

ANÁLISE MULTITEMPORAL DA VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA EM PRAIAS ESTUARINAS DE MACROMARÉ NA AMAZÔNIA ORIENTAL

MULTITEMPORAL ANALYSIS OF VARIATIONS IN THE COASTLINES OF STUARINE MACROTIDAL BEACHES IN THE EASTERN AMAZON, BRAZIL

Lohan Barbosa BAÍA, Leilanne Almeida RANIERI, Renan Peixoto ROSÁRIO

Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências - Universidade Federal do Pará. Rua Augusto Correa Nº 01. Belém – PA.

E-mails: lohanbaia@gmail.com; leilanne.ranieri@gmail.com; renanpeixoto@ufpa.br

Introdução
Metodologia
Área de Estudo
Aquisição de Dados
Processamento de Dados
Apresentação de Dados
Praia de Santa Maria
Praia de Marudá
Praia de Crispim
Discussão
Praia de Santa Maria
Praia de Marudá
Praia de Crispim
Conclusão
Agradecimentos
Referências

RESUMO - A análise de variações na linha de costa através de imagens multitemporais permite a identificação de processos erosivos e acrecionais em uma escala temporal. O objetivo desse trabalho foi avaliar as mudanças na linha de costa de praias estuarinas do litoral amazônico (município de Marapanim), nos anos de 1988, 1994, 2001, 2008 e 2016, por meio de imagens do satélite *Landsat*. A partir da digitalização de linhas de costa das praias de Santa Maria, Marudá e Crispim, nos referentes anos e, utilizado a extensão *Digital Shoreline Analysis* (DSAS) no software *ArcGis*, foram realizados cálculos estatísticos de amplitude espacial (m) e taxa de variação anual (m/ano) do posicionamento da linha de costa. Os resultados indicaram que a praia de Santa Maria esteve em estado de equilíbrio sedimentar a acreção, apresentando variações de 3,89 a -1,23 m/ano ao longo da linha de costa. As praias de Marudá e Crispim estão em processo predominante de acreção costeira, apresentando variações de 8,87 a -1,61 m/ano e 40,91 a -9,82 m/ano; respectivamente. Contudo, fenômenos climáticos, físicos e impactos antrópicos podem ter sido responsáveis pela diminuição da taxa acrecional da linha de costa em determinados períodos (1994-2008), em setores distintos das praias.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Erosão e acreção costeira. Praia. Amazônia Oriental.

ABSTRACT - The analysis of variations in the coastlines of beaches through multitemporal images allows the identification of erosive and accretionary processes, on an evolutionary scale. The objective of this work was to evaluate the changes in the coastline of beaches of an important tourist city of the Amazonian coast (Marapanim), between 1988 and 2016, through images of the Landsat satellite. Based on the digitization of the coastlines of the beaches of Santa Maria, Marudá and Crispim, in the reference years and using the Digital Shoreline Analysis (DSAS) extension in ArcGis software, it was possible to perform statistical calculations of spatial amplitude and annual rate of change positioning of the coastline. The results indicated that the beach of Santa Maria is in a state of equilibrium to sediment the increment, presenting variations from 3.89 to -1.23 m/year along the coastline. The beaches of Marudá and Crispim are in the predominant process of coastal accretion, presenting linearly variations from 8.87 to -1.61 m/year, 40.91 to -9.82 m/year; respectively. However, climatic, physical and anthropogenic impacts may have been responsible for decreasing the accretionary rate of the coastline in certain periods (1994-2008), in distinct sectors of the beaches.

Keywords: Remotesensing. Erosion and coastal accretion. Beach. Eastern Amazon.

INTRODUÇÃO

A zona costeira é suscetível a mudanças morfológicas causadas por processos naturais geológicos, climáticos/meteorológicos e oceanográficos, podendo ocorrer longo ou curto período. Outros são antrópicos e podem intensificar as alterações ocorrentes na morfologia da costa por influenciar nas forças físicas que a modelam (Small & Nichollst, 2003).

Os processos geológicos de longo período podem ser influenciados por fenômenos tectônicos, climáticos e/ou glaciais. A mudança na climatologia e meteorologia influencia também a ação de ondas, correntes marinhas e maré que são fatores relacionados com o grau de erosão e acreção costeira,

causando a variação e modelagem da linha de costa durante médio e curto período (MMA, 2017).

A zona costeira abriga cerca de 26,6% da população brasileira (IBGE, 2010). É nesse local que há maior concentração populacional, resultado do processo histórico de ocupação do Brasil (IBGE, 2000). Esta zona vem sendo afetada atualmente por processos erosivos moderados a elevados, sendo a erosão um processo natural que ocorre nas regiões litorâneas. Ela pode ser intensificada pela ação antrópica, advindo de atividades recreativas, geração de energia, indústrias e a intensa procura de locais pela construção civil, contribuindo com o aumento populacional e

expansão urbana na zona costeira, causando rápidas mudanças na morfologia e hidrodinâmica local (Ranieri & Robrini, 2015).

Diante deste contexto de alterações na linha de costa do Brasil, ressalta-se o caso da Região Norte, no Estado do Pará. Muitas residências localizadas próximas ao oceano, baías e estuários são afetadas nesta região por uma séria problemática: o impacto da ação das chuvas juntamente com as grandes subidas de maré, está causando o desgaste da costa e até mesmo destruição de obras costeiras e residências (Warnken & Mosadeghi, 2018). É possível observar diversos locais da costa paraense que estão presenciando o processo erosivo impactando a população, como exemplos dos municípios de Salinópolis, Abaetetuba, Ilha de Mosqueiro, Bragança e Marapanim (Ranieri & Robrini, 2015).

Neste sentido, há a necessidade de monitorar a erosão e acreção de costas para preservação, manutenção e mitigação de danos ao meio

ambiente e a sociedade civil residente na zona costeira.

O emprego de ferramentas específicas para este tipo de mapeamento, como o *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) (Thieler et al., 2017), é de grande valia também para o avanço de pesquisas com estes fins, utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, especialmente em áreas onde o acesso é mais restrito, como na costa amazônica, mesmos nos locais mais habitados. Além disso, o monitoramento remoto permite investigar qualquer região numa escala de visualização e processamento de dados maior (Leite et al., 2011); (Alves, 2011); (Zanata et al., 2012).

Portanto, este trabalho visou analisar as variações de linha de costa de 1988 a 2016 nas praias de Santa Maria, Marudá e Crispim (município de Marapanim, costa amazônica) através de ferramentas de análise espacial em geoprocessamento.

METODOLOGIA

Área de Estudo

O município de Marapanim (Figura 1) está em processo de expansão por meio de residências e empreendimentos e é composta por planície costeira, planície estuarina e planície aluvial (Silva, 2009). As principais praias neste local são Crispim, Marudá e Santa Maria. As águas são extremamente

misturadas, influenciadas por macromarés semi-diurnas (variação >5m) (Berredo et al., 2008). A região é caracterizada como uma zona estuarina, com importantes ambientes relacionados, exemplo dos manguezais, que por sua vez estão sendo influenciados pela dinâmica tanto do fluxo fluvial, quanto de correntes de maré (Borba, 2011).



Figura 1 - Localização do município de Marapanim e ilha de Algodal, no litoral paraense, indicando as praias de Crispim (A), Marudá (B) e Santa Maria (C).

Um dos problemas que o município enfrenta é a questão da população que possui residências em Marapanim, mas estão presentes apenas durante o período de férias nas vilas do município, ocasionado um processo de conscientização ambiental mais dificultoso, pois estes não vivem frequentemente os problemas da região mais litorânea (Soares et al., 2015).

Há impactos em Áreas de Proteção Permanente (APP) por parte dos moradores e pelos veranistas. Na região ocorre a retirada de madeira de manguezais para a construção de residências em restingas; além de haver o impacto por meio da atividade de queima de resíduos para diminuir o excesso de resíduos sólidos (Soares et al., 2015).

Quanto às praias do município, Santa Maria (Figura 1A) está inserida no estuário adentro, havendo atuação de correntes de maré e pouca influência de ondas. Nesta porção, as características oceanográficas e geológicas favorecem a fixação e desenvolvimento de manguezais inseridos próximos ao canal de maré.

A Praia de Marudá (Figura 1B) se situa no estuário médio, porém com atuação de ondas e marés, visto que sua posição é favorável à direção predominante de incidência dos ventos (NE) e que o Estuário de Marapanim apresenta ampla desembocadura devido à influência de macromarés (>4m). Nesta praia está localizado um dos principais pontos turísticos do município de Marapanim, a Orla de Marudá, apresentando, portanto, um setor urbanizado ao sul, porém outro preservado ao norte, como presença de manguezal.

A praia do Crispim (Figura 1C) apresenta característica mais oceânica, tratando-se de uma ampla praia arenosa exposta, com declives suaves e forte hidrodinâmica, localizada na foz do Estuário de Marapanim. É uma região menos urbanizada, com presença de restinga, lagos, dunas costeiras e manguezais no pós-praia.

