



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA VARIAÇÃO DA LINHA
DE COSTA EM PRAIAS DO MUNICÍPIO DE
MARAPANIM, NORDESTE DO PARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:

LOHAN BARBOSA BAIA

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Leilanne Almeida Ranieri (UFPA)

Coorientador: Prof. Dr. Renan Peixoto Rosário (UFPA)

BELÉM

2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA VARIAÇÃO DA LINHA
DE COSTA EM PRAIAS DO MUNICÍPIO DE
MARAPANIM, NORDESTE DO PARÁ**

LOHAN BARBOSA BAIA

BELÉM

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B152a

Baia, Lohan Barbosa

Análise multitemporal da variação da linha de costa em praias do município de Marapanim, Nordeste do Pará / Lohan Barbosa Baia. - 2018.
56 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

Orientação: Profa. Dra. Leilanne Almeida Ranieri

Coorientação: Prof. Dr. Renan Peixoto Rosário.

1. Sensoriamento Remoto. 2. Erosão Costeira. 3. Acreção Costeira. 4. Sedimentação. I. Ranieri, Leilanne Almeida, *orient.* II. Título

CDD 621.3678



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA VARIAÇÃO DA LINHA
DE COSTA EM PRAIAS DO MUNICÍPIO DE
MARAPANIM, NORDESTE DO PARÁ**

APRESENTADO POR:
LOHAN BARBOSA BAIA

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Bacharel em Oceanografia

Data de aprovação: 25/01/2018

Banca examinadora:

Leilânhe Almeida Ranieri

Profª. Leilânhe Almeida Ranieri – Orientadora
Doutorado em Geologia

Renan Peixoto Rosário

Prof. Renan Peixoto Rosário – Coorientador
Doutorado em Geofísica

Pedro

Prof. Pedro Walfir Martins e Souza Filho – Membro
Doutorado em Geologia

Wilson da Rocha Nascimento Junior

Prof. Wilson da Rocha Nascimento Junior – Membro
Doutorado em Geologia

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus e aos meus pais, pois sem estes não haveria conseguido concluir este trabalho; à toda rede acadêmica da faculdade de oceanografia e geologia que contribuíram para minha formação como oceanógrafo; aos meus orientadores, Leilanne Ranieri e Renan Peixoto, que foram bastante prestativos durante toda realização deste trabalho; ao Laboratório de Análises de Imagens do Trópico Úmido, sendo só assim possível a realização da pesquisa, e seus integrantes, em especial Paulo Alves e João Lopes que foram as pessoas que me apresentaram este laboratório e ajudaram a evoluir como profissional; aos meus amigos de curso Alexandre Siqueira, Luma Costa e Debora Rodrigues que auxiliaram de forma direta e indireta na minha pesquisa; a Eliani Delucca que incentivou bastante a produção deste trabalho; por fim agradeço especialmente a Universidade Federal do Pará que me deu suporte e é responsável pela construção de todo o conhecimento adquirido nos últimos quatro anos.

“Assim como todos que testemunham tempos sombrios como este, mas não cabe a eles decidir, o que nos cabe é decidir o que fazer com o tempo que nos é dado.”

J. R. R. Tolkien

RESUMO

As mudanças morfológicas em linhas de costas resultam, principalmente, de variações no nível do mar por fenômenos astronômicos, tectônicos, climáticos e meteocanográficos. Estes fenômenos naturais, relacionados com problemas costeiros no litoral, pode resultar em regiões litorâneas afetadas por processos erosivos e acrecionais. A análise de variações nas linhas de costa através de imagens multitemporais de determinada área de estudo, permite a identificação destes processos, em uma escala evolutiva. O objetivo desse trabalho foi verificar e avaliar as mudanças na linha de costa do município de Marapanim entre os anos de 1988 a 2016 nas praias de Santa Maria, Marudá e Crispim por meio de imagens do satélite *Landsat*. Para a realização deste trabalho foram digitalizadas as linhas de costa nos referentes anos, e utilizado uma extensão do software *ArcGis* que realiza cálculos estatísticos (*Digital Shoreline Analysis System – DSAS*) a partir de *transectos* elaborados originalmente de uma linha de base (*baseline*), disponibilizando como produtos dados de amplitude espacial e taxa de variação anual do posicionamento da linha de costa. Os resultados indicaram que a praia de Santa Maria está em estado de equilíbrio sedimentar, apresentando valores extremos de acreção, variando de 3,89 a -1,23 m/ano; a praia de Marudá está em acreção apresentando valores extremos variando de 8,87 a -1,61 m/ano; e a praia de Crispim também se encontra em processo de acreção apresentando valores extremos variando de 40,91 a -9,82 m/ano, mas com a taxa de acreção diminuindo. Fenômenos climáticos, físicos e impactos antrópicos possam ter sido os responsáveis pela diminuição da taxa de variação da linha de costa em determinados períodos de tempo e setores. As informações obtidas são de grande valia para o estudo da região litorânea no município e, induzem a uma continuação dessa pesquisa, com mais parâmetros (vento, pluviosidade, corrente, temperatura) a serem estudados para haver um incremento no levantamento de dados, visando estudos futuros para haver a possível previsão da dinâmica de variação da linha de costa, viabilizando a importância social e ambiental do estudo gerado.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto. Erosão e Acreção Costeira. Sedimentação.

ABSTRACT

The morphological changes in shorelines result mainly from changes in sea level due to astronomical, tectonic, climatic and meteoceanographic phenomena. These natural phenomena, related to coastal problems on the coast, can result in coastal regions affected by erosive and accretive processes. The analysis of variations in the coastlines through multitemporal images of a certain area of study, allows the identification of these processes, in an evolutionary scale. The objective of this work was to verify and evaluate the changes in the coastline of the municipality of Marapanim between the years 1988 to 2016 in the beaches of Santa Maria, Marudá and Crispim by means of images of the Landsat satellite. For this work the coastlines were digitized in the reference years, and an extension of the ArcGis software that performs statistical calculations (DSAS) from transects originally elaborated from a baseline was used, making available as data products of spatial amplitude and annual rate of variation of coastline positioning. The results indicated that the beach of Santa Maria is in a state of sedimentary equilibrium, presenting extreme values of accretion, varying from 3.89 to -1.23 m / year; the beach of Marudá is in accretion presenting extreme values of accretion, varying from 8.87 to -1.61 m / year; and the beach of Crispim is also in the process of accretion presenting extreme values of accretion, varying from 40.91 to -9.82 m / year, but with the rate of accretion decreasing. Climatic, physical phenomena and anthropic impacts may have been responsible for decreasing the rate of variation of the coastline in certain time periods and sectors. The information obtained is of great value for the study of the coastal region in the municipality and, induce a continuation of this research, with more parameters (wind, rainfall, current, temperature) to be studied in order to have an increase in the data collection, aiming at studies to predict the dynamics of coastline variation, making possible the social and environmental importance of the study generated.

Keyword: Remote Sensing. Coastal Erosion and Accretion. Sedimentation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Linha temporal dos lançamentos de cada satélite Landsat.	6
Figura 2 - Mapa de localização da área de estudo, com as respectivas praias estudadas. 9	
Figura 3 - Ambiente de dunas semi-vegetado, principalmente vegetação de restinga.* 10	
Figura 4 - Praia de Crispim com extensa faixa de areia (estirâncio) devido ao regime de macromaré.*	11
Figura 5 - Lago próximo à praia de Crispim.*	11
Figura 6 - Canal de maré durante a maré baixa, apresentando vegetação de mangue.* 12	
Figura 7 - Mapa conceitual da provável circulação estuarina na foz da baía de Marapanim. Corrente Residual em azul.	14
Figura 8 - Precipitação do município de Curuçá referente a 28 anos, apresentando sua linha de tendência.	15
Figura 9 - Representação temporal do período de <i>El Niño</i> e <i>La Niña</i> desde 1988 até 2016. Valores adimensionais de 100: intensidade muito forte; 90: intensidade forte; 50: intensidade moderada e 10: intensidade fraca.	16
Figura 10 - Evolução da população Marapaniense durante 1970 a 2010.....	17
Figura 11 - Erosão na praia de Crispim com presença de veículos na zona pós praia alterada para obra de asfaltamento.*	17
Figura 12 - Fluxograma da metodologia adotada, indicando de maneira simples as ferramentas utilizadas.	19
Figura 13 - Imagem bruta disponibilizado pelo Serviço Geológico Americano. Ano da imagem: 2001.	19
Figura 14 - Imagens da modificação morfológica das praias em estudo em seus respectivos anos.	20
Figura 15 - Imagem do satélite <i>Landsat</i> recortada, reprojetada (UTM), com fusão e combinação de suas bandas (7R4G3B). Fonte: Serviço Geológico Americano, 2001.	21
Figura 16 - Linhas de costa dos anos estudados para a praia de Santa Maria. Imagem baseada no ano de 2008.	23

Figura 17 - Valores de amplitude espacial e taxa de variação anual da linha de costa obtido para a praia de Santa Maria entre o período de 1988 a 1994 (A), 1994 a 2001 (B), 2001 a 2008 (C) e 2008 a 2016 (D).....	24
Figura 18 - Praia de Santa Maria representando a variação espacial (A) e taxa anual (B) de 1988 a 2016.....	25
Figura 19 - Valores médios da amplitude espacial (distância) e taxa de variação anual da linha de costa para a praia de Santa Maria. Valores obtidos a partir de cada cálculo por intervalo de tempo, realizado pelos transectos que cruzam todas as linhas de costas estudadas.....	26
Figura 20 - Linhas de costa dos anos estudados para a praia de Marudá, separada pelo setor A e B. Imagem baseada no ano de 2001.....	27
Figura 21 - Valores de amplitude espacial e taxa de variação anual da linha de costa obtido para a praia de Marudá entre o período de 1988 a 1994 (A), 1994 a 2001 (B), 2001 a 2008 (C) e 2008 a 2016 (D).....	28
Figura 22 - Praia de Marudá representando a variação espacial (A) e taxa anual (B) de 1988 a 2016.....	29
Figura 23 - Valores médios de cada período de estudo, indicando a amplitude espacial (distância) e a taxa anual de variação da linha de costa na praia de Marudá.....	30
Figura 24 - 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.....	31
Figura 25 - Valores de amplitude espacial e taxa de variação anual da linha de costa obtido para a praia de Crispim entre o período de 1988 a 1994 (A), 1994 a 2001 (B), 2001 a 2008 (C) e 2008 a 2016 (D).....	32
Figura 26 - Praia de Crispim representando a variação espacial (A) e taxa anual (B) de 1988 a 2016.....	33
Figura 27 - Valores médios de cada período de estudo, indicando a amplitude espacial (distância) e a taxa anual de variação da linha de costa na praia de Crispim	34
Figura 28 - Praia de Santa Maria, próximo a um canal de maré.*	35
Figura 29 - Praia de Marudá durante baixa mar, com presença de gramíneas que favorecem deposição sedimentar.*	36

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	viii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
3.1 GEOPROCESSAMENTO	4
3.2 SENSORIAMENTO REMOTO	4
3.2.1 Sensores óticos	5
3.2.2 Análise multitemporal	6
3.2.3 Satélite Landsat	6
3.3 TAXA DE VARIAÇÃO DE LINHA DE COSTA	7
3.3.1 Digital Shoreline Analysis System (DSAS)	7
4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	9
4.1 LOCALIZAÇÃO	9
4.2 FISIOGRAFIA DA LINHA DE COSTA	9
4.3 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA	12
4.4 ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS	13
4.5 ASPECTOS CLIMÁTICOS/METEOROLÓGICOS	14
4.5.1 <i>El Niño e La Niña</i>	15
4.5.2 Zona de convergência intertropical (ZCIT)	16
4.6 ASPECTOS ANTROPOGÊNICOS	16

5 MATERIAL E MÉTODOS	19
5.1 COLETA DE DADOS	19
5.2 TRATAMENTO DOS DADOS	20
5.3 ANÁLISE DOS DADOS	22
6 RESULTADOS	23
6.1 PRAIA DE SANTA MARIA	23
6.2 PRAIA DE MARUDÁ	26
6.3 PRAIA DE CRISPIM.....	30
7 DISCUSSÃO	35
8 CONCLUSÃO.....	38
REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

As mudanças morfológicas na zona costeira dos continentes estão relacionadas a processos naturais (geológicos, climáticos/meteorológicos e oceanográficos) de longo a curto período, bem como fatores antrópicos, que podem amplificar as alterações ocorrentes na morfologia da costa por influenciar nas forças físicas que a modelam (Martins *et al.* 2004).

Os processos geológicos de longo período denominados de transgressão e regressão marinha podem ser influenciados por fenômenos tectônicos, climáticos e/ou glaciais. Os Ciclos astronômicos de Milankovitch (obliquidade, precessão e excentricidade da Terra) são responsáveis por controlar os processos geológicos, que influenciam direta ou indiretamente no clima global, e posteriormente o nível do mar (Moran 2012).

Associado às variações do nível do mar e aos Ciclos de Milankovitch, que por sua vez afetam e são afetados pelas condições climáticas. A ação de ondas, correntes marinhas e maré são fatores que estão relacionados com o grau de erosão e acreção costeira, causando a variação e modelagem da linha de costa (MMA 2017).

As linhas de costa estão inseridas em ambientes denominados de praias, que se referem a um ambiente composto por sedimentos inconsolidados, sujeito a ação de ondas, marés, ventos e correntes costeiras (Santos 2017). As ondas e correntes possuem a capacidade de transportar sedimentos e tender a acumulá-los nas praias, sendo as ondas de tempestade mais capazes de produzir superfícies erosivas extensas (Pereira *et al.* 2017).

As marés são responsáveis por causar variações periódicas de curto período no nível do mar (Pinto 2005). As marés que são influenciadas pela atração do Sol e da Lua, em grandes bacias causam mudanças cíclicas no fluxo hídrico e nas velocidades das ondas. A altura das marés atua como um modelador da linha de costa devido às correntes associadas a esta. As correntes de marés atuam principalmente transportando sedimentos; onde a velocidade desta é diretamente proporcional a quantidade de sedimento transportado (Silva *et al.* 2009), sendo a principal força oceanográfica em zonas costeiras de macromarés (variação >4 m).

A zona costeira é um ambiente em que continente, oceano e atmosfera se interagem; e está suscetível a variação do nível do mar, devido aos fatores astronômicos

e oceanográficos mencionados acima e a influência de diversos parâmetros climáticos e meteorológicos (Martins *et al.* 2004). É neste cenário que grande parte das regiões litorâneas brasileiras estão inseridas. Nessas regiões, encontram-se cerca de 45 milhões de habitantes e são regidas pelos processos relacionados com as flutuações do nível do mar. São intensamente povoadas, resultado do processo histórico de ocupação do Brasil (IBGE 2000). Grande parte da zona costeira brasileira vem sendo afetada atualmente por processos erosivos moderados a elevados (Ranieri *et al.* 2015). A erosão é 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 no local.

