura de nuvens, 2) maré alta para evitar variações na detecção da posição das linhas de costa nas planícies de maré, esse controle é feito verificando a data e a hora da captura da imagem combinados com dados sobre as tábuas de maré disponíveis no site da marinha, para assim verificar se a maré estava alta ou baixa no momento em que a imagem foi tirada, e por fim 3) imagens nível 2 (L2) O conjunto de dados Landsat Nível L2 são produto padrão da reflectância TOA, portanto, nenhum pré-processamento adicional é necessário por apresentarem níveis aceitáveis de calibração radiométrica e ortorretificação (ROY et al., 2014; DWYER et al., 2018).

Quadro 1. Base de Dados Raster e Vetorial.

IMAGENS LANDSAT						
Sensor	Órbita Ponto	Período das Cenas	Resolução Espacial	NDWI/Bandas	Condição Climática	Condições de Maré
TM	225/059	13/06/1992	30m	4,2	Transição Cheia/Seca	Maré Alta
		19/07/2005				
OLI	225/059	13/08/2014	30m	5,3	Estiagem	Maré Alta
		12/09/2022				

Os trabalhos de campo contemplam três viagens realizadas nos períodos (02/09/2021, 06/10/2022 e 25/05/2023) totalizando 20 comunidades monitoradas: Itamatatuba, Ilhinha, Foz do Gurijuba, Junco, Andiroba, São Pedro, Carneiro, Buritizal, Jaranduba, Vila Progresso, Macedônia, Marinheiro, Franco Grande, Franquinho, Boa Esperança, Arraiol, Livramento, Maranata, Equador e Filadélfia. Nessas comunidades foram instalados marcos de alumínio de 40 cm para medir a distância do marco até a margem, também foi realizado o sobrevoo de drone, modelo Mavic Mini 2 da DJI.

2.2. Processamento da Linha de Costa

No processamento dos dados utilizou-se o *software* QGIS 3.10.1, no qual foram realizadas as etapas de classificação do índice de diferença normalizada de água (NDWI), Binarização, Vetorização, Remoção de Ruídos, Suavização e Correção final (Figura 3).

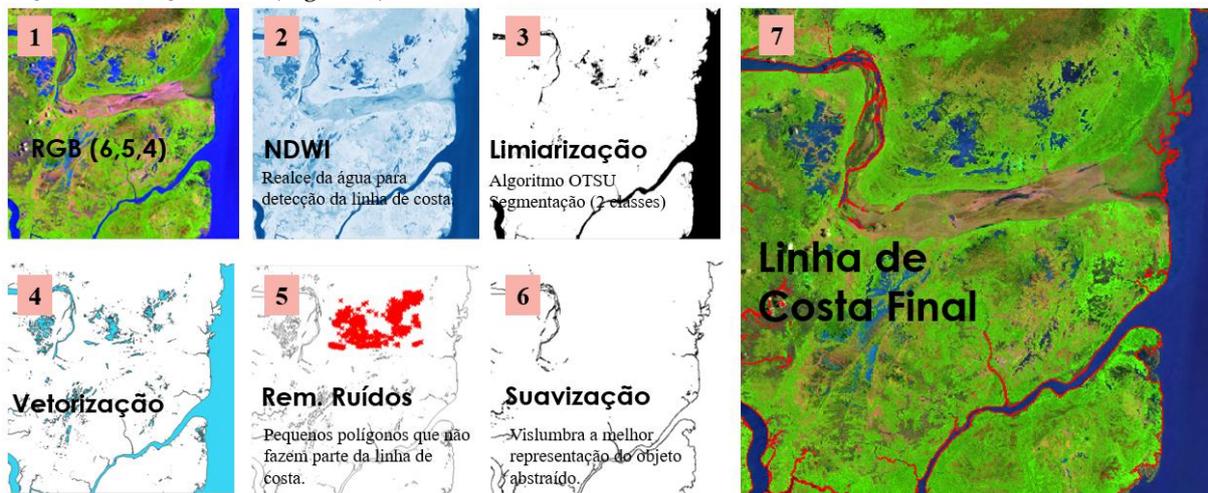


Figura 3. Etapas de Extração da Linha de Costa. Fonte: Elaborado pelos autores, (2024).

O índice de NDWI é derivado das bandas do infravermelho próximo (NIR) e do verde. É usado para realçar a água em imagens multiespectrais, facilitando a distinção entre terra e água do mar (MCFEETERS, 1996). Foram usadas as bandas 2 e 4 do Landsat-5, e as bandas 3 e 5 do Landsat-8, onde o valor de reflectância TOA da banda

verde e da banda NIR é mais adequada no cálculo do NDWI, comparando com os Números Digitais (DN) brutos, o NDWI pode ser calculado diretamente como:

$$NDWI_{Landsat\ 5} = \frac{(band\ 2 - band\ 4)}{(band\ 2 + band\ 4)} \quad NDWI_{Landsat\ 8} = \frac{(band\ 3 - band\ 5)}{(band\ 3 + band\ 5)}$$

A limiarização é o método de fusão de NDWI e binarização de imagem, é uma técnica conceitualmente simples que usa um histograma para segmentar imagens, neste estudo utilizou-se o método de segmentação limiar (OTSU, 1975). Estudos recentes vêm usando essa técnica para mapear mudanças em áreas costeiras a partir de imagens Landsat em análise temporal (KULELI et al., 2011; LUIJENDIJK et al., 2018; ZHOU et al., 2023). No QGIS 3.10.1 esse processo é feito através do plugin Plugin Binarization Threshold.

Neste plugin foram realizados inúmeros testes, e para auxiliar na identificação da transição foi utilizado como geoindicador a linha de vegetação de mangue adulta, que permanece invariável independente da condição de maré, considerando que a vegetação de manguezal constitui um dos melhores ambientes para análise espacial de ambientes costeiros a partir de sensores remotos orbitais (SOUZA FILHO e PARADELLA, 2003; FROMARD et al., 2004; CHU et al., 2006; SOUZA FILHO, MARTINS e COSTA, 2006). Os limiares que apresentaram resultados mais próximos da transição da área seca e úmida estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1. Valores dos Limiares Adotados para Detecção de Borda.

SENSOR	LANDSAT 5			LANDSAT 8	
	1985	1992	2005	2014	2022
VALOR DO LIMIAR	Upper: 1,0000 Lower: -0,1764	Upper: 1,0000 Lower: -0,1652	Upper: 1,0000 Lower: -0,1666	Upper: 1,0000 Lower: -0,1009	Upper: 1,0000 Lower: -0,0551

Elaborado pelos autores, (2024).

Para a suavização foi utilizado um filtro gaussiano 1D devido a necessidade de reduzir a escala e vislumbrar melhor as modificações tendo em vista a resolução espacial do sensor (MCMASTER e SHEA, 1992). A quantificação das mudanças foi feita com o método polígono de mudança, que representa uma alternância de regiões que estão sofrendo o processo de erosão ou acreção, fornecendo valores dos deslocamentos dos segmentos costeiros (SMITH e CROMLEY, 2012; ALBUQUERQUE et al., 2013).

No entanto, para o cálculo da taxa média anual de erosão nas comunidades, e visando obter informações numa escala de melhor representatividade foi adotado como referência um buffer de 200 metros. Essa proposta se fez necessária devido à grande variação na extensão das comunidades, fazendo que todas tenham uma amostragem uniforme.

3. Resultados

3.1. Análise da Dinâmica Erosiva e Acrecionária entre 1992 e 2022

Entre 1992 e 2005 (13 anos), cerca de 53% das áreas foram submetidas à acreção, totalizando 82,39 km², com uma taxa média de avanço anual de 6,4 km². A erosão afetou 47% das áreas, correspondendo a aproximadamente 72,73 km², com uma taxa média de recuo anual de 5,6 km². Entre 2005 e 2014 (9 anos), cerca de 55% das áreas foram submetidas à acreção, totalizando 134,35 km², com uma taxa média de avanço anual de 14,9 km². A erosão alcançou 45% equivalente à 111,87 km², com uma taxa média de recuo anual de 12,4 km².

Entre 2014 e 2022 (8 anos), aproximadamente 60% das áreas foram submetidas à acreção, totalizando 175,82 km², com uma taxa média de avanço anual de 21,9 km². A erosão alcançou 40%, cerca de 117,23 km², com uma taxa de recuo média anual de 14,6 km². Entre 1992 e 2022 (30 anos), aproximadamente 60% das áreas foram submetidas à acreção, totalizando 277,47 km², com uma taxa média anual de avanço de 9,08 km². A erosão alcançou 40%, equivalente à 181,77 km², e uma taxa média de recuo anual de 6,06 km².

Foi possível observar que, ao longo desses trinta anos, os processos de acreção predominaram em todos os intervalos, com destaque para o período entre 2005 e 2014, quando ocorreu a colmatação da foz do rio Araguari e uma nova configuração da hidrodinâmica local (Figura 4).