O litoral de Marapanim é influenciado não apenas por macromarés, mas também por ondas geradas por ventos, que se intensificam bastante durante o período chuvoso. Estes são um dos agentes responsáveis por remobilizar os sedimentos e uma das causas dos processos erosivos observados na região (Silva, 1998). A climatologia está relacionada diretamente com 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). Segundo Borba (2011), as correntes do rio Marapanim fluem no sentido nordeste, referente à Ilha de Algodal (Figura 2), 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 precipitações pluviométricas em torno de 2500 a 3000 mm e, inferiores a 60 mm, respectivamente (Berredo et al., 2008). As temperaturas são relativamente altas, sendo a média anual em torno de 27,7°C (SUDAM, 1984). A umidade relativa do ar situa-se entre 80-85% (média anual), associada ao regime de chuvas (Martorano et al., 1993).

Os ventos são fundamentais para a formação de ondas, no transporte e retrabalhamento dos sedimentos litorâneos. Os ventos alísios de NE; responsáveis por transportar sedimentos o ano todo, principalmente durante o período de dezembro a março; quando se encontram com os ventos alísios de SE, contribuindo para o controle climático da região, minimizando efeitos provenientes da radiação solar (Geyer et al., 1996).

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) também é um fenômeno que é responsável por afetar o clima amazônico. A ZCIT é formada em uma região aquecida que favorece o encontro dos ventos alísios de nordeste do hemisfério norte e alísios de sudeste do hemisfério sul. Esses ventos são compostos do sistema de alta pressão semipermanentes do Atlântico Norte e Sul, o que causa movimentos ascendentes, intensificando a zona de baixa pressão favorecendo a alta precipitação na região (Fu et al., 2001).

Há também o evento do *El Niño* (Figura 3) que afeta diretamente o clima da região amazônica, provocando períodos de seca extrema. Isso ocorre porque a célula de Walker, a qual inibe os movimentos convectivos que favorece a formação de nuvens, fica sobre a região amazônica (INPE, 2018). Quando a incidência de chuvas diminui na região amazônica, há uma menor taxa de erosão pluvial no continente que dificulta que sedimentos sejam transportados para a plataforma continental. O fenômeno de *La Niña* (Figura 3), associado a zona de convergência intertropical, provoca intensificação das chuvas, podendo resultar em um fenômeno inverso, ocasionando um maior aporte sedimentar aos rios ou maior processo erosivo (NASA, 2018) dependendo das condições locais.

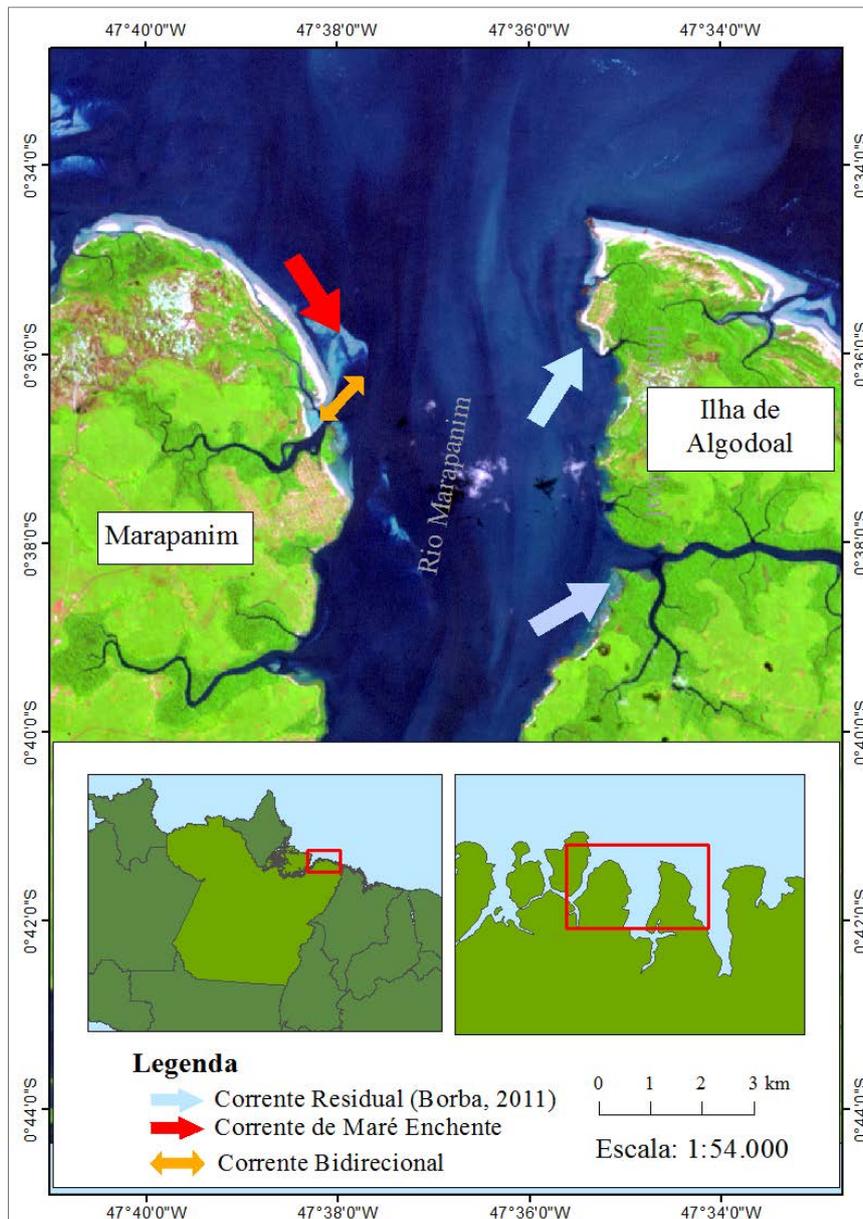


Figura 2 - Orientação das correntes de maré (vermelho), corrente de enchente e vazante em um canal de maré (laranja) e a corrente residual do rio Marapanim (azul). Adaptado de Borba, 2011.

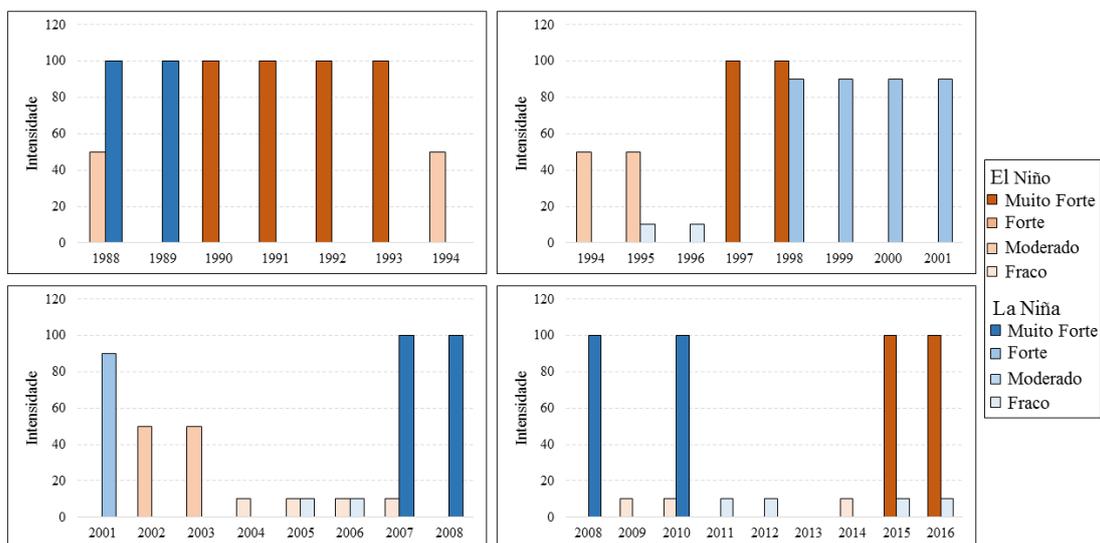


Figura 3 - Levantamento histórico dos fenômenos *La Niña* e *El Niño* de acordo com suas intensidades, nos anos de 1988 a 2016.

Aquisição de Dados

As imagens referentes ao satélite *Landsat TM* 5 (1988, 1994 e 2008), *Landsat ETM* 7 (2001) e *Landsat OLI* 8 (2016) (Figura 4) foram obtidas gratuitamente no site do Serviço

Geológico dos Estados Unidos (*USGS*, 2018). As imagens utilizadas neste trabalho foram obtidas previamente ortorretificadas, no formato *geotiff*, a projeção *UTM-23N* e datum *WGS-84*.

Satélite	Sensor	Data de aquisição	Resolução Espacial
Landsat 5	MSS e TM	22/07/1988	Multiespectral: 30 m ; Termal: 120 m
Landsat 5	MSS e TM	21/06/1994	
Landsat 7	ETM+	27/08/2001	Multiespectral: 30 m ; Pancromática: 15 m
Landsat 5	MSS e TM	27/06/2008	Multiespectral: 30 m ; Termal: 120 m
Landsat 8	OLI e TIRS	19/07/2016	Multiespectral: 30 m ; Pancromática: 15 m

Figura 4 - Informações dos satélites que registraram as imagens utilizadas.