Diante deste contexto de variação da linha de costa, ressalta-se o caso da Região Norte, no Estado do Pará. Diariamente a costa paraense passa por significativas variações, devido à ação da maré, a qual é bastante influente nesse local (Berredo *et al.* 2008). Muitas residências localizadas próximas ao oceano, baías e estuários estão afetadas nesta região por uma séria problemática: o impacto pela ação de chuvas, de ondas e ventos, que associado às grandes subidas de maré, está causando o desgaste da costa e possível destruição de obras costeiras e residências; sendo possível observar diversos locais da costa paraense que estão presenciando o processo erosivo impactando na área civil da população; como exemplos temos: Salinópolis, Abaetetuba, Ilha de Mosqueiro, Bragança e Marapanim (Ranieri *et al.* 2015). Porém é possível observar também longos trechos de deposição sedimentar devido ao litoral paraense estar inserido em uma costa estuarina que recebe grande aporte sedimentar e ser bordejada por extensos manguezais.

Neste sentido, mapear as áreas de erosão e deposição sedimentar, bem como fazer o monitoramento contínuo das mudanças morfológicas destas áreas é de grande importância para preservação, manutenção e mitigação de danos ao meio ambiente e a sociedade civil que depende ou reside na zona costeira paraense. Este trabalho apóia-se no estudo de duas décadas ao recente, visando avaliar as alterações na posição da linha de costa em um dos locais populosos desta zona, o município de Marapanim que apresenta uma população estimada de 27.569 pessoas (IBGE 2017).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar as variações de linha de costa de 1988 a 2016 nas praias de Santa Maria, Marudá e Crispim através de ferramentas de análise espacial em geoprocessamento.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar as linhas de costa nos anos de 1988, 1984, 2001, 2008 e 2016 com auxílio de imagens de satélites.
- Avaliar a evolução costeira, referentes à acreção e erosão, das praias de Marudá, Crispim e Santa Maria, nos últimos 28 anos.
- Determinar a taxa média de variação sedimentar das praias de Marapanim nos anos de 1988 a 1994, de 1994 a 2001, de 2001 a 2008, e de 2008 a 2016.
- Relacionar as mudanças morfológicas na costa com os aspectos meteoceanográficos e antrópicos da área de estudo presentes na literatura.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 GEOPROCESSAMENTO

A importância do geoprocessamento se dá a partir do tratamento de imagens para a geração de novas informações, sendo que esse campo é representado por um conjunto de tecnologias que englobam o Sensoriamento Remoto (SR), o Sistema de Informação Geográfica (SIG) e o Sistema de Posicionamento Global (GPS) (Gomes 2018). A sua aplicação é de fundamental importância para o estudo do meio ambiente e o desenvolvimento urbano, visto que ambos estão em contínuo conflito, principalmente devido à falta de planejamento de ocupação.

A importância de uma avaliação física do ambiente é de grande relevância para a que ocorra o processo de urbanização resultando em dados verdadeiros e confiáveis. O estudo das características sociais, econômicas, culturais, ecológicas, políticas e ambientais são de grande valia para entender o padrão territorial da comunidade e avaliação de impactos ambientais provenientes dessa ocupação. Obtendo essas informações, é possível melhorar a qualidade de vida da população e harmonizar o processo de ocupação com o meio ambiente (Espinoza *et al.* 2009).

3.2 SENSORIAMENTO REMOTO

O meio ambiente está em contínuas alterações devido a própria evolução natural e a interferência antrópica. O acompanhamento dessas mudanças, tanto espaciais quanto temporais, é de fundamental importância para a sociedade inserida nessa região. A utilização de satélites permite que haja o monitoramento de forma mais rápida e eficaz para grandes territórios. A partir da disponibilidade de imagens, combinado com o uso de *softwares*, é possível modificar a composição de cores desta para obter produtos que podem ser utilizados em estudos costeiros, verificando as variações da linha de costa. Essas informações facilitam diagnósticos importantes e soluções para as mudanças que encontramos na nossa região (Sausen 2017). A partir deste aspecto, se dá a importância do Sensoriamento Remoto.

Segundo Meneses *et al.* (2012), Sensoriamento Remoto é uma tecnologia que foi desenvolvida para obter dados, representado por imagens, que são captados remotamente. Ele nos proporciona análises geoespaciais, comumente utilizada por profissionais, tendo aplicações em diversas áreas, tais como biológica, química, física e

intensamente geológica. É uma área do conhecimento que utiliza a radiação eletromagnética (REM) para realizar os registros da radiação refletida pelo objeto (reflectância) por meio de sensores, resultando como produto as imagens de satélites.

A REM se propaga tanto na forma de onda como na forma de energia. A dualidade é extremamente importante para o sensoriamento remoto sempre quando alguém for realizar uma análise de qualquer tipo de imagem, pois reflete a coexistência da REM, na forma de onda e energia, dando a relação entre o objeto de estudo e a forma de energia utilizada, sendo isso necessário para explicar a relação entre ambos e, conseqüentemente, como um determinado fenômeno ocorre (Meneses *et al.* 2012).

O sensoriamento remoto pode permitir uma análise multitemporal de processos erosivos e deposicionais nas regiões costeiras. Esta técnica fornece informações sobre objetos físicos e do ambiente por meio dos processos de registro, medição, e interpretação de imagens, proveniente de sensores que são capazes de representar digitalmente as diferentes classificações de energia sem contato físico (Colwell 1997). A partir disso, o sensoriamento remoto conectado com a oceanografia, se torna uma ferramenta importantíssima para estudos ambientais, que atrelado com coletas presenciais, resultam no melhoramento dos dados requeridos em uma pesquisa.

3.2.1 Sensores óticos

A REM é capturada pelos satélites a partir dos dispositivos, denominados de sensores remotos. Esses dispositivos convertem a energia emitida, transformando-as em um sinal elétrico, sendo assim capazes de registrá-las. Posteriormente esses dados são armazenados ou transmitidos para serem convertidos em informações aplicáveis para descrever fenômenos ou objetos que compõem a superfície terrestre (Moraes 2002).

Toda radiação eletromagnética possui um comprimento de onda característico. A importância dos sensores óticos ocorre quando estes são capazes de diferenciar diversos comprimentos de onda, podendo ser dividido principalmente em luz visível, infravermelho e infravermelho térmico; e partir disso, facilitar as análises de um determinado objeto, pois este possui sua própria faixa de reflectância (Meneses *et al.* 2012).

Os sensores podem ser divididos em ativos e passivos: os sensores ativos possuem uma fonte própria de REM, a qual é emitida para o objeto, refletida e registrada pelo mesmo, podendo ser utilizada durante todo o período de um dia;

enquanto que os passivos não possuem essa fonte de energia, havendo apenas como fonte de REM a luz solar, a qual é refletida durante o dia.

3.2.2 Análise multitemporal

A região litorânea está em constante modificação ao longo do tempo. O sensoriamento remoto, atrelado a observação multitemporal das imagens, tornam-se bastante importantes para análise e revela como ocorre a mudança espacial do objeto de estudo ao longo do tempo. Um registro de imagens a longo período, ou seja, uma maior quantidade de imagens capturadas, evidencia de forma mais detalhada como tal fenômeno possa estar ocorrendo. Portanto, a análise multitemporal, é responsável por extrair informações de momentos distintos em um determinado local, sendo assim possível observar variações ou mudanças em um ambiente (Langley 2001).

3.2.3 Satélite Landsat

O programa Landsat teve como objetivo o lançamento de 8 satélites (Figura 1). O primeiro satélite foi lançado em 23 de julho de 1972 e foi denominado de Landsat 1. Os lançamentos do Landsat 2 ao Landsat 4 foram respectivamente nos anos de 1975, 1978, e 1982. O Landsat 5, lançado em 1984, continuou a fornecer dados da superfície da Terra por um determinado período, mas acabou sendo desativado. O Landsat 6 não possui registros porque não alcançou a órbita em 1993. O Landsat 7 e Landsat 8 foram lançados em 1999 e 2013, respectivamente, e continuam a fornecer dados globais diários (USGS, 2017b), sendo essas informações importante para diversos setores de pesquisa, principalmente em estudos costeiros.

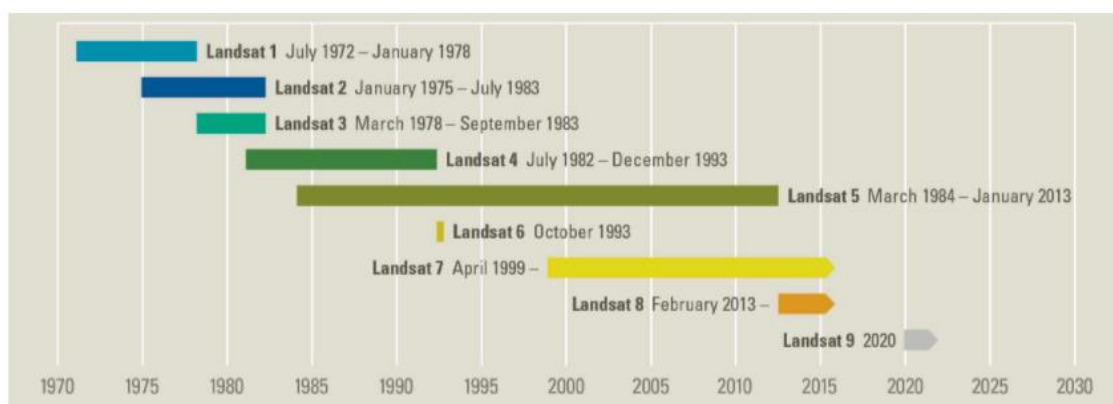


Figura 1 - Linha temporal dos lançamentos de cada satélite Landsat.
Fonte: (USGS 2017a).

As características referentes ao Landsat 5 são que os sensores possuem sete bandas, enquanto que o Landsat 7 possui oito, representando faixas do espectro eletromagnético captada pelos satélites. Estes orbitam cada ponto da Terra a cada 16 dias, sendo uma imagem capturada abrangendo uma área de 34225 km². Quase todas as bandas da imagem possuem uma resolução espacial de 30 metros, menos a banda 6 que apresenta uma resolução de 60 metros e a banda 8 que possui resolução de 15 metros (INPE/CPTEC 2018).

A captura de imagens de um determinado ponto pelo Landsat 8 são realizadas a cada 16 dias. Nele há a operação com dois instrumentos imageadores: Operacional Terra Imager (OLI) e Thermal Infrared Sensor (TIRS). Há nove bandas multiespectrais, sendo a banda 1 utilizada para a captura de aerossóis e a banda 8 para a composição de imagens de resolução espacial de 15 metros, enquanto que as bandas de 1 a 7 e 9 possuem uma resolução espacial de 30 metros. As faixas térmicas do instrumento TIRS são úteis no fornecimento de temperaturas de superfície mais precisas e os dados são coletados no pixel de 100 metros. As cenas Landsat 8 são de 185 x 185 km (USGS, 2017c).

3.3 TAXA DE VARIAÇÃO DE LINHA DE COSTA

3.3.1 Digital Shoreline Analysis System (DSAS)

O Sistema digital de análises da linha de costa (*Digital Shoreline Analysis System* – DSAS) é uma extensão capaz de realizar cálculos estatísticos da variação da linha de costa ao longo do tempo. O DSAS (*Esri ArcGIS* v.10) permite o usuário calcular as estatísticas da taxa de mudança do litoral de várias posições históricas do mesmo (Thieler *et al.* 2017). O programa utiliza uma linha de base (*Baseline*) como referência para as várias posições históricas da linha de costa (*Polylines*), obtidas através de imagens de satélite multitemporais. De modo individual, para cada imagem, é estabelecido uma linha de costa. Transectos transversais a todas as linhas digitalizadas são responsáveis por indicar as variações ocorridas durante os anos.

O DSAS integra os seguintes parâmetros estatísticos (Thieler, *et al.* 2017):

- *Net Shoreline Movement* (NSM): O NSM indica uma distância, não uma taxa. Ele representa a associação de duas *polylines*, sendo uma a mais antiga e a outra

a mais nova. Isso representa a distância total entre as linhas de costa mais remota e a mais recente, presentes nos *transectos*.

- *End Point Rate* (EPR): O EPR é definido como a divisão do movimento realizado pelas linhas de costa pelos anos decorridos (taxa de variação), do mais antigo até o mais recente presentes nos *transectos*. A grande facilidade da utilização do EPR é que são apenas necessários 2 anos para se realizar o cálculo. A grande desvantagem é que as mudanças de sinal (acréção ou erosão), magnitude ou tendências cíclicas podem ser perdidas.
- *Shoreline Change Envelope* (SCE): O SCE indica a distância entre as linhas de costa mais distantes e mais próximos da linha de base em cada *transecto*, representando a variação total realizada pelo local, sendo que este parâmetro não relacionando as datas disponíveis.
- *Linear Regression* (LRR): O LRR é determinado quando há o reajustamento de uma linha de regressão de mínimos quadrados, referentes a todos os pontos de linha de costa para um *transecto* particular. A linha de regressão é colocada de modo que a soma dos resíduos quadrados (quadrado da distância de deslocamento de cada ponto de dados da linha de regressão e adicionando os resíduos quadrados em conjunto) seja minimizada. A taxa de regressão linear é a inclinação da linha.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo inclui as praias de Santa Maria, Marudá e Crispim (Figura 2). Está inserida entre as coordenadas geográficas 00°33'30" S / 47°41'59" W a 00°39'40" S / 47°37'00" W.