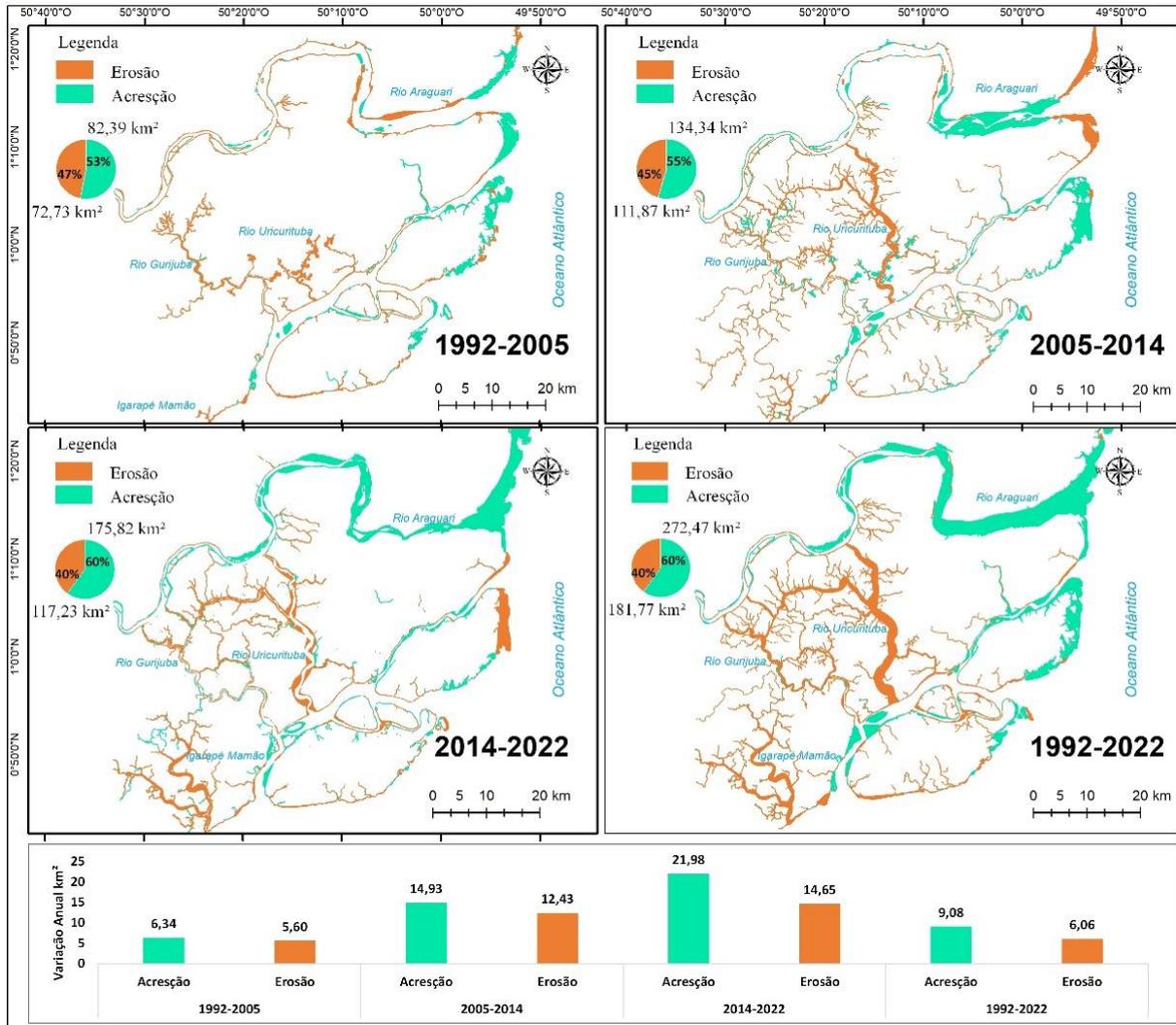


Figura 4. Taxas de Variação da Linha de Costa entre 1992 e 2022.

Uma análise feita com base na espacialização da Dinâmica Erosiva e Acrescionária integrada aos padrões de vegetação, permitiu a delimitação de três zonas: 1) Zonas com Predomínio de Processos de Acresção (ZPPA), 2) Zonas Mista com Processos de Erosão e Acresção (ZMPEA) e 3) Zonas com Predomínio de Processos Erosivos (ZPPE) (Figura 5).

Essas zonas refletem as principais mudanças da área nos últimos trinta anos, em função da dinâmica sedimentar, a nova configuração da hidrodinâmica, o processo de colmatação da foz do rio Araguari, considerando as características fisiográficas numa escala local. No entanto, vale ressaltar que as tendências propostas nessas zonas apenas se solidificam se permanecerem as condições atuais, podendo haver alteração levando em consideração que a região está sempre se modificando.

Todavia, poderá subsidiar ações do governo para projetos de infraestrutura, realocação de comunidades e políticas de gestão de riscos considerando a fragilidade altamente limitante da área, a escala, os dados analisados e o fato de ser a única proposta mais atualizada da temática na região.

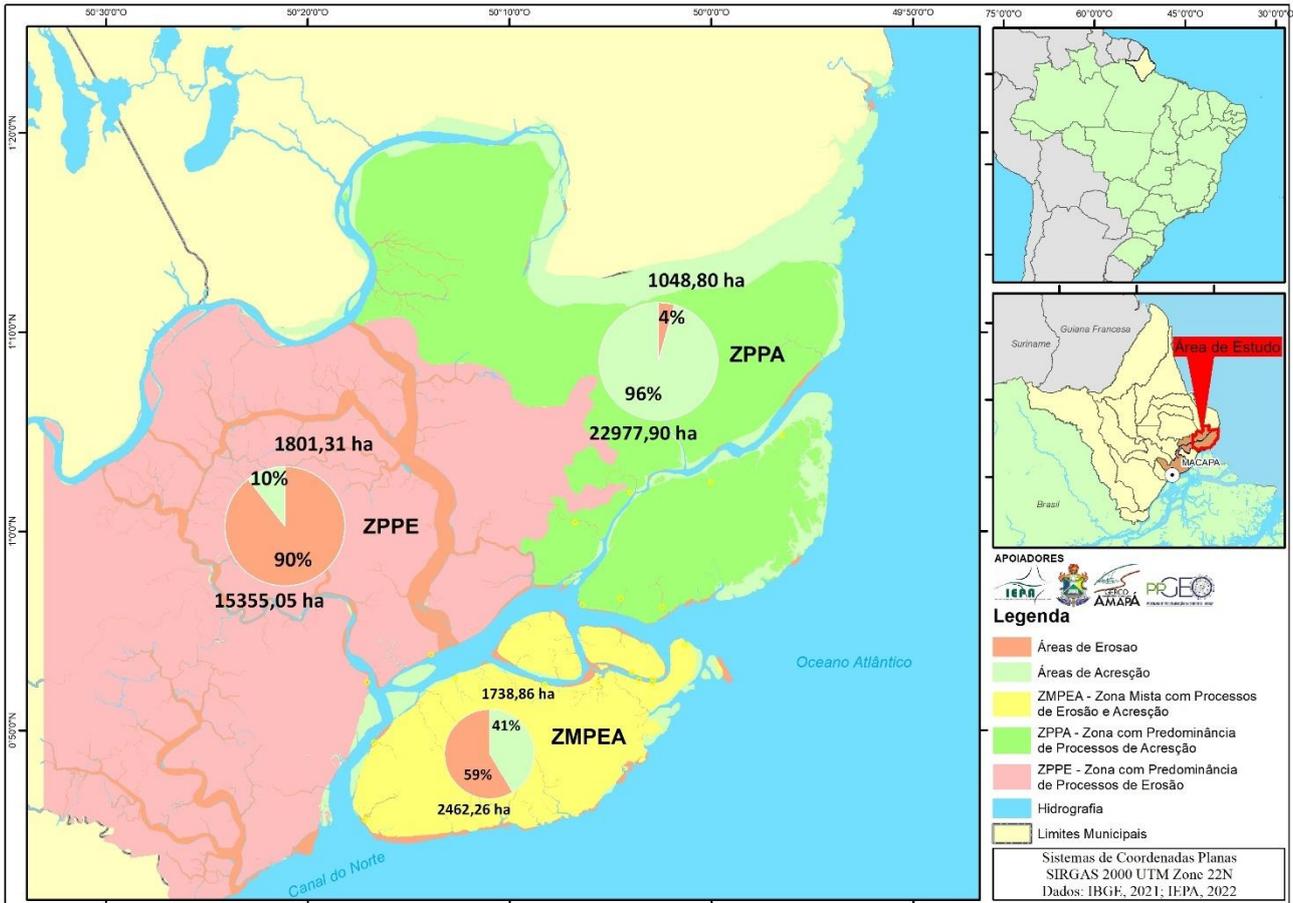


Figura 5. Mapa com as Zonas de Acresção e Erosão.

3.1.1. Zonas com Predomínio de Processos de Acresção (ZPPA)

Nesta zona, os processos de acresção alcançaram 96%, o equivalente à 22.97 mil hectares. Observam-se processos de colmatagem, formação de planícies de marés e barras de pontais e centrais. Predominam as formações pioneira e aluviais, que estão sob pressão das intensas atividades de bubalinocultura às margens do rio Araguari e do Igarapé Terra Grande.

O principal destaque é o processo de colmatagem da foz do Rio Araguari, caracterizado pela formação de depósitos sedimentares recentes, representados por barras em pontal, barras de meio de canal, planícies intermaré e de inundação. Essas formações resultam das forçantes que atuam nesse estuário (COSTA, 1996).

Os cálculos realizados neste recorte da foz ao longo dos 30 anos demonstraram que a acresção alcançou cerca de 99%, equivalente a 16.791,90 ha, com uma taxa média anual de 559,73 ha. A erosão, que foi de 1%, correspondeu a 157,83 ha, com uma taxa média de recuo anual de 5,26 ha (Figura 6).

Para Silveira (1998), esse processo é comum nos estuários da costa do Amapá. No entanto, nessa porção, o rio se encontra em um nível mais baixo que o cinturão Meridional, cuja as velocidades e capacidades de escoamento são reduzidas, facilitando a deposição dos sedimentos próximos à foz, influenciados pela forte combinação da descarga sedimentar marinha e fluvial, além da ação das correntes de maré e do rio Amazonas.

