

**ALTERAÇÕES RECENTES DA LINHA COSTEIRA NA REGIÃO DO
SALGADO PARAENSE (AMAZÔNIA ORIENTAL, BRASIL)**

**RECENT CHANGES IN THE COASTAL LINE IN THE SALGADO PARAENSE
REGION (EASTERN AMAZON, BRAZIL)**

**CAMBIOS RECIENTES EN LA LÍNEA COSTERA DE LA REGIÓN DEL
SALGADO PARAENSE (AMAZONÍA ORIENTAL, BRASIL)**

Vivian Holanda Cardim de Barros¹ <https://orcid.org/0009-0005-1198-3609>

Rafael Alexandre Alves Menezes² <https://orcid.org/0000-0001-5324-8008>

Eder Mileno Silva de Paula³ <https://orcid.org/0000-0002-6895-2126>

Gabriel Alves Veloso⁴ <https://orcid.org/0000-0002-3655-4166>

RESUMO

O processo dinâmico da erosão costeira é uma problemática em variados setores do espaço mundial, inclusive na Amazônia brasileira. Sobretudo no contexto da zona costeira do Salgado Paraense, onde localiza-se as praias: Bora, Crispim e Marudá; essas têm importância socioeconômica (principalmente nas altas temporadas) e necessitam de estudos sistemáticos para compreender a dinâmica costeira nesta região. Assim, o presente manuscrito tem como objetivo analisar a evolução da linha de costa (1985-2021) no trecho de praia do(e): Bora (setores I e II), Crispim (setores III e VI) e Marudá (setores V e VI). Para isso, foram realizados: 1) processamento digital de imagens Landsat; extração semiautomática das linhas de costa; cálculos de variação da linha de costa a partir do Digital Shoreline Analysis System versão 5 (DSAS v5) e, classificação e interpretação dos resultados. Analisando as taxas e a partir do trabalho de campo realizado na área de estudo, foi possível identificar os resultados estão conduzidos a uma dinâmica acrescional, principalmente na praia do Bora (Setor IV, 28,41 m/ano), apresentando cenários erosivos na praia do Crispim (setor II, -2,56 m/ano) e na praia de Marudá (Setor VI, -0,94 m/ano). Os resultados da erosão costeira a partir da metodologia proposta poderá permear o desenvolvimento de estratégias efetivas de mitigação nas regiões costeiras da Amazônia, no Brasil e de maneira Global.

Palavras-chave: Erosão costeira. Praias Amazônicas. Sensoriamento Remoto. GIS. DSAS v5.

ABSTRACT

The dynamic process involved in coastal erosion is a natural process that presents problems in various sectors of the world, including the Brazilian Amazon. Especially in the context of the coastal zone of

¹ Mestrado em Geografia pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Professora na Secretaria de Estado de Educação (SEDUC-PA). E-mail: vivian.barros@escola.seduc.pa.gov.br

² Mestrado em Ciências Ambientais: Oceanografia pela Universidade Federal do Pará (UFPA). E-mail: rafa.menezes1996@gmail.com

³ Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professor da Faculdade de Geografia da Universidade Federal do Pará - UFPA, campus Universitário de Belém. E-mail: edermileno@ufpa.br

⁴ Doutor em Geografia pela Universidade Federal de Goiás (UFG). Professor da Faculdade de Geografia da Universidade Federal do Pará - UFPA, campus Universitário de Altamira. E-mail: gabrielveloso.geo@gmail.com

Salgado Paraense, where the beaches: Bora, Crispim and Marudá are located; these have socioeconomic importance (especially in high seasons) and require systematic studies to understand the coastal dynamics in this region. Thus, this manuscript aims to analyze the evolution of the coastline (1985-2021) in the beach stretch of: Bora (sectors I and II), Crispim (sectors III and VI) and Marudá (sectors V and VI). For this, the following were performed: 1) digital processing of Landsat images; semi-automatic extraction of coastlines; calculations of coastline variation from the Digital Shoreline Analysis System version 5 (DSAS v5) and classification and interpretation of the results. Analyzing the rates and from the field work carried out in the study area, it was possible to identify the results that are leading to an accretionary dynamic, mainly on Bora beach (Sector IV, 28.41 m/year), presenting erosion scenarios on Crispim beach (Sector II, -2.56 m/year) and on Marudá beach (Sector VI, -0.94 m/year). The results of coastal erosion from the proposed methodology may permeate the development of effective mitigation strategies in the coastal regions of the Amazon, in Brazil and globally.

Keywords: Coastal Erosion. Amazon Beaches. Remote Sensing. GIS. DSAS v5.

RESUMEN

El proceso dinámico involucrado en la erosión costera es un proceso natural donde hay problemas en varios sectores del mundo, incluida la Amazonía brasileña. Especialmente en el contexto de la zona costera de Salgado Paraense, donde se ubican las playas: Bora, Crispim y Marudá; Estos tienen importancia socioeconómica (especialmente en temporadas altas) y requieren estudios sistemáticos para comprender la dinámica costera en esta región. Así, el presente manuscrito tiene como objetivo analizar la evolución del litoral (1985-2021) en el tramo de playa de(e): Bora (sectores I y II), Crispim (sectores III y VI) y Marudá (sectores V y VI). Para ello se realizaron: 1) procesamiento digital de imágenes Landsat; extracción semiautomática de costas; cálculos de variación de costa mediante el Digital Shoreline Analysis System versión 5 (DSAS v5) y clasificación e interpretación de resultados. Analizando los índices y a partir del trabajo de campo realizado en el área de estudio, fue posible identificar que los resultados conducen a una dinámica de acreción, principalmente en la playa de Bora (Sector IV, 28,41 m/año), presentando escenarios de erosión en la playa de Crispim. (sector II, -2,56 m/año) y en la playa de Marudá (Sector VI, -0,94 m/año). Los resultados de la erosión costera de la metodología propuesta podrían permear el desarrollo de estrategias de mitigación efectivas en las regiones costeras de la Amazonia, en Brasil y a nivel mundial.

Palabras clave: Erosión costera. Playas Amazónicas. Teledetección. SIG. DSAS v5.

INTRODUÇÃO

A erosão costeira mundial consiste em um dos problemas mais alarmantes para a sociedade que residem nestas zonas (FOGARIN et al., 2023; QUEIROZ; GONÇALVES; MISHRA, 2022; TOURE et al., 2019). Desta maneira, a erosão costeira tornou-se uma questão imediata por conta da elevada densidade populacional que faz usufruto destas áreas através de atividades industriais, redes de transportes, além do turismo que é uma fonte de atração populacional (BARRAGÁN; DE ANDRÉS, 2015; CREEL, 2003). Pode-se destacar que aproximadamente 44% da população mundial vive em cidades localizadas a apenas 150 km de distância do mar (SKINNER, 2017). A rápida mudança climática e o aumento do nível do mar podem acelerar a erosão costeira destas regiões. Consequentemente, o aumento da erosão

costeira pode danificar gravemente os ambientes costeiros, dificultar as atividades comerciais e interrompendo os setores do turismo.

O rápido desenvolvimento e crescimento das cidades são observados em escala global, abrangendo um cenário de ampliação de 472 para 2.129 cidades, desde 1950 (HOQUE et al., 2019; RANGEL-BUITRAGO; WILLIAMS; ANFUSO, 2018; STRONKHORST et al., 2018). Desta forma, a erosão costeira tornou-se um problema sério, aumentando em magnitude e predominância ao longo da costa global nos últimos 50 anos. Estima-se que quase 30% das residências, em um raio de 200 m ao longo das costas baixas podem ser severamente afetadas pela erosão (RANGEL-BUITRAGO; WILLIAMS; ANFUSO, 2018; UN-HABITAT, 2010). Diante deste cenário, a erosão ao longo da linha de costa (LC), pode afetar diretamente a vida humana, abrangendo o seu bem-estar social em concomitância com atividades econômicas que condicionam a vida em larga escala na Zona Costeira (ZC).

O atual cenário de urbanização nas cidades brasileiras e o aumento da intensidade e frequência de eventos extremos climáticos (CAZENAVE et al., 2013; IPCC, 2013) aceleram a tendência de vulnerabilidade (social e ambiental) nas zonas costeiras (IWAMA; BATISTELLA; FERREIRA, 2014; LINS-DE-BARROS, 2017; NICOLodi; PETERMANN, 2010). A Amazônica brasileira possui extenso litoral (~3.044 km), ocupando 35% do total do litoral brasileiro (BRAGA et al., 2019; MMA, 2018), na qual é possível encontrar vários ecossistemas e espacialidades costeiras com distintos níveis/grau de vulnerabilidade (BRAGA; PIMENTEL, 2019; NEGRÃO; SOUSA; RANIERI, 2022), quando se consideram fatores antrópicos e a dinâmicas físicas ambientais.

A espacialização da erosão costeira é uma ferramenta imprescindível no auxílio e na formulação, além da implementação de medidas de mitigação (LIU et al., 2022). A vulnerabilidade é definida como a dimensão do dano que pode ser contabilizada considerando determinados fatores de exposição, suscetibilidade e resiliência (ALVES, 2021; GONÇALVES, 2012). Desta forma, as técnicas geoespaciais, por meio do sensoriamento remoto (especialmente por meio de imagens de satélites de distintos anos) e da análise espacial podem cartografar e avaliar com eficiência a erosão costeira (AHMED et al., 2021; MENEZES; PEREIRA; GONÇALVES, 2018).

Desta forma, a principal forma de análise das mudanças espaço-temporais das ZC's, priorizam a LC como um importante geoindicador das transformações morfológicas costeiras. Mudanças constantes em função da dinâmica do nível do mar ou do rio, das forçantes costeiras e de eventos extremos modificam a LC (MUEHE; KLUMB-OLIVEIRA, 2014; SANTOS; BONETTI, 2018a; SOUZA et al., 2005; VASCONCELOS et al., 2020).

Neste sentido, a LC pode ser definida como a interseção entre a água (oceano/rio) e a terra (continente), sendo que sua delimitação pode ser identificada pelos limites geomorfológicos, de vegetação, da altura da maré, contorno da praia ou outro indicador, na qual seja mais favorável ao pesquisador obter resultados mais precisos na sua delimitação (FRANÇA, 2003; MARTINS; TABAJARA; FERREIRA, 2004; TOURE et al., 2019; VASCONCELOS et al., 2020). Para a avaliação e quantificação das taxas de erosão e Acresção o DSAS v5, acoplado como um complemento do *software* ArcGIS, tem como função o auxílio para a identificação das variações ocorridas na LC ao longo do tempo/espço, sendo utilizada frequentemente pela comunidade científica para a análise das flutuações dinâmicas que ocorrem nas costas em todo o planeta (CONTI; RODRIGUES, 2011; FARIAS; MAIA, 2010; GALVEZ et al., 2020; MAHAPATRA; RATHEESH; RAJAWAT, 2014a; RANIERI; EL-ROBRINI, 2015a; THIELER et al., 2009).