Processamento de Dados

Para a análise das imagens, procedeu-se ao recorte da região que abrange as praias de Santa Maria, Marudá e Crispim; e efetuou-se a repro-

jeção de cada imagem para o sistema Universal Transverse Mercator, zona 23S, utilizando o datum WGS-84 (Figura 5).

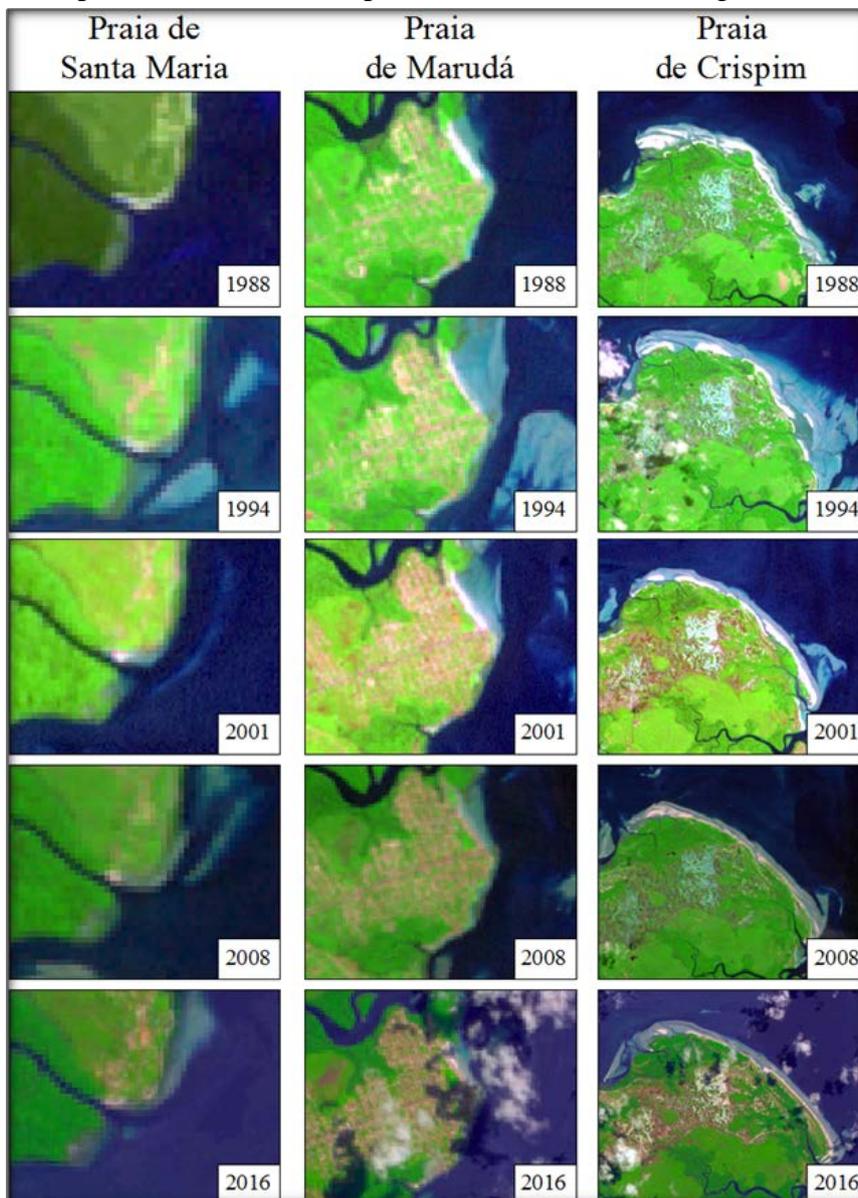


Figura 5 - Imagens dos respectivos locais de estudo, previamente tratadas e recortadas.

Nas imagens de 2001 e 2016 foi realizada a fusão de bandas no programa *ArcGis*, utilizando a banda pancromática 8 para haver o melhoramento da resolução espacial de 30 para 15 metros. Visando o realce da vegetação, foi utilizada a combinação de bandas 7R4G3B para o Landsat 5 e 7 e a combinação de bandas 6R5G4B para o Landsat 8.

Para a elaboração do trabalho foram criados *shapefiles*: um representado as linhas de costa em *Polyline*, e outro para ser utilizado como um referencial fixo, denominado de linha de base (*Baseline*). Cada linha de costa foi digitalizada no *ArcGis* em cada imagem de ano correspondente, utilizando a linha de vegetação como referência. A *baseline* foi digitalizada na região oceânica para todas as imagens, a qual foi utilizada para analisar a variação da linha de costa entre os anos estudados (Ranieri & Robrini, 2015).

No *software ArcGIS* foi utilizada a extensão *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)* para a análise de dados. Esta ferramenta permite a

elaboração de *transectos* transversais às linhas de costa a partir da *baseline* e, realiza cálculos estatísticos da linha de costa, utilizando como base a distância em metros entre cada *polyline* (linha de costa) registrada ao longo do tempo. Cada variação evidenciada mostra a taxa de mudança para um intervalo de tempo, a qual foi definida como amplitude espacial (m). Quando ocorre a finalização do processamento, a extensão realiza os cálculos e disponibiliza-os em forma de tabelas no índice *ArcMap* deste *software*. As estatísticas de variação calculadas no *DSAS* possuem diversas categorias, sendo utilizados neste trabalho os parâmetros estatísticos: *Net Shoreline Movement (NSM)*, maior distância entre o ano mais antigo ao mais recente analisado; e *End Point Rate (EPR)* que evidencia a taxa de variação anual entre o período analisado. Os dados calculados pelo *DSAS* foram exportados ao *software Microsoft Office Excel* para serem tratados (Figura 6).

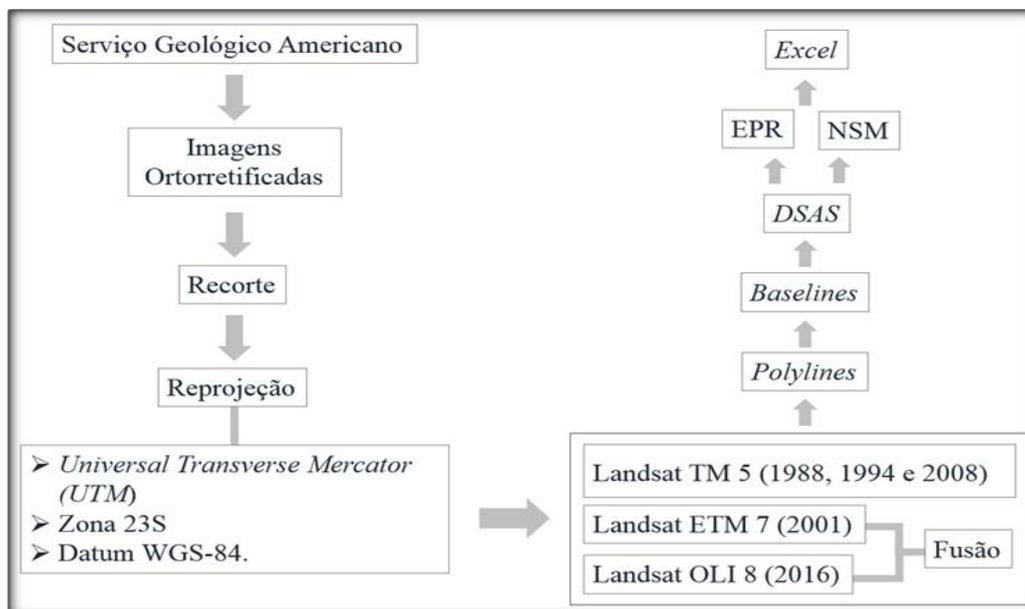


Figura 6 - Fluxograma indicando as etapas adotadas no tratamento das imagens e aquisição dos dados.

Primeiramente foi gerada a variação média a partir do conjunto de valores dos transectos obtidos em cada intervalo de anos. Os valores médios do NSM e EPR, e posteriormente a linha de tendência, foram representados para observar a evolução cos-

teira; sendo o processo de erosão/recuo da linha de costa representado por valores negativos (-) e, de acreção/ avanço, por valores positivos (+). Houve a comparação dos dados para se averiguar os processos de erosão ou acreção ocorridos nas praias estudadas.

APRESENTAÇÃO DE DADOS

Praia de Santa Maria

A figura 7 ilustra a posição da linha de costa da praia de Santa Maria durante os anos decorridos, de 1988 a 2016, indicando uma variabilidade longitudinal e transversal nesta linha que delimita a praia e o continente, evidenciando, portanto, também mudanças na faixa da

enseada arenosa.

Os dados obtidos indicam que o período de maior acreção costeira ocorreu entre 1988 a 1994 (Figura 8A), apresentando uma variação espacial transversal de -2,03 a 21,76 m ao longo da extensão da linha de costa (média de 5,44 m) (Figura 9).