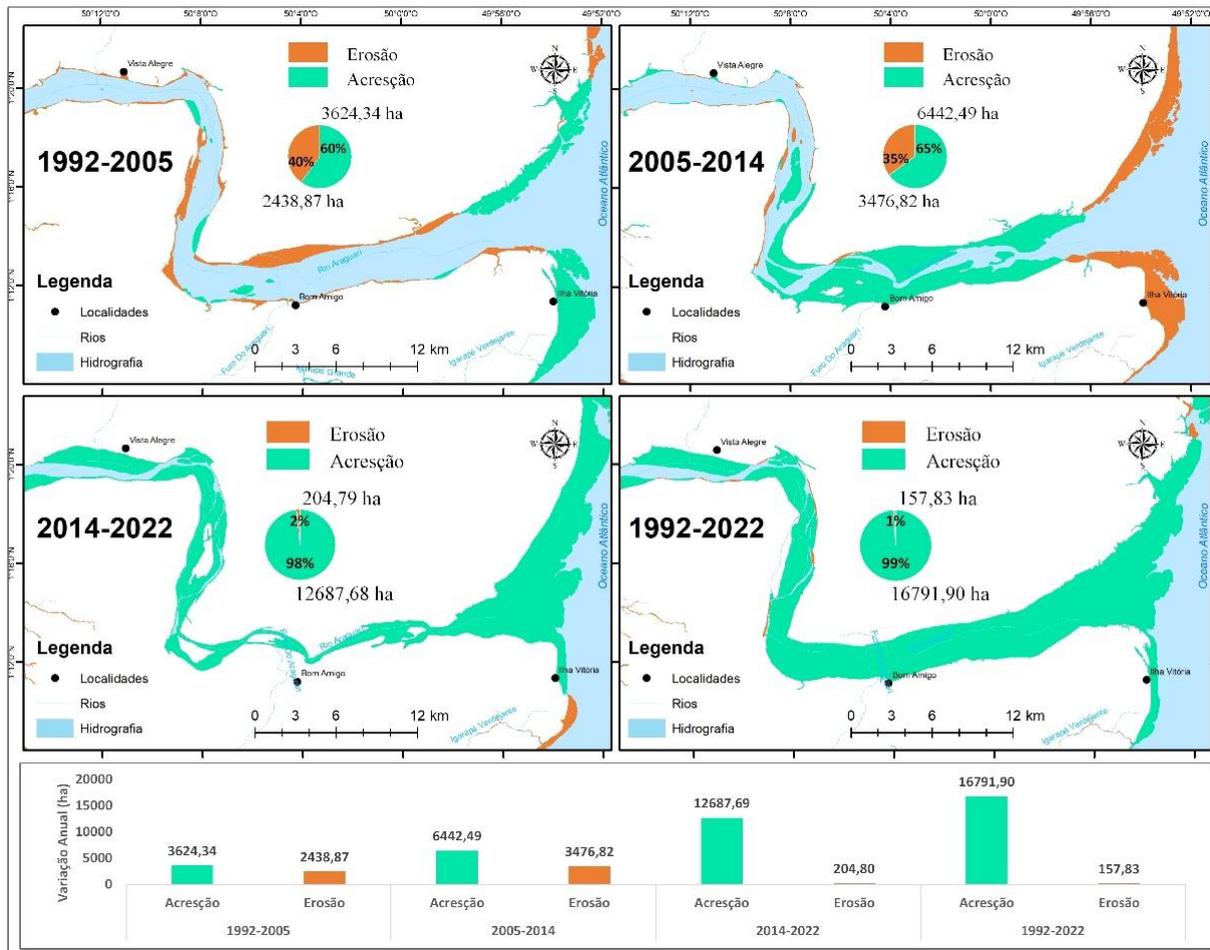


Figura 6. Processo de Colmatção da Foz do Rio Araguari entre 1992 e 2022.

Nessa região da Antiga Foz do Rio Araguari foram instaladas inúmeras fazendas desencadeando a mudança total do ecossistema. O Ministério Público Federal requisitou a Secretaria de estado de Meio Ambiente (SEMA) a adoção de medidas administrativas e/ou judiciais cabíveis, destinadas a fazer cessar o estado de degradação. Na figura 7 são apresentadas imagens capturadas durante a vistoria realizada no dia 03 de maio de 2023, pela SEMA em parceria com o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), as quais sugerem um processo avançado de sucessão ecológica de vegetação pioneira.



Figura 7. Sucessão Ecológica de Vegetação Pioneira na Região Colmatada do Estuário do Rio Araguari. Legenda: (A) Vegetação Pioneira com Influencia Fluvial e/ou lacustre; (B) Cercamento de Fazenda; (C) Trecho da Antiga Foz do rio Araguari. Fonte: Souza, 2023.

Nas Ilhas do Franco e Bailique, destacam-se as extensas planícies de maré ao longo do canal do Gurijuba, que separa essas ilhas do continente, além das formações de barras em pontal na zona de contato com oceano. Os cálculos mostram que o índice de acréscimo é de aproximadamente 96%, equivalente a 4502,48 ha, com uma taxa

média anual de 150,08 ha. A erosão alcançou 192,56 ha equivalente a 4% e uma taxa de recuo média anual de 6,42 ha (Figura 8).

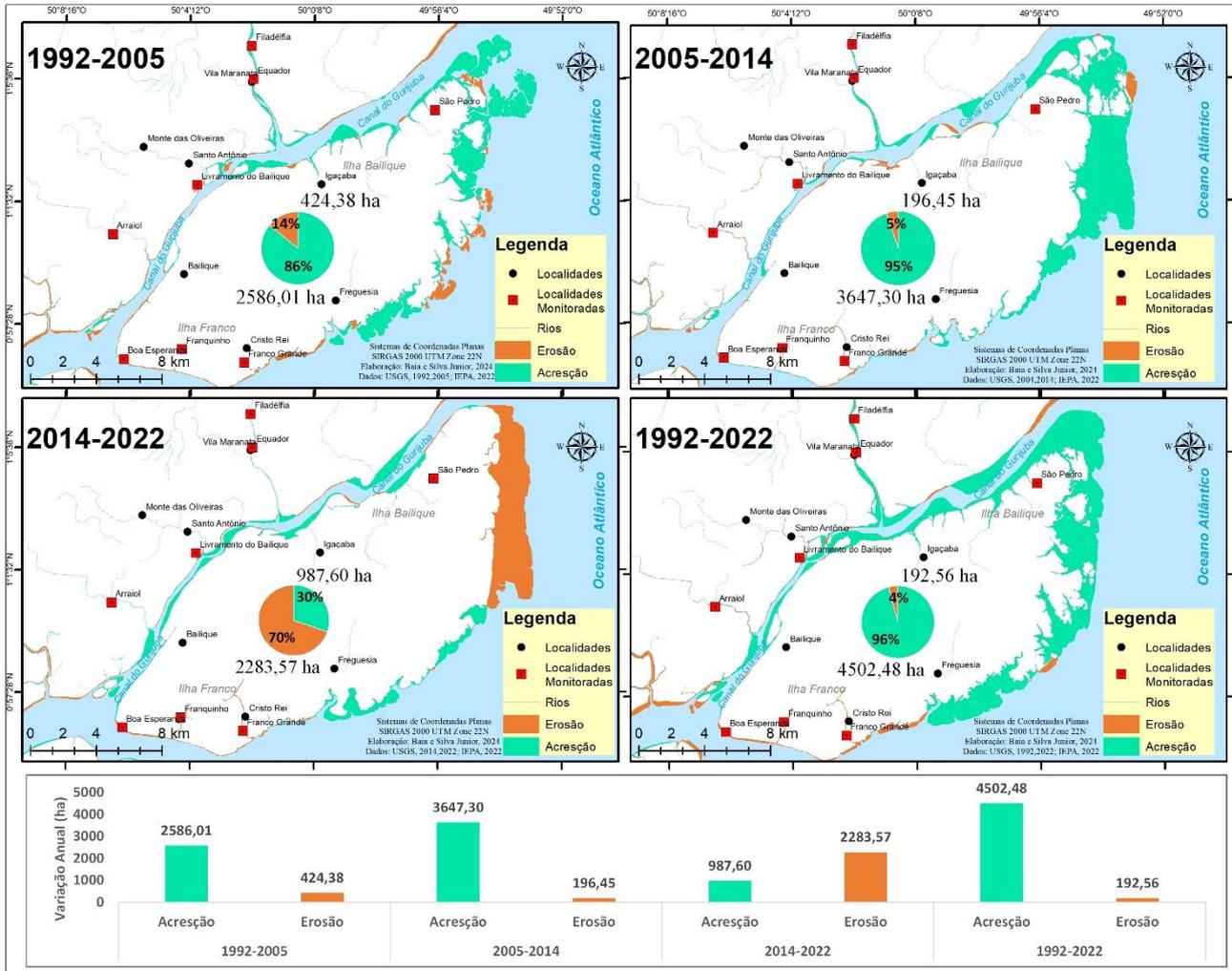


Figura 8. Processo de Formação de Barra em Pontais nas Ilhas do Franco e Bailique entre 1992 e 2022.

Se permanecerem as condições atuais, provavelmente as ilhas do Franco e do Bailique se conectarão ao continente. Essa hipótese se sustenta diante do assoreamento acelerado provocado pela formação das planícies de marés e da sucessão da vegetação, com isso diminuindo o leito do canal e dificultando o acesso às comunidades do Arraiol, Eluzay, Livramento, Maranata, Equador e São Pedro (Figura 9).



Figura 9. Planícies de Marés em Processo de Sucessão Vegetal. Legenda: (A) Comunidade do Livramento; (B e C) Planície de Maré no Canal do Gurijuba. Fonte: dados de campo, 2022.

3.1.2. Zona Mista com Processos de Erosão e Acresção (ZMPEA)

Nesta zona os processos de erosão e acresção ocorrem de maneira simultânea com uma pequena diferença na variação. As áreas acrescionárias alcançaram cerca de 41% o equivalente à 17,38 mil hectares, e a erosão 59%, o equivalente à 24,62 mil hectares (Figura 10). Caracteriza-se pela predominância de feiçoes de bancos lamosos, planícies de marés, formações pioneiras com influência fluvio-marinha e formações aluviais, também concentram maior população e atividade de comércio. Entre 1992 e 2022 Curuá e Marinheiro totalizaram 1134,29 ha de áreas de acresção, cerca de 53% com taxa anual de 37,81 ha, a erosão 1011,80 ha equivalente à 47% e uma taxa de recuo anual de 33,73 ha. A ilha Faustino alcançou 153,17 ha de acresção, cerca de 50%, uma taxa anual de 5,11 ha, a erosão 152,94 ha equivalente à 50% e uma taxa média anual de 5,10 ha.