Nos últimos 20 anos, o interesse em avaliar as mudanças na LC aumentou devido à percepção da comunidade científica em relação as mudanças climáticas e a crescente erosão costeira. Muitos estudos na ZC brasileira vêm sendo publicados nos últimos anos sobre a análise costeira, cada um com sua particularidade temporal/espacial e com variabilidades distintas (AQUINO DA SILVA et al., 2019; CARVALHO; DALBOSCO; GUERRA, 2020; DA SILVA et al., 2016; DUARTE et al., 2018). Entretanto, registram-se alguns estudos versando sobre a dinâmica da LC na Amazônia, sobretudo no Estado do Pará (BAÍA; RANIERI; ROSÁRIO, 2021a, 2021b; RANIERI; EL-ROBRINI, 2015b). Diante disto, o estudo concebido a partir da análise da LC, usando imagens de satélite de anos distintos (através da sobreposição de vetores interpretados de forma visual) como principal forma de identificar as variações ocorridas na ZC Paraense (CONTI; RODRIGUES, 2011; FRANÇA, 2003; RODRIGUES; SOUZA FILHO, 2011).

Desta forma, este estudo visa analisar a erosão costeira, nas praias do Bora, Crispim e Marudá, na porção norte do município de Marapanim, nordeste do Estado Pará (Brasil). Tal área de estudo foi escolhida por haver uma grande importância turística e estar localizada na Reserva Extrativista Marinha Mestre Lucindo (ICMBIO, 2002) e, por sua vez, com intuito de subsidiar medidas de mitigação aos impactos da erosão costeira.

Esta avaliação da erosão costeira apresenta um diagnóstico medindo taxas de erosão que podem subsidiar ações de mitigação e o desenvolvimento de estratégias efetivas de mitigação nas regiões costeira, e em especial da Amazônia, onde há áreas que podem estar em situação vulnerável e diante do desenvolvimento metodológico abordado neste manuscrito, pode-se

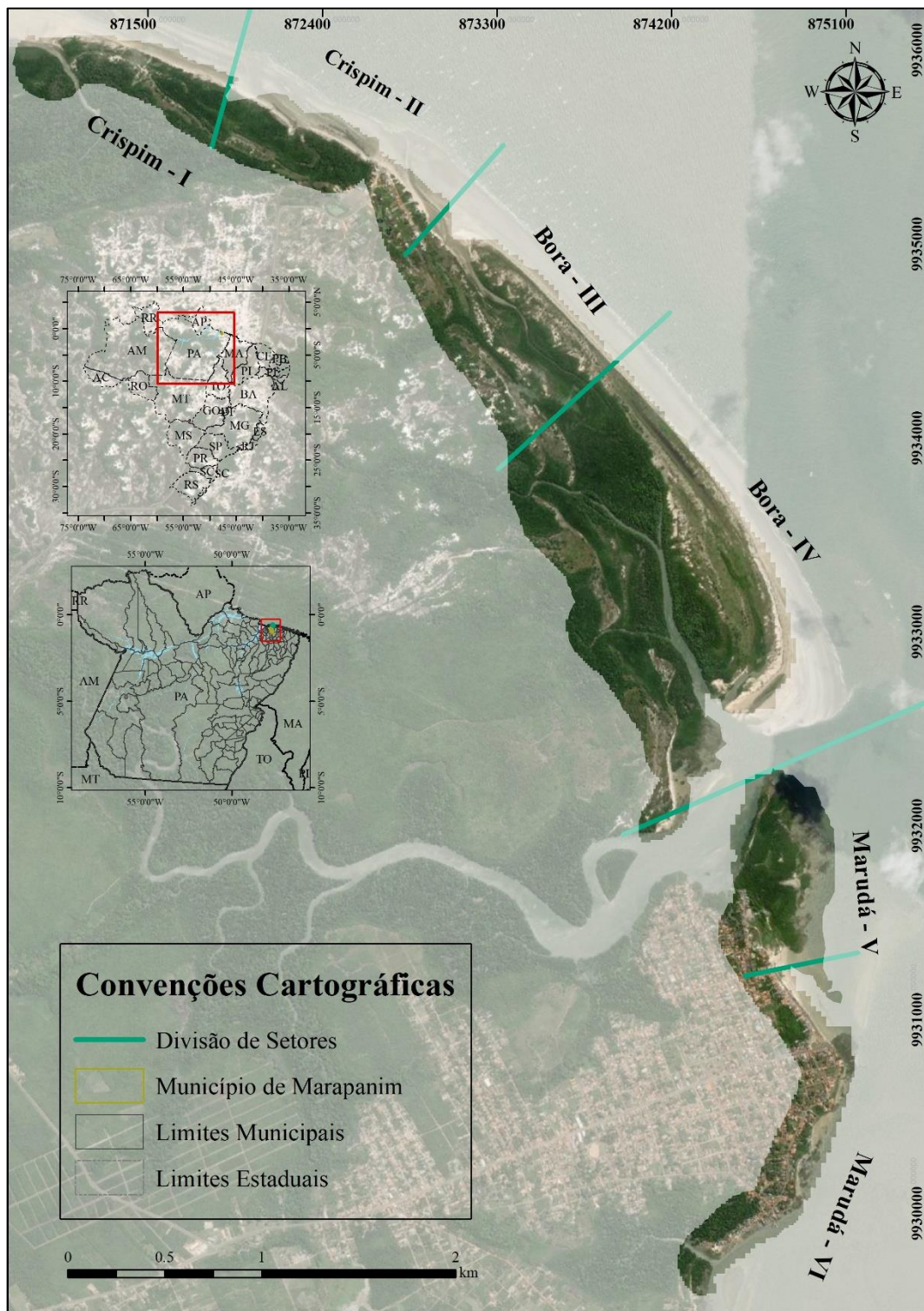
avaliar tais cenários de maneira que venham mitigar os processos naturais, sob a óptica da particularidade de cada espaço geográfico em que se desencadeará o estudo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

Analisou-se a região que compreende a zona costeira do litoral do nordeste do estado do Estado do Pará. Os objetos de estudos foram Crispim, Bora e Marudá; localizadas no município de Marapanim. A extensão geográfica corresponde a uma latitude de 0°34'20.66"Sul – 0°38'2.29"Sul e de longitude 47°40'31.20" Oeste - 47°38'5.74"Oeste e a área total corresponde a 18 km² (figura 1).

Figura 1: Localização da área de estudo, Praia do Crispim, Bora e Marudá, Litoral Nordeste do Pará



Fonte: IBGE (2021); USGS (2022).

Estas praias são influenciadas por regime de macromarés semidiurnas (acima de 5m) (BAÍA; RANIERI; ROSÁRIO, 2021b; BERRÊDO; COSTA; PROGNE, 2008) e contém um

ambiente de manguezais que sofrem influência fluvial e oceânica, dominadas por correntes de maré (BAÍÁ; RANIERI; ROSÁRIO, 2021b).

Este espaço subdivide-se em planície: costeira, estuarina e aluvial; sendo que a expansão da malha urbana e a ocupação por empreendimentos acarretaram processos de transformação no cenário dessa região. A climatologia local é diretamente influenciada pela as alturas das ondas, uma vez que durante o período chuvoso e seco as ondas apresentam alturas de 1,2 m e 1 m, respectivamente (SILVA, 2009).

Sobre as correntes do rio Marapanim, estas fluem no sentido nordeste, referente à Ilha de Algodoal, e alcançam 45 cm/s tanto no período chuvoso quanto no seco. A região é dominada por um período mais chuvoso (janeiro a abril) e um período de estiagem/seco (julho a dezembro), com precipitação pluviométricas em torno de 2500 a 3000 mm e, inferiores a 60 mm, respectivamente (BAÍÁ; RANIERI; ROSÁRIO, 2021b; BERRÊDO; COSTA; PROGENE, 2008).

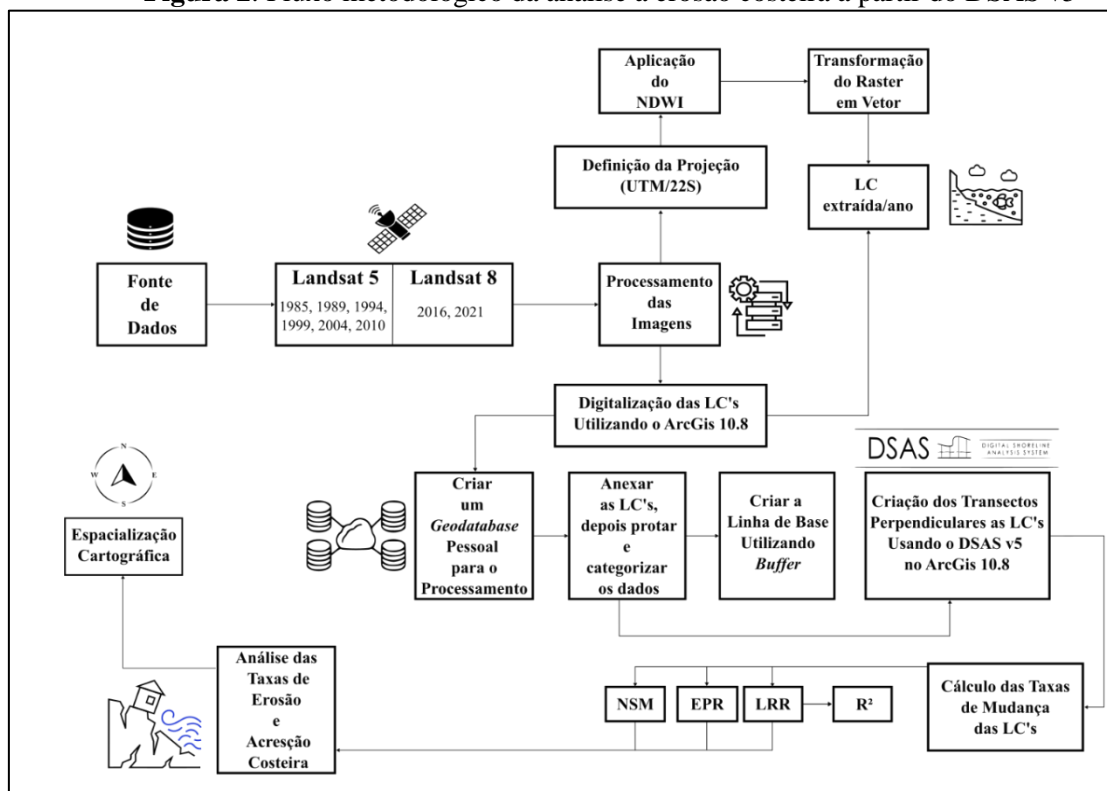
As temperaturas da região mantém a sua constância durante o ano, sendo a média anual em torno de 27,7°C (INMET, 2020). A umidade relativa do ar situa-se entre 80-85% (média anual), o que está associada a quantidade pluviométrica anual (MARTORANO, 2020).