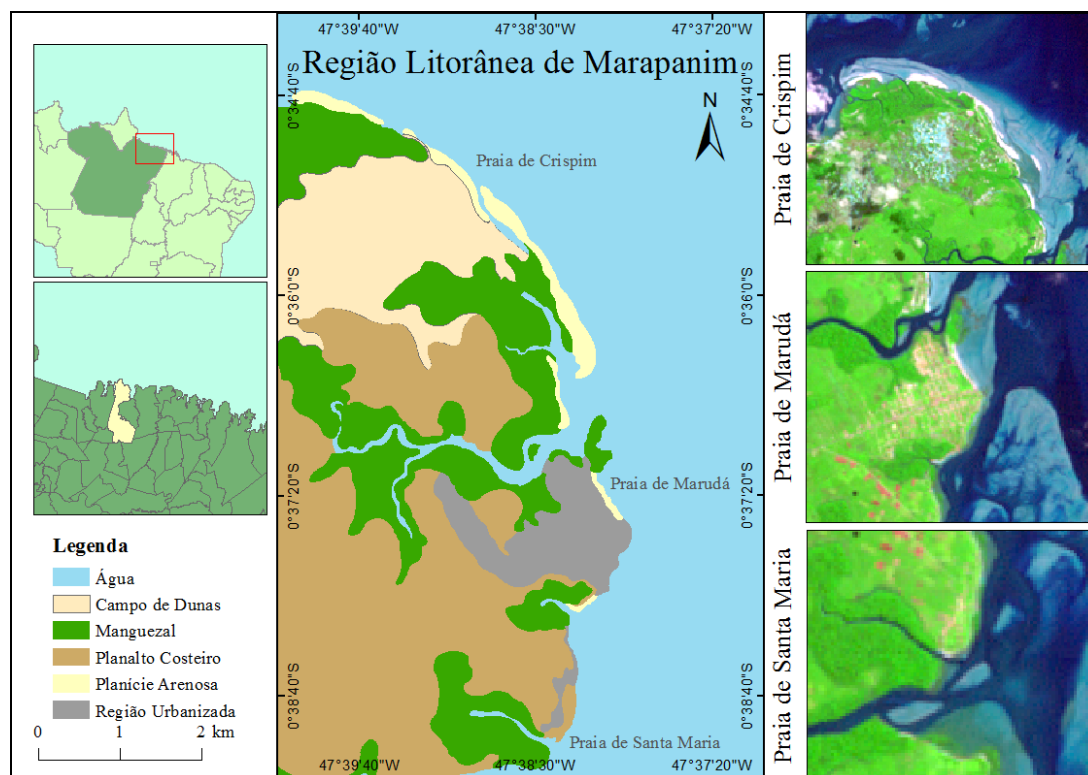


Figura 2 - Mapa de localização da área de estudo, com as respectivas praias estudadas.

4.2 FISIOGRAFIA DA LINHA DE COSTA

Marapanim possui uma alta diversidade de ambientes presentes na faixa litorânea, sendo estes (Silva 2009):

- Planície costeira: esta abriga ambas as margens do rio Marapanim, havendo presença do planalto costeiro (30 km), e recebe influência direta de agentes físicos como ondas, ventos e maré. Nesse ambiente encontramos paleodunas que apresentam uma altitude de 10 a 15 metros acima do nível do mar atual, abrangendo uma área de 6 km², havendo presença de vegetação. Há presença de dunas costeiras que ocorrem em uma área de 1 km², sendo estas normalmente vegetadas por plantas que caracterizam o ambiente de restinga e atingem alturas entre 1 a 12 metros (Figura 3). Todas as praias apresentam característica de macromaré, as quais possuem uma forma mais alongada paralelas a costa, sendo esta dividida em zona de supramaré (emersa), intermaré (subaérea) e inframaré (sempre submersa), possuindo até 2 km de extensão (Figura 4). Existe lagos supridos pela água das chuvas, diminuindo sua profundidade durante o período seco, havendo associação com paleodunas vegetadas (Figura 5).



Figura 3 - Ambiente de dunas semi-vegetado, principalmente vegetação de restinga.*



Figura 4 - Praia de Crispim com extensa faixa de areia (estirância) devido ao regime de macromaré.*

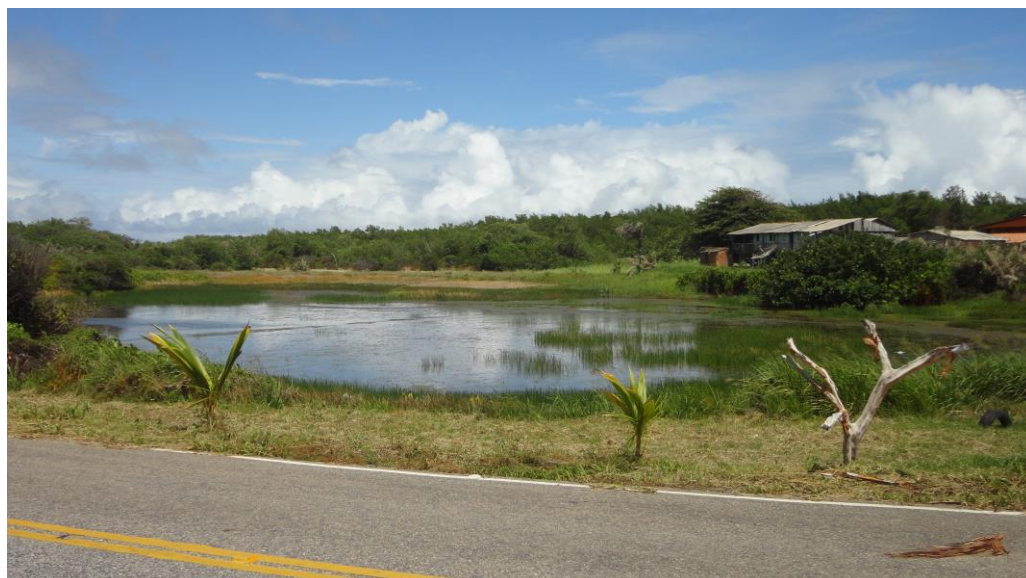


Figura 5 - Lago próximo à praia de Crispim.*

- Planície estuarina: o maior dos ambientes morfológicos, o qual atinge a região superior do rio Marapanim, sendo este composto pelo canal estuarino (possui formato em funil, recebendo processos oceânicos e fluviais, havendo 70 km de comprimento e 8 km de largura); canais secundários (são responsáveis por auxiliar o ambiente de mangue, possuem cerca de 3 m de profundidade, drenando água, fornecendo sedimento e oxigenação) (Figura 6) e planícies de inundação (estão sob influência da maré e são limitados pela planície costeira, planície aluvial e pelo planalto costeiro).



Figura 6 - Canal de maré durante a maré baixa, apresentando vegetação de mangue.*

- Planície aluvial: é a região que sofre periódicas inundações de água doce do rio Marapanim. Nessa província estão inseridas as unidades morfológicas denominadas de canal meandroso (morfologia sinuosa), canal de depósitos (depositam em parte areia média a grossa ou sedimentos com granulometria mais fina) e depósitos excessivos (depósitos de sedimento formado pelo excesso de água proveniente da chuva, o qual há transbordamento dos canais havendo a deposição de sedimentos neste ambiente).

4.3 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

A região litorânea é datada da época do Holoceno sendo composta por vales fluviais parcialmente submersos. Latossolo amarelo, com textura média, solos concrecionários laterísticos indiscriminados, solos aluviais e solos indiscriminados de mangue são as classificações de solo encontrados no município de Marapanim (FAPESPA 2016).

A principal formação geológica da região é a Formação Barreiras (Paleogeno) possuindo fontes de areias, siltes e argilo-minerais (principalmente caulinita e ilita), quartzo e oxi-hidroxidos de ferro para os manguezais (Berrêdo *et al.* 2008). A Formação Pirabas (Mioceno Inferior) informa depósitos de calcário com ampla distribuição na área, porém recoberta pelas unidades mais novas. Estes depósitos só são observados em áreas erosionais que possuem dimensões e espessuras variadas (CPRM 2017).

*Fotografia retirada em: 29/01/2013

Os sedimentos siltico-argilosos, ricos em matéria orgânica (C entre 1 a 4%), estão presentes no ambiente de mangue e foram depositados sobre barras arenosas com suave morfologia e aspectos sedimentológicos; principalmente a granulometria que aparentemente condiciona uma colonização da vegetação, a evolução da rede de drenagem e desenvolvimento dos sedimentos, tornando-os mais consistentes (Berredo *et al.* 2008).

4.4 ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS

Nesse segmento costeiro, as águas são extremamente misturadas, influenciadas por macromarés semi-diurnas (variação >5m) (Berredo *et al.* 2008). A influência de duas baixamar e duas preamares em um ciclo de maré apresenta grandes amplitudes nos meses de março e setembro (Borba 2011). 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).

O litoral de Marapanim é influenciado principalmente por ondas geradas pelos 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 Algodão, e alcançam 45 cm/s tanto no período chuvoso quanto no seco (Figura 7).

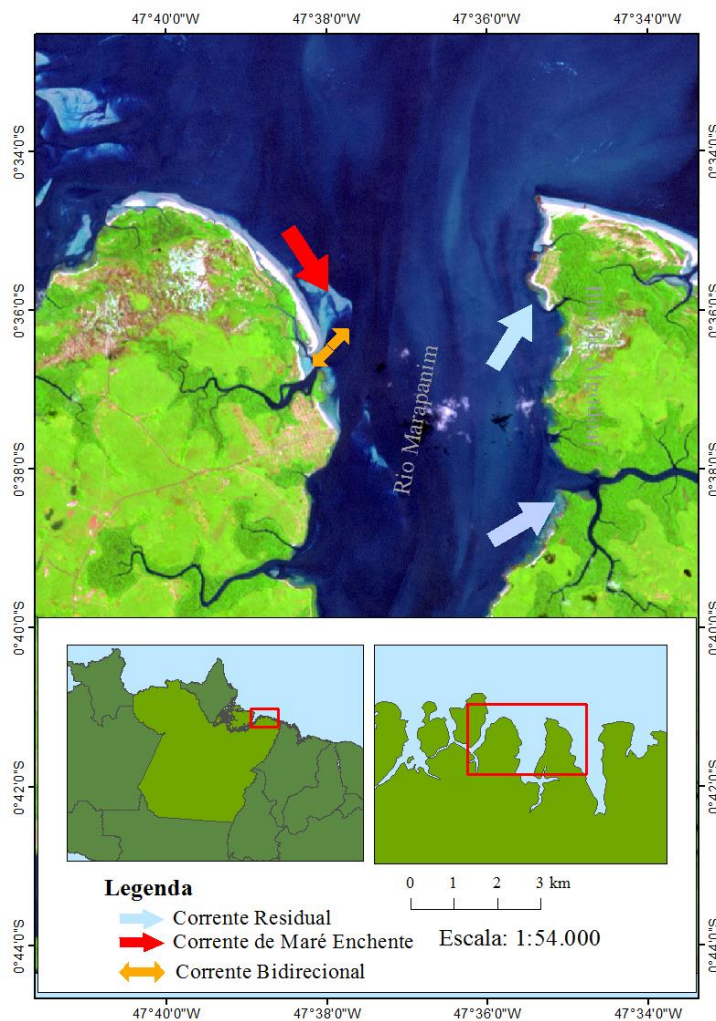


Figura 7 - Mapa conceitual da provável circulação estuarina na foz da baía de Marapanim. Corrente Residual em azul.
Fonte: (Borba 2011)

4.5 ASPECTOS CLIMÁTICOS/METEOROLÓGICOS

A região é dominada por um período chuvoso e um período menos chuvoso ou seco. No período chuvoso (janeiro a abril) e no período de estiagem/seco (julho a dezembro) as precipitações pluviométricas ficam 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). Abaixo é possível observar a precipitação referente ao município de Curuçá, próximo à Marapanim (Figura 8).

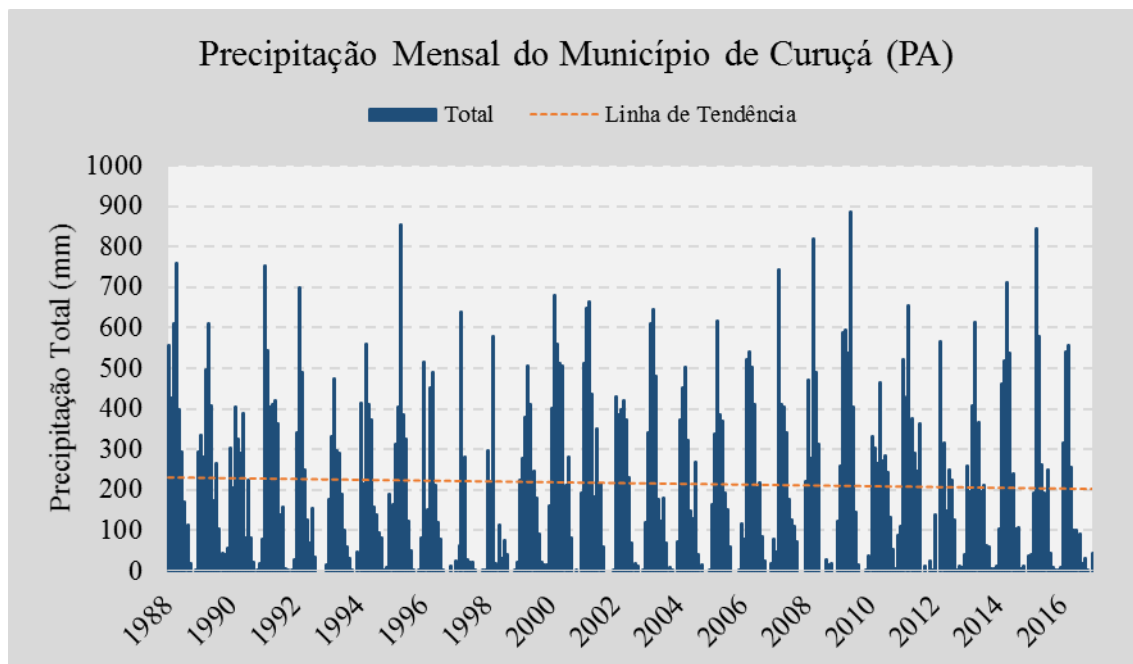


Figura 8 - Precipitação do município de Curuçá referente a 28 anos, apresentando sua linha de tendência.
Fonte: (ANA 2018).

Os ventos exercem papel fundamental na formação de ondas e, consequentemente, no transporte e retrabalhamento dos sedimentos litorâneos (Morais 2017). A sua importância se dá quando os ventos alísios de NE; responsáveis por transportar sedimentos o ano todo, principalmente durante o período de dezembro e março; se juntam com os ventos alísios de SE, contribuindo para o controle climático da região, minimizando efeitos provenientes da radiação solar (Carvalho 1997).

4.5.1 *El Niño e La Niña*

O evento do *El Niño* afeta diretamente o clima da região amazônica, provocando períodos de seca extrema. Isso ocorre porque a célula de Walker, a qual inibe a movimentos convectivos que favorece a formação de nuvens, fica inserida na 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 os rios, os quais poderiam ser capazes de reabastecer a região litorânea. Do contrário, o fenômeno de *La Niña*, atrelado a zona de convergência intertropical, provoca maiores intensidades de chuvas, podendo resultar em um fenômeno inverso, ocasionando um maior aporte sedimentar aos rios (Basso *et al.* 2011) (Figura 9).