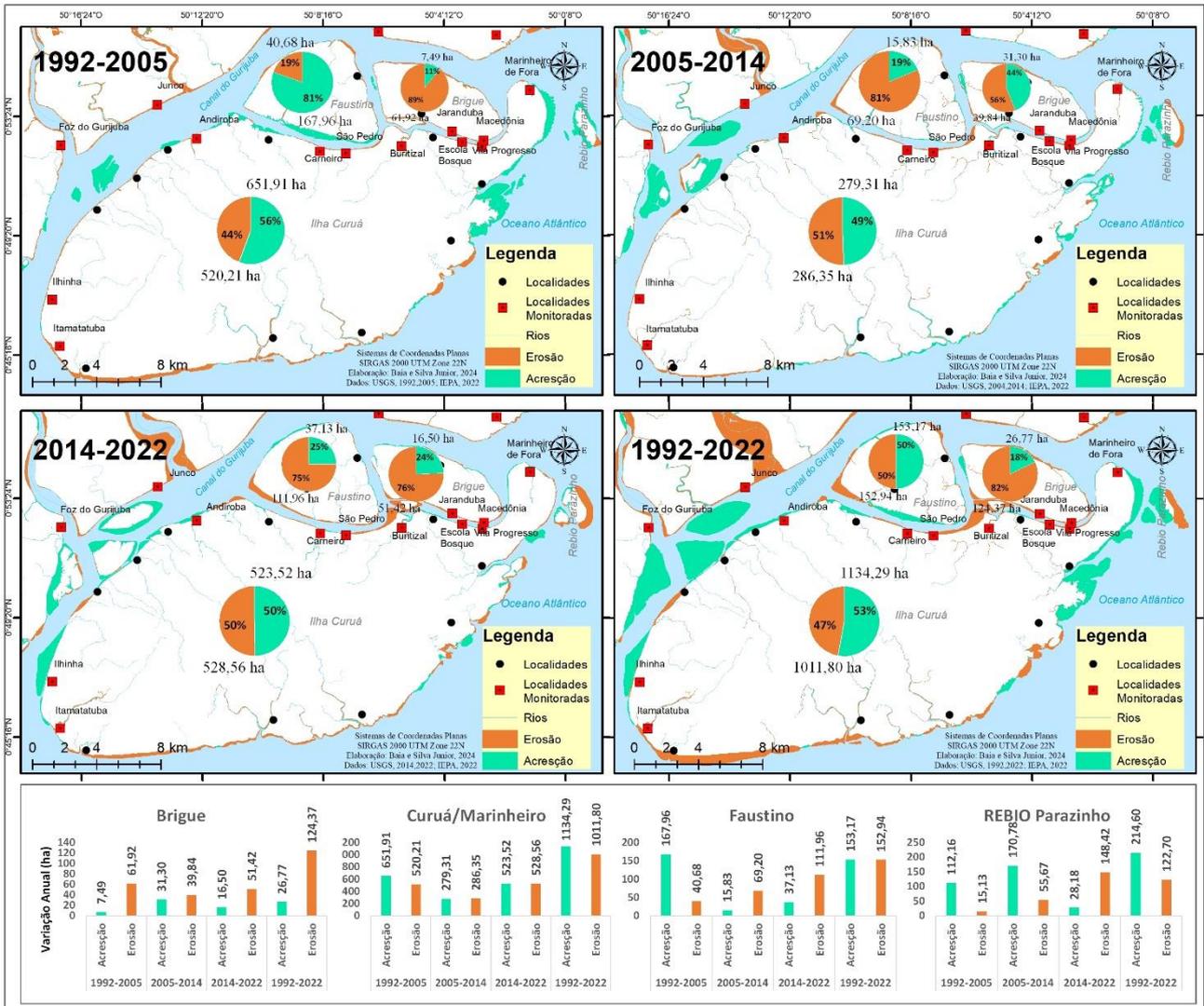


Figura 10. Processo de Acresção e Erosão nas Ilhas do Curuá, Brigue e Faustino entre 1992 e 2022.

Neste mesmo período a Ilha Brigue totalizou 26,77 ha de áreas de acresção cerca de 18% uma taxa anual de 0,89 ha, a erosão alcançou 124,37 ha, cerca de 82%, uma taxa de recuo anual de 4,15 ha. A REBIO Parazinho totalizou 214,60 ha de áreas de acresção, cerca de 64% com uma taxa anual de 7,15 ha, a erosão 122,70 ha equivalente à 36% e uma taxa média anual de 4,09 ha.

Um dos fatores que refletem a pouca variação entre os índices de erosão e acresção é o grande aporte de sedimentos e nutrientes recebido do rio Amazonas e do rio Araguari, dinamizando o canal do Gurijuba, os quais são responsáveis pela formação dos bancos lamosos, a colonização e o crescimento da vegetação pioneira (Figura

11). A salinidade e o regime de marés são determinantes na seleção das espécies vegetais, além disso a dinâmica de erosão e deposição de sedimentos criam condições propícias para o estabelecimento (RAHMAN, 2020).



Figura 11. Bancos Lamosos com Processo de Sucessão Vegetal Consolidada. Legenda: (A) Comunidade Jaburuzinho, (B) Comunidade do Junco e (C) Praia do Boca Velha.

3.1.3. Zonas com Predomínio de Processos Erosivos (ZPPE)

Nesta zona os processos de erosão alcançaram cerca de 90%, o equivalente à 15.35 mil hectares. Nela prevalecem a abertura e alargamento de drenagens, com destaque para a captura do fluxo de água do rio Araguari, pelo rio Gurijuba e Canal do Uricurituba, que antes desaguava no oceano passando para o rio Amazonas, a cobertura vegetal predominante são os campos inundáveis onde se desenvolve a bubalinocultura.

Entre 1992 e 2022 o rio Gurijuba totalizou 1533,54 ha de áreas erodidas (sem considerar os tributários), cerca de 95% com uma taxa anual de 51,12 ha, a acresção 81,91 ha, equivalente à 5% e uma taxa de avanço anual de 2,73 ha. O Uricurituba totalizou 4946,87 ha de áreas erodidas (sem contar os tributários) cerca de 100%, a uma taxa média anual de 164,90 ha, a acresção 4,52 ha equivalente uma taxa de avanço anual de 0,15 ha (Figura 12).

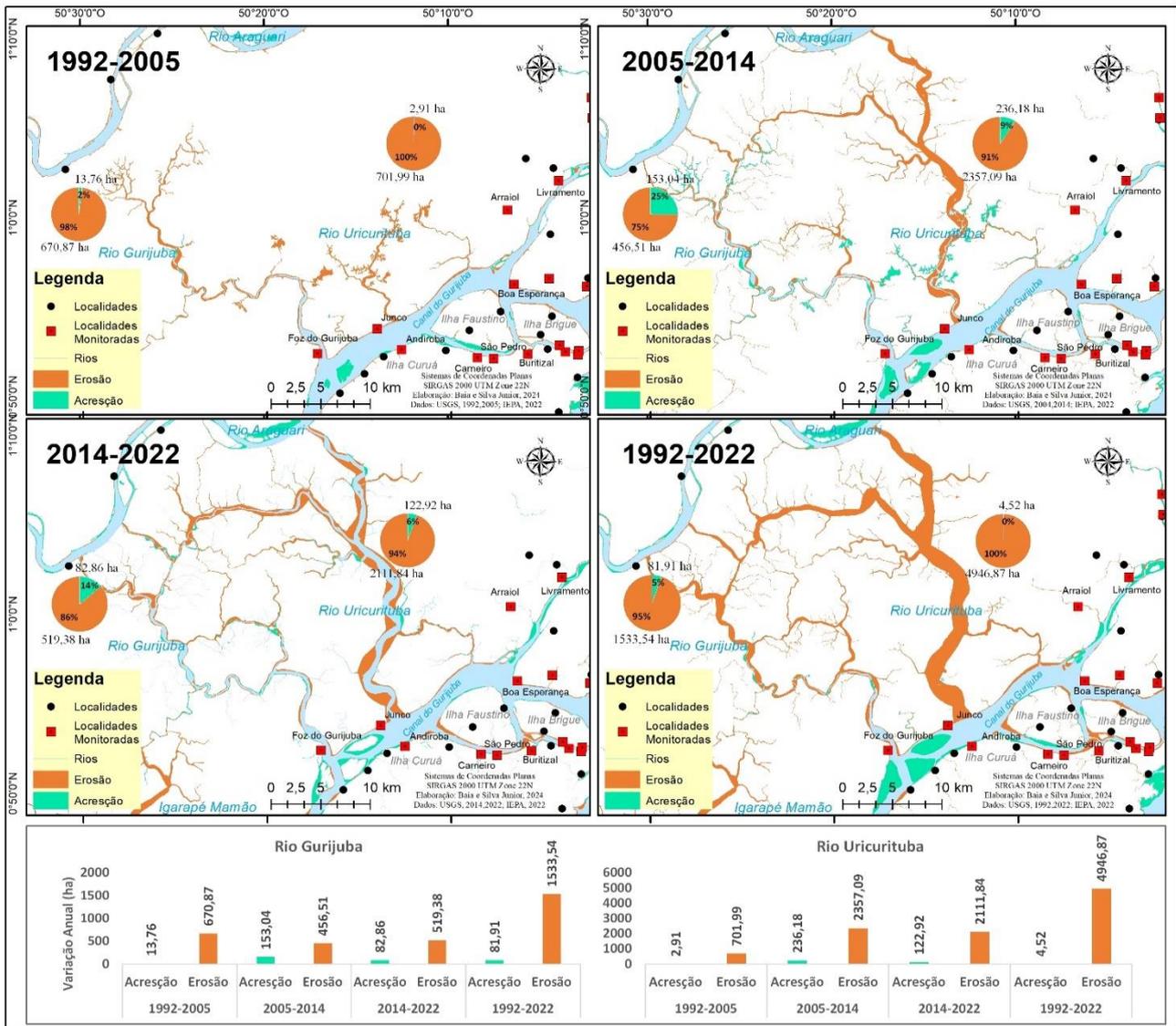


Figura 12. Abertura e Interligação dos rios Araguari, Gurijuba, Uricurituba entre 1992 e 2022.

Em 2011 a captura do fluxo do rio Araguari alcançou cerca de 98%, a vazão média mensal varia entre 190 m³/s (novembro) e 1916 m³/s (março) (SANTOS et al., 2018) (Figura 13). O Aumento da velocidade do fluxo em função da nova configuração hidrodinâmica, é responsável por mudanças como alteração no balanço sedimentar, na intensidade da vazão e das correntes no arquipélago. O Uricurituba era um pequeno canal usado para dessedentação de animais, atualmente é o maior desta porção, também estão localizadas as comunidades de Junco e Foz do Gurijuba ambas com os maiores índices de processos erosivos ocupando o primeiro e segundo lugar, respectivamente.