O município vem enfrentando uma pressão referente a expansão urbana e a intensa ocupação em períodos sazonais, sejam em períodos de férias escolares ou feriados prolongados, o que promove uma pressão intensa no litoral onde localiza-se as praias do Crispim e Marudá (BAÍÁ; RANIERI; ROSÁRIO, 2021b). Na praia do Bora, por haver um acesso mais dificultado, além de não haver moradias fixas às proximidades e existirem escassos estabelecimentos comerciais que funcionam de forma intermitente de acordo com os movimentos sazonais de banhistas, não há uma pressão mais intensa. Esses fatores sociais e ambientais modificam a LC do município e carecem ser diagnosticado, haja vista a compreensão da dinâmica erosiva e/ou acrescional.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O procedimento metodológico utilizado para avaliar a erosão costeira nas praias de (o): Crispim-PA, Marudá-PA e Bora-PA; foi utilizada técnicas geoespaciais em gabinete, a partir da mensuração dos dados obtidos na avaliação do Digital Shoreline Analysis System (DSAS) na versão 5 da ferramenta e a partir da figura 2 o fluxo do trabalho é possível visualizar a condução metodológica do manuscrito.

Figura 2: Fluxo metodológico da análise a erosão costeira a partir do DSAS v5



Organização: Autores (2024).

Divisão da área de estudo

Por conta da complexidade dinâmica da área de estudo e para a melhor compreensão dos resultados da análise da LC, optou-se dividir esta área em seis setores distintos, cabendo à: Praia do Crispim abrangendo os setores I e II; a praia do Bora, os setores III e IV; por fim, Marudá correspondendo ao V e VI (figura 3).

Figura 3: Divisão em Setores do Objeto de Estudo



Fonte: Autores (2024).

Fonte de dados

Para garantir a execução da análise feita da variação da LC, entre as áreas sob influência do estuário do rio Marapanim, baseou-se na comparação de imagens de média resolução Landsat 5 TM de 1985, 1989, 1994, 1999, 2004, 2010 com resolução espacial de 30 m, e Landsat 8 OLI de 2016 e 2021, com resolução espacial de 15 m após a fusão da banda 8 (pancromática), sendo obtidas no sítio da United States Geological Survey (USGS), acessado em setembro/2023 (Tabela 1). A escolha das imagens baseia-se na menor presença de quantidade de nuvens (<30%) no litoral de vetorização da LC disponível no acervo da USGS.

Tabela 1: Sensores passivos e resolução espacial

| Satélite | Sensor | Órbita Ponto | Data de Aquisição | Nuvem (%) | Hora (Am) | Resolução Espacial(m) | Bandas | Resolução Radiométrica |
|------------|----------|--------------|-------------------|-----------|-----------|-----------------------|--------|------------------------|
| LAND SAT 5 | TM | 224060 | 10/02/1985 | 6.70 | 12:51 | 30x30 | 2, 4 | 8 bits |
| LAND SAT 5 | TM | 224060 | 09/27/1989 | 31.00 | 12:48 | 30x30 | 2, 4 | 8 bits |
| LAND SAT 5 | TM | 224060 | 06/21/1994 | 3.00 | 12:41 | 30x30 | 2, 4 | 8 bits |
| LANDSAT 5 | TM | 224060 | 07/21/1999 | 9.50 | 13:15 | 30x30 | 2, 4 | 8 bits |
| LANDSAT 5 | TM | 224060 | 09/04/2004 | 12.50 | 13:06 | 30x30 | 2, 4 | 8 bits |
| LANDSAT 5 | TM | 224060 | 09/13/2010 | 2.00 | 13:14 | 30x30 | 2, 4 | 8 bits |
| LANDSAT 8 | OLI/TIRS | 224060 | 01/06/2016 | 8.30 | 13:22 | 30x30 | 3, 5 | 16 bits |
| LAND SAT 8 | OLI/TIRS | 224060 | 07/09/2021 | 6.18 | 13:29 | 30x30 | 3, 5 | 16 bits |

Fonte: USGS (2021).

VETORIZAÇÃO DA LINHA DE COSTA

A vetorização da LC foi criada a partir de métodos semi-automáticos combinados com métodos manuais, assim como proposto por Santos et al. (2021) e para compor o vetor da LC, utilizou-se o cálculo espectral das bandas do landsat e extração da LC no software Arcmap 10.8, transformando a feição do raster (.tiff) para linhas (.shp). Detalhadamente e discorrendo sobre o processo, as bandas de infravermelho próximo/curto e de comprimento de onda visível dos sensores Landsat foram utilizadas para atribuir o critério das superfícies da terra e da água ao longo da ZC. Foi preferencialmente utilizada à banda de comprimento de onda do infravermelho pelo fato de que essas contribuem para a diferenciação das características da água e da terra, pois a energia do infravermelho médio é absorvida pela água (ou água turva) e

a vegetação, areia e outras características costeiras na faixa têm características de refletância fortes nesta largura de banda (ALESHEIKH; GHORBANALI; NOURI, 2007; SANTOS et al., 2021a).

Nesta composição, o índice de diferença normalizada da água (NDWI) (MCFEETERS, 1996) foi utilizado por apresentar resultado mais satisfatório do que outros métodos (a exemplo: interpretação visual da LC) e, utiliza-se de um conteúdo técnico mais aprimorado para a detecção da LC (MISHRA et al., 2019). Onde, o cálculo do índice de diferença normalizada da água (NDWI), é

$$NDW_{eu} = \frac{GREEN - NeuRG}{GREEN + NeuR}$$

Assim, após a aplicação do NDWI aplicado às imagens Landsat foi vetorizada a LC (formato shapefile).

DIGITAL SHORELINE ANALYSIS SYSTEM (DSAS)

O DSAS é um complemento do ArcGIS do Environmental System Research Institute (ESRI) criado em 1992. Acompanhado dos parâmetros EPR, NSM e LRR vem sendo muito utilizado em vários países (ALMONACID-CABALLER et al., 2016; ANTHONY, 2019; DIN HASHMI; AHMAD, 2018; KABIR et al., 2020; MISHRA et al., 2019; MUSKANANFOLA, 2020) inclusive no Brasil (LEMONS; SOPCHAKI, 2020; QUADRADO, 2021; RABELO; SILVA; GORAYEB, 2021; SANTOS et al., 2021b; SANTOS; BONETTI, 2018b). Essa ferramenta tem cumprido com a sua função de obter excelentes resultados, mais rápidos e precisos das mudanças da LC em regiões tropicais.

Para gerar os cálculos, o DSAS necessita de três arquivos vetoriais: 1) a baseline, ou linha de base, desenhada de modo paralelo à linha de costa sendo posicionada onshore ou offshore, ou seja, dentro ou fora do continente, que servirá de base para os cálculos de movimentação da linha de costa; 2) os transectos, linhas perpendiculares à costa, responsáveis por gerar os cálculos de variação em determinados pontos, setorizam o litoral partindo da baseline e cruzando todas as linhas de costa disponíveis, sendo gerados automaticamente pelo DSAS, necessitando apenas a atribuição do intervalo entre cada transecto e; 3) os vetores de linhas de costa, cada uma atribuída a uma data do recorte temporal analisado (HONEYCUTT; CROWELL; DOUGLAS, 2001).

Foram traçados 93 transectos perpendicularmente à LC com espaçamento de 100 m entre estes por causa da extensão do litoral analisado (~50 km). Nas configurações é

estabelecida uma linha de base, localizada continente adentro, em relação à LC mais antiga (1985), na qual serve como ponto de partida para a tomada de medidas em todas as LC geradas.

Os métodos mais utilizados para compor a análise da LC através do DSAS são o Movimento Líquido Costeiro (NSM), Taxa do Pronto Final (EPR) e Taxa de Regressão Linear (LRR). Desta forma, o EPR na costa dos Estados Unidos da América é bastante utilizado, pois o mesmo utiliza apenas duas posições da face da LC para fazer o cálculo dos valores que compõem as taxas de variação ao longo do tempo (DOLAN; FENSTER; HOLME, 1991).

O LRR apresentou resultados satisfatórios, a exemplo do trabalho de HONEYCUTT et al. (2001) no estudo das posições da LC, que foi utilizado para calcular as taxas de erosão de longo prazo e, com isso, fazer previsões para posições subsequentes conhecidas e como resultado teve como redução do erro em mais de 70% em Nova York e 34% em Delaware para a análise das taxas. Neste sentido, o componente de análise do EPR e do LRR tem grande êxito para a análise da variação da LC e por consequência, no campo científico, são as que mais são utilizadas para os estudos costeiros com o DSAS.

O NSM é a distância entre as linhas costeiras mais antigas e mais novas para cada transecto. Onde o valor positivo indica o movimento em direção ao mar e o valor negativo indica o movimento da linha costeira em direção à terra (HIMMELSTOSS et al., 2018; KABIR et al., 2020).

Este artigo utiliza o método NSM, EPR e LRR; por ser amplamente utilizado na comunidade científica (ALMONACID-CABALLER et al., 2016; KABIR et al., 2020; MAHAPATRA; RATHEESH; RAJAWAT, 2014b; MISRA; BALAJI, 2015; MUSKANANFOLA; SUPRIHARYONO; FEBRIANTO, 2020; NASCIMENTO, 2012; SANTOS et al., 2021a), obtendo resultados satisfatórios. A razão para que fosse utilizado apenas esse método tange a perspectiva que além de calcular as taxas de variação da variação da LC com certa precisão, este método vai possibilitar identificar, através do coeficiente de determinação (R^2), a tendência do seu comportamento para médio prazo, onde, calcula-se:

$$R^2 = 1 - \frac{\sqrt{\sum(y - y')^2}}{\sqrt{\sum(y - y'')}}^2$$

Onde,

R^2 é o coeficiente de determinação;

y é a distância medida da linha de base para um ponto de dados da linha costeira;

y' é a distância prevista da linha de base com base na equação da linha de regressão de melhor ajuste; e

y'' é a média das distâncias medidas da linha costeira a partir da linha de base.