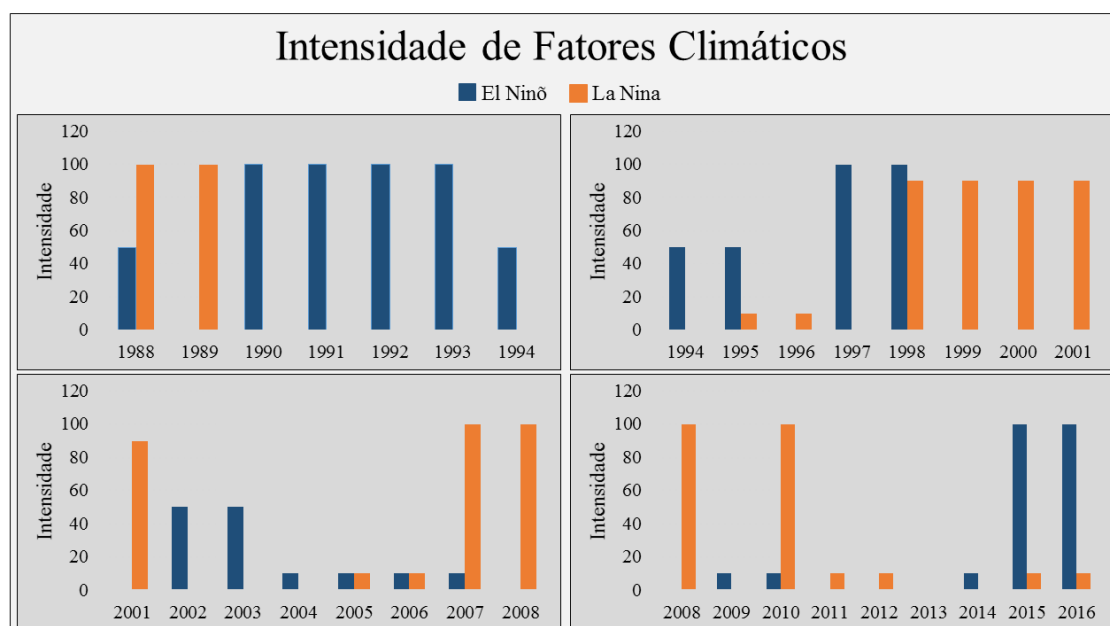


Figura 9 - Representação temporal do período de *El Niño* e *La Niña* desde 1988 até 2016. Valores adimensionais de 100: intensidade muito forte; 90: intensidade forte; 50: intensidade moderada e 10: intensidade fraca.

4.5.2 Zona de convergência intertropical (ZCIT)

Referente ao clima, é caracterizado como tropical úmido, o qual é influenciado pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). 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 semi-permanentes do Atlântico Norte e Sul, o que causa movimentos ascendentes, intensificando a zona de baixa pressão favorecendo a alta precipitação na região (Junior *et al.* 2009), resultando em um processo semelhante ao *La Niña*.

4.6 ASPECTOS ANTROPOGÊNICOS

O crescente aumento acelerado das cidades também ocorre em municípios costeiros paraenses, uma vez que Marapanim está em processo de expansão por meio de residências e empreendimentos (Figura 10), exemplo da praia de Crispim, na qual a expansão urbana recente está alterando solos com presença de restingas, lagos e dunas (Marapanim 2015) e favorecendo áreas críticas de erosão costeira (Figura 11).

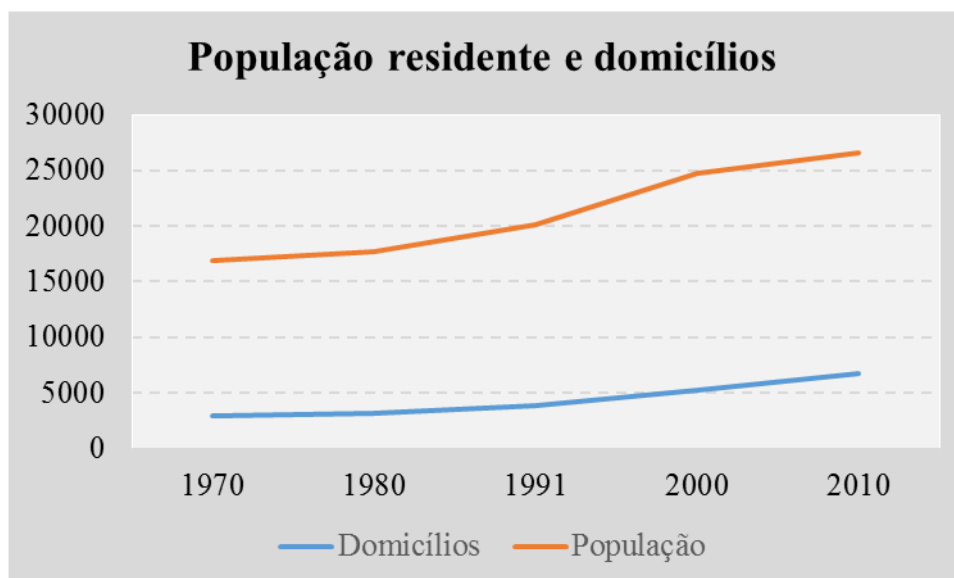


Figura 10 - Evolução da população Marapaniense durante 1970 a 2010.



Figura 11 - Erosão na praia de Crispim com presença de veículos na zona pós praia alterada para obra de asfaltamento.*

*Fotografia retirada em: 29/01/2013

O despejo de lixo se intensifica durante o período de veraneio, pois o número de resíduos produzidos aumenta, podendo ser descartados na própria praia.

Para isso o município aumenta o processo de limpeza, contratando pessoas para o serviço temporário (Marapanim 2015).

O saneamento básico, em relação às águas residuais, ocorre por meio do tratamento de fossas sépticas. Quando estas fossas atingem o seu limite, é necessário retirar os efluentes por uma empresa especializada (Soares *et al.* 2015). Outro problema 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).

5 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia seguiu os passos do fluxograma abaixo (Figura 12).

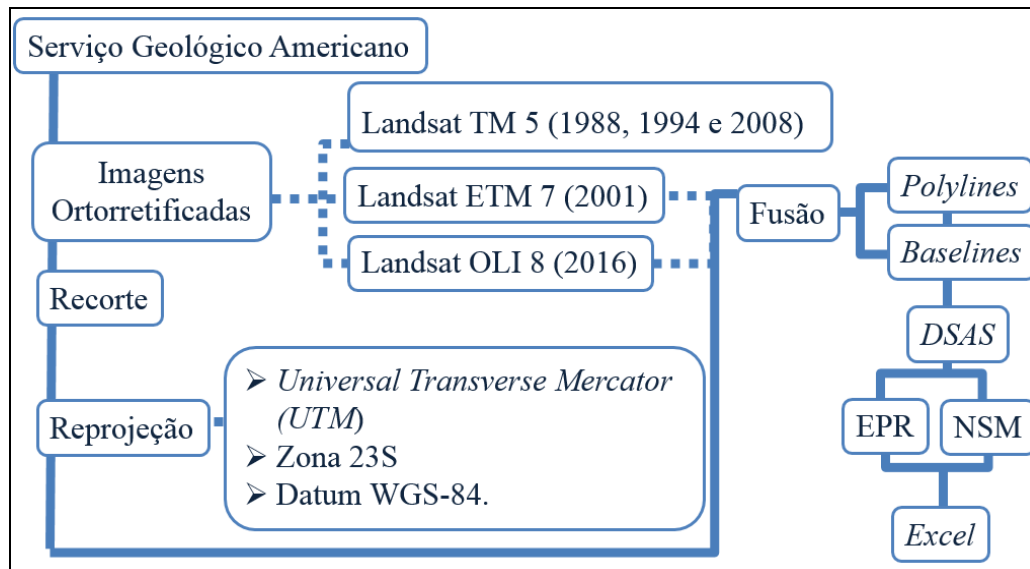


Figura 12 - Fluxograma da metodologia adotada, indicando de maneira simples as ferramentas utilizadas.

5.1 COLETA DE DADOS

As imagens referentes ao satélite Landsat TM 5 (1988, 1994 e 2008), Landsat ETM 7 (2001) (Figura 12) e Landsat OLI 8 (2016) foram adquiridas gratuitamente no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). As imagens utilizadas neste trabalho foram obtidas previamente ortoretificadas**, no formato geotiff, projeção UTM, zona 23N e datum WGS-84 (Figura 13).

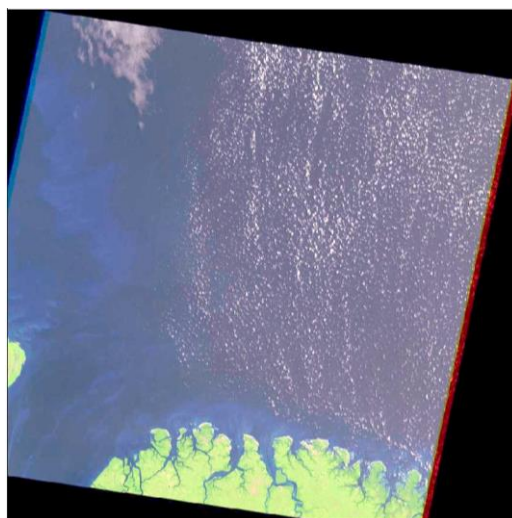


Figura 13 - Imagem bruta disponibilizado pelo Serviço Geológico Americano. Ano da imagem: 2001.

**Ortorretificada: correção de uma imagem que possui distorções internas e externas, tornando as coordenadas mais precisas

5.2 TRATAMENTO DOS DADOS

Para a análise das imagens, primeiramente foi recortada uma das imagens com o intuito de observar apenas a região que abrange as praias de Santa Maria, Marudá e Crispim. Posteriormente, foi aplicado o recorte para as imagens restante de outros anos, com as mesmas coordenadas para haver padronização durante a análise. Houve a reprojeção de cada imagem para o sistema UTM (*Universal Transverse Mercator*), zona 23S, utilizando o datum WGS-84 (Figura 14).

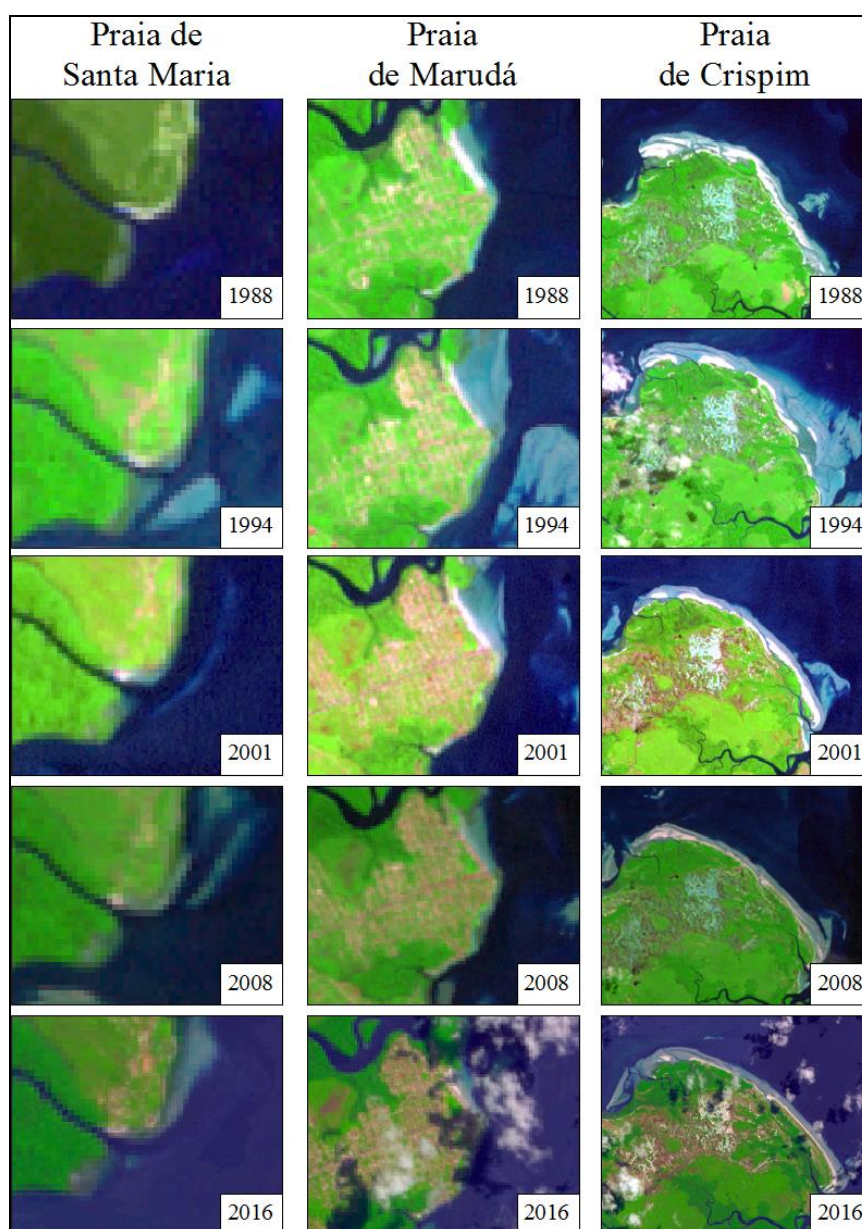


Figura 14 - Imagens da modificação morfológica das praias em estudo em seus respectivos anos.

Referente às imagens do Landsat 7 (2001) e 8 (2016) foi realizada a fusão de bandas destas 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 (Figura 15).

