

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

EVOLUÇÃO MULTITEMPORAL DA LINHA DE COSTA (1972-2040) DO MUNICÍPIO DE SOURE, ILHA DO MARAJÓ (AMAZÔNIA - BRASIL).

Dissertação apresentada por:

RAFAEL ALEXANDRE ALVES MENEZES Orientador: Prof. Dr. Maâmar El-Robrini (UFPA)

BELÉM-PA 2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará

Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M541e Menezes, Rafael Alexandre Alves. Evolução multitemporal da linha de costa (1972-2040) do município de Soure, Ilha do Marajó (Amazônia - Brasil) / Rafael Alexandre Alves Menezes. — 2021. xix, 126 f. : il. color.

> Orientador(a): Prof. Dr. Maâmar El-robrini Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Belém, 2021.

1. Litoral Amazônico. 2. GIS. 3. Linha de Costa. 4. DSASv5. I. Título.

CDD 551.46009811



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

EVOLUÇÃO MULTITEMPORAL DA LINHA DE COSTA (1972-2040) DO MUNICÍPIO DE SOURE, ILHA DO MARAJÓ (AMAZÔNIA - BRASIL).

Dissertação apresentada por:

RAFAEL ALEXANDRE ALVES MENEZES

Como requisito parcial para à obtenção de Grau de Mestre em OCEANOGRAFIA e área de concentração em Processos em Sistemas Costeiros e Oceânicos.

Data da Aprovação: 11/11/2021

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Maâmar El-Robrini (Orientador – UFPA)

Prof. Dr. George Satander Sá Freire (Membro – UFC)



Documento assinado digitalmente Norberto Obniro Horu Filho Data: 29/10/2021 10:31:51-0300 CPF: 236.920.030-88 Verifique as assinaturas em https://v.ufsc.br

Prof. Dr. Norberto Olmiro Horn Filho (Membro – UFC)

Prof^a. Dr^a. Sury de Moura Monteiro (Membro – UFPA)

À minha avó, Maria Isabel Menezes.

AGRADECIMENTOS

A criação deste manuscrito não seria possível de ser construída sem a fé no criador, a participação da família e amigos fizeram e fazem parte da minha vida, sobretudo, pelo fato de passar pela pandemia provocada pela Covid-19, onde tornaram-se símbolo dessa conquista. Meus mais sinceros agradecimentos:

Primeiramente a Deus e a nossa Senhora de Nazaré que me permitiram ter forças espirituais nos momentos difíceis e de angústias ao longo desta trajetória, fazendo com que eu chegasse até aqui.

A minha família, em especial, a minha mãe, Maria de Nazaré, a minha avó, Maria Izabel Menezes, ao meu pai, Edilson Menezes que sempre me apoiaram e concedeu-me recursos financeiros, sentimentais etc. Tenho a convicta concepção de que sem vocês em minha vida, eu não seria nem um átomo do homem que sou hoje. Obrigado!

A minha filha, Marina Menezes, onde a presença neste plano terreno possibilitou a essência necessária através do sorriso mais puro que existe, a força e inspiração que precisei para concluir esta fase.

Agradeço, também, a Cleiciane Quaresma que ao longo do recorte temporal desta construção, proporcionou um apoio imensurável na forma de propagação de palavras de cunho motivacional, carinho, afeto e seus braços; na qual foram essenciais e foram meu refúgio nos momentos em que pensava em desistir desta condição. Agradeço incondicionalmente!

A professora Dr^a Carmena França, que foi a precursora desta pesquisa e minha maior inspiração para o estudo no âmbito da geomorfologia costeira.

Ao professor Dr. Maamar El-Robrini, pela oportunidade de realizar a construção desta dissertação de mestrado no PPGOC e pela liberdade dada para o desenvolvimento da mesma e com o total apoio e aval.

Ao Grupo de Estudos Marinho e Costeiros (GEMC) pelas discussões em grupo, pelas sugestões, contribuições e apoio, que foram muito importantes para o enriquecimento deste trabalho. Ao Laboratório de Análise da Informação Geográfica (LAIG) onde a grande parte das análises dos dados foi realizada.

Em especial, a minha preciosíssima amiga e colega de turma Diandra Guimarães, que ao longo desse desafio chamado mestrado, nunca me abandonou e estava presente em todos os momentos, seja para falar de conteúdo técnico e dar suas considerações ou pelo simples fato de dizer "vai dar certo"; contudo, destaco também, que as altas horas de conversas que tivemos ao longo desta trajetória, consumaram-se na forma palavras, frases, textos, tangenciando a elaboração desta dissertação. Muito obrigado, Didi!

A Universidade Federal do Pará (UFPA) que abriu as portas novamente para que eu pudesse ter o essencial para a obtenção da titulação de Mestre em Oceanografia pela maior instituição do Norte do País.

Ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia (PPGOC), do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará pela oportunidade de desenvolver a minha pesquisa.

A todas as pessoas do Brasil e do Exterior que tive a oportunidade de conhecer e trocar experiências ao longo desta trajetória de 2 anos, na qual tronaram possível a continuidade deste trabalho.

Aos meus amigos da turma de mestrado PPGOC 2020.

Aos professores do PPGOC.

Em especial, a professora Dr^a Leilanhe Ranieri que me atendeu nos momentos em que mais precisei nesta caminha, corrigindo os meus *papers* e, ademais, pelas palavras de consolo e resiliência ao longo de horas conversadas, seja por chamadas de videoconferência, ou mesmo respondendo as mensagens de *whatsapp*. Muito obrigado por ser essa pessoa incrível!

"Na minha vida tudo acontece Mas quanto mais a gente rala, mais a gente cresce (...) História, nossas histórias Dias de luta, dias de glória". © 2006 Charlie Brown Jr.

RESUMO

Os agentes exógenos que atuam na Zona Costeira (ZC) atuam como modeladores morfológicos da Linha de Costa (LC) e essa atuação modifica o cenário erosivo e acrescido da LC ao longo do tempo. Para avaliar essas mudanças temporais ocorridas da ZC, o