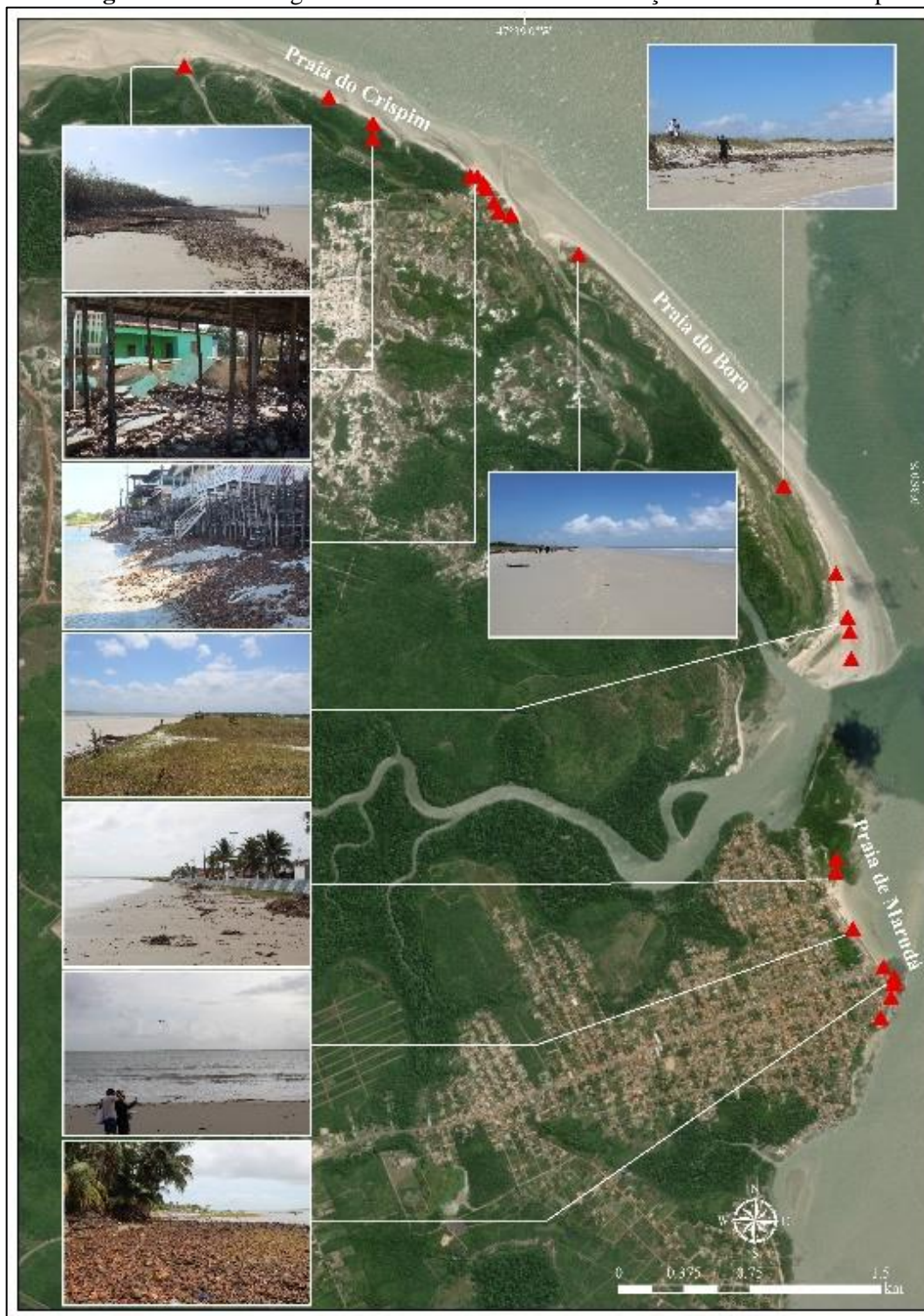
Neste sentido, o R^2 ou Coeficiente de Determinação, mostra uma estreita relação entre os dados gerados e analisados. Contudo, se o R^2 for próximo de 1, identifica-se uma correlação entre variáveis satisfatória. Desta forma, mostra-se uma perspectiva de continuidade do processo atuante (Acresção). Se o R^2 é próximo de 0, isso significa que não há correlação. Nesse caso, pode haver aleatoriedade ou de descontinuidade (erosão) do processo costeiro (ALLAN; KOMAR; PRIEST, 2003; HIMMELSTOSS et al., 2018; MAITI; BHATTACHARYA, 2009).

RESULTADOS

Os resultados compilados da variabilidade multitemporal da LC (1985-2021) ao longo da ZC do município de Marapanim, compondo o cenário espacial das praias do: Crispim, Bora e Marudá (quadros 1 e 2). Desta maneira, as taxas que representam quantificações de carácter acrescional ($0 >$) do EPR, LRR e NSM representam um parâmetro de deslocamento da LC em direção do mar/rio. Adiante, o quantitativo negativo (<0) da LC que indicam a variação de mudança em direção continental, representando o vetor erosivo.

Em geral, analisando as taxas dos parâmetros citados anteriormente e a partir do trabalho de campo realizado na área de estudo, é possível conduzir os resultados sob uma óptica acrescional, principalmente na praia do Bora, apresentando cenários erosivos na praia do Crispim e na praia de Marudá (figura 4).

Figura 4: Carta-imagem dos focos de erosão e de acreção coletados em campo



Fonte: Autores (2024).

Neste sentido, para chegar a esta conclusão, através do DSAS na versão v5, foram criados 93 transectos para obter os resultados das taxas de variação da LC durante os 36 anos de análise. Sendo estes distribuídos em 6 setores, onde cada praia da área de estudo recebeu duas subdivisões para a melhor compreensão do complexo dinâmico destas.

Quadro 1: Resumo calculado das taxas de mudança da linha costeira (LRR) do Setor-I para o Setor-VI (1985– 2021) da porção nordeste do Salgado Paraense

| ESTATÍSTICA DESCRITIVA | SETORES | CRISPIM | | BORA | | MARUDÁ | | TOTAL |
|------------------------|---|---------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | | I | II | III | IV | V | VI | |
| | ID do Transecto | 1-11 | 12-25 | 26-39 | 40-61 | 1-12 | 13-32 | |
| | Número total de transectos | 11 | 14 | 14 | 22 | 12 | 20 | 93 |
| | Comprimento da costa (km) | 1,2 | 1,4 | 1,5 | 2,4 | 1,4 | 2,1 | 10 |
| | Número total de transectos onde a erosão foi registrada | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 7 | 16 |
| | Número total de transectos onde a Acresção foi registrada | 11 | 5 | 14 | 22 | 12 | 13 | 77 |
| | Número total de transectos onde a incerteza estatística ($R^2 > 0,5$) foi registrada | 5 | 0 | 14 | 22 | 7 | 0 | 48 |
| | Número total de transectos onde a incerteza estatística ($R^2 < 0,5$) foi registrada | 6 | 14 | 0 | 0 | 5 | 20 | 45 |
| | % do número total de transectos onde a erosão foi registrada | 0 | 65 | 0 | 0 | 0 | 35 | |
| | % do número total de transectos onde a Acresção foi registrada | 100 | 35 | 100 | 100 | 100 | 65 | |
| | % do número total de transectos onde a incerteza estatística ($R^2 > 0,5$) foi registrada | 45 | 0 | 100 | 100 | 58 | 0 | *** |
| | % do número total de transectos onde a incerteza estatística ($R^2 < 0,5$) foi registrada | 55 | 100 | 0 | 0 | 42 | 100 | |
| | Mudança média da linha costeira (m/ano) | 4,11 | -0,68 | 12,7 | 25,19 | 3,09 | 0,3 | 45,01 |
| | Mudança máxima positiva da linha costeira (m/ano) | 9,37 | 3,38 | 18,36 | 28,41 | 5,8 | 1,43 | |
| | Mudança máxima negativa da linha costeira (m/ano) | 0 | -2,56 | 0 | 0 | 0 | -0,94 | *** |
| | Taxa média de acréscimo (m/ano) | 4,11 | 1,4 | 12,7 | 25,19 | 3,09 | 0,72 | 47,21 |
| | Taxa média de erosão (m/ano) | 0 | -1,8 | 0 | 0 | 0 | -0,47 | -2,27 |

Fonte: Autores (2024).

Sendo assim, mensura-se para a praia do Crispim: Setor I (11 transectos) e Setor II (14 transectos); para a praia do Bora: Setor III (14 transectos) e Setor IV (22 transectos); e por fim, para a praia de Marudá: Setor V (12 transectos) e Setor VI (20 transectos) (quadros 1 e 2).

Quadro 2: Resumo calculado das taxas de(o): Regressão Linear (LRR), Ponto Final (EPR) e Movimento Líquido Costeiro (NSM) do Setor-I para o Setor-VI (1985– 2021)

| Setores | CRISPIM | | BORA | | MARUDÁ | |
|---------------------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | I | II | III | IV | V | VI |
| ESTATÍSTICAS | | | | | | |
| TAXA DE REGRESSÃO LINEAR (LRR) | | | | | | |
| Taxa máxima negativa | *** | -2,56 | *** | *** | *** | -0,94 |
| Taxa máxima positiva | 9,37 | 3,38 | 18,36 | 28,41 | 5,8 | 1,43 |
| Média das taxas negativas | *** | -1,88 | *** | *** | *** | -0,47 |
| Média das taxas positivas | 4,11 | 1,47 | 12,77 | 25,19 | 3,09 | 0,72 |
| Média Ponderada | 4,11 | -0,68 | 12,77 | 25,19 | 3,09 | 0,3 |
| TAXA DO PONTO FINAL (EPR) | | | | | | |
| Taxa máxima negativa | *** | -4 | *** | *** | *** | -0,56 |
| Taxa máxima positiva | 9 | 5,67 | 16,15 | 26,21 | 5,79 | 1,85 |
| Média das taxas negativas | *** | -2,77 | *** | *** | *** | -0,22 |
| Média das taxas positivas | 4,60 | 2,44 | 11,76 | 25,19 | 2,96 | 0,75 |
| Média Ponderada | 4,60 | -0,44 | 11,76 | 25,19 | 2,96 | 0,46 |
| MOVIMENTO LÍQUIDO COSTEIRO | | | | | | |
| Taxa máxima negativa | *** | -143,3 | *** | *** | *** | -19,9 |
| Taxa máxima positiva | 208,07 | 203,32 | 578,84 | 939,24 | 207,54 | 66,23 |
| Média das taxas negativas | *** | -81,54 | *** | *** | *** | -7,81 |
| Média das taxas positivas | 128,12 | 102,1 | 421,65 | 819,37 | 104 | 26,95 |
| Média Ponderada | 128,12 | -15,95 | 421,65 | 819,37 | 104 | 16,52 |

Fonte: Autores (2024).

O setor I (1,2 km) apresenta 11 transectos (1-11), onde as taxas estatísticas apresentam um comportamento dinâmico tangente ao processo de acreção (100%) em detrimento da erosão (0%), compondo uma variação da LC de 4,11 m/ano (quadros 1 e 2, figura 5, figura 8). Diante deste cenário, a acreção máxima que houve na LC corresponde a 9,37 m/ano (transecto 2) e para a dinâmica erosiva, não houve taxas correspondem a esta mudança em sentido onshore ((quadros 1 e 2, figura 5, figura 8). Desta maneira, o número total de transectos onde a incerteza estatística do $R^2 > 0,5$ foi registrada é de 5 (45%) e $R^2 < 0,5$ foram de 6 (55%), o que demonstra

uma perspectiva erosiva moderada em um cenário futura, não havendo grande alteração dinâmica neste setor (quadro 1, figura 8).