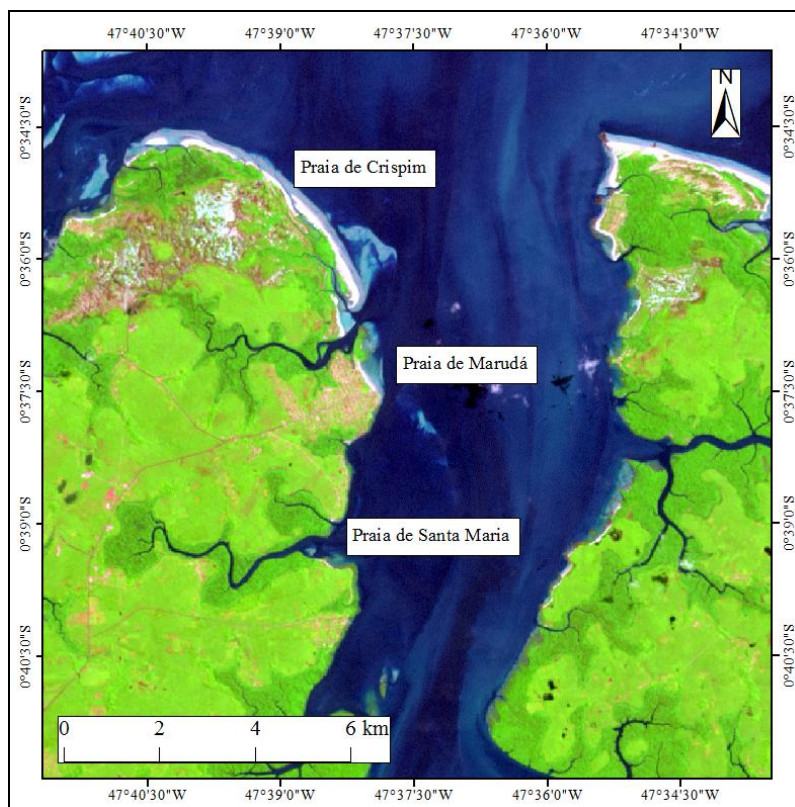


Figura 15 - Imagem do satélite *Landsat* recortada, reprojetada (UTM), com fusão e combinação de suas bandas (7R4G3B). Fonte: Serviço Geológico Americano, 2001.

Para a representação da linha de costa foram criados *shapefiles*, representados em *Polylines*, além de uma *polyline* específica para a linha de base (*Baseline*). Cada linha de costa foi digitalizada no *ArcGis* para cada imagem de ano correspondente utilizando a linha de vegetação como referência, enquanto que a *Baseline*, digitalizada na região oceânica, foi o referencial fixo para analisar a variação da linha de costa (Ranieri *et al.* 2015). Para a praia de Marudá houve a setorização em A e B e para a praia de Crispim em A, B, C e D. Esta setorização foi feita para separar a região da praia de Marudá que é mais frequentada durante o veraneio (Setor A), e referente a praia de Crispim foi para haver uma melhor visualização das mudanças morfológicas em cada setor, devido a sua grande extensão na região.

5.3 ANÁLISE DOS DADOS

No *software ArcGIS* foi utilizada a extensão *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) para a análise de dados. Esta permite a elaboração de *transectos* (perfis) transversais às linhas de costa e realiza cálculos estatísticos da linha de costa, utilizando como base a distância em metros entre cada *polyline* (linha de costa) produzida através do tempo. Cada variação evidenciada mostra a taxa de mudança para um intervalo de tempo, a qual foi definida como amplitude espacial. Quando ocorre a finalização do processamento, a extensão realiza os cálculos e disponibiliza-os em forma de tabelas no *ArcMap* (do *software ArcGIS*). As estatísticas de variação possuem diversas categorias, sendo utilizados neste trabalho os parâmetros estatísticos: *Net Shoreline Movement* (NSM) e *End Point Rate* (EPR).

Os dados calculados pelo DSAS foram exportados ao *software Microsoft Office Excel* para serem analisados. Primeiramente foi gerado a variação média a partir do conjunto dos *transectos* obtidos em cada intervalo de anos. Os valores médios do NSM (maior distância entre as linhas de costa mais antiga e mais recente) e EPR (taxa em m/ano de acreção e erosão), e posteriormente a linha de tendência foram plotados para observar a evolução costeira; sendo processo de erosão representado por valores negativos, e de acreção por valores positivos. Houve a comparação dos dados para averiguar quais praias em estudo estão em processo mais intenso de erosão e acreção costeira.

6 RESULTADOS

6.1 PRAIA DE SANTA MARIA

As informações indicam que durante os anos decorridos, de 1988 a 2016 (Figura 16), o período de maior acreção ocorreu entre 1988 a 1994 (Figura 17 - A) com um valor médio de 0,92 m/ano, e sua variação espacial média foi de 5,44 metros. Em relação a erosão, o período com maior influência erosional foi de 1994 a 2001 (Figura 17 - B) com -0,71 m/ano, e uma amplitude média espacial de -5,03 metros. O período de 2001 a 2008 (Figura 17 - C) apresentou média total de -0,57 m/ano e amplitude espacial média de -3,94 metros. Posteriormente, entre 2008 a 2016 (Figura 17 - D), obteve-se o segundo maior registro de acreção costeira com valor médio de 0,63 m/ano e variação espacial média de 5,1 metros. A partir da observação da variação temporal geral de 28 anos, desde 1988 até 2016, foi possível visualizar uma mudança da amplitude da linha de costa (Figura 18 - A) de 76,08 a -34,35 metros, e uma evolução costeira anual (Figura 18 - B) de 3,89 a -1,23 m/ano. A partir disso, infere-se que mesmo em locais onde houve acentuado processo de erosão, houve outras regiões da praia que passou por processo de acreção. A Figura 19 indica os valores obtidos a partir das médias dos transectos de cada período.

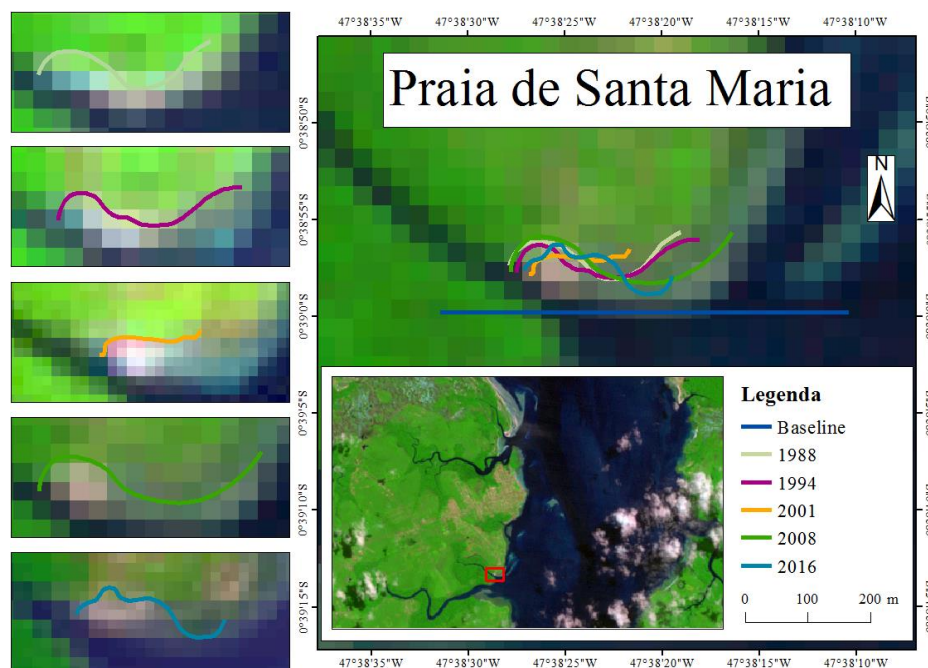


Figura 16 - Linhas de costa dos anos estudados para a praia de Santa Maria. Imagem baseada no ano de 2008.

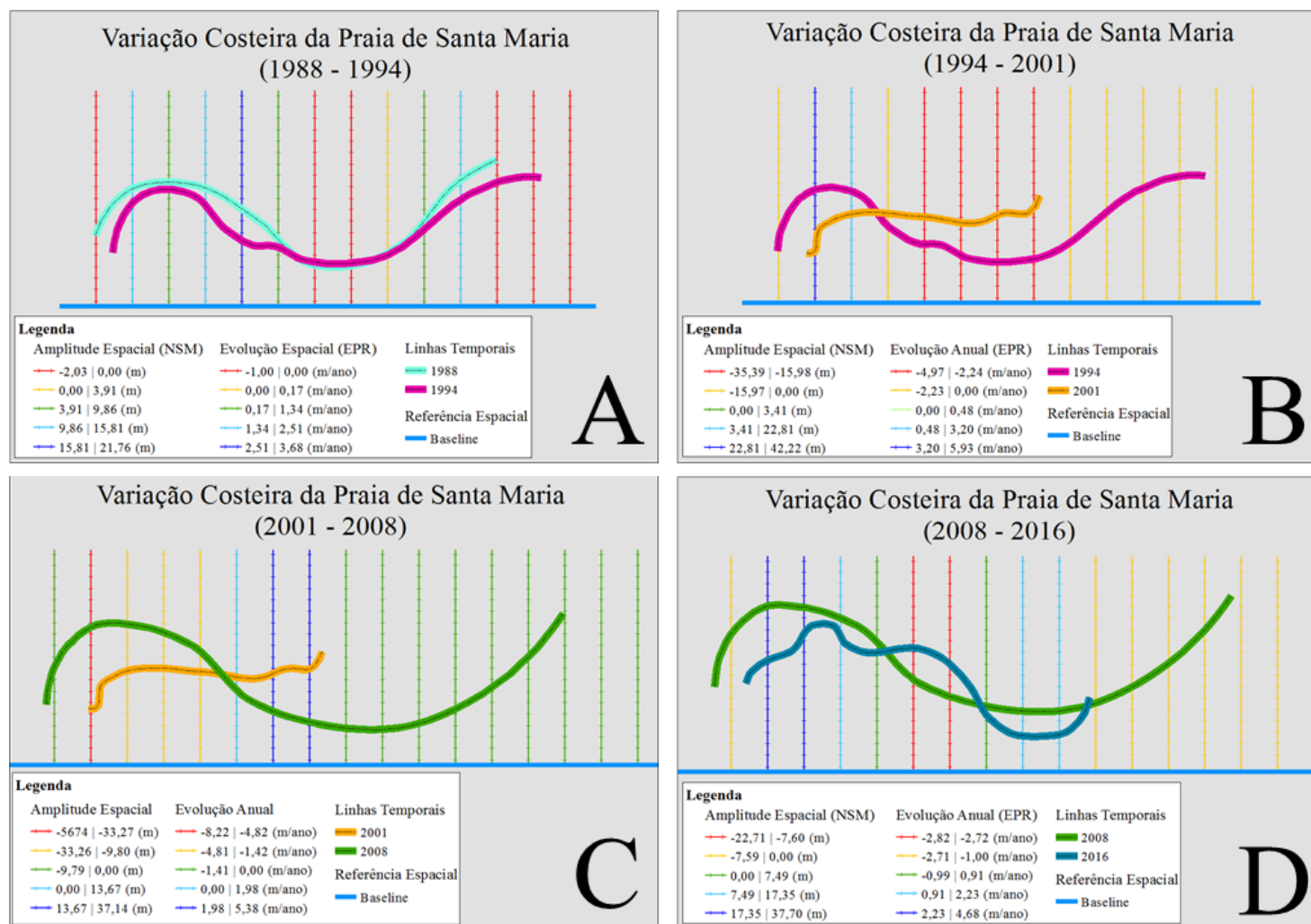


Figura 17 - Valores de amplitude espacial e taxa de variação anual da linha de costa obtido para a praia de Santa Maria entre o período de 1988 a 1994 (A), 1994 a 2001 (B), 2001 a 2008 (C) e 2008 a 2016 (D).

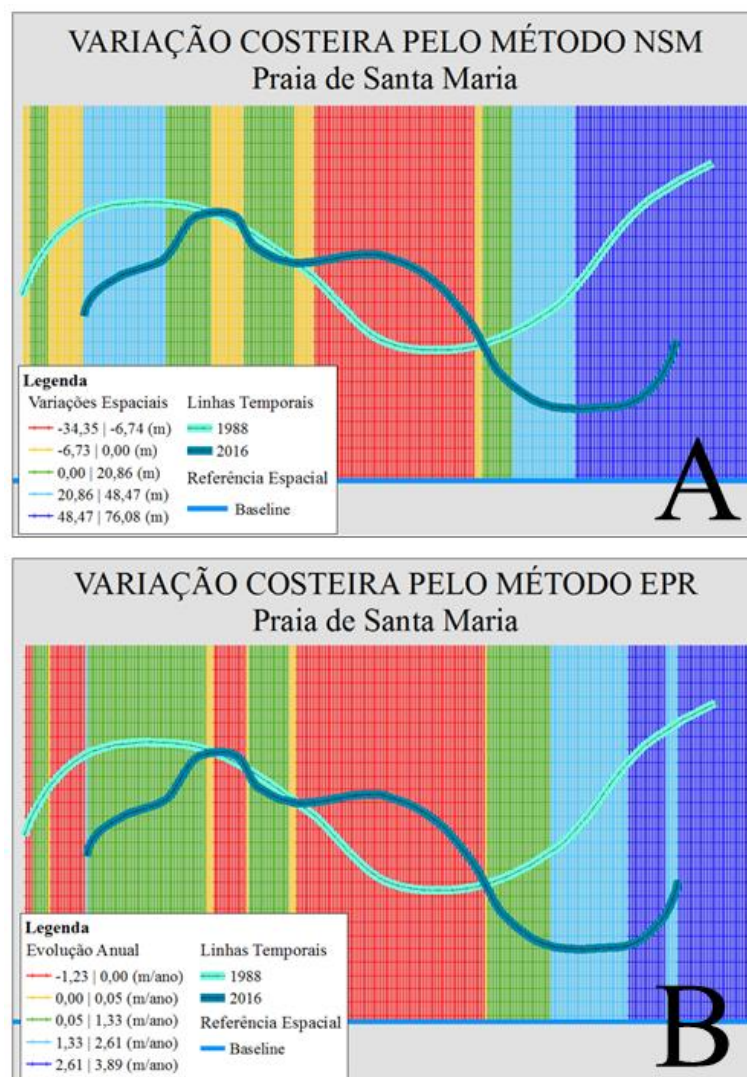


Figura 18 - Praia de Santa Maria representando a variação espacial (A) e taxa anual (B) de 1988 a 2016.