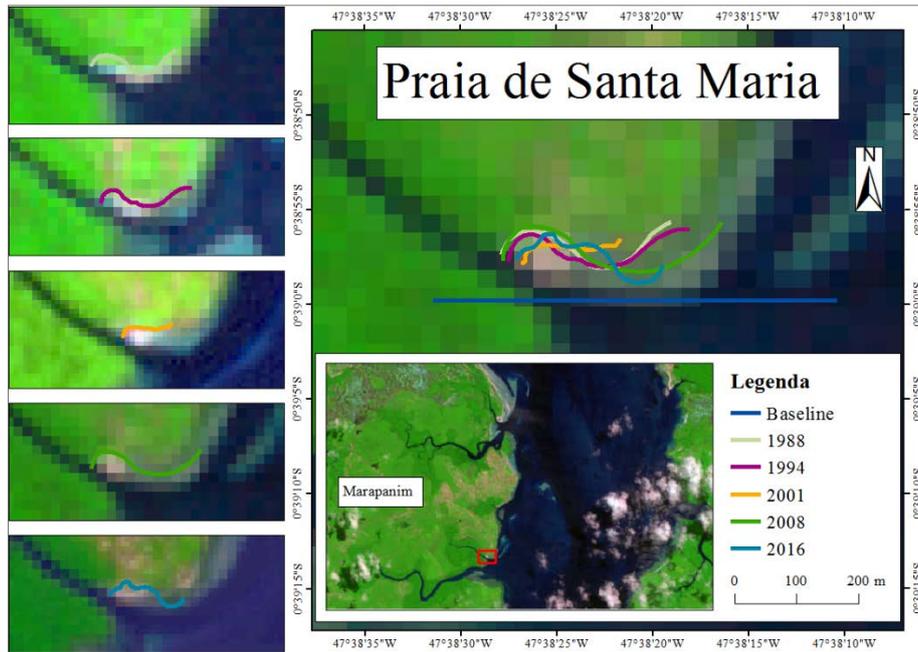


Figura 7 - Praia de Santa Maria com suas Polylines e Baseline. Imagem baseada no ano de 2001.

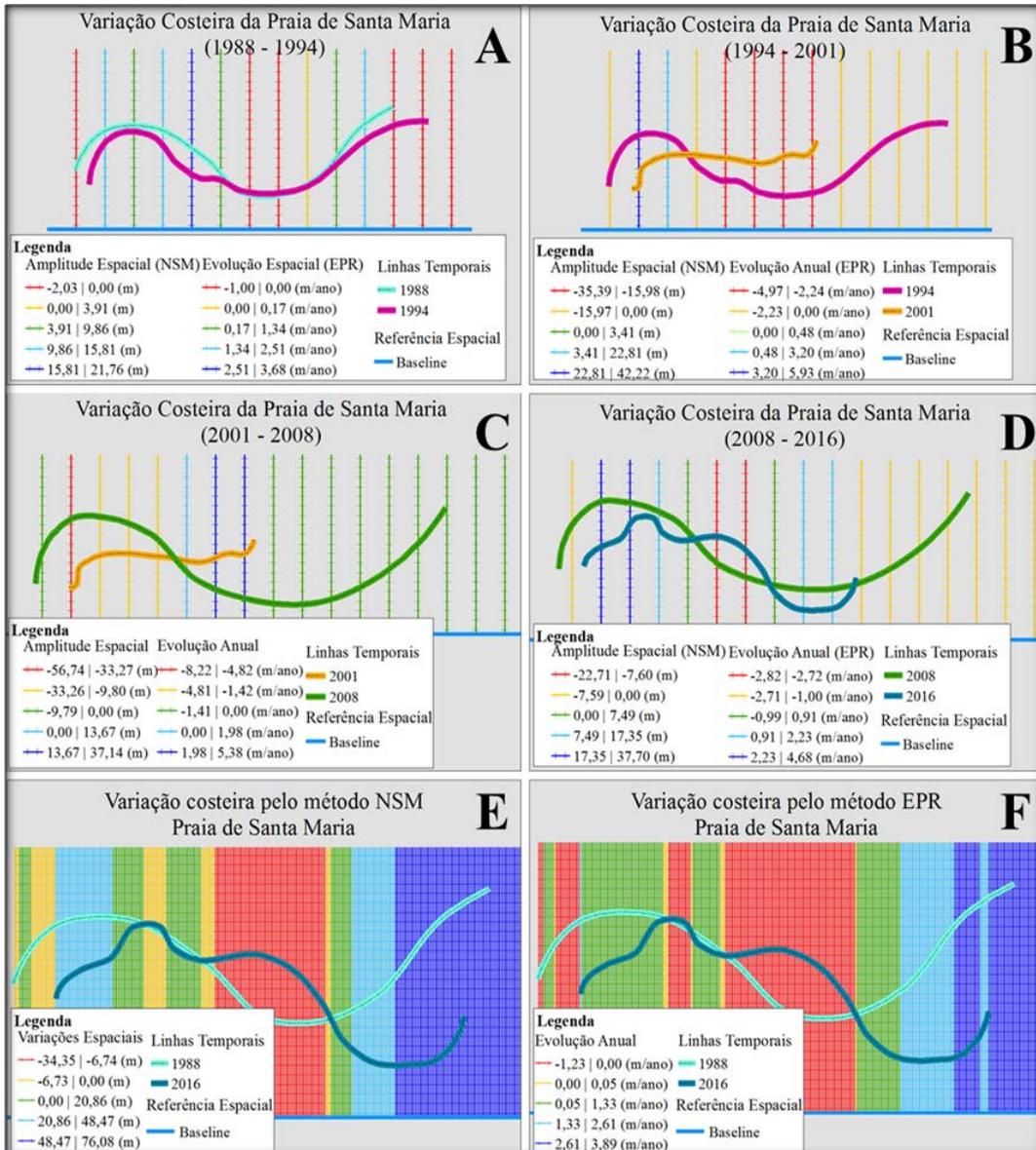


Figura 8 - Variações de acreção e erosão na praia de Santa Maria nos anos de 1988 a 2016.

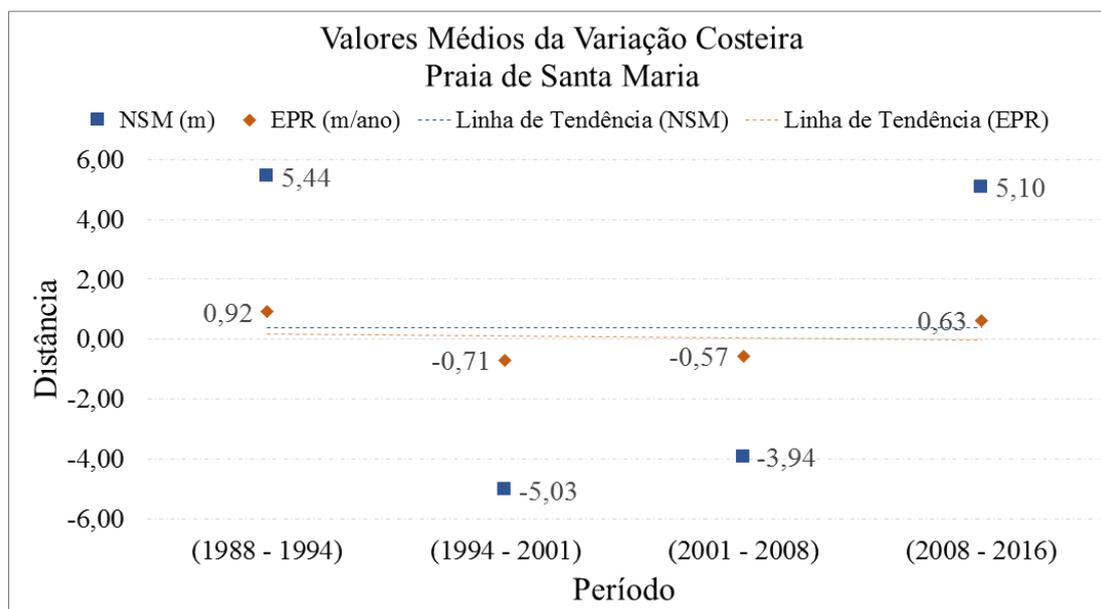


Figura 9 - Valores médios obtidos a partir da tabela originada no *ArcMap*. Ilustração, por meio das linhas de tendência, do estado em que a praia se apresenta em relação a erosão e acreção.

Em relação à erosão, o período com maior influência desta foi de 1994 a 2001 (Figura 8B), cuja linha de costa apresentou uma variação de -35,39 a 42,22 m, mobilidade média de -5,03 m (Figura 9), seguido do período de 2001 a 2008 (Figura 8C), com variação de -56,74 a 37,14 m, ou seja, com recuo costeiro mais acentuado (mobilidade média de -3,94 m) (Figura 9).