Figura 5: Mapa da variação da LC a partir das Taxas de Regressão Linear (LRR) do Setor-I ao Setor-VI (1985– 2021)



Fonte: Autores (2024).

As taxas do ponto final (EPR) obtiveram um vetor acrescivo, seguindo a tendência de não apresentação de dados de valores negativos. Desta forma, a taxa máxima positiva foi de 9 m/ano (transecto 2) e com média de 4,60 m/ano (quadro 2, figura 6, figura 8).

Figura 6: Mapa da variação da LC a partir das Taxas do Ponto Final (EPR) do Setor-I ao Setor-VI (1985– 2021)



Fonte: Autores (2024).

As taxas do movimento líquido costeiro (NSM) obteve a máxima positiva de 208,07 m (transecto 11) ao longo do intervalo de tempo analisado e com isso apresentou uma média de 128,12 de carácter acrescional na LC deste setor (quadro 2, figura 7, figura 8).

Figura 7: Mapa da variação da LC a partir das Taxas do Movimento Líquido Costeiro (NSM) do Setor-I ao Setor-VI (1985– 2021)

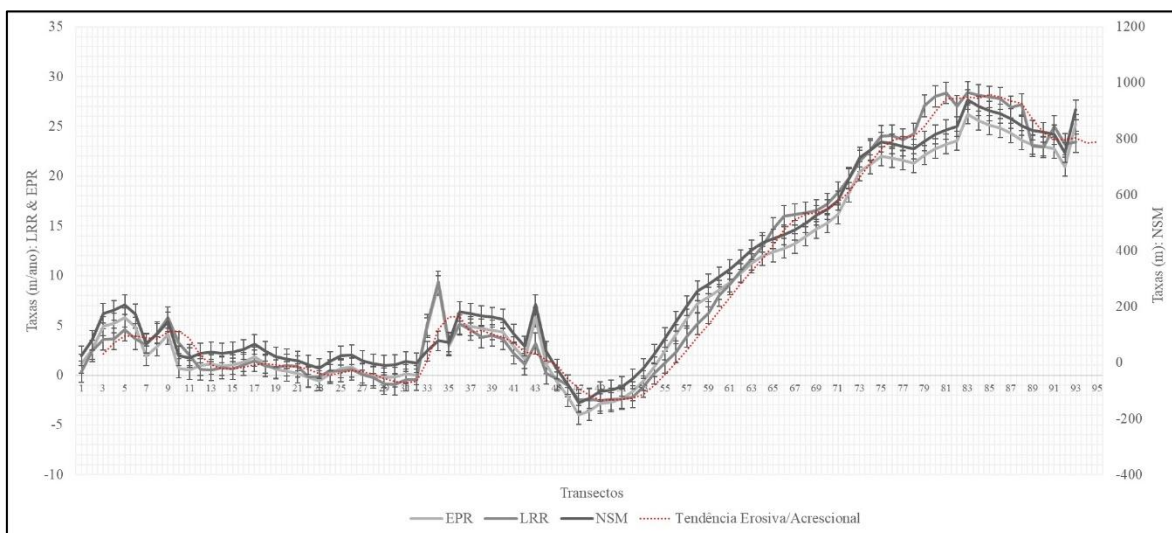


Fonte: Autores (2024).

O setor II (1,4 km) apresenta 14 transectos (12-25), na qual as taxas estatísticas mostram um comportamento de erosão costeira (65%) em detrimento da acreção (35%), compondo uma variação média da LC de -0.68 m/ano, o que denota esse comportamento de retração da LC em sentido onshore (quadros 1 e 2, figura 5, figura 8). Diante deste cenário, foram identificados 9 transectos com características erosivas e 5 com conotação acresciva. A taxa máxima acrescional da LC apresentou 3,38 m/ano (transecto 25) e para a dinâmica erosiva a taxa máxima foi de -2,56 m/ano (transecto 17), com médias de 1,4 m/ano e -1,8 m/ano, respectivamente (quadros 1 e 2, figura 5, figura 8). Os dados estatísticos mostram que a tendência é que a erosão continue neste setor, pois não houve nem um transecto onde a incerteza estatística do $R^2 > 0,5$ (0%), porém o $R^2 < 0,5$ totalizam um montante de 14 (100%) (quadro 1, figura 8).

As taxas do EPR neste setor denotam a evolução da LC em alternância sistêmica, com predominância erosiva (-0,44 m/ano), com taxas de -4 m/ano (transecto 15) (média de -2,77 m/ano) e 5,67 m/ano (transecto 25) (média de 2,44 m/ano), respectivamente para a erosão e acreção na LC da praia do Crispim (setor II) (quadro 2, figura 6, figura 8). Em concomitância, as taxas do NSM mostram a presença erosiva neste espaço (média de 15,95) e têm a taxa máxima negativa quantificado em -143,3 m (transecto 15) com média de -81,54 m e para a máxima positiva correspondeu a 203,32 m (transecto 15) com média de 102,1 m (quadro 2, figura 7, figura 8).

Figura 8: Gráficos da variação da LC a partir do LRR, EPR e NSM do Setor-I ao Setor-VI (1985– 2021)



Fonte: Autores (2024).

Os resultados que compõe o setor III (1,5 km) identifica 14 transectos (26-39) de característica acrescional (100%), não havendo erosão registrada (0%) a partir da análise, apresentando uma média de 12,7 m/ano (quadros 1 e 2, figura 5, figura 8). Neste cenário, a

maior taxa positiva foi de 18,36 m/ano (transecto 39), o que representa uma grande força acrescional costeira. Ademais, a partir da análise do provimento do R^2 , constatou-se que a tendência é que continue esse processo de deposicional na LC, pois 14 transectos apresentam o registro da incerteza estatística $R^2 > 0,5$ (100%) em detrimento da incerteza estatística $R^2 < 0,5$ (0%) (quadro 1, figura 8).

Os resultados do EPR neste setor obtiveram o quantitativo máximo de 16,15 m (transecto 39) com média de 11,76 m diante dos dados compilados através do DSAS (quadro 2, figura 6, figura 8). Os dados do NSM para este setor têm carácter acrescivo, não apresentando transectos de característica erosivas. Desta forma, a taxa máxima positiva identificada corresponde a 578,84 m (transecto 39) com média de 421,65 m (quadro 2, figura 7, figura 8).

O setor IV, conta com 22 transectos (40-61), onde o complexo acrescional continua (100%) nos seus 2,4 km, com a taxa máxima 28,41 m/ano (transecto 51) e com média de 25,19 m/ano. Neste sentido, a erosão não foi registrada em nem um transecto (quadros 1 e 2, figura 5, figura 8). O processo dinâmico tangente a ampliação da LC em sentido offshore conota a uma tendência de continuação, pois todos os 22 transectos apresentaram as incertezas estatística do $R^2 > 0,5$ (100%), não havendo a possibilidade deste setor se tornar erosivo (0%) (quadro 1, figura 8)

Os dados do EPR, conotam a ampliação dos componentes acrescionais já observados no setor anterior. Desta maneira, não apresenta nem um transecto de característica erosiva e apresenta uma taxa máxima positiva de 26,21 m (transecto 51) com média de 25,19 m (quadro 2, figura 6, figura 8). Os resultados do NSM são observados a partir de uma óptica acresciva diferente de todos os outros setores. O teor acumulativo neste espaço tange a uma máxima de 939,24 m (transecto 51) com média de 819,37 m durante o período de 36 anos de análise (quadro 2, figura 7, figura 8).

O setor V (1,4 km) conta com 12 transectos (1-12) e a partir da análise é destacável que o processo acrescivo (100%) é dominante neste espaço, não havendo transectos que conotam um processo erosivo (0%), onde a taxa máxima acrescional foi de 5,8 m/ano (transecto 9) e com média é de 3,09 m/ano ((quadros 1 e 2, figura 5, figura 8). A tendência do processo sofre uma alternância no sentido erosivo e acrescional. Desta forma, as incertezas do $R^2 > 0,5$ totalizam 7 transectos (58%), enquanto as incertezas $R^2 < 0,5$ correspondem a 5 transectos (42%). Isso significa que mesmo que o processo de avanço da LC seja dominante, a erosão pode a vim se tornar evidente em um cenário futuro neste setor, haja vista que o processo latente erosivo pode ocorrer na mesma praia, porém em outro setor (quadro 1, figura 8).

Os dados do EPR neste setor não obtiveram resultados de carácter erosivos diante dos transectos analisados. Desta forma, a taxa máxima positiva foi de 5,79 m/ano (transecto 5) e com média de 2,96 m (quadro 2, figura 6, figura 8). Para o NSM, este setor têm uma taxa máxima positiva de 207,54 m (transecto 5), apresentando uma média de 104 m, não apresentando dados de carácter erosivos nos transectos analisados (quadro 2, figura 7, figura 8).

O processo dinâmico do setor VI (2,1 km) tange a ocorrência de áreas acrescivas e erosivas. Desta forma, dos 20 transectos (13-32) identificados, 7 apresentaram comportamento erosivo (35%) em detrimento de 13 acrescivos (65%), com média de 0,3 m/ano. A taxa máxima positiva totaliza 1,43 m/ano (transecto 17) com média de 0,72/ano e a taxa máxima negativa totalizou -0,94 m/ano (transecto 30) com média de -0,47 m/ano (quadros 1 e 2, figura 5, figura 8).

Este setor, a partir dos dados adquiridos, apresenta uma tendência evolutiva que corresponde ao processo de metamorfose, passando de um processo dominante acrescivo para um erosivo. Comprovando esta perspectiva, todos os transectos deste setor têm as incertezas do $R^2 < 0,5$ (100%) em detrimento do $R^2 > 0,5$ (0%) que não apresentou nem um resultado nestes resultados (quadro 1, figura 8).

Os dados do EPR compilados para o setor VI, apesar de apresentar taxas negativas, o predomínio ainda é acrescivo (média de 0,46 m/ano). Desta forma, a taxa máxima negativa é de -0,56 m/ano (transecto 23) com média de -0,22 m/ano e apresentou uma taxa máxima positiva de 1,85 m/ano (transecto 17) com média de 0,75 m/ano (quadro 2, figura 6, figura 8). Os dados do NSM para este setor têm a dinâmica configurada em um processo acrescional na LC (média de 16,52 m). A taxa máxima negativa totalizou -19,9 m (transecto 23) com média de -7,81 m e para a taxa máxima positiva o resultado foi de 66,23 m (transecto 17) com média de 26,95 m (quadros 2, figura 7, figura 8).