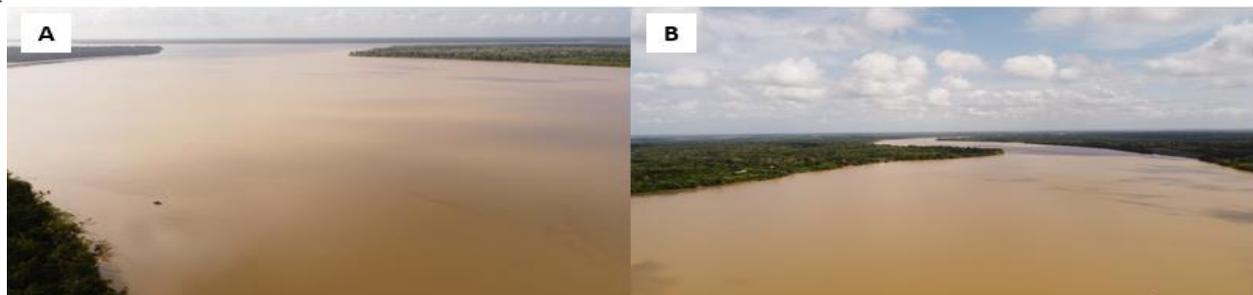


Figura 13. Fozes dos Rios Gurijuba e Uricurituba. Legenda: (A) Foz do rio Uricurituba e (B) foz do Gurijuba. Fonte: dados de campo, 2022.

3.1. Impactos nas Comunidades Locais

Os impactos nas comunidades estão associados aos processos erosivos. Das 20 comunidades monitoradas, 15 estão sob efeitos da erosão, que causa a perda de casas, escolas, o comércio e a falta de energia elétrica, e mais recente com a nova configuração da hidrodinâmica local tem se intensificado a intrusão salina, e conseqüentemente a escassez de água potável. Entre as comunidades mais afetadas com a erosão estão Junco, Foz do Gurijuba, Escola Bosque, Ilhinha, Macedônia, Itamatatuba, Boa Esperança e Vila progresso (Gráfico 2).

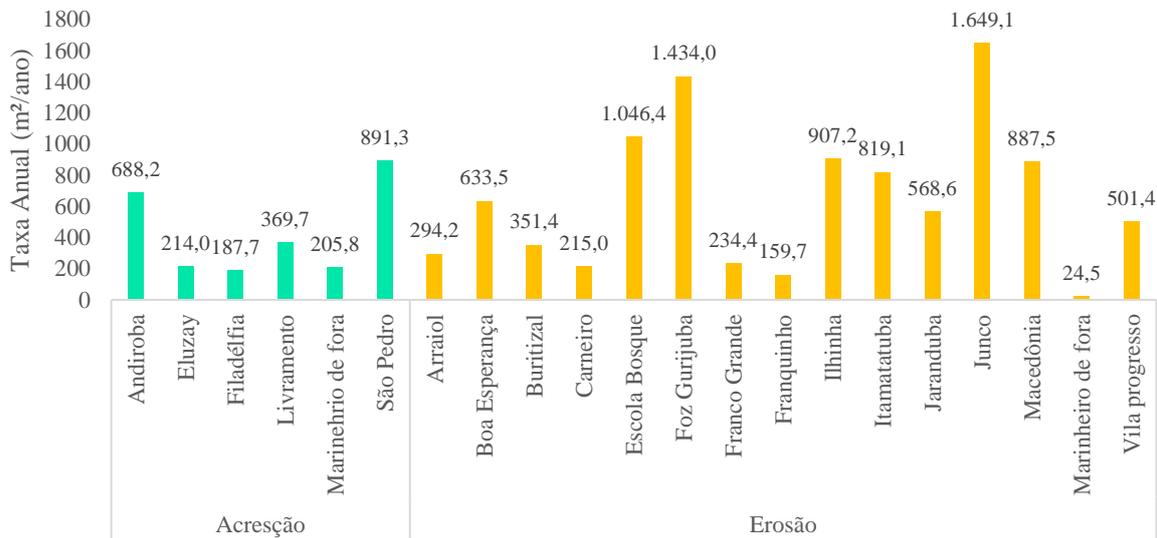


Gráfico 2. Taxa Média Anual de Erosão e Acreção nas Comunidades entre 1992 e 2022.

Neste estudo merecem destaque o trecho da Escola Bosque e da comunidade da Ilhinha, ambas localizadas na Ilha do Curuá (Figura 14). O trecho da escola possui cerca de 1 km de extensão e o terceiro maior índice de erosão com taxa média anual estimada em 1046,4 m²/ano, e taxa linear de 10,2 m/ano. Inaugurada em 2011 a escola ficava recuada cerca de cinquenta metros da margem, em 2022 o último bloco estava comprometido, o governo estuda um local adequado para construção da nova escola.

Por sua vez a comunidade da Ilhinha possui 0,5 km de extensão e apresenta o quarto maior índice de processos erosivos com uma taxa de erosão estimada em 819,0 m²/ano, a taxa de erosão linear está estimada neste ponto em 6,4 m/ano. Nesse local em 2017 a ponte que atravessa a comunidade ficava a uma distância de 27 metros da margem, no entanto, em 2022 reduziu para cerca de 3 metros, com isso muitas casas estão sendo construídas nas margens do igarapé ao lado.



Figura 14. Estrutura da Escola Bosque e Comunidade do Itamatatuba.

A comunidade de Macedônia e a Progresso localizam-se nas Ilhas do Brigue e do Curuá, respectivamente (Figura 15). A Macedônia possui cerca de 1,6 km de extensão e o quinto maior índice de erosão atingindo uma taxa média anual de 887,5 m²/ano e taxa linear de 10,55 m/ano. A Vila Progresso possui cerca de 1,5 km de extensão e o oitavo maior índice de erosão atingindo uma taxa anual média de 501,4 m²/ano e a taxa linear em 10,2 m/ano. Ambas são as mais influentes no arquipélago em termos de extensão, população e economia local.



Figura 15. Comunidade da Vila Progresso e Macedônia.

As comunidades do Itamatatuba e Boa Esperança estão localizadas nas ilhas do Curuá e do Brigue respectivamente (Figura 16). A Itamatatuba possui cerca de 0,5 km de extensão e o sexto maior índice de erosão, uma taxa estimada em 819,0 m²/ano, e taxa de erosão linear estimada em 5,25 m/ano. Em 2017 a estrutura da escola, posto de saúde e da fábrica de gelo recuados cerca de 2 a 4 metros da margem, em 2022 também foram levados pela erosão.

Por sua vez a Boa Esperança possui 0,4 km de extensão e está na sétima posição com maiores índices de processos erosivos, com uma taxa média anual de 633,49 m²/ano e taxa linear estimada neste ponto em 2,4 m/ano. Neste local a estrutura da antiga escola foi levada pelas águas num intervalo de 5 anos, as novas construções sendo recuadas da margem.

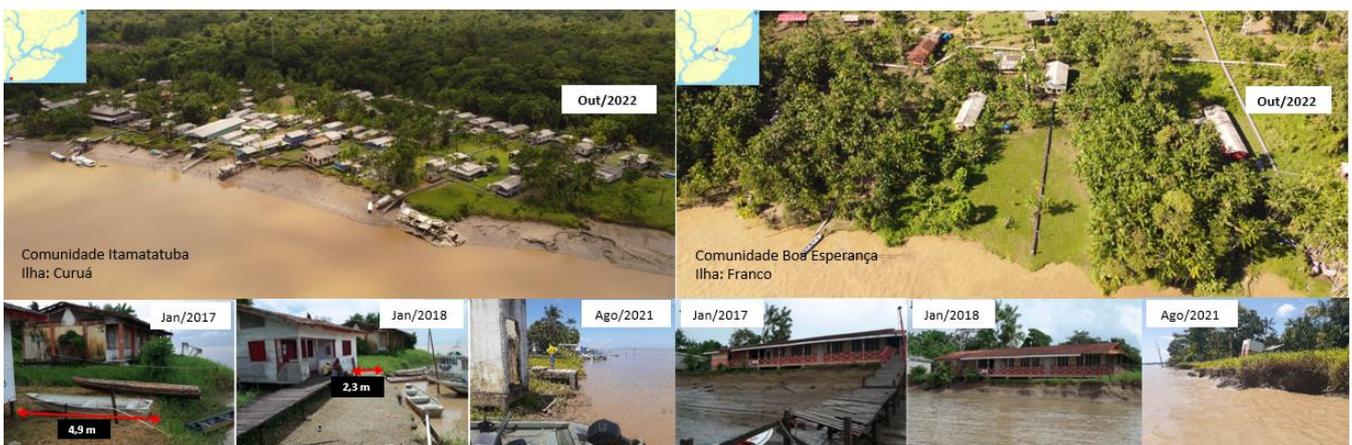


Figura 16. Comunidade de Itamatatuba e Boa Esperança.

Apesar do arquipélago estar inserido no Sistema Interligado Nacional (SIN) desde 2015, a falta de energia elétrica e a escassez de água potável são problemas recorrentes, isso se dá em função das constantes rupturas na rede elétrica com a queda de postes, o que tem levado os moradores locais a utilizar um sistema híbrido (energia da concessionária, fotovoltaica, sistema à diesel), essa integração tem auxiliado no abastecimento do comércio local para conservação de alimentos (Figura 17a, b, c).

No período de estiagem com a nova configuração da hidrodinâmica local tem se intensificado a intrusão salina, e conseqüentemente a escassez de água potável. Medições superficiais identificaram os maiores índices de salinidade nas comunidades do Filadélfia, Maranata, e do Equador, localizadas mais adentro do continente, direcionadas pela corrente vinda do Oceano Atlântico (SILVA JUNIOR, SZLAFSZTEIN e BAIA, 2022). Em resposta, as medidas de assistência adotado pelo governo estadual tem se concentrado na distribuição de água mineral, cestas básicas e caixas d'água para a captação de água da chuva, armazenamento e tratamento primário (Figura 17d, e).



Figura 17. Sistema de Distribuição de Energia e Captação de Água. Legenda: (A) Poste Elétrico sendo levado pela Erosão; (B) Sistema de Energia Fotovoltaico; (C) Sistema Elétrico à Diesel; (D) Sistema de Captação da Água da Chuva, Comunidade de Maranata; (E) Estação de Dessalinização, Comunidade do Franquinho. Fonte: dados de campo, 2022.

Vale destacar que nos estuários a intrusão salina provoca mudanças na densidade da água, aumento da turbulência, alterações na circulação de sedimentos e distribuição de manguezais. Esses efeitos combinados podem levar ao aumento da erosão e à perda de habitat, especialmente em áreas de manguezais, que desempenham um papel fundamental de proteção da costa, reprodução, alimentação, desenvolvimento e refúgio de espécies (CAPO et al., 2006; DANIAL et al., 2021).