Posteriormente, entre 2008 a 2016, obteve-se o segundo maior registro de acreção costeira com uma variação espacial média de 5,1 m (Figura 9) e, valores de recuo/avanço da linha de costa variando de -2,71 a 37,70 m em pontos distintos dela (Figura 8D). Nota-se que esta condição permite um equilíbrio ou estabilidade na evolução costeira ao longo dos períodos de anos estudados (Figura 9).

A partir da observação temporal de 28 anos, foi possível visualizar o recuo/avanço da linha de costa da praia de Santa Maria (Figura 8E) de -34,35 a 76,08 metros, e uma evolução costeira anual (Figura 8F) de 3,89 a -1,23 m/ano ao longo dela. É possível inferir que mesmo em locais onde houve acentuado processo de erosão, houve outras regiões da praia que passou por processo de acreção mais expressivos.

Praia de Marudá

Para a praia de Marudá procedeu-se a análise setorizada, visando separar a porção da orla e falésia (setor A e B, respectivamente). As linhas de costa digitalizadas na praia de Marudá podem ser observadas na figura 10.

As figuras 11A a 11D indicaram que houve

principalmente processo de acreção costeira nesta praia. Em relação à variabilidade da linha de costa por período, a praia de Marudá apresentou o mesmo padrão observado na praia de Santa Maria, tendo de 1988 a 1994 mais avanços da linha de costa do que erosão ao longo da mesma (variação de -34,36 a 92,85 m); mais erosão de 1994 a 2001 (-93,51 a 45,02 m); seguida de uma continua fase acrecional no período 2001-2008 e 2008-2016, com variações ao longo da linha de costa de -53,07 a 66,04 m e, -53,96 a 91,07 m, respectivamente.

As informações obtidas para a praia de Marudá no período de 1988 a 2016 foi que a linha de costa apresentou por toda sua extensão, uma mobilidade de -45,12 a 248,37 metros (Figura 11E), e uma evolução anual espacial de -1,61 a 8,87m/ano (Figura 11F). O predomínio do avanço da linha de costa pode ser visto na figura 12, que demonstra a tendência evolutiva acrecional da mesma ao longo dos períodos de anos estudados.

Praia de Crispim

Esta praia foi setorizada em A, B, C e D para haver uma melhor visualização das mudanças morfológicas em cada setor, devido a sua grande extensão na região ($\cong 7,8$ km). As linhas de costa digitalizadas para cada ano estudado podem ser observados na figura 13.

A linha de costa da praia de Crispim apresentou variações espaciais de -39,06 a 530,21 m de 1988 a 1994 (Figura 14A) ao longo dela. Entre os anos de 1994 a 2001, o recuou/avançou variou de -207,06 a 467,71 m (Figura 14B), em pontos

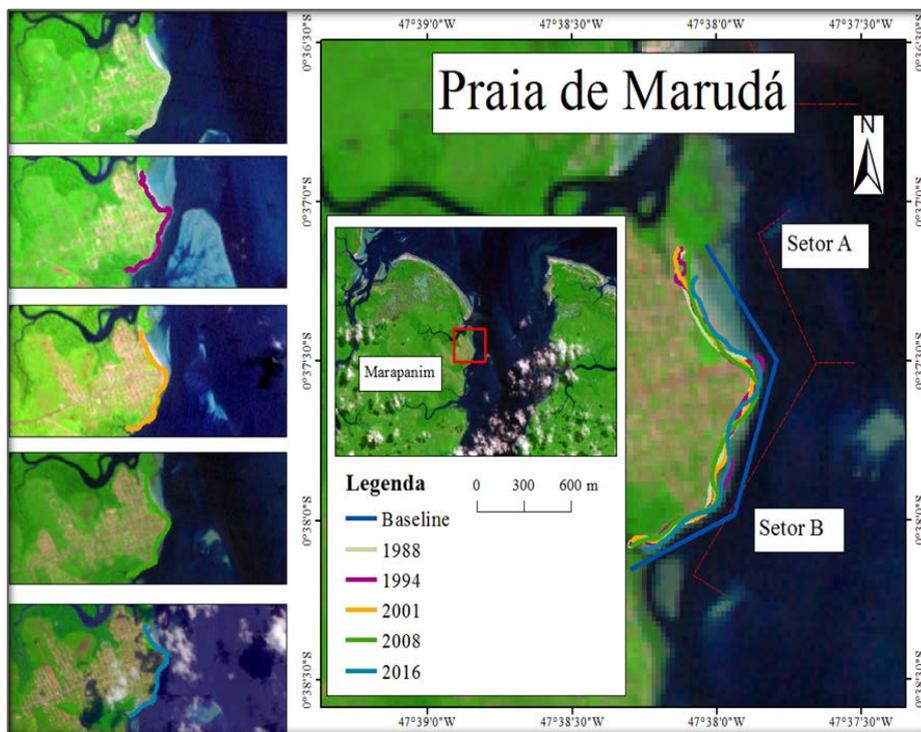


Figura 10 - Linhas de costa dos anos estudados para a praia de Marudá, separada pelo setor A e B. Imagem baseada no ano de 2001.

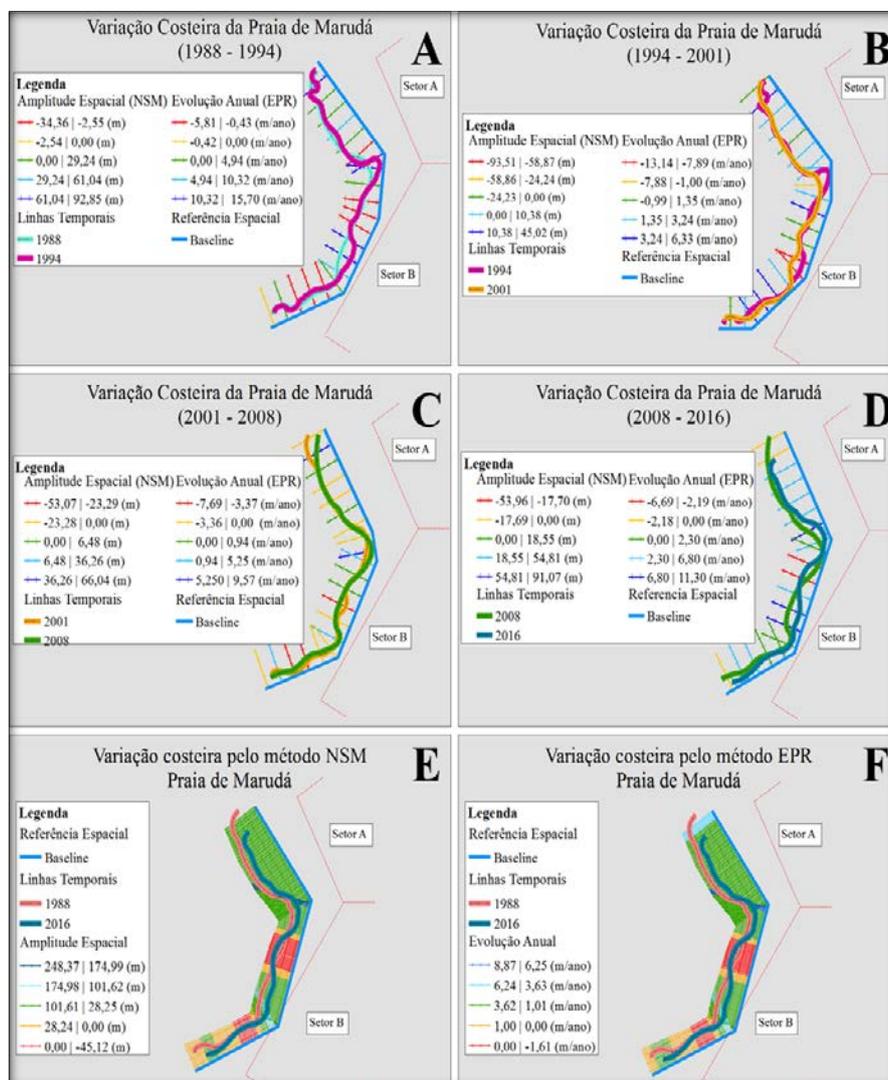


Figura 11 - Variações de acreção e erosão na praia de Marudá nos anos de 1988 a 2016.