DISCUSSÃO

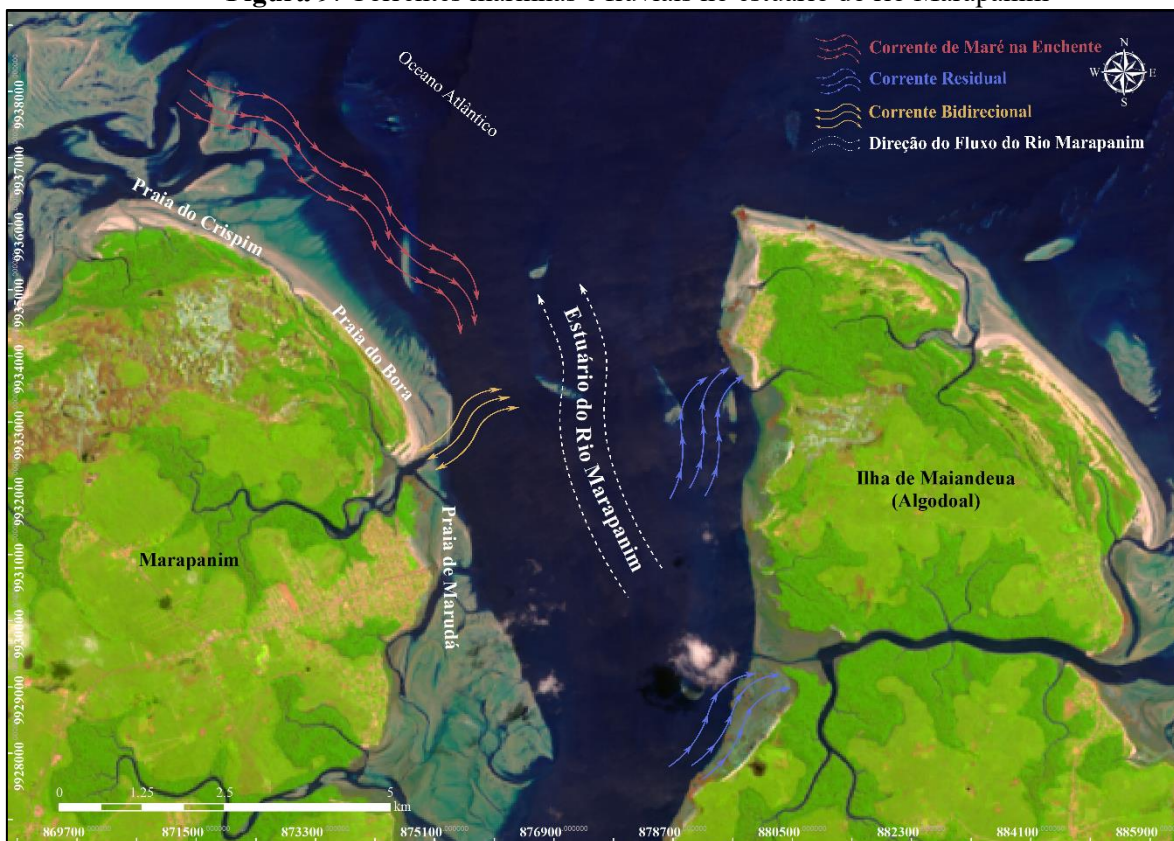
O avanço tecnológico, a maior capacidade de utilizar instrumentos e dados de maior precisão nas pesquisas, como o uso de imagens de satélite (a exemplo, o Landsat) e ferramentas como o DSAS na observação das mudanças costeiras, permitiu o início de uma gestão sustentável e o diagnóstico das mudanças climáticas (APOSTOLOPOULOS; NIKOLAKOPOULOS, 2021; MISHRA et al., 2020).

De modo geral, o que predomina diante da dinâmica da LC, são os processos acrescionais. A praia de Marudá e parte do Crispim estão em processos de erosivos durante o período de analisado, mas espaços onde predominam a acresção (figuras 5, 6 e 7). A partir das informações obtidas, os maiores valores de amplitude espacial erosiva média e taxa de variação da LC ocorreram no segundo setor, havendo uma diminuição na transição para a praia do Bora, onde concentram-se o terceiro e quarto setor respectivamente.

Isso demonstra que ela está caracterizada como uma LC que migra em sentido offshore devido aos valores positivamente apresentados, principalmente no setor quatro, enquanto a linha de tendência está declinando, o que indica uma diminuição da taxa de Acresção costeira em período contínuo, principalmente na praia do Crispim e Marudá.

O que caracteriza a alimentação sedimentar da LC é caracterizado a partir das correntes residuais que são mais intensas na margem leste do Estuário do rio Marapanim (BAÍA; RANIERI; ROSÁRIO, 2021b), onde localiza-se a Ilha de Algodal. Esse processo proporciona que a porção oeste apresenta menos energia durante a vazante do estuário. No entanto, no momento da maré enchente, presume-se que haja uma maior influência desta corrente nesta margem, onde se localiza a praia de Crispim (Figura 9).

Figura 9: Correntes marinhas e fluviais no estuário do rio Marapanim



Fonte: Adaptado de Baía et al. (2021).

Os resultados apresentados nas figuras 5, 6 e 7, mostram que ocorreu um processo de Acresção no setor V e variações erosivas no setor VI. Desta forma, o padrão dinâmico entre as praias de Marudá e Crispim, alternando as características erosivas e acrescionais ao longo do período estudado. Essas praias são condicionadas por uma alta pressão antrópica, o que favorece o processo erosivo, uma vez que a expansão urbana dentro do período analisado e isto está alterando solos com presença de restingas, lagos e dunas (MARAPANIM, 2015) e favorecendo áreas críticas de erosão costeira.

A partir da análise dos anos de 1985 a 2021 (figuras 5, 6 e 7), apresenta uma queda na taxa de evolução praial e amplitude espacial verificada na praia de Marudá, com posterior recuperação da LC no período estudado (36 anos) por acresção costeira (figuras 5, 6 e 7). Os efeitos da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e La Niña (LN) afetam de forma semelhante o estuário superior e médio de Marapanim (figura 10). Neste sentido, Crispim (I e II), Bora (III e IV) e Marudá (V e VI) dependem do fluxo fluvial do estuário do rio Marapanim, seja pelo processo de erosão ou aporte acrescional em suas margens. Apesar da queda e alguns valores negativos durante o período de análise e das taxas da evolução da LC, Marudá respondeu a características de contínua Acresção por quase toda sua extensão (figuras 5, 6 e 7). Mesmo em regiões mais ocupadas e frequentadas pela população houve processo de Acresção costeira a estabilidade. A presença de vegetação de mangue e a restinga em Marudá, no setor IV, favorece a retenção de sedimentos da praia, amortecendo as correntes hídricas e, por consequência ampliando a LC em sentido offshore (BAÍÁ; RANIERI; ROSÁRIO, 2021b).

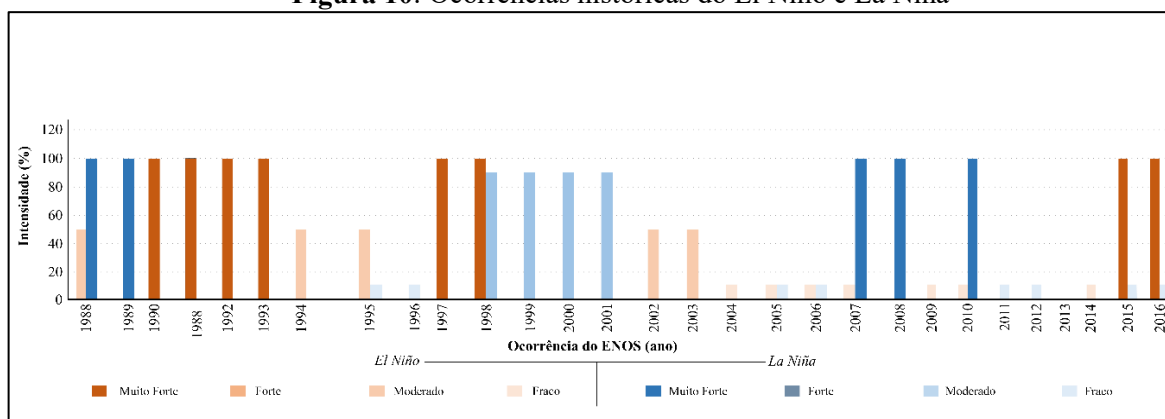
Na margem oeste do trecho inferior dos dados gerados a partir do LRR, EPR e NSM, a tendência ($R^2 > 0,5 = 100\%$) é de Acresção (progressão em sentido offshore da LC), sobretudo na praia do Bora (III e IV). Os setores III e IV, apresentam taxas médias de variação positiva (EPR: 16,15m/ano, 26,21m/ano; NSM: 578,84m, 939,24m; LRR: 12,7m/ano, 28,41m/ano; para os setores III e IV, respectivamente). Desta forma, a Acresção predomina em sua totalidade das LC's. O que evidencia esse processo deposicional e o 'engordamento' dessa praia, é o fato de que em um estuário, os efeitos da maré em sentido offshore, a descarga fluvial e o suprimento de sedimentos na cabeceira geram deposição na foz que podem reduzir a erosão induzida pelas marés (CANESTRELLI; LANZONI; FAGHERAZZI, 2014).

Na praia do Bora, a maré e a descarga fluvial contribuem para o fluxo de sedimentos na LC, onde no Furo da Laura a média de Acresção da LC ocorre em condições de forte hidrodinâmica, tendo em vista a velocidade e intensidade das correntes de maré (LIMA et al., 2015). As áreas em Acresção predominam, porém, a forma convexa da LC permite a formação de 3 (três) formações praias distintas subsequentes. A praia do Crispim, com forma mais

projetada ao oceano a alguns canais de maré permite a elevação das taxas erosivas, ou seja, diminuição de áreas de manguezal e retirada de sedimentos. A praia do Bora de alta Acresção, com maior acumulação de sedimentos. De acordo com Luz e Teixeira (2019), os estuários tropicais possuem mata ciliar composta, em grande parte, por mangue, que desempenha função considerável na estabilidade dos solos para a contenção da erosão e retenção dos sedimentos. Assim, os ecossistemas de manguezal funcionam como uma barreira natural às ondas, correntes de maré e ventos (DAS, 2020).

As estações chuvosas e secas influenciadas pela ZCIT e os fenômenos do El Niño (EN) e La Niña (figura 10), também são relevantes na vazão do estuário. Em um período médio de análise as possíveis mudanças relacionadas a eventos extremos são consideradas além das mudanças sazonais. Todos os fatores que influenciam na descarga fluvial, correntes e marés, seja em um período longo ou curto, são relevantes para as mudanças costeiras.