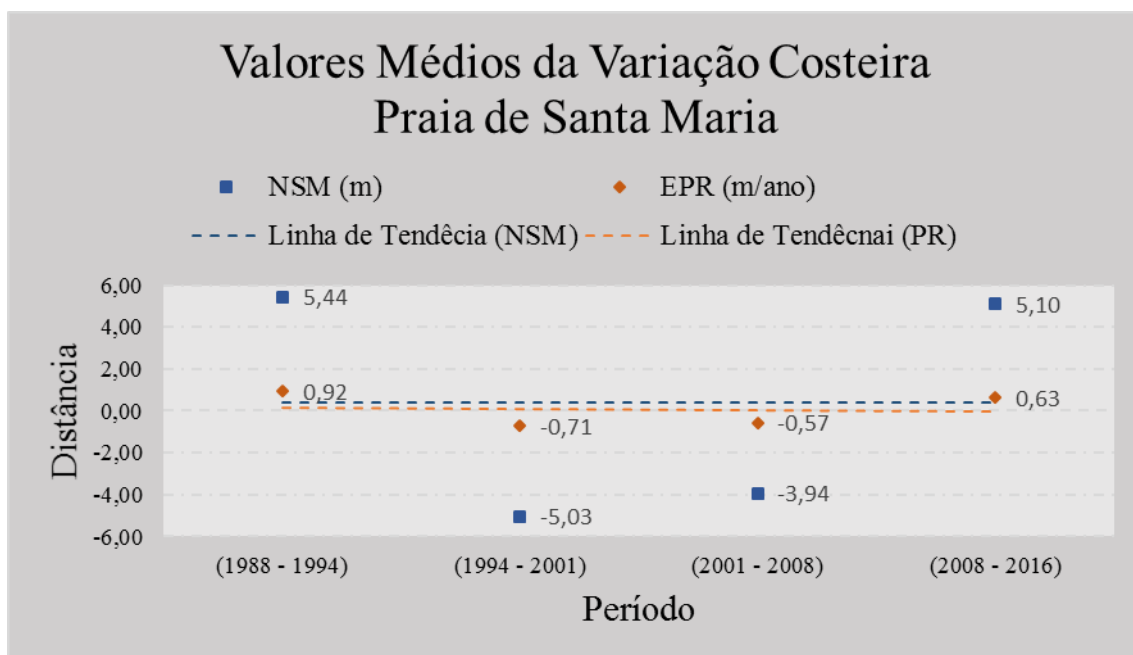


Figura 19 - Valores médios da amplitude espacial (distância) e taxa de variação anual da linha de costa para a praia de Santa Maria. Valores obtidos a partir de cada cálculo por intervalo de tempo, realizado pelos transectos que cruzam todas as linhas de costas estudadas.

6.2 PRAIA DE MARUDÁ

Nos anos decorridos, de 1988 a 2016 (Figura 20), o período de 1988 a 1994 (Figura 21- A) apresentou uma taxa de variação média de 23,8 m/ano e 20,1 metros de amplitude espacial média. O período de 1994 a 2001 (Figura 21 - B) apresentou a menor taxa média de variação, sendo de -0,43 m/ano e -3,1 metros de amplitude espacial. O segundo menor registro ocorreu entre os anos de 2001 a 2008 (Figura 21 - C) com evolução média de 0,19 m/ano e 1,3 metros de expansão. Os maiores registros foram observados no período de 2008 a 2016 (Figura 21 - D) com evolução média anual de 2,96 m/ano e 3,4 metros. As informações obtidas para a praia de Marudá no período de 1988 a 2016 foi que a linha de praia apresentou uma amplitude média (Figura 22 - A) que variou entre 248,37 a -45,12 metros, e apresentou uma evolução média anual espacial de 8,87 a -1,61 m/ano (Figura 22 - B). A Figura 23 indica os valores obtidos a partir das médias dos transectos de cada período.

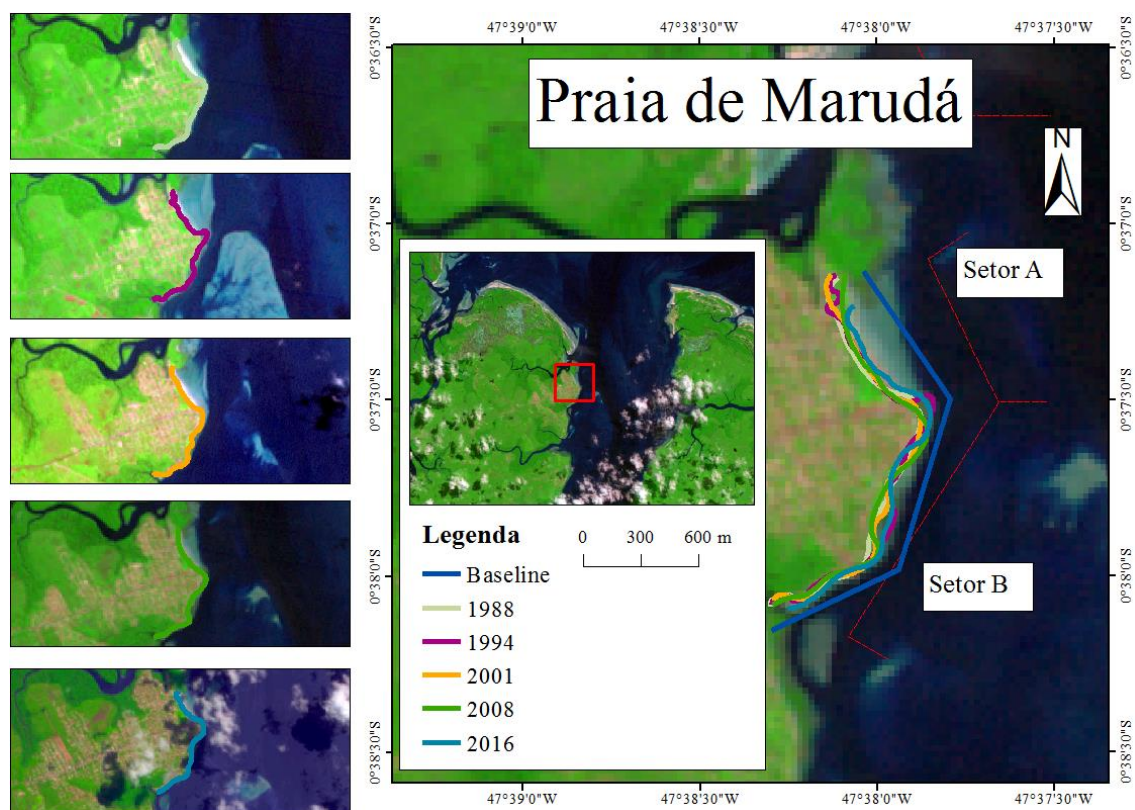


Figura 20 - Linhas de costa dos anos estudados para a praia de Marudá, separada pelo setor A e B. Imagem baseada no ano de 2001.

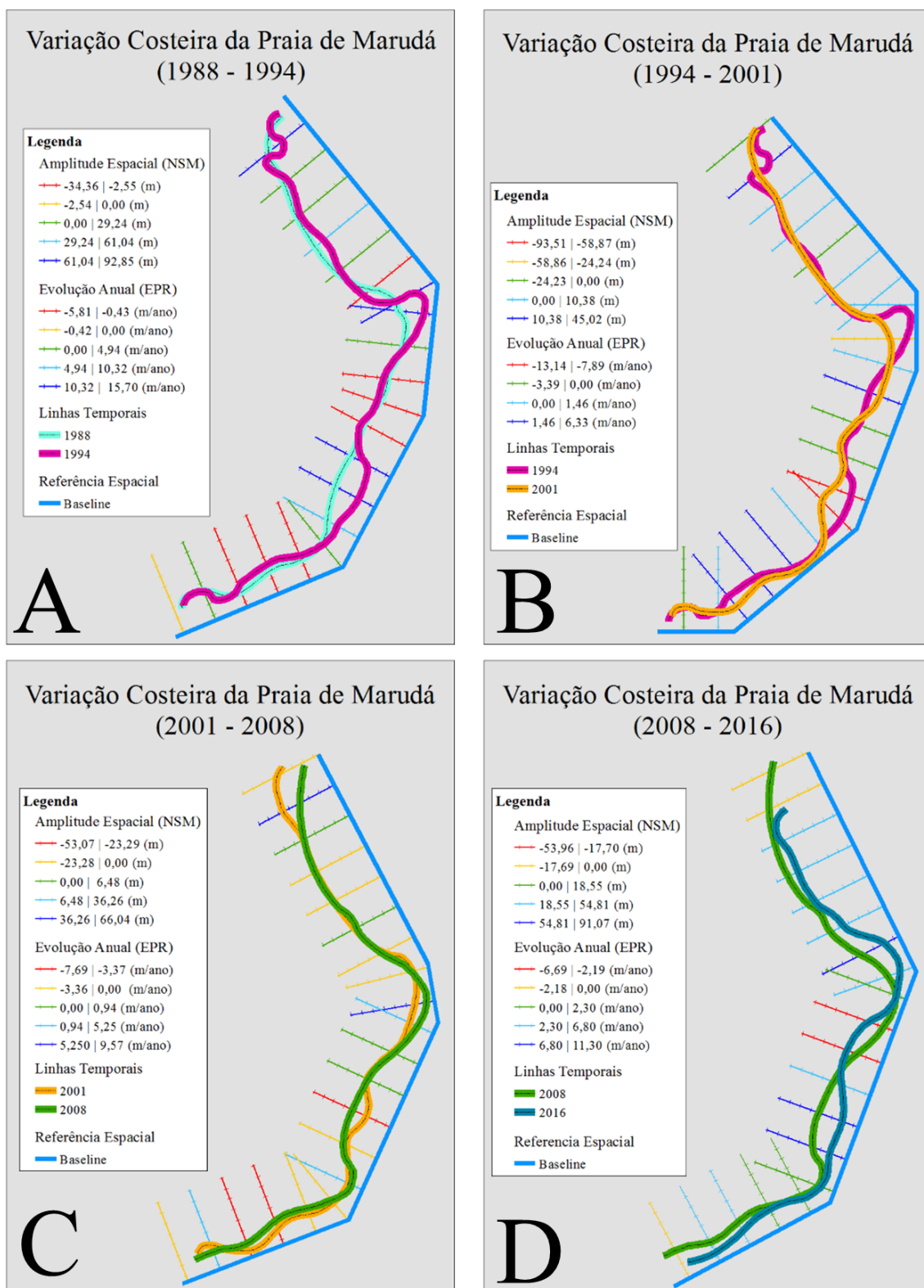


Figura 21 - Valores de amplitude espacial e taxa de variação anual da linha de costa obtido para a praia de Marudá entre o período de 1988 a 1994 (A), 1994 a 2001 (B), 2001 a 2008 (C) e 2008 a 2016 (D).

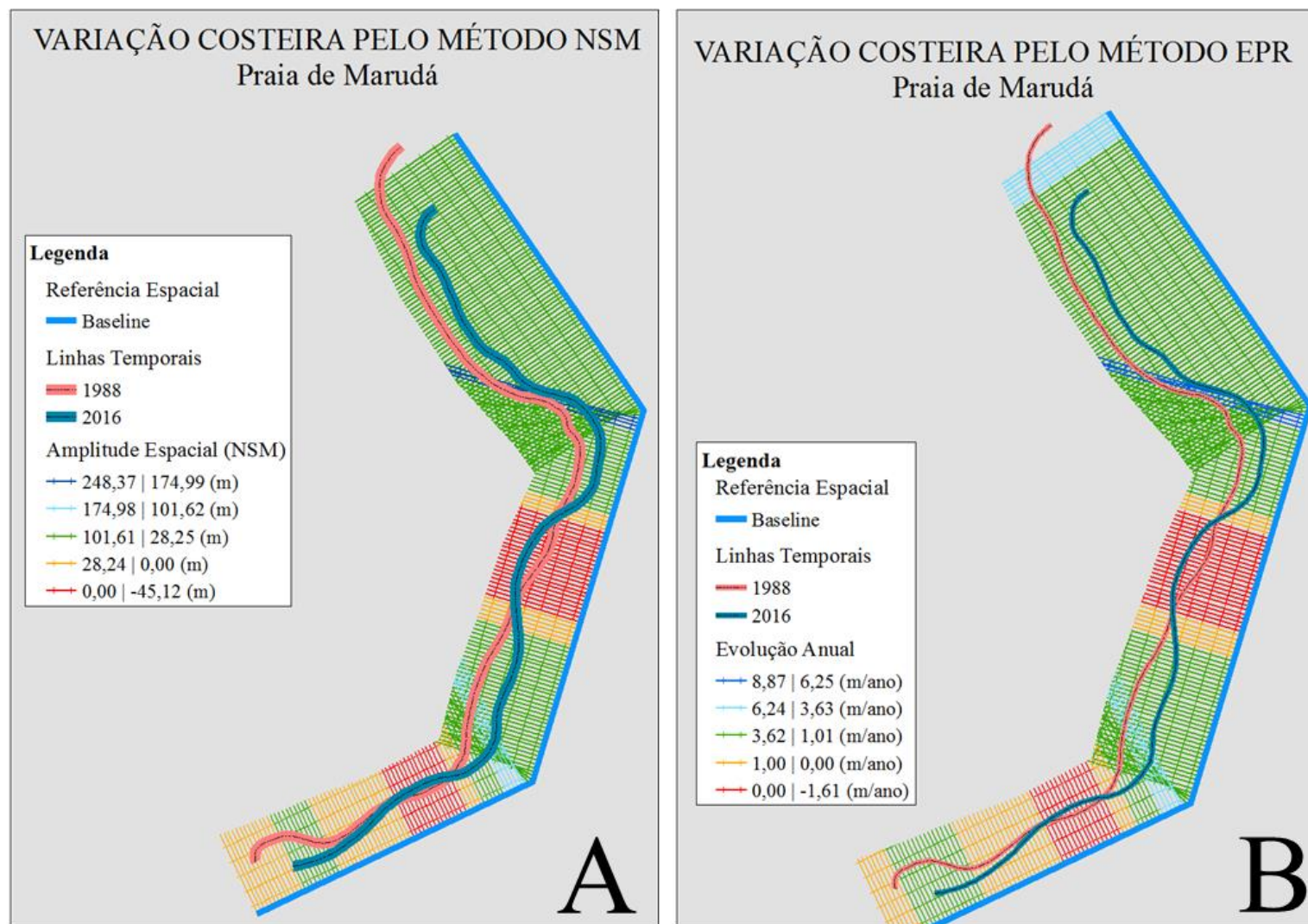


Figura 22 - Praia de Marudá representando a variação espacial (A) e taxa anual (B) de 1988 a 2016.