4. Discussão

As mudanças morfológicas de curto período nos ambientes costeiros e estuarinos estão associadas à atuação integrada dos agentes naturais e fatores antrópicos. Esses processos e modificações são exacerbados pelas variações climáticas, sendo amplamente estudados em diversas regiões do mundo.

Jolivet et al. (2018) através de análises geoespaciais e dados históricos identificaram que a interação entre os sedimentos do rio Amazonas e as correntes oceânicas regionais, contribui para uma alta variabilidade na posição da linha de costa em escalas de tempo que vão de décadas a meses na costa norte da América do Sul. Para Talke e Jay (2020) as atividades humanas desempenham um importante no aumento da amplitude das marés e nos padrões de inundação em alguns estuários, exacerbando o risco de enchentes, e a alterações na hidrodinâmica local.

Zhang et al. (2022) ao examinar as interações entre processos naturais (fluxo de água, sedimentação e elevação do nível do mar), e as intervenções humanas (construção de barragens, dragagem e urbanização) nos deltas do Rio Yangtze e o Rio Mississippi, identificaram semelhanças na perda de áreas úmidas e a erosão costeira em grande parte devido à redução da quantidade de sedimentos transportados pelos rios, por conta das atividades humanas à montante.

Na Costa Amazônica e na Zona Costeira do Amapá a alta dinamicidade da região é atribuída à pressões dos agentes locais (atmosféricos, oceanográficos e da hidrografia amazônica na forma de descarga hídrica, sólida e a

pluma de sedimentos) e globais como as mudanças climáticas uma grande instabilidade morfológica, responsável pelas mudanças na configuração dos ambientes costeiros e ecossistemas costeiros, e consequentemente na evolução desta área em uma escala temporal pequena (BATISTA et al., 2009; SILVA JUNIOR et al., 2021).

A atuação dos agentes atmosféricos influencia na grande variação do regime de precipitação e inundação, destaque para a ZCIT, uma faixa de encontro dos ventos alísios de nordeste com os de sudeste. Esses ventos mudam de direção ao longo do ano soprando do leste entre outubro e dezembro, e do nordeste, entre janeiro e março. No período de estiagem há uma redução da vazão e na descarga dos rios, facilitando a entrada da cunha salina ao longo do estuário, e no período chuvoso há uma maior saturação do solo e o aumento da vazão dos rios intensificando a erosão (SALATI e MARQUES, 1981; LENTZ, 1995; VAREJÃO-SILVA, 2006; VALLE-LEVINSON, 2017; FASSONI-ANDRADE et al., 2022).

Os agentes oceanográficos atuam através da circulação das ondas, correntes, o regime de macromarés com amplitudes variáveis que decrescem em direção à Costa das Guianas e na diferença das propriedades físicas e químicas da água. Por ser uma costa de águas rasas, as ondas sofrem mudanças de direção como reflexão, refração e difração condicionando o fluxo de energia (magnitude e direção) resultando no estabelecimento de padrões de circulação costeira, retrabalhando e redistribuindo os sedimentos inconsolidados perpendicular ou longitudinalmente ao longo da linha de costa, ocasionando a perda da energia da onda e modificações morfológicas da linha de praia (SILVEIRA e SANTOS, 2006; SANTOS, MENDES e SILVA, 2016; SANTOS et al., 2021; SILVA; SILVA JUNIOR; BAIA, 2022).

A força amazônica atua na forma de descarga hídrica, sólida e da pluma de sedimentos. A descarga hídrica, se refere a vazão média anual com cerca de 209.000m³/s o que corresponde à 18% do total de água doce continental lançada nos oceanos, com valores máximos em maio (220.000 m³/s) e mínimos em novembro (100.000 m³/s). A descarga sólida é responsável pelo alto teor de material em suspensão, sendo maior em fevereiro/março e menor em outubro/novembro, com um suprimento avaliado em 1,2 x 10⁹ton/ano (MEADE et al., 1985; MULLER-KARGER et al., 1988; NITTROUER et al., 1995; RANIERI e EL-ROBRINI, 2016).

E por sua vez, a pluma de sedimentos é influenciada pela alta descarga hídrica e sedimentar (dissolvida e particulada) a qual se mistura com as águas salinas do oceano Atlântico, cuja extensão e espessura varia de acordo com a sazonalidade, se estendendo por 150 a 200 km em direção ao oceano, podendo alcançar entre 100-500km suprindo sedimentos na plataforma continental interna (NITTROUER et al., 1991; LENTZ e LIMEBURNER, 1995). Segundo Geyer et al. (1996) a pluma estuarina alcança velocidades variadas, 83cm/s na plataforma continental média e 46cm/s na plataforma continental interna, no entanto, diminui de 46cm/s na profundidade de 32m para 11cm/s na profundidade de 62m (MUEHE, 1995; ALLISON et al., 1995; SANTOS, 2006).

Na área de estudo, Araújo e Rossete (2023) ao sobrepor o uso e cobertura observaram que a alta fragilidade da área é impactada pelas atividades de bubalinocultura e por hidrelétricas. Santos et al. (2018) Silva Junior et al. (2021) destacam que a magnitude dos efeitos dessas atividades se dá pelas características fisiográficas, ligada à natureza recente dos depósitos do Quaternário, solos hidromórficos com excesso de umidade e baixa capacidade para suporte de cargas devido ao substrato inconsistente, sensíveis ao pisoteio do gado.

A bubalinocultura é a principal atividade econômica e tem gerado inúmeras discussões acerca das modificações na morfologia do terreno, com a formação de trilhas, rampas, ravinas e valas, alterando a cobertura vegetal e os parâmetros da qualidade da água. Esse argumento se solidifica quando comparada à costa paraense, na qual essa prática é desenvolvida a mais tempo e com maior expressividade, no entanto os efeitos são menores tendo em vista que as diferenças nas características litológicas (FRANÇA e SOUZA-FILHO, 2003).

Por sua vez, os barramentos das Usinas Hidrelétricas Cachoeira Caldeirão, Ferreira Gomes e Coaracy Nunes instalados no médio curso, podem ter influenciado no processo de colmatagem da foz do rio Araguari. Estudos desenvolvidos nos rios Nilo e Colorado (MILLIMAN e SYVITSKI, 1992; BEST, 2019), Yenisey (BOBROVITSKAYA, ZUBKOVA e MEADE, 1996), Ebro (BATALLA, GOMEZ e KONDALF, 2004), Danúbio (HUDEK, ŽGANEC e PUSCH, 2020), Amarelo e Yangtze (WANG ET AL., 2007; LUO, YANG e ZHANG, 2012; YANG et al., 2017; REN et al., 2021), Mississipi (MEADE, 1996) Pó (SYVITSKI e KETTNER, 2007) identificaram que os processos de colmatagem e erosão são mais intensos em regiões com instalação desses empreendimentos, os quais desenvolvem mudanças nos padrões de fluxo do rio, perda da capacidade de transporte de sedimentos, modificações na geometria e hidrologia do rio, criando desequilíbrios em áreas anteriormente dinâmicas e com fluxo de sedimentos constantes.

Este artigo oferece uma síntese das particularidades, caracterização da dinâmica e dos agentes responsáveis pelas mudanças morfológicas no baixo setor costeiro estuarino, mapeando as áreas de maiores índices de erosão e acreção a partir de análise temporal e evolutiva. Também são discutidos os impactos ambientais nas comunidades locais, as atividades desenvolvidas e a vulnerabilidade fisiográfica apontando as ações já realizadas pelo governo com vistas a auxiliar na seleção das melhores soluções, com gestão costeira integrada e obras de engenharia, na mitigação e adaptação de danos decorrentes da dinâmica costeira.

5. Conclusões

A deficiência na gestão dos impactos decorrentes dos processos atuantes zona costeira amapaense tem conduzido ações mitigadoras isoladas e inapropriadas, o que tem contribuído para o agravamento dos efeitos da erosão e no desperdício de recursos financeiros públicos. Embora o governo tenha atuado com ações de assistência social, decretos de emergência e calamidade, pouco se tem avançado em termos de criação de políticas públicas específicas no atendimento dessa problemática na área de estudo.

Essas políticas precisam ser planejadas com ações de longo prazo, adotando abordagens holísticas e medidas de prevenção e adaptação, integrando a gestão de riscos, o planejamento urbano, os usos múltiplos da zona costeira, desenvolvimento sustentável, inclusão social e econômica, reconhecendo a importância de se preparar para os desafios futuros, afim de proteger as comunidades e preservar a biodiversidade local.

Vale ressaltar que caso as tendências atuais sejam mantidas, incluindo as previsões de incremento de eventos climáticos extremos e do aumento relativo do nível do mar, mais perdas de bens e terra ocorrerão, conduzindo mudanças irreversíveis na morfologia, na hidrodinâmica local, e problemas decorrentes, num intervalo de tempo cada vez menor.

Tal tendência representa para o futuro, o enfrentamento de severas dificuldades e conflitos para a manutenção das atividades socioeconômicas locais e, igualmente, das populações que seguem recuando suas casas das margens ou se abrigando em igarapés sem nenhuma orientação técnica ou estudo prévio por parte dos governos. Isso vem desencadeando novos prejuízos e forçando os residentes a optar cada vez mais por deixar essa região, reduzindo o número de habitantes ao longo dos anos.

Para que haja boas perspectivas futuras é necessário a criação de medidas de adaptação, implementação de políticas, investimento em estudos de monitoramento contínuo dos processos e das atividades desenvolvidas na costa, estabelecimento de indicadores de avaliação de risco, vulnerabilidade de pessoas/bens/ecossistemas em escala local. Esses estudos demandam o levantamento de informações de balanço sedimentar, batimétricos, correntes, ondas, ventos, de maré e aumento do nível do mar, os quais ainda são escassos, o que torna a problemática ainda mais grave.

Contribuições dos Autores: Maxwell Moreira Baia: Levantamento, estruturação do banco de dados geográficos, tratamento das informações Geográficas, além da adaptação e validação da metodologia proposta para a área de estudo, por meio de geoprocessamento e cartografia digital, confecção dos mapas e das figuras, análise dos dados, software e revisão textual. Orleno Marques da Silva Junior: Avaliação e sistematização estrutural do texto e comparação da metodologia com outras disponíveis na literatura especializada, também foi responsável pela avaliação dos resultados e revisão geral do texto e das figuras.