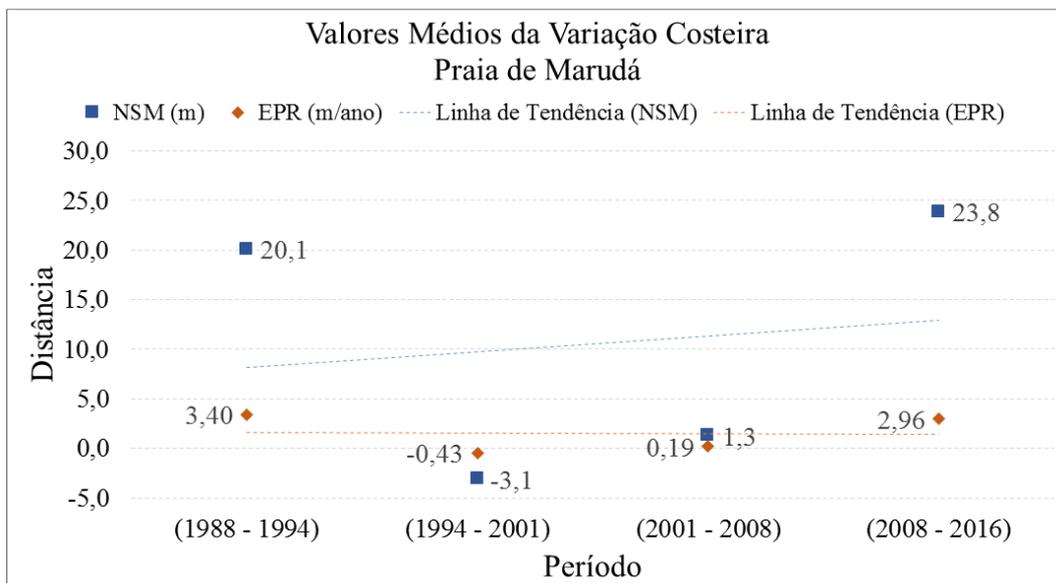


Figura 12 - Padrão semelhante à praia de Santa Maria referente a taxa, mas se observa uma ascensão dos valores referentes a amplitude praial.

distintos da praia. Já de 2001 à 2008, observou-se uma variação da linha de costa de -168,18 a 271,87 m (Figura 14C). Em relação ao período de 2008 a 2016 houve uma variação de -102 a 229,22 m (Figura 14D).

Considerando todo o período estudado (1988 a 2016), observou-se que ao longo da linha de costa a mobilidade foi de -274,89 a 944,44 m (Figura

14E) com uma evolução espacial de -9,82 a 40,91 m/ano (Figura 14F). Neste período, a variação espacial média foi de 32,67 m, sendo 4,05 m/ano, indicando predomínio de acreção costeira. Porém, a tendência evolutiva decrescional da linha de costa é observada na praia do Crispim ao longo dos períodos estudados (1988-1994, 1994-2001, 2001-2008, 2008-2016) (Figura 15).

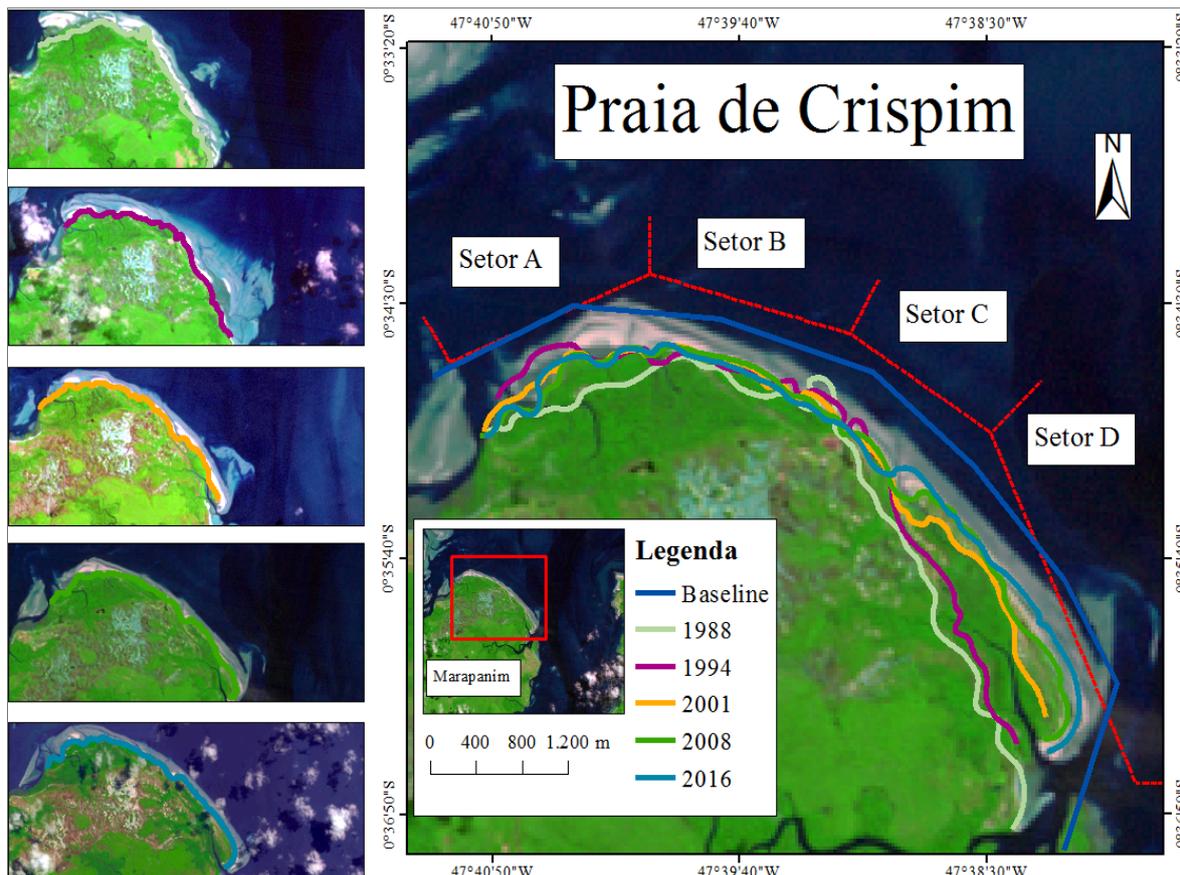


Figura 13 - Linhas de costa dos anos estudados para a praia de Crispim, com a presença de seções que delimitam setores da praia. Imagem baseada no ano de 2008.

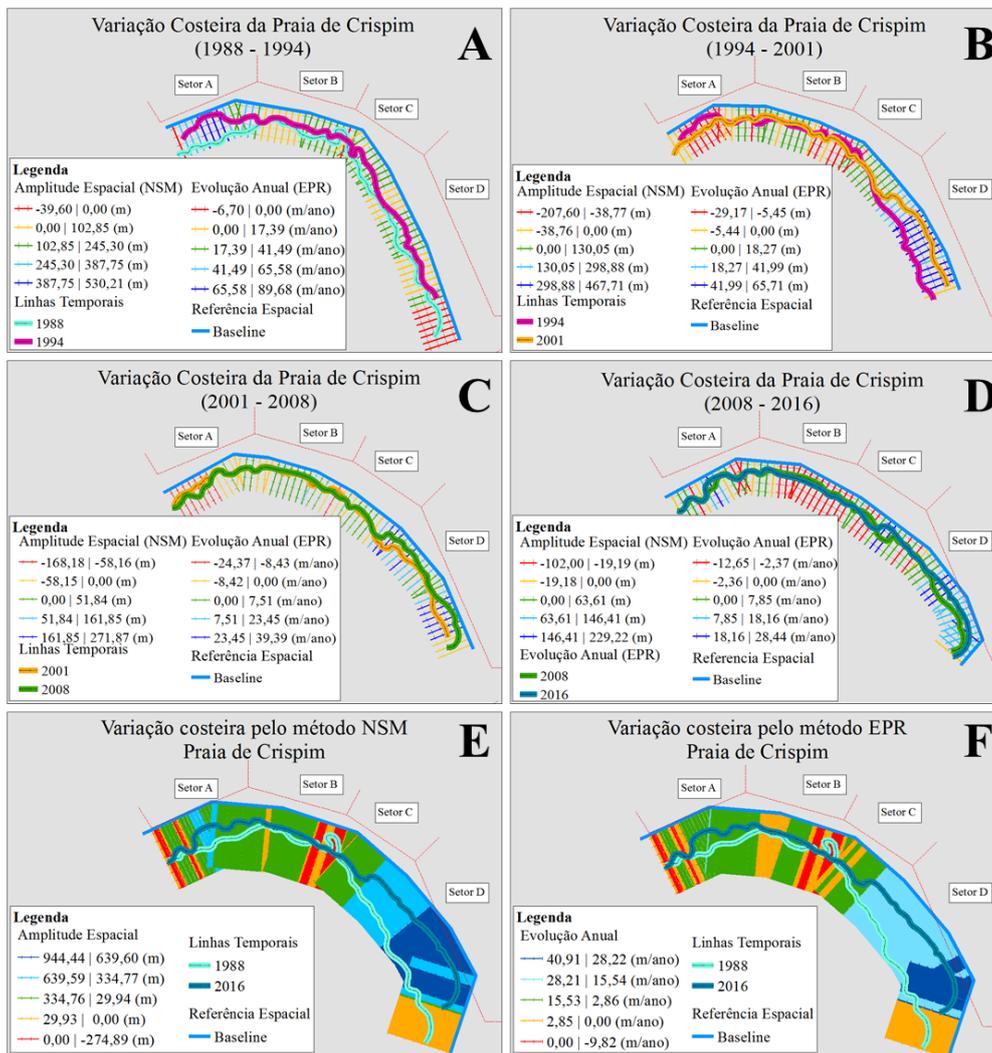


Figura 14 - Variações de acreção e erosão na praia de Marudá nos anos de 1988 a 2016.