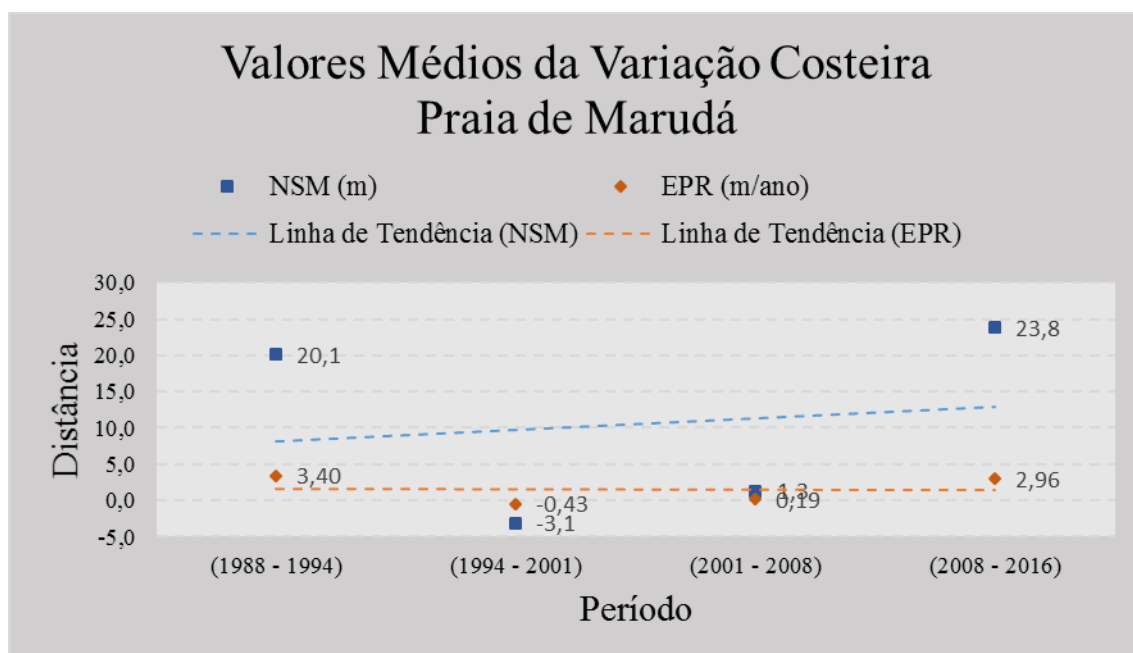


Figura 23 - Valores médios de cada período de estudo, indicando a amplitude espacial (distância) e a taxa anual de variação da linha de costa na praia de Marudá.

6.3 PRAIA DE CRISPIM

As linhas de costa obtidas para o período de 1988 a 2016 na praia de Crispim estão indicadas na figura abaixo (Figura 24). A praia de Crispim apresentou valores médio de amplitude espacial de 142,83 metros e taxa de evolução de 24,16 m/ano para o período de 1988 a 1994 (Figura 25 - A). Entre os anos de 1994 a 2001, esta praia apresentou valores médios de 89,55 metros e 12,58 metros de evolução da taxa anual (Figura 25 - B). Houve uma amplitude média de 37,91 metros e 5,49 de taxa de evolução média entre os anos de 2001 a 2008 (Figura 25 - C). Em relação ao período de 2008 a 2016 houve uma amplitude espacial de 32,67 metros e uma evolução costeira de 4,05 m/ano (Figura 25 - D). As informações obtidas indicam que os maiores valores médios de amplitude espacial e taxa de variação ocorreram durante o primeiro intervalo de tempo, havendo uma diminuição com o passar dos anos, indicando que o último período estudado apresentou o menor registro de variações na linha de costa. As informações que foram visualizadas para a praia de Crispim, entre 1988 a 2016, indicaram que a praia possuiu uma amplitude de 944,44 a -274,89 metros (Figura 26 - A) com uma evolução espacial de 40,91 a -9,82 m/ano (Figura 26 - B). A Figura 27 indica os valores obtidos a partir das médias dos transectos de cada período.

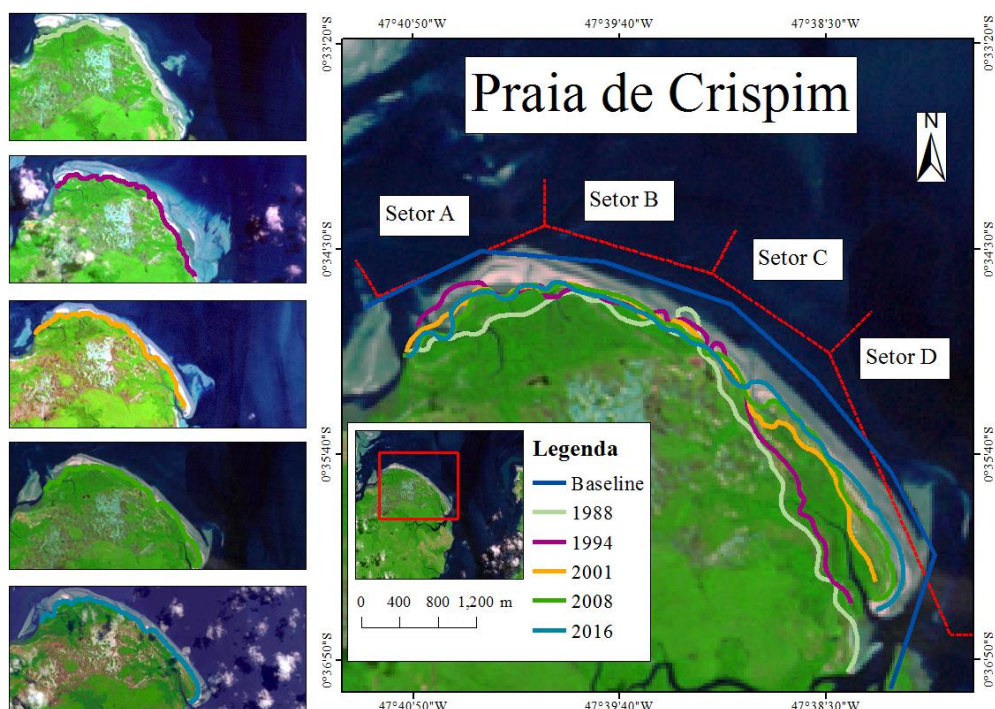


Figura 24 - Linhas de costa dos anos estudados para a praia de Crispim, com a presença de seções que delimitam setores da praia. Imagem baseada no ano de 2008.

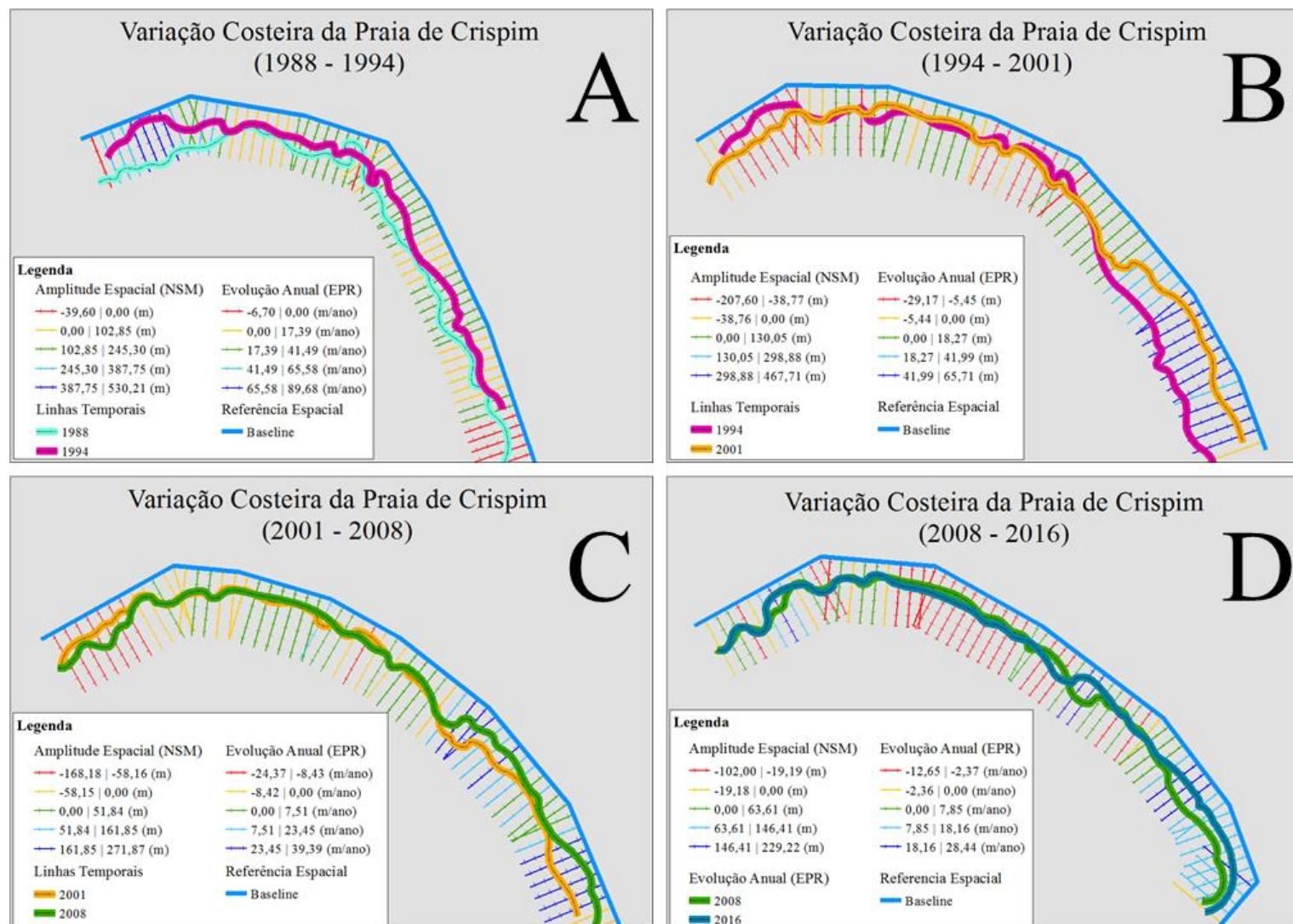


Figura 25 - Valores de amplitude espacial e taxa de variação anual da linha de costa obtido para a praia de Crispim entre o período de 1988 a 1994 (A), 1994 a 2001 (B), 2001 a 2008 (C) e 2008 a 2016 (D).

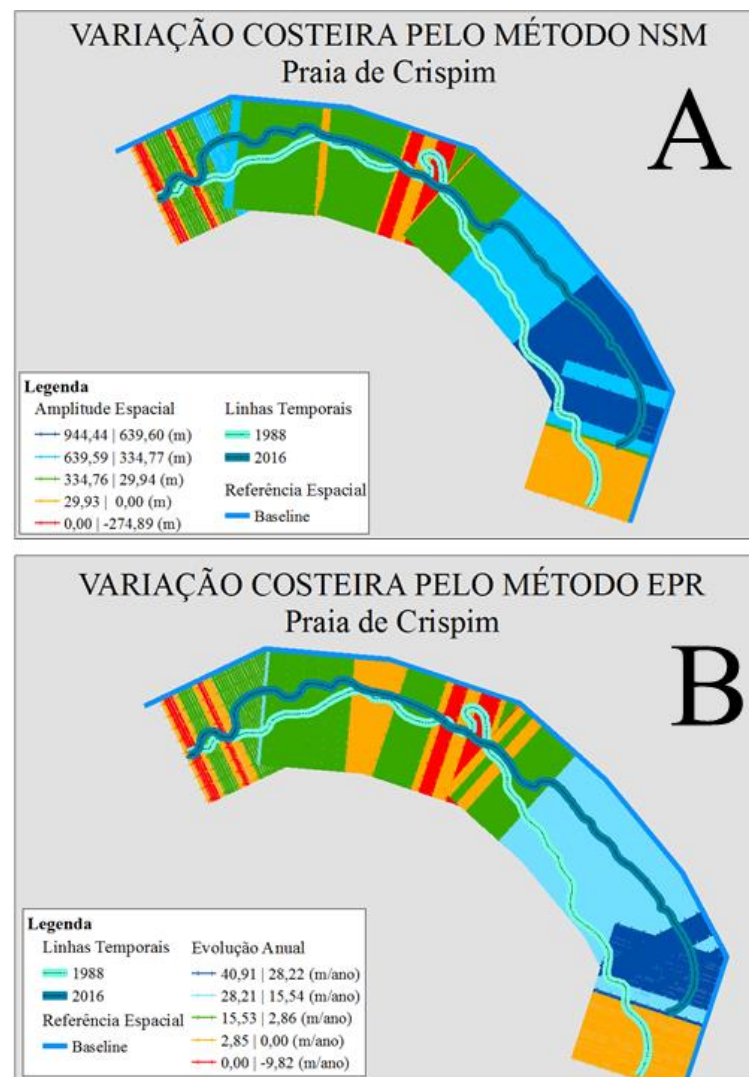


Figura 26 - Praia de Crispim representando a variação espacial (A) e taxa anual (B) de 1988 a 2016.

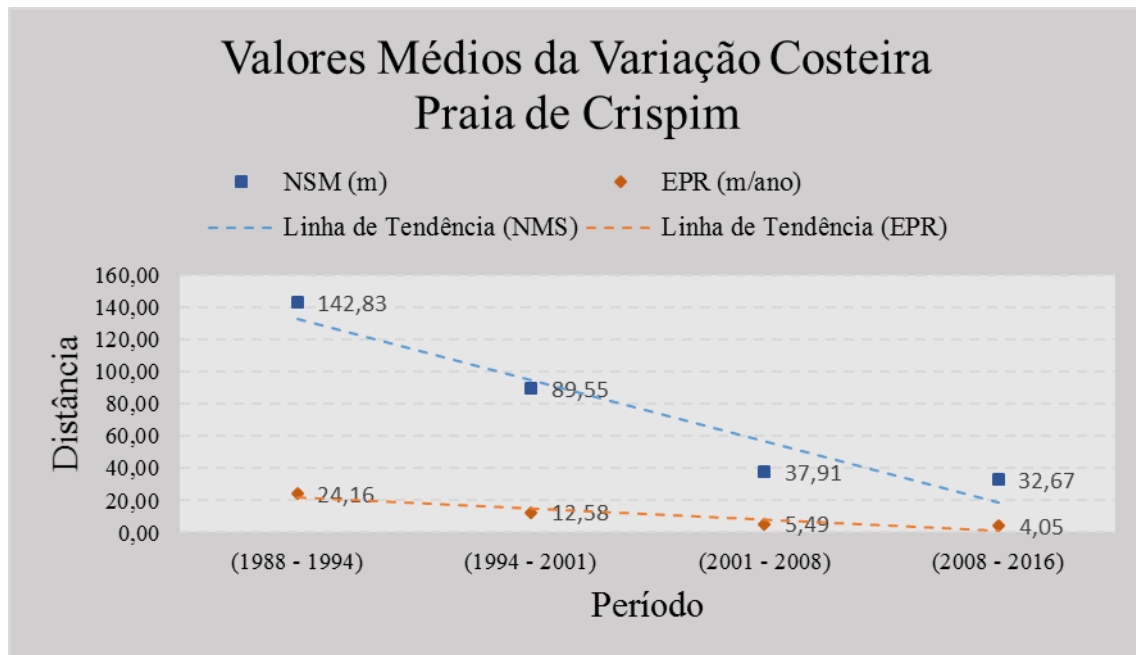


Figura 27 - Valores médios de cada período de estudo, indicando a amplitude espacial (distância) e a taxa anual de variação da linha de costa na praia de Crispim

7 DISCUSSÃO

A Figura 19 indicou que a praia de Santa Maria apresenta uma característica de acreção costeira, pois sua linha de tendência está em uma amplitude espacial positiva, enquanto que os valores de variação anual da praia estão positivamente estáveis, indicando o aumento da linha de costa.