Agradecimentos: Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Amapá (PPGEO/UNIFAP) pelo apoio logístico, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e aos revisores da RBG pelos comentários e sugestões que contribuíram para a versão final do manuscrito.

Conflito de Interesse: Os autores declaram não ter nenhum conflito de interesse.

Referências

1. ALBUQUERQUE, M.; ESPINOZA, J.; TEIXEIRA, P.; OLIVEIRA, A.; CORRÊA, I.; CALLIARI, L. Erosion or coastal variability: an evaluation of the DSAS and the change polygon methods for the determination of erosive processes on sandy beaches. *Journal of Coastal Research*, v. 65, n. SI, p. 1710-1714, 2013. DOI:0.2112/SI65-289.1
2. ALLISON, M.; NITTROUER, C.; KINEKE, G. Seasonal sediment storage on mudflats adjacent to the Amazon River. *Marine Geology*, v. 125, n. 3-4, p. 303-328, 1995.
3. ANTHONY, E.; BRONDIZIO, E.; SANTOS, V.; GARDEL, A.; BESSET, M. Sustainable Management, Conservation, and Restoration of the Amazon River Delta and Amazon-Influenced Guianas Coast: A Review. *Water*, 13(10), 1371. 2021

4. ARAÚJO, A.; ROSSETE, A. Análise da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Araguari, Amapá-brasil. **REVISTA EQUADOR**, v. 12, n. 3, p. 95-117, 2023. DOI:10.26694/equador.v12i3.13990
5. AUCELLI, P.; MATANO, F.; SALVINI, R.; SCHIATTARELA, M. Editorial – Coastal changes, from past records to future trends: proxy analysis, modelling, and monitoring. **Journal of Coastal Conservation**, 22, 821–825. 2018. doi.org/10.1007/s11852-018-0623-z
6. BATALLA, R.; GOMEZ, C.; KONDOLF, G. Reservoir-induced hydrological changes in the Ebro River basin (NE Spain). **Journal of hydrology**, v. 290, n. 1-2, p. 117-136, 2004. DOI:10.1016/j.jhydrol.2003.12.002
7. BATISTA, E.; SOUZA FILHO, P.; SILVEIRA, O. Avaliação de áreas deposicionais e erosivas em cabos lamosos da zona costeira Amazônica através da análise multitemporal de imagens de sensores remotos. **Revista Brasileira de Geofísica**, [S.l.], v. 27, n. 5, p. 83-96, 2009. DOI:10.1590/S0102-261X2009000500007
8. BAYISSA, Y.; TADESSE, T.; DEMISSE, G.; SHIFERAW, A. Evaluation of Satellite-Based Rainfall Estimates and Application to Monitor Meteorological Drought for the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. **Remote Sensing**, v. 9, n. 7, p. 669, 2017.
9. BEST, J. Anthropogenic stresses on the world's big rivers. **Nature Geoscience**, v. 12, n. 1, p. 7-21, 2019. DOI:10.1038/s41561-018-0262-x
10. BOBROVITSKAYA, N.; ZUBKOVA, C.; MEADE, R. H. Discharges and yields of suspended sediment in the Ob and Yenisey Rivers of Siberia. **IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Assoc Hydrological Sciences**, v. 236, p. 115-124, 1996.
11. CAPO, S.; SOTTOLICHIO, A.; BRENON, I.; CASTAING, P.; FERRY, L. Morphology, hydrography and sediment dynamics in a mangrove estuary: the Konkoure Estuary, Guinea. **Marine Geology**, 230(3-4), 199-215, 2006.
12. CHEN, Y.; DUO, L.; ZHAO, D.; ZENG, Y.; GUO, X. The response of ecosystem vulnerability to climate change and human activities in the Poyang lake city group, China. **Environmental Research**, 233, 116473, 2023.
13. COSTA, J.; BEMERGUY, R.; HASUI, Y.; SILVA BORGES, M.; JÚNIOR, C.; BEZERRA, P.; FERNANDES, J. Neotectônica da região amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. **Geonomos**, 1996. DOI:10.18285/geonomos.v4i2.199
14. COSTA NETO, S.; SILVA, M. Vegetação. in: santos, v.f. & figueira, z.r. (orgs.). Diagnóstico sócioambiental participativo do setor costeiro estuarino do estado do amapá. Mma/gea/iepa. macapá. meiodigital cd. p. 84-114, 2004.
15. COSTA, J.; PEREIRA, G.; SIQUEIRA, M.; CARDOZO, F.; SILVA, V. Validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, 2019. DOI:10.5380/abclima.v24i0.60237
16. COSTA, J.; SOUZA, R. Biorecuperação de dunas costeiras do município de Pirambu/SE. In: SOUZA, R. M. (Org.). **Território, planejamento e sustentabilidade: conceitos e práticas**. São Cristóvão: Editora, UFS, 2009.
17. CROSSLAND, C.; KREMER, H.; LINDEBOOM, H.; CROSSLAND, J.; LE TISSIER, M. (EDS.) **Coastal fluxes in the Anthropocene: the land-ocean interactions in the coastal zone project of the International Geosphere-Biosphere Programme**. Springer Science & Business Media, 2005
18. DANIAL K.; WILLIAM G.; VALENTIN H.; STEFAN F. Sea level rise impacts on estuarine dynamics: A review, **Science of The Total Environment**, Volume 780, 146470, ISSN 0048-9697, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146470>.
19. DETHIER, M.; HARPER, J. 1.04-Classes of Nearshore Coasts, Editor(s): Eric Wolanski, Donald McLusky, Treatise on Estuarine and Coastal Science, **Academic Press**, Pages 61-74, ISBN 9780080878850, 2011. DOI:10.1016/B978-0-12-374711-2.00105-4.
20. DWYER, JOHN L.; DAVID P. ROY, BRIAN SAUER, CALLI B. JENKERSON, HANKUI K. ZHANG, AND LEO LYMBURNER. Analysis Ready Data: Enabling Analysis of the Landsat Archive. **Remote Sensing** 10, no. 9: 1363, 2018. DOI:10.3390/rs10091363
21. FASSONI-ANDRADE, A.; PAPA, R.; PAIVA, S. WONGCHUIG, S.; FLEISCHMANN, A. **Amazon Water Cycle Observed from Space**. *Eos*, 2022. 103: p. e2020RG000728. Disponível em: <https://eos.org/editors-vox/amazon-water-cycle-observed-from-space>. Acesso em: 30/10/24.
22. FRANÇA, C.; SOUZA-FILHO, P. M. 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, P. 127–136, 2003.
23. HUDEK, H.; ŽGANEC, K.; PUSCH, M. A review of hydropower dams in Southeast Europe—distribution, trends and availability of monitoring data using the example of a multinational Danube catchment subarea. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 117, p. 109434, 2020. DOI:10.1016/j.rser.2019.109434
24. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2022: informações de população e domicílios por setores censitários. 2022. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/39525-censo-2022-informacoes-de-populacao-e-domicilios-por-setores-censitarios-auxiliam-gestao-publica>.

25. JOLIVET, M.; ANTHONY, E. J.; GARDEL, A.; BRUNIER, G. Multi-decadal to short-term beach and shoreline mobility in a complex river-mouth environment affected by mud from the Amazon. *Frontiers in Earth Science*, v. 7, p. 187, 2019. DOI:10.3389/feart.2019.00187
26. KULELI, T.; GUNEROGLU, A.; KARSLI, F.; DIHKAN, M. Automatic detection of shoreline change on coastal Ramsar wetlands of Turkey. *Ocean Engineering*, v. 38, n. 10, p. 1141-1149, 2011.
27. LENTZ, S. The Amazon River plume during AMASSEDs: subtidal current variability and the importance of wind forcing. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 100, n. C2, p. 2377-2390, 1995. DOI:10.1029/94JC00343
28. LENTZ, S.; LIMEBURNER, R. The Amazon River Plume during AMASSEDs: Spatial Characteristics and Salinity Variability. *Journal of Geophysical Research*, 100, 2355-2375. 1995. DOI:10.1029/94JC01411
29. LUIJENDIJK, A.; HAGENAARS, G.; RANASINGHE, R.; BAART, F.; DONCHYTS, G.; AARNINKHOF, S. The state of the world's beaches. *Scientific reports*, v. 8, n. 1, p. 1-11, 2018. DOI:10.1038/s41598-018-24630-6, 2018.
30. LUO, X.; YANG, S.; ZHANG, J. The impact of the Three Gorges Dam on the downstream distribution and texture of sediments along the middle and lower Yangtze River (Changjiang) and its estuary, and subsequent sediment dispersal in the East China Sea. *Geomorphology*, v. 179, p. 126-140, 2012. DOI:10.1016/j.geomorph.2012.05.034
31. MARENGO, J.; SCARANO, F.; KLEIN, A.; SOUZA, C.; CHOU, S. **Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas**. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), p. 184, 2016.
32. MCMASTER, R.; SHEA, K. **Generalization in digital Cartography**. 1.ed. Washington: Association of American Geographers, 1992.
33. MEADE, R.; DUNNE, T.; RICHEY, J.; SANTOS, U.; SALATI, E. Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon River of Brazil. *Science*, v. 228, n. 4698, p. 488-490, 1985.
34. MEADE, R. River-sediment inputs to major deltas. In: **Sea-level rise and coastal subsidence: Causes, consequences, and strategies**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1996. p. 63-85.
35. MENTASCHI, L.; VOUSDOKAS, M.; PEKEL, J.; VOUKOUVALAS, E.; FEYEN, L. Global long-term observations of coastal erosion and accretion. *Scientific reports*, 8(1), 1-11, 2018.
36. MILLIMAN J.; SYVITSKI J. Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountainous rivers. *The journal of Geology*, v. 100, n. 5, p. 525-544, 1992. DOI:10.1086/629606.
37. MUEHE, D. Geomorfologia Costeira. In: Guerra AJT, Cunha SB (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e Conceitos**. 2ª ed., Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, p. 253 – 308, 1995.
38. MUEHE D. O litoral brasileiro e sua compartimentação. In: CUNHA SB da & GUERRA AJT. **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.
39. MÜLLER-KARGER, F.; MCCLAIN, C.; FISHER, T.; ESAIAS, W.; VARELA, R. Pigment distribution in the Caribbean Sea: Observations from space. *Progress in Oceanography*, v. 23, n. 1, p. 23-64, 1989. DOI:10.1016/0079-6611(89)90024-4
40. NICHOLLS, R.; WONG, P.; BURKETT, V.; CODIGNOTTO, J.; HAY, J.; MCLEAN, R.; WOODROFFE, C. **Coastal systems and low-lying areas** in: climate change: impacts, adaptation and vulnerability: contribution of working group ii to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, cambridge university press, cambridge, uk, 2007, pp. 315-356.
41. NITTROUER, C.; KUEHL, S.; RINE, J.; FIGUEIREDO, A.; FARIA, L.; DIAS, G.; SILVEIRA, O. Sedimentology and stratigraphy of the Amazon continental shelf. *Oceanography*, v. 4, n. 1, p. 33-38, 1991.
42. NITTROUER, C.; KUEHL, S.; STERNBERG, R.; FIGUEIREDO JR, A.; FARIA, L. An introduction to the geological significance of sediment transport and accumulation on the Amazon continental shelf. *Marine Geology*, v. 125, n. 3-4, p. 177-192, 1995.
43. OTSU, N. A threshold selection method from gray-level histograms. *Automatica*, v. 11, n. 285-296, p. 23-27, 1975.
44. PAREDES-TREJO, F.; BARBOSA, H.; KUMAR, T. Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. *Journal of arid environments*, v. 139, p. 26-40, 2017.
45. PEREIRA, L.; SILVA, N.; COSTA, R.; ASP, N.; COSTA, K.; VILA-CONCEJO, A. Seasonal changes in oceanographic processes at an equatorial macrotidal beach in northern brazil. *continental shelf research*, v. 43, p. 95–106, 2012.
46. PRESTES, Y.; SILVA, A.; JEANDE, C. Amazon water lenses and the influence of the north brazil current on the continental shelf. *continental shelf research*. v. 160, n. 15, p. 36-48, 2018.
47. RAHMAN, M. Impact of increased salinity on the plant community of the Sundarbans Mangrove of Bangladesh. *Community ecology* 21, 273–284, 2020. DOI:10.1007/s42974-020-00028-1