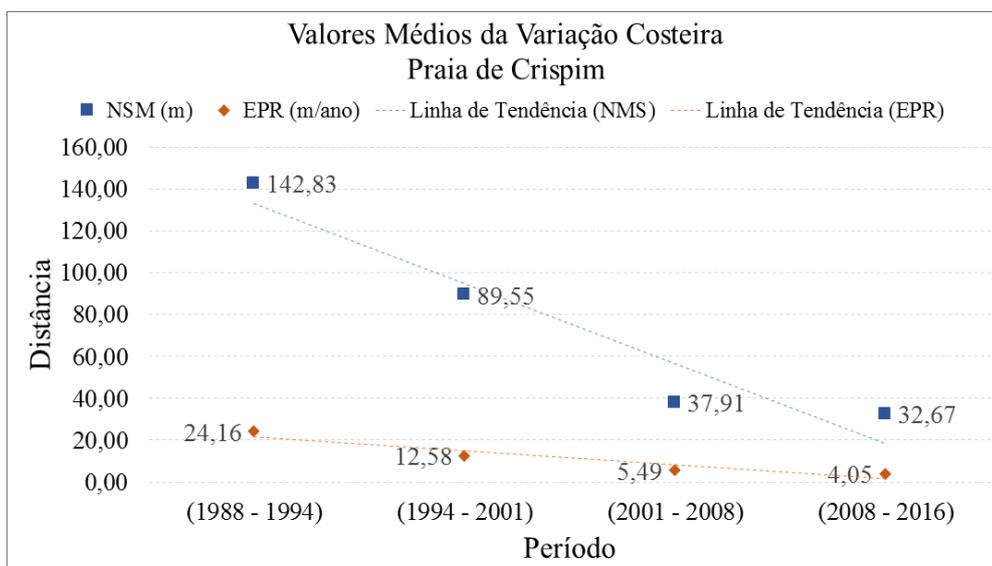


Figura 15 - Padrão diferenciado comparado as últimas duas praias. É possível observar a diminuição de acreção praiial durante cada período analisado.

DISCUSSÃO

Praia de Santa Maria

Por estar localizada numa enseada de rio, em região de planície de maré, esta praia apresenta não apenas mobilidade transversalmente à linha

de costa, mas também longitudinalmente, diante da atuação das correntes fluviais e de maré que redistribuem efetivamente os sedimentos (Calliari et al., 2003).

De modo geral, a praia de Santa Maria está em processo de equilíbrio costeiro, pois sua linha de tendência indica uma amplitude espacial positiva (Figura 9), enquanto os valores de variação anual da praia estão positivamente estáveis, indicando pequenas alterações na linha de costa de 1988 a 2016, comparado aos resultados obtidos com as praias vizinhas. Santa Maria apresentou uma característica de estabilidade morfológica transversalmente, diante do menor número de processos oceanográficos atuantes (ondas e correntes). Isso se deve a localização mais abrigada, que favorece o processo de equilíbrio praiar, ausência de incidência de ondas oceânicas, mas com uma influência maior de correntes de marés enchente e vazante.

Durante o período entre 1994 a 2016 (Figuras 8B a 8D) a praia, mesmo com alguns recuos da linha de costa (valores negativos), conseguiu apresentar um processo de resiliência ativo, suprimindo e ultrapassando no último período de observação (2008 a 2016) repondo a deposição sedimentar que foi perdida nos anos de 1994 a 2008 (Figura 9).

A queda na taxa de evolução praiar e amplitude espacial verificada de 1994 a 2008 pode ser explicada pela ocorrência de uma série de eventos de *La Niña* durante este período (Figura 3). A *La Niña* aumenta a intensidade de chuvas na região amazônica (Jiménez-Muñoz et al., 2016). O aumento da intensidade das chuvas resulta em um maior nível fluviométrico dos rios e uma maior vazão que pode ter resultado na intensificação da erosão às margens do rio Marapanim, onde localizam-se as praias (Oliveira et al., 2018).

Contribuindo a isso, as mudanças na posição da ZCIT anualmente, podem ter acentuado as anomalias causadas pela *La Niña*. Durante setembro a dezembro, a ZCIT se encontra mais próxima da região da América Central o que favorece a menor ação dos ventos alísios (Gouveia, 2017). A redução dos ventos causa diminuição de ondulações e correntes que são responsáveis por retrabalhar os sedimentos que poderiam chegar à praia, proporcionando uma menor acreção costeira e maiores taxas de erosão (Hartmann & Harkot, 1990).

Praia de Marudá

Os resultados apresentados na figura 11E indicam que houve um processo de acreção nesta praia. Em relação à evolução da linha de costa do intervalo de tempo estudado, Marudá se comportou com o mesmo padrão observado em Santa Maria, sendo um registro de acreção no

primeiro período (1988-1994), um registro de erosão (1994-2001) seguido de uma pequena acreção (2001-2008), e o último caracterizado como acreção (2008-2016) (Figura 12). Ou seja, de 1994 a 2008 (Figura 11B) houve uma queda na taxa de evolução praiar e amplitude espacial verificada na praia de Marudá, com posterior recuperação da linha de costa no último período estudado (2008-2016) por acreção costeira (Figura 11D).

Os efeitos da ZCIT e *La Niña* afetam de forma semelhante o estuário superior e médio de Marapanim. Santa Maria e Marudá dependem do fluxo fluvial do rio Marapanim, seja por causar erosão ou sedimentação em suas margens. Apesar da queda e alguns valores negativos na amplitude espacial e de taxa da evolução costeira, Marudá apresentou característica de contínua acreção por quase toda sua extensão (Figura 12).

Mesmo em regiões mais ocupadas e frequentadas pela população houve processo de acreção costeira a estabilidade. A presença de vegetação em Marudá no setor A favorece a retenção de sedimentos da praia, diminuindo a dinâmica hídrica e aumentando a linha de costa e estabilidade do local (Nascimento & Lima, 2010).

Praia de Crispim

De um modo geral, a praia de Crispim está em processo de acreção desde 1988 a 2016 (Figura 14E). A partir das informações obtidas, os maiores valores de amplitude espacial média e taxa de variação da linha de costa ocorreram durante o primeiro intervalo de tempo (1988-1994), havendo uma diminuição com o passar dos anos (1994-2016) (Figura 15), indicando que o último período estudado apresentou o menor registro de variações na linha de costa.

Isso demonstra que ela está caracterizada como uma linha de costa progradante devido aos valores positivamente apresentados, principalmente no setor D, enquanto a linha de tendência está declinando positivamente, indicando uma diminuição da taxa de acreção costeira em período contínuo.

O possível motivo para haver esta progradação costeira, ocorre devido a dinâmica de correntes residuais que são mais intensas na margem leste do Estuário de Marapanim, onde se encontra a Ilha de Algodoal. Esse processo proporciona que a porção oeste apresente 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 2), como sugerido pelas

observações de Valle-Levinson (2010).

Por estarem mais expostos ao oceano, e a refração de ondas, os setores A e B da praia de Crispim apresentaram as maiores ocorrências de taxas de erosão costeira (Pasolini, 2008). Esta erosão é mais acentuada no período de 1994 a 2001 (Figura 15), quando a morfologia costeira favorecia um intenso desenvolvimento de deriva litorânea (corrente longitudinal) do setor A ao D. Este processo parece se manter contínuo até 2016, com mais erosão a barlar da corrente longitudinal e, deposição a sotamar desta corrente.

A praia do Crispim está em um processo de progradação, mesmo que com taxas cada vez menos evolutivas, porém o setor de interseção entre B e C está apresentando sinais erosivos que estão obrigando moradores da região a recuar para

zonas mais internas do litoral. A ausência de vegetação, principalmente de restinga, é um fator que pode estar afetando a permanência de sedimento desta praia. Devido as residências próximas a base de dunas e o tráfego de veículos, houve uma interferência antrópica que afetou a vegetação presente na região (Marapanim, 2015).

A praia de Crispim apresenta uma 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.

Caso esse cenário continue a ocorrer, e se estender aos outros setores, a praia futuramente pode apresentar uma mudança cada vez mais gradativa de um cenário deposicional para um erosional.

CONCLUSÃO

A partir das informações obtidas, conclui-se que a extensão DSAS é uma ferramenta de geoprocessamento que permite, de forma rápida e ampla, o estudo de linhas de costa para verificar mudanças na região litorânea.

Santa Maria, Marudá e Crispim apresentaram características de estabilidade, progradante positiva e progradante negativa, respectivamente. Crispim se destacou por possuir taxas de diminuição da acreção costeira ao longo do tempo. É a praia mais exposta ao oceano aberto no município de Marapanim e a mais afetada pelos processos oceanográficos, somado às peculiaridades da circulação estuarina.