Figura 10: Ocorrências históricas do El Niño e La Niña



Fonte: Adaptado de CPTEC (2021).

As LC's das praias que são objetos de estudo deste manuscrito, sofreram com essa influência. Na figura 10, é possível observar as alternâncias temporais dos eventos extremos referentes ao EN e a LN. No contexto do EN, este influenciou no aporte de sedimentos, sobretudo na sua característica 'muito forte', ocorrente nos anos de 1990 a 1993, 1997-1998 e 2015-2016. Esse fenômeno extremo influencia no clima da Amazônia, caracterizando a redução significativa da pluviosidade, o que diminuiu a vazão do rio Marapanim e, por consequência, a erosão fluvial. Dessa forma, as condições extremas contrárias podem ocorrer, focalizando a transição para a LN. Esse extremo, ao contrário do EN, provoca o aumento substancial do aporte sedimentar, devido a associação com a ZCIT e o afastamento da célula de Walker (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL, 2021). Esses eventos extremos, somados com os fatores antrópicos e hidrográficos/oceanográficos foram fundamentais no retrabalhamento erosivo e acrescionais nas praias: Crispim, Bora e Marudá; sobretudo tangenciando o período de análise das LC's.

Compreender os aspectos que compõe os processos dinâmicos dessas praias, são fundamentais para as gerações futuras, políticas de ordenamento territorial e um planejamento costeiro integrado. Para além, os aspectos abordados e as técnicas de sensoriamento remoto são fundamentais nesse processo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta composição foi elaborado uma abordagem significativa para os estudos da erosão costeira, sendo que este trabalho obteve um resultado abrangente baseado do DSAS v5, integrando técnicas de sensoriamento remoto na porção do salgado paraense, correspondendo ao norte do município de Marapanim-PA, Amazônia paraense.

O conjunto de dados adquiridos foi essencial para a avaliação dos resultados, com o auxílio do Sistema Informação Geográfica (SIG). Os resultados foram satisfatórios em detrimento da validação do trabalho de campo, onde pode-se observar in situ a dinâmica erosiva do espaço geográfico de estudo.

Nesta perspectiva, além da sobreposição direta de vetores e segmentação, a ferramenta do DSAS do software ArcGis, contribuiu para o entendimento das variações multitemporais ocorridas no cenário costeiro paraense.

Desta forma, pode-se mensurar que os níveis críticos erosivos se encontram em alguns pontos das praias de Crispim (setor II) e Marudá (setor VI), no entanto o processo acrescivo ainda é predominante (setores I, V). O processo acrescivo foi evidenciado em grande parte da área de estudo, sendo concentrada, principalmente, na praia do Bora (setores III e IV).

Este manuscrito têm um potencial eminente, pois sua essência metodológica e conceitual poderá servir para fins do planejamento costeiro e a partir do diagnóstico auxiliar em medidas de mitigação (sejam emergentes, médio e longo prazos) para conter/diminuir a vulnerabilidade da ZC da região costeira da porção norte de Marapanim-PA.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a adoção e o monitoramento com alta precisão com a utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT's) e processamento de nuvem de pontos de coleta para com GNSS/RTK e de forma contínua, para que as metragens dinâmicas (erosão e acresção), assim fornecendo subsídios cada vez mais acurados para os formuladores de políticas públicas na ZC do estudo e/ou outros espaços costeiros da Amazônia paraense.

Por fim, esta avaliação do processo dinâmico costeiro, também poderá permear o desenvolvimento de estratégias efetivas de mitigação nas regiões costeiras da Amazônia, no Brasil e de maneira Global, onde há áreas que podem estar em situação vulnerável e diante do

desenvolvimento metodológico abordado neste manuscrito, pode-se avaliar tais cenários de maneira que venham diagnosticar e mitigar os processos naturais, sob a óptica da particularidade de cada espaço geográfico em que se desencadeará o estudo.

Agradecimentos

Ao Observatório da Gestão Costeira do Estado do Pará (OGC-PA) pelo apoio financeiro Através do Programa de Desenvolvimento da Pós-Graduação (PDPG/CAPES) na Amazônia Legal no trabalho de campo realizado neste trabalho.

REFERÊNCIAS

AHMED, N. et al. Coastal erosion vulnerability assessment along the eastern coast of Bangladesh using geospatial techniques. **Ocean & Coastal Management**, v. 199, p. 105408, jan. 2021.

ALESHEIKH, A. A.; GHORBANALI, A.; NOURI, N. Coastline change detection using remote sensing. **International Journal of Environmental Science & Technology**, v. 4, n. 1, p. 61–66, 1 dez. 2007.

ALLAN, J. C.; KOMAR, P. D.; PRIEST, G. R. Shoreline variability on the high-energy Oregon Coast and its usefulness in erosion-hazard assessments. **Journal of Coastal Research**, v. 38, n. SI, p. 83–105, 2003.

ALMONACID-CABALLER, J. et al. Evaluation of annual mean shoreline position deduced from Landsat imagery as a mid-term coastal evolution indicator. **Marine Geology**, v. 372, p. 79–88, fev. 2016.

ALVES, H. P. DA F. Socio-environmental vulnerability in the São Paulo Macro-metropolis' three main metropolitan regions: a socio-environmental indicators analysis. **Ambiente & Sociedade**, v. 24, 2021.

ANTHONY, E. J. Overview of the Monsoon-influenced Ayeyarwady River delta, and delta shoreline mobility in response to changing fluvial sediment supply. **Marine Geology**, p. 14, 2019.

APOSTOLOPOULOS, D.; NIKOLAKOPOULOS, K. A review and meta-analysis of remote sensing data, GIS methods, materials and indices used for monitoring the coastline evolution over the last twenty years. **European Journal of Remote Sensing**, v. 54, n. 1, p. 240–265, 1 jan. 2021.

AQUINO DA SILVA, A. G. et al. Coastline change and offshore suspended sediment dynamics in a naturally developing delta (Parnaíba Delta, NE Brazil). **Marine Geology**, v. 410, p. 1–15, 1 abr. 2019.

BAÍA, L. B.; RANIERI, L. A.; ROSÁRIO, R. P. Multitemporal analysis of variations in the coastlines of stuarine macrotidal beaches in the eastern Amazon, Brazil. **Geociências**, v. 40, n. 1, p. 231–244, 2021a.

BAÍA, L. B.; RANIERI, L. A.; ROSÁRIO, R. P. Análise multitemporal da variação da linha de costa em praias estuarinas do Nordeste do Pará. **Geociências**, v. 40, n. 1, p. 231–244, 2021b.

BARRAGÁN, J. M.; DE ANDRÉS, M. Analysis and trends of the world's coastal cities and agglomerations. **Ocean & Coastal Management**, v. 114, p. 11–20, set. 2015.

BERRÊDO, J. F.; COSTA, M. L.; PROGNE, M. DO P. S. Efeitos das variações sazonais do clima tropical úmido sobre as águas e sedimentos de manguezais do estuário do rio Marapanim, costa nordeste do Estado do Pará. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 3, p. 473–482, 2008.

BRAGA, R. DA C. et al. Vulnerabilidade diante da ação energética do mar: Estudo de caso no Município de Salinópolis, Zona Costeira Amazônica, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 19, n. 4, p. 245–264, nov. 2019.

BRAGA, R. DA C.; PIMENTEL, M. A. DA S. Índice de vulnerabilidade diante da variação do nível do mar na Amazônia: estudo de caso no município de salinópolis-Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 06, p. 1275–1291, 2019.

CANESTRELLI, A.; LANZONI, S.; FAGHERAZZI, S. One-dimensional numerical modeling of the long-term morphodynamic evolution of a tidally-dominated estuary: The Lower Fly River (Papua New Guinea). **Sedimentary Geology**, v. 301, p. 107–119, mar. 2014.

CARVALHO, B. C.; DALBOSCO, A. L. P.; GUERRA, J. V. Shoreline position change and the relationship to annual and interannual meteo-oceanographic conditions in Southeastern Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 235, p. 106582, 5 abr. 2020.

CAZENAVE, A. et al. Sea Level Change. In: CHURCH, J. A.; CLARK, P. U. (Eds.). **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. London: Cambridge University Press, 2013.

CONTI, L. A.; RODRIGUES, M. Variação da linha de costa na região da Ilha dos Guarás – PA através de análise de série temporal de imagens de satélites. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 5, p. 922–937, 2011.

CREEL, L. **Ripple Effects: Population and Coastal Regions**. Measure Communication, Measure Communication, 2003.

DA SILVA, G. V. et al. Shoreline Change Analysis and Insight into the Sediment Transport Path along Santa Catarina Island North Shore, Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 320, p. 863–874, jul. 2016.

DAS, S. Does mangrove plantation reduce coastal erosion? Assessment from the west coast of India. **Regional Environmental Change**, v. 20, n. 2, p. 58, maio 2020.

DIN HASHMI, S. G. M.; AHMAD, S. R. GIS-Based Analysis and Modeling of Coastline Erosion and Accretion along the Coast of Sindh Pakistan. **Journal of Coastal Zone Management**, v. 21, n. 1, 2018.

DOLAN, R.; FENSTER, M. S.; HOLME, S. J. Temporal Analysis of Shoreline Recession and Accretion. **Journal of Coastal Research**, v. 7, n. 3, p. 22, 1991.

DUARTE, C. R. et al. Short-time analysis of shoreline based on RapidEye satellite images in the terminal area of Pecém Port, Ceará, Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 39, n. 13, p. 4376–4389, 3 jul. 2018.

FARIAS, E. G. G. DE; MAIA, L. P. Uso de Técnicas de Geoprocessamento para a Análise da Evolução da Linha de Costa em Ambientes Litorâneos do Estado do Ceará, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 10, n. 4, p. 521–544, 2010.

FOGARIN, S. et al. Combining remote sensing analysis with machine learning to evaluate short-term coastal evolution trend in the shoreline of Venice. **Science of The Total Environment**, v. 859, p. 160293, fev. 2023.

FRANÇA, C. F. DE. **Morfologia e mudanças costeiras na margem leste de Marajó (PA)**. [s.l.] Universidade Federal do Pará, 2003.

GALVEZ, D. S. et al. Detecting shifts of submarine sediment boundaries using side-scan mosaics and GIS analyses. **Marine Geology**, v. 430, p. 106343, 1 dez. 2020.

GONÇALVES, C. D. “Desastres naturais”. Algumas considerações: vulnerabilidade, risco e resiliência. **Territorium**, n. 19, p. 5–14, 1 dez. 2012.

HIMMELSTOSS, E. A. et al. **Digital Shoreline Analysis System (versão 5.0); Um ArcGIS © extensão para o cálculo alteração na linha costeira: lançamento do software U.S.** Disponível em: <<https://code.usgs.gov/cch/dsas>>. Acesso em: 20 maio. 2020.