48. RANIERI, L.; EL-ROBRINI, M. Condição oceanográfica, uso e ocupação da Costa de Salinópolis (Setor Corvina –Atalaia), Nordeste do Pará, Brasil. **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 16, n. 2, p. 133–146. 2016. DOI:10.5894/rgci565
49. REN, S.; ZHANG, B.; WANG, W.; YUAN, Y & GUO, C. 2020. Sedimentation and its response to management strategies of the Three Gorges Reservoir, Yangtze River, China, **CATENA**, Volume 199, 105096, ISSN 0341-8162, 2021. DOI:10.1016/j.catena.2020.10509.
50. RODRIGUES, M.; SILVA JUNIOR, O. Panorama Geral da Zona Costeira do Estado do Amapá. **Rev. Bras. De Geogr. Física**, v. 14, p. 1654-1674, 2021. DOI:10.26848/rbgf.v14.3.p1654-1674
51. ROY, D.; WULDER, M.; LOVELAND, T.; WOODCOCK, C.; ALLEN, R.; ANDERSON, M.; ZHU, Z. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. **Remote sensing of Environment**, 145, 154-172, 2014. DOI:10.1016/j.rse.2014.02.001
52. SALATI, E.; MARQUES, J. Climatology of the Amazon region, in **The Amazon: Limnology and Landscape Ecology of a Mighty River and Its Basin**, H. Sioli, Editor. 1981, Dr. W. Junk Publishers: Dordrecht, The Netherlands. p. 85-126.
53. SANTOS, E.; LOPES, P.; PEREIRA, H.; NASCIMENTO, O.; RENNIE, D.; STERNBERG, L.; CUNHA, A. The impact of channel capture on estuarine hydro-morphodynamics and water quality in the Amazon delta. **Science of the Total Environment**. 624 887-899, 2018.
54. SANTOS, V.; MENDES, A.; SILVEIRA, O. Atlas de Sensibilidade Ambiental a derrame de óleo para a bacia marítima da foz do Amazonas. 2016.
55. SANTOS, V. **Ambientes costeiros amazônicos: avaliação de modificações por sensoriamento remoto**. Tese (Doutorado em Ciências), Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha. Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ. 2006. 356p. DOI:10.13140/RG.2.1.5018.4162.
56. SILVA JUNIOR, O.; FUCKNER, M.; BAIA, M.; SILVA, C.; SANTOS, L. Comitê da bacia Hidrográfica do rio Araguari como instrumento de gestão dos Recursos Hídricos no Estado do Amapá. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 05, p. 2771-2789, 2021. DOI:10.26848/rbgf.v14.5.p2771-2789
57. SILVA JUNIOR, O.; SZLAFSZTEIN, C.; BAIA, M. Gestão de riscos de desastres no arquipélago do Bailique, foz do rio Amazonas, Amapá, Brasil. **Ensino de Geografia e Redução de Riscos**. Bauru: AGB, p. 674-696, 2022.
58. SILVA JUNIOR, O.; SANTOS, L.; RODRIGUES, M. Panorama dos Riscos Costeiros no Estado do Amapá: Conhecer para Agir In: **Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano**. 2 ed. São Paulo: Centro Paula Souza, 2020, v.2, p. 454-472. Disponível em: https://www.agbbauru.org.br/publicacoes/Reducao2020/Reducao_2ed-2020-25.pdf
59. SILVA, M.; SILVA JUNIOR, O.; BAIA, M. Modificações na linha de costa da praia do goiabal (1985-2019) Calçoene-Amapá-Brasil. **Conselho Editorial**, p. 46, 2022.
60. SILVEIRA, O. **A Planície Costeira do Amapá**. Dinâmica de Ambiente Influenciado por Grandes Fontes Fluviais Quaternárias. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica), Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém. 215p.
61. SILVEIRA, O.; SANTOS, V. Aspectos Geológicos-Geomorfológicos da Região Costeira entre o rio Amapá Grande e a Região dos Lagos do Amapá. In: Salustiano Vilar da Costa Neto. (Org.). **Inventário biológico das Áreas do Sucuriju e Região dos Lagos no Estado do Amapá**. Macapá: IEPA, 2006, v. unico, p. 17-40.
62. SMITH, M.; CROWLEY, R. Measuring historical coastal change using gis and the change Polygon approach. **Transactions in GIS**, v.16, n.1, p. 3-15, 2012. DOI:10.1111/j.1467-9671.2011.01292.x
63. SOUZA-FILHO, P.; PARADELLA, W. 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**, 75, 341-356. 2003
64. SOUZA-FILHO, P.; MARTINS, E.; COSTA, F. Using mangroves as a geological indicator of coastal changes in the Bragança macrotidal flat, Brazilian Amazon: a remote sensing data approach. **Ocean & coastal management**, 49(7-8), 462-475. 2006.
65. SOUZA-FILHO, P.; PARADELLA, W.; RODRIGUES, S.; COSTA, F.; MURA, J.; GONÇALVES, F. Discrimination of coastal wetland environments in the amazon region based on multipolarized l-band airborne synthetic aperture radar imagery. **Estuarine, coastal and shelf science**, v. 95, n. 1. 2011. p. 88–98.
66. SYVITSKI, J.; KETTNER, A. On the flux of water and sediment into the Northern Adriatic Sea. **Continental Shelf Research**, v. 27, n. 3-4, p. 296-308, 2007. DOI:10.1016/j.csr.2005.08.029
67. TALKE, S.; JAY, D. Changing tides: The role of natural and anthropogenic factors. **Annual review of marine science**, v. 12, n. 1, p. 121-151, 2020.
68. TORRES, A.; EL-ROBRINI, M.; COSTA, W. Amapá. In: DIETER MUEHE. (ED). **Panorama da erosão costeira no brasil**. 2018. ISBN: 978-85-7738-394-8.

69. VALLE-LEVINSON, A.; DUTTON, A.; & MARTIN, J. B. Spatial and temporal variability of sea level rise hot spots over the eastern United States. **Geophysical Research Letters**, v. 44, n. 15, p. 7876-7882, 2017. doi.org/10.1002/2017GL073926
70. VAREJÃO-SILVA, M. Meteorologia e Climatologia. Versão digital 2. Recife, PB, março, 463p., 2006.
71. VILLWOCK, J.; LESS, G.; SUGUIO, K.; ANGULO, R.; DILLENBURG, S. Geologia e Geomorfologia de Regiões Costeiras. In: SOUZA, C, G; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A, M, S.; OLIVEIRA, P. (ED). **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos, Editora, 2005. 382p.
72. WANG H.; YANG Z.; SAITO Y.; LIU J.; SUN X. Stepwise decreases of the Huanghe (Yellow River) sediment load (1950–2005): Impacts of climate change and human activities. **Global and Planetary Change**, v. 57, n. 3-4, p. 331-354, 2007. DOI:10.1016/j.gloplacha.2007.01.003.
73. WATERS, C.; ZALASIEWICZ, J.; SUMMERHAYES, C.; BARNOSKY, A.; POIRIER, C.; GAŁUSZKA, A.; WOLFE, A. The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. **Science**, v. 351, n. 6269, p. aad2622, 2016. DOI: 10.1126/science.aad2622. PMID: 26744408.
74. YANG, Y.; ZHANG, M.; ZHU, L.; LIU, W.; HAN, J.; YANG, Y. Influence of Large Reservoir Operation on Water-Levels and Flows in Reaches below Dam: Case Study of the Three Gorges Reservoir. *Sci Rep* 7, 15640. 2017. DOI:10.1038/s41598-017-15677-y.
75. ZHANG, W.; XU, Y.; GUO, L.; LAM, N.; XU, K.; YANG, S.; LIU, K. Comparing the Yangtze and Mississippi River Deltas in the light of coupled natural-human dynamics: Lessons learned and implications for management. *Geomorphology*, v. 399, p. 108075, 2022. DOI: 10.1016/j.geomorph.2021.108075
76. ZHOU, X.; WANG, J.; ZHENG, F.; WANG, H.; YANG, H. An Overview of Coastline Extraction from Remote Sensing Data. **Remote Sensing**, v. 15, n. 19, p. 4865, 2023. DOI:10.3390/rs15194865



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.