Os parâmetros climáticos, como a ZCIT, são potencialmente capazes de interferir nos processos de variação de linha de costa, e infere-se que a *La Niña* seja responsável por aumentar o nível e vazão do Estuário de Marapanim e acentuar a erosão nas margens dele, conseqüentemente, nas linhas de costa das praias estudadas. Contudo ressalta-se a necessidade de haver um acompanhamento climático e sedimentológico futuro para atrelar essas relações.

Processos oceanográficos, especialmente correntes de enchente, possivelmente predominante na margem oeste de Marapanim, e a deriva litorânea de norte a sul na praia de Crispim também podem implicar em setores costeiros mais

erosivos e mais acrecionais e, são de grande valia para estudos futuros que venham a complementar os resultados obtidos nesta pesquisa. A praia de Santa Maria, ao contrário da de Crispim, recebe menos influência oceânica, pois está em uma região mais abrigada do estuário de Marapanim, adjacente a um canal de maré que o alimenta, e que favorece à praia apenas processos de enchente e vazante de maré. Por este motivo foi a praia que apresentou maior equilíbrio na variação da linha de costa.

A interferência humana no equilíbrio ambiental foi outro fator que pode ter sido influente no balanço sedimentar, uma vez que a presença de vegetação é fundamental para a estabilidade do ambiente, e a retirada desta de forma antrópica implica em uma maior remoção de sedimentos. Embora as praias apresentem pontos erosivos e intensa ação antrópica, elas indicaram tendência positiva de acreção sedimentar na linha de costa.

Concluímos que todas as informações obtidas nesta pesquisa são importantes para continuação de um monitoramento presencial, visando um maior levantamento de dados oceanográficos e geológicos atuais, bem como séries históricas, pois esta região ainda está pobremente estudada em relação a essas áreas do conhecimento, para assim visar possíveis previsões de evolução costeira.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos os colaboradores neste trabalho, desde toda a rede acadêmica da Faculdade de Oceanografia e Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, que deram suporte à pesquisa, aos integrantes do Laboratório de Análises de Imagens do Trópico Úmido (LAIT).

REFERÊNCIAS

- ALVES, C.D. **Mudanças da cobertura e uso da terra decorrentes da expansão da cana-de-açúcar utilizando dados TM MODIS com análise orientada a objeto.** São José dos Campos. 2011. 161 p. Tese (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- BERREDO, J.F.; COSTA, M. L.; PROGNE, M. 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 Amazônica*, v. 38, n. 3, p. 473-482, 2008.
- BORBA, T.A.C. **Morfodinâmica e hidrodinâmica de praias do litoral Nordeste Paraense, Brasil.** Belém, 40 p. 2011. Universidade Federal do Pará/Instituto de Geociências.
- CALLIARI, L.J.; MUEHC, D.; HOEFEL, F.G.; JUNIOR, E.T. Morfodinâmica praias: uma breve revisão. *Revista Brasileira de Oceanografia*, v. 51, n. único, p. 63-78, 2003.
- FU, R.; DICKINSON, R.E.; CHEN, M.; WANG, H. How Do Tropical Sea Surface Temperatures Influence the Seasonal Distribution of Precipitation in the Equatorial Amazon?. *Journal of Climate*, v. 14, p. 4003-4026, 2001.
- GEYER, W.R.; BEARDSLEY, R.C.; LENTZ, S.J.; CANDELA, J.; LIMBURNER, W.R.; JONHS, W.E.; CASTRO, B.M.; SOARES, I.D. **Physical oceanography of the Amazon shelf. Continental Shelf Research**, v. 16, n. 5/6, p 575-616, 1996.
- GOUVEIA, N.A. **A influência do sistema atmosfera-continente-oceano na produtividade primária na pluma do rio Amazonas.** São José dos Campos. 2017. 126 p. Tese (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- HARTMANN, C. & HARKOT, P.F.C. Influência do canal São Gonçalo no aporte de sedimentos para o estuário da Laguna dos Patos – RS. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 20 n. 1-4, p. 329-332, 1990.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas Geográfico das Zonas Costeiras e Oceânicas.** Disp. em: <https://censo2010.ibge.gov.br/noticias-censo.html?busca=1&id=1&idnoticia=2036&t=ibge-parceria-marinha-brasil-lanca-atlas-geografico-zonas-costeiras-oceanicas&view=noticia>. Acessado em: 10 mai de 2018.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de Distribuição da População.** Disp.em: https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/mapas_doc1.shtm. Acessado em: 10 mai de 2018.
- JIMÉNEZ-MUÑOZ, J.C.; MATTAR, C.; BARICHIVICH, J.; SANTAMARÍA-ARTIGAS, A.; TAKAHASHI, K.; MALHI, Y.; SOBRINO, J.A.; SCHRIER, G.V.D. Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015–2016. *Scientific Reports*, v. 6, n. 33130, 2016.
- LEITE, M.E.; SANTOS, I.S.; ALMEIDA, J.W.L. Mudança de Uso do Solo na Bacia do Rio Vieira, em Montes Claros/MG. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 4, n. 4, p. 779-792, 2011.
- MARAPANIM. **Lei orgânica do município.** Disp. em: <http://www2.mp.pa.gov.br/sistemas/gcsubsites/upload/41/LEI%20ORGANICA%20DO%20>. Acesso em: 1 dez. 2017.
- MARTORANO, L.G.; PEREIRA, L.C.; CESAR, E.G.M.; PEREIRA, I.C.B. **Estudos climáticos do Estado do Pará, classificação climática (Koppen) e deficiência hídrica (Thornthwhite, Mather).** Belém, Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia/ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 53 p., 1993.
- MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Gestão territorial, erosão e inundação costeira.** Disp. em: <http://www.mma.gov.br/gestao-territorial/gerenciamento-costeiro/smc-brasil>. Acessado em: 10 maio de 2018.
- NASA - NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Earth Observatory.** 2018. Disp. em: <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/WorldOfChange/enso.php>. Acessado em: 10 maio de 2018.
- NASCIMENTO, F.C. & LIMA, J.J.F. Diretrizes técnicas para locação de limites edificados em praias. *Ambiente Construído*, v. 10, n. 4, p 197-218, 2010.
- OLIVEIRA, F.F.; SANTOS, R.E.S.; ARAUJO, R.C. Processos erosivos: dinâmica, agentes causadores e fatores condicionantes. *Revista Brasileira de Iniciação Científica*, v. 5, n. 3, p. 60-83, 2018.
- PASOLINI, A. **Utilização do método de perfil de equilíbrio para determinar a estabilidade e a evolução de perfis de praias arenosas.** Vitória, 2008. 137 p. Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental), Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo.
- RANIERI, L.A. & ROBRINI, M. Evolução da linha de costa de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, v. 42, n. 3, p. 207-226, 2015.
- SILVA, C.A. **Análise morfoestratigráfica do estuário do rio Marapanim – NE do Pará.** Belém, 1998. 133 p. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará.
- SILVA, C.A. **Morfologia e Análise da Sucessão Depositional do Vale Inciso Quaternário de Marapanim, Norte do Brasil.** Belém, 2009. 157 p. Tese (Doutorado em Geologia), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará.
- SMALL, C. & NICHOLLST, R.J. A Global Analysis of Human Settlement in Coastal Zones. *Journal of Coastal Research*, v. 19, n 3, p. 584-599, 2003.
- SOARES, D.P.; PARAENSE, A.L.C.; PEREIRA, J.F.; HAICK, Y.N.; PAIXÃO, R.N. G. Avaliação dos Impactos Sócio-Ambientais na Praia do Crispim, Marapanim-PA. In: **CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE E ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2.** Belém. *Anais...* Belém: Disp. em: <https://www.even3.com.br/anais/camaer2016/31398-ava-liacao-dos-impactos-socio-ambientais-na-praia-do-crispim-marapanim-pa>. Acessado em: 10 maio de 2018.
- SUDAM - SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA. **Atlas climatológico da Amazônia brasileira**, 125 p., 1984.
- THIELER, E.R.; HIMMELSTOSS, E.A.; ZICHICHI, J.L.; ERGUL, A. **Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0—An ArcGIS extension for calculating shoreline change (ver. 4.4, July 2017).** Disp. em: <https://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/DSAS/version4/images/pdf/DSASv4.pdf>. Acessado em: 10 maio de 2018.
- USGS - United States Geological Survey. **Aquisição de imagens de satélite.** Disp. em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acessado em: 10 maio de 2018.
- VALLE-LEVINSON, A. **Contemporary issues in estuarine physics.** Cambridge University Press, p. 108, 2010.
- WARNKEN, J. & MOSADEGHI, R. Challenges of implementing integrated coastal zone management into local planning policies, a case study of Queensland, Australia. *Marine Policy*, v. 91, p. 75-84, 2018.
- ZANATA, J.M.; PIROLI, E.L.; DELATORRE, C.C.M.; GIMENES, G.R. Análise do uso e ocupação do solo nas áreas de preservação permanente da Microbacia Ribeirão Bonito, apoiada em técnicas de Geoprocessamento. *Revista Geonorte, Edição Especial*, v. 2, n. 4, p. 1262-1272, 2012.

Submetido em 15 de agosto de 2018

Aceito para publicação em 20 de dezembro de 2021