HONEYCUTT, M. G.; CROWELL, M.; DOUGLAS, B. C. Shoreline-Position Forecasting: Impact of Storms, Rate-Calculation Methodologies, and Temporal Scales. **Journal of Coastal Research**, v. 17, n. 3, p. 721–730, 2001.

HOQUE, M. A. A. et al. Assessment of coastal vulnerability to multi-hazardous events using geospatial techniques along the eastern coast of Bangladesh. **Ocean and Coastal Management**, v. 181, n. February, p. 104898, 2019.

ICMBIO, I. C. M. **art. 18 e art. 22 da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, e no Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002.** , 2002. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/dsn/Dsn14010.htm>

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <www.portal.inmet.gov.br>. Acesso em: 4 nov. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METEREOLOGIA DO BRASIL. **Normais Climatológicas (1961/2019)**. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/servicos/normais-climatologicas>>.

IPCC, I. P. ON C. C. **Sea-level change. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. New YorkCambridge University Press, , 2013.

IWAMA, A. Y.; BATISTELLA, M.; FERREIRA, L. DA C. Riscos geotécnicos e vulnerabilidade social em zonas costeiras: desigualdades e mudanças climáticas. **Ambiente &**

Sociedade, v. 17, n. 4, p. 251–274, dez. 2014.

KABIR, M. A. et al. Assessing the shoreline dynamics of Hatiya Island of Meghna estuary in Bangladesh using multiband satellite imageries and hydro-meteorological data. **Regional Studies in Marine Science**, v. 35, p. 101–167, mar. 2020.

LEMONS, A. L.; SOPCHAKI, C. CONTRIBUIÇÃO DA FERRAMENTA DIGITAL SHORELINE ANALYSIS SYSTEM NOS ESTUDOS DE DINÂMICA COSTEIRA NO ESTADO DO CEARÁ, BRASIL. **Revista Equador**, v. 9, n. 3, p. 61–81, 2020.

LIMA, M. W. et al. Análise temporal da composição granulométrica de um estuário amazônico, Pará, Brasil. **Scientia Plena**, v. 11, p. 1–11, 2015.

LINS-DE-BARROS, F. M. Integrated coastal vulnerability assessment: A methodology for coastal cities management integrating socioeconomic, physical and environmental dimensions - Case study of Região dos Lagos, Rio de Janeiro, Brazil. **Ocean & Coastal Management**, v. 149, p. 1–11, nov. 2017.

LIU, B. et al. An object–pressure–endurance–resilience system for assessing the vulnerability of coastal zone ecosystems. **Ecological Indicators**, v. 141, n. June, 2022.

MAHAPATRA, M.; RATHEESH, R.; RAJAWAT, A. S. Shoreline Change Analysis along the Coast of South Gujarat, India, Using Digital Shoreline Analysis System. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 42, n. 4, p. 869–876, 2014a.

MAHAPATRA, M.; RATHEESH, R.; RAJAWAT, A. S. Shoreline Change Analysis along the Coast of South Gujarat, India, Using Digital Shoreline Analysis System. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 42, n. 4, p. 869–876, 10 dez. 2014b.

MAITI, S.; BHATTACHARYA, A. K. Shoreline change analysis and its application to prediction: A remote sensing and statistics based approach. **Marine Geology**, v. 257, n. 1–4, p. 11–23, fev. 2009.

MARAPANIM. **Lei orgânica do Município**. Disponível em: <
[https://www2.mppa.mp.br/sistemas/gcsubsites/upload/41/LEI%20ORGANICA%20DO%20MUNIC%20C3%83%20PIO%20DE%20MARAPANIM\(1\).doc](https://www2.mppa.mp.br/sistemas/gcsubsites/upload/41/LEI%20ORGANICA%20DO%20MUNIC%20C3%83%20PIO%20DE%20MARAPANIM(1).doc)>.

MARTINS, L. R.; TABAJARA, L. L.; FERREIRA, E. R. Linha de Costa: problemas e estudos. p. 17, 2004.

MARTORANO, L. **Estudos climáticos do Estado do Pará, classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica (Thornthwaite, Mather)**. [s.l: s.n.].

MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, n. 7, p. 1425–1432, 27 maio 1996.

MENEZES, A. F.; PEREIRA, P. DE S.; GONÇALVES, R. M. Uso de Geoindicadores para avaliação da vulnerabilidade à erosão costeira através de sistemas de informações geográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 06, p. 651–659, 2018.

MISHRA, M. et al. Response of long- to short-term changes of the Puri coastline of Odisha (India) to natural and anthropogenic factors: a remote sensing and statistical assessment. **Environmental Earth Sciences**, v. 78, n. 11, p. 338, 30 jun. 2019.

MISHRA, M. et al. The development and research trend of using dsas tool for shoreline change analysis: A scientometric analysis. **Journal of Urban and Environmental Engineering**, v. 14, n. 1, p. 69–77, 2020.

MISRA, A.; BALAJI, R. A Study on the Shoreline Changes and LAND-use/ Land-cover along the South Gujarat Coastline. **Procedia Engineering**, v. 116, p. 381–389, 2015.

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

MUEHE, D.; KLUMB-OLIVEIRA, L. Deslocamento da linha de costa versus mobilidade praias. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 5, n. 2, dez. 2014.

MUSKANANFOLA, M. R. Spatio-temporal analysis of shoreline change along the coast of Sayung Demak, Indonesia using Digital Shoreline Analysis System. **Regional Studies in Marine Science**, p. 9, 2020.

MUSKANANFOLA, M. R.; SUPRIHARYONO; FEBRIANTO, S. Spatio-temporal analysis of shoreline change along the coast of Sayung Demak, Indonesia using Digital Shoreline

Analysis System. **Regional Studies in Marine Science**, v. 34, p. 101060, fev. 2020.

NASCIMENTO, L. DO. **Comportamento Da Linha De Costa Nos Últimos 50 Anos E O Risco De Prejuízos Econômicos Na Face Oceânica Da Ilha De Itaparica – Bahia**. [s.l.] Universidade Federal da Bahia, 2012.

NEGRÃO, Y. DE S.; SOUSA, H. C.; RANIERI, L. A. Vulnerabilidade à erosão costeira em praias amazônicas e a ocupação populacional em áreas de riscos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 23, n. 2, p. 1264–1284, 6 abr. 2022.

NICOLODI, J. L.; PETERMANN, M. R. Mudanças Climáticas e a Vulnerabilidade da Zona Costeira do Brasil: Aspectos ambientais, sociais e tecnológicos. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 10 (2), p. 151–177, 2010.

QUADRADO, G. P. Historical and geological assessment of shoreline changes at an urbanized embayed sandy system in Garopaba, Southern Brazil. **Regional Studies in Marine Science**, p. 19, 2021.

QUEIROZ, H. A. DE A.; GONÇALVES, R. M.; MISHRA, M. Characterizing global satellite-based indicators for coastal vulnerability to erosion management as exemplified by a regional level analysis from Northeast Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 817, p. 152849, abr. 2022.

RABELO, F. D. B.; SILVA, E. V. DA; GORAYEB, A. Geotecnologias na análise da dinâmica costeira do estuário do Rio Caeté – Pará I (Edição 530). **Papers do NAEA**, v. 30, n. 1, dez. 2021.

RANGEL-BUITRAGO, N.; WILLIAMS, A. T.; ANFUSO, G. Hard protection structures as a principal coastal erosion management strategy along the Caribbean coast of Colombia. A chronicle of pitfalls. **Ocean & Coastal Management**, v. 156, p. 58–75, abr. 2018.

RANIERI, L. A.; EL-ROBRINI, M. Evolution of the salinópolis shoreline, Northeastern of Pará, Brazil. **Pesquisas em Geociências**, v. 42, n. 3, p. 207–226, 2015a.

RANIERI, L. A.; EL-ROBRINI, M. Evolução da linha de costa de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 42, n. 3, p. 207–226, fev. 2015b.

RODRIGUES, S. W. P.; SOUZA FILHO, P. W. M. E. **Análise da variação da linha de costa a noroeste do Estado do Pará (Baía de Curuçá) através das imagens Landsat TM e ETM+ e CBERS 2B.** Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. Anais...Curitiba, PR, Brasil: INPE, 2011.

SANTOS, C. A. G. et al. Analysis of long- and short-term shoreline change dynamics: A study case of João Pessoa city in Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 769, 2021a.

SANTOS, C. A. G. et al. Analysis of long- and short-term shoreline change dynamics: A study case of João Pessoa city in Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 769, p. 144889, maio 2021b.

SANTOS, E. C.; BONETTI, J. Analysis of the Enseada de Tijucas (SC) shoreline change rate in different time scales as indicator of coastal susceptibility . **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 9, n. 2, p. 19–25, 2018a.

SANTOS, E. C.; BONETTI, J. Análise da taxa de variação da linha de costa da Enseada de Tijucas (SC) em diferentes escalas temporais como indicadora de suscetibilidade costeira. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 9, n. 2, ago. 2018b.

SILVA, C. A. DA. **Morfologia e Análise da Sucessão Depositional do Vale Inciso Quaternário de Marapanim, Norte do Brasil.** [s.l.] Universidade Federal do Pará, 2009.

SKINNER, L. F. Gerenciamento Ambiental Marinho. **Diversidade e Gestão**, v. Volume esp, n. 1, p. 147–162, 2017.

SOUZA, C. R. DE G. et al. Praias Arenosas e Erosão Costeira. In: SOUZA, C. R. DE G. et al. (Eds.). **Quaternário do Brasil.** Ribeirão Preto, São Paulo: Holos, Editora, 2005. p. 130–152.

STRONKHORST, J. et al. Regional coastal erosion assessment based on global open access data: a case study for Colombia. **Journal of Coastal Conservation**, v. 22, n. 4, p. 787–798, 27 ago. 2018.

THIELER, E. R. et al. **The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 4.0 - An ArcGIS extension for calculating shoreline changeOpen-File Report.** Reston, VA: [s.n.]. Disponível em: <<http://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr20081278>>.

TOURE, S. et al. Shoreline detection using optical remote sensing: A review. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 8, n. 2, 2019.

UN-HABITAT. **UN-Habitat Annual Report 2009**. Nairobi, Kenya: [s.n.].

VASCONCELOS, A. O. et al. Caracterização do Uso e Cobertura do Solo e da Linha de Costa. In: **Projeto Costa Norte, – Desenvolvimento de Metodologias para o entendimento de processos costeiros e estuarinos e da vulnerabilidade de florestas de mangue na Margem Equatorial Brasileira**. Rio de Janeiro: [s.n.]. v. 2p. 911–1029.

Artigo recebido em: 30 de janeiro de 2024.

Artigo aceito em: 05 de setembro de 2024.

Artigo publicado em: 21 de setembro de 2024.