Durante o período entre 1994 a 2016 a praia, mesmo com alguns valores negativos, conseguiu apresentar um processo de resiliência ativo, suprimindo e ultrapassando no último período de observação (2008 a 2016) a carga sedimentar que foi perdida nos anos de 1994 a 2008.

De forma geral, comparando os resultados obtidos com as praias vizinhas, esta região apresentou uma característica de estabilidade morfológica diante dos processos oceanográficos, sendo que a causa disto é devido a localização mais abrigada, em um canal de maré próximo ao rio Marapanim, que favorece o processo de equilíbrio praiar, região com pouca incidência de ondas, mas com uma influência maior de correntes de marés enchente e vazante (Figura 28).



Figura 28 - Praia de Santa Maria, próximo a um canal de maré.*

A praia de Marudá apresenta uma característica de equilíbrio do balanço sedimentar e de continua progradação (Figura 23), mesmo com alguns valores negativos de amplitude espacial e taxa de variação da linha de costa. Desta forma, é possível inferir que especificamente a região onde se encontra a praia de Marudá está em processo de progradação costeira, pelo que é observado na Figura 21 (A, B e D), sendo

as taxas de acreção costeira superiores as regiões que estão caracterizadas como erosivas. Esse processo também pode ter sido favorecido pelo fenômeno da zona de convergência intertropical influente na região. A presença de vegetação na praia de Marudá na seção A, favorece a retenção de sedimentos desta praia, diminuindo a dinâmica hídrica e aumentando a linha de costa e a estabilidade do local (Figura 29).



Figura 29 - Praia de Marudá durante baixa mar, com presença de gramíneas que favorecem deposição sedimentar.*

Somando a isso, tanto a praia de Santa Maria, quanto a de Marudá apresentaram uma queda na taxa de evolução praial e amplitude espacial no período de 1994 a 2008. A possível explicação para esse processo está relacionada com uma sequência de eventos de *El Niño*, que por sua vez diminui a intensidade de chuvas na região amazônica (Serrão *et al.* 2007). A diminuição da intensidade das chuvas resulta em uma menor carga sedimentar que poderá ser distribuída pelo rio Marapanim. Contribuindo a isso, a posição da ZCIT durante alguns períodos se encontra mais próxima a região da América Central o que favorece a menor ação dos ventos alísios (Gouveia 2017). A redução dos ventos causa diminuição de ondas e correntes que são responsáveis por retrabalhar os sedimentos que poderiam chegar a praia, proporcionando uma menor acreção costeira e maiores taxas de erosão.

A praia de Crispim apresenta uma característica diferente das praias anteriores. Como foi visto, tanto a praia de Marudá como a de Santa Maria possuíam suas linhas de tendência diretamente proporcionais a variação da amplitude espacial da praia (Figuras 26 e 27). Ou seja, se a linha está em sentido positivo, está havendo um processo de acreção costeira; caso seja negativo, apresenta um estado de erosão.

Entretanto, a praia de Crispim está caracterizada como uma linha de costa progradante devido aos valores positivamente apresentados, principalmente na seção D (Figura 26), enquanto que a sua linha de tendência está declinando ao sentido negativo (Figura 27). Isso demonstra que em cada período de tempo observado houve uma diminuição da taxa de acreção costeira.

O possível motivo para haver esta progradação costeira, ocorre devido a dinâmica de correntes residuais que são mais intensas na margem leste da Baía de Maparanim, onde se encontra a Ilha de Algodão. Esse processo desencadeia uma região de “sombra” que é menos afetada pela corrente vazante do rio (margem oeste da Baía). No momento da enchente, provinda da maré, há uma maior influência desta corrente nesta margem, onde se localiza a praia de Crispim, que em adição a uma corrente contrária provinda de um canal de maré (setor D), favorece o processo de deposição (Valle-Levinson 2010). Esse fator afeta também a praia de Marudá, que é alimentada igualmente pela deposição sedimentar no setor A (divisa com a praia do Crispim), sendo este o motivo de haver progradação costeira nesta área.

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. Esta erosão é mais acentuada no período de 1994 a 2001, 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 barlamar da corrente longitudinal e, deposição a sotamar desta corrente.

Contudo, de um modo geral, a praia do Crispim está em um processo de progradação, porém a seção 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 próximo a base de dunas e o intenso tráfego de veículos, houve uma interferência antrópica que afetou a vegetação presente na região (Marapanim 2015). Caso esse cenário continue a ocorrer, a praia futuramente pode apresentar uma mudança de um cenário deposicional para um erosional.

8 CONCLUSÃO

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

A praia de Santa Maria está caracterizada como estável; a praia de Marudá apresentou características progradantes; e a praia de Crispim está em continuo processo de aumento da linha de costa, especialmente no setor C e D. Porém suas taxas de acreção costeira estão diminuindo ao longo do tempo.

Observa-se que parâmetros climáticos são potencialmente capazes de interferir nos processos de variação de linha de costa, e infere-se que o *El Niño* seja responsável por uma diminuição na carga sedimentar do Estuário de Marapanim, em contrapartida ao fenômeno de *La Niña* e ZCIT, os quais restabelecem de forma mais intensa o aporte sedimentar disponibilizados no ambiente, sendo necessário 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 à sul na praia de Crispim também pode implicar em setores costeiros mais erosivos e mais acrecionais.

A praia de Santa Maria, por outro lado 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.

Apesar de haver casas nas praias que podem apresentar risco de desabamento as praias estão com tendência positiva de progradação. Assim, todas as informações obtidas neste trabalho são importantes para continuação dessa pesquisa de forma mais aprofundada, visando um maior levantamento de dados oceanográficos e geológicos, pois esta região ainda está pobremente estudada em relação a essas áreas do

conhecimento, para assim visar possíveis previsões de evolução costeira. Tais informações seriam de caráter social importantíssimo para consulta prévia na instalação de possíveis projetos de contenção de erosão costeira.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Águas (ANA). 2018. *Dados de precipitação*. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?TocItem=1080&TipoReg=7&MostraCon=false&CriaArq=false&TipoArq=1&SerieHist=true>>. Acesso em 10 fev 2018.
- Basso L. A., Moreira L. G. R., Pizzato F. 2011. A influência da precipitação na concentração e carga de sólidos em cursos d'água urbanos: o caso do arroio Dilúvio. *Geosul*, **26** (52):145-163.
- Berredo J.F, Costa M. L., Progene M. P. S. 2008. 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*. **38** (3):473-482.
- Borba T. A. C. 2011. Morfodinâmica e hidrodinâmica de praias do litoral Nordeste Paraense, Brasil. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Geociências Universidade Federal do Pará, Belém (PA).
- Carvalho J.A.F. 1997. *Análise dos ventos e radiação solar para subsidiar projeto de sistema híbrido no Pará*. Disponível em: <<http://www.propesq.ufpe.br/conic97/ctg/RES-80059.html>>. Acessado em: 15 nov de 2017.
- Colwell R.N. 1997. *History and place of photographic interpretation, Manual of Photographic Interpretation*, p. 3-47.
- Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Rochas Carbonáticas de Marapanim – PA. 2017. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Recursos-Minerais/Recursos-Minerais-do-Brasil/Rochas-Carbonaticas-de-Marapanim---PA-258.html>>. Acessado em: 29 dez de 2017.
- Espinoza H. F., Abraham A. M. 2009. Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para o estudo dos recursos hídricos em regiões costeiras. In: 12º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Anais. p. 2487-2494.
- Fundação Amazônica de Amparo a Estudos e Pesquisa (FAPESPA). 2016. *Estatísticas Municipais Paraenses*: Marapanim. Belém, Diretoria de Estatística e de Tecnologia e Gestão da Informação. Disponível em: <<http://www.parasustentavel.pa.gov.br/wp-content/uploads/2017/04/Marapanim.pdf>>. Acessado em: 29 dez de 2017.

Gomes M. A. A. 2018. O que é e para que serve o geoprocessamento?. Centro Universitário de Assunção. Disponível em: <<http://www3.unifai.edu.br/pesquisa/publica%C3%A7%C3%B5es/artigos-cient%C3%ADficos/professores/sequenciais/o-que-%C3%A9-e-para-que-serve-o>>. Acesso em 10 fev 2018.

Gouveia N. A. *A influência do sistema atmosfera-continente-oceano na produtividade primária na pluma do rio Amazonas*. 2017. Dissertação de mestrado, Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2017.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2000. Mapa de Distribuição da População. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/mapas_doc1.shtm>. Acessado em: 29 dez de 2017.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Marapanim*: estimativa da população 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?codmun=150440&idtema=130>>. Acessado em: 29 nov de 2017.

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (INPE/CPTEC). *Clima da Amazônia*. 2018. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/fish.html>>. Acesso em: 13 jan. 2018.

Junior J.A. S., Nechet D., Oliveira M. C. F., Albuquerque M. K. 2009. Estudo do comportamento da temperatura e precipitação nos períodos chuvosos e menos chuvosos em Belém-PA em anos de fortes eventos de El Niño e La Niña. *Revista brasileira de climatologia*:87-101.

Langley S. K., Cheshire H. M., Humesc K. S. 2001. Comparison of Single Date and Multitemporal Satellite Image Classifications in a Semi-Arid Grassland. *Journal of Arid Environments*, **49** (2):401-411.

Marapanim: Lei orgânica do município. 2015. Disponível em: <<http://www2.mp.pa.gov.br/sistemas/gcsubsites/upload/41/LEI%20ORGANICA%20DO%20>>. Acesso em: 1 dez. 2017.

- Martins, L. R., Tabajara, L. L., Ferreira E. R. 2004. Linha de Costa: problemas e estudos. *Gravel*, **40** (2):40-56.
- Martorano L. G., Pereira L. C., Cesar E. G. M., Pereira I. C. B. 1993. *Estudos climáticos do Estado do Pará, classificação climática (Koppen) e deficiência hídrica (Thornthwhite, Mather)*. Belém, SUDAM, EMBRAPA.
- Meneses P. R. Almeida T. 2012. *Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto*. Disponível em: <[Http://Www.Cnpq.Br/Documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-B82a-E9693e4f69d8](http://Www.Cnpq.Br/Documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-B82a-E9693e4f69d8)>. Acessado em: 29 Dez de 2017.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA). *Gestão territorial, erosão e inundação costeira*. 2017. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/gestao-territorial/gerenciamento-costeiro/smc-brasil>>. Acessado em: 29 dez de 2017.
- Moraes E.C. 2002. *Fundamentos de sensoriamento remoto*. Disponível em: <http://mtc-12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc/CAP1_ECMoraes.pdf>. Acessado em: 29 Dez de 2017.
- Morais J. O., Freire G. S. S., Pinheiro L. S., Souza M. J. N., Carvalho A. M., Pessoa P. R. S., Oliveira S. H. M. 2017. *Erosão e progradação do litoral brasileiro: Ceará*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_sigercom/_publicacao/78_publicacao12122008085953.pdf>. Acessado em: 29 Dez de 2017.
- Moran J.M. 2012. *Climate studies. Introduction to climate sciences. American Meteorology Society*, p. 525.
- Pereira T.G., Filho S. R. O., Moraes C. P. R. A., Lessa A. C. P. 2017. Impacto das Tempestades de 2016 em Orla Urbanizada: Arco Praial de Piratininga, Niterói – RJ. *Revista do Departamento de Geografia*, **4**:75-84.
- Pinto J.V. 2005. Comparação de modelos para o cálculo de perturbações orbitais devidas à maré terrestre. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia.
- Ranieri L. A., Robrini M. 2015. Evolução da linha de costa de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, **42** (3):207-226.

Sausen T. M. 2017. *Sensoriamento remoto e suas aplicações para recursos naturais*. Disponível em: <https://educacaoespacial.files.wordpress.com/2010/10/ijespacial_14_sensoriamento_remoto.pdf>. Acesso em: 29 dez 2017.

Serrão B.O., Carvalho C. J. R., Dutra F. C. 2007. *Influência da seca prolongada sobre a atividade enzimática e micorrizas em floresta de terra firme: resultados de um experimento de manipulação de chuvas*. Embrapa Amazônia Oriental. (Documento, n 0000). Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/60360/1/Expandido-BrunoSerrao.pdf>>. Acessado em: 29 dez de 2017.

Silva A.L.C., Silva M. A. M., Santos C. L. 2009. Morfodinâmica e a estabilidade da praia de Piratininga, Niterói (RJ). *Revista Brasileira de Geociências*, **39** (4):685-694.

Silva C. A. 2009. *Morfologia e Análise da Sucessão Depositional do Vale Inciso Quaternário de Marapanim, Norte do Brasil*. Tese de Doutorado em Geologia. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, p. 157.

Silva C. A. 1998. *Análise morfoestratigráfica do estuário do rio Marapanim – NE do Pará*. Tese de Mestrado em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, Universidade federal do Pará, Belém, p. 133.

Soares D.P., Paraense A. L. C., Pereira J. F., Haick Y. N., Paixão R. N. G. 2015. Avaliação dos Impactos Sócio-Ambientais na Praia do Crispim, Marapanim-PA. In 2º Congresso Amazônico de Meio Ambiente e Energias Renováveis. Belém (PA) UFRA. Anais. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/camaer2016/31398-avaliacao-dos-impactos-socio-ambientais-na-praia-do-crispim-marapanim-pa>>. Acesso em: 02 de jan. 2018.

Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM). 1984. *Atlas climatológico da Amazônia brasileira*, p. 125.

Thieler E.R., Himmelstoss E. A., Zichichi J. L., Ergul A. 2017. *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0—An ArcGIS extension for calculating shoreline change (ver. 4.4, July 2017)*. Disponível em <<https://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/DSAS/version4/images/pdf/DSASv4.pdf>>. Acesso em: 02 jan 2018.

Serviço Geológico Americano (USGS). *Banco de dados*. 2017a. Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov/landsat-missions-timeline>>. Acesso em: 29 dez 2017.

Serviço Geológico Americano (USGS). *Banco de dados*. 2017b. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57_PT.php>. Acesso em: 29 dez 2017.

Serviço Geológico Americano (USGS). *Banco de dados*. 2017c. Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov/landsat-8>>. Acesso em: 29 dez 2017.

Valle-Levinson A. 2010. *Contemporary issues in estuarine physics*. Cambridge University Press, p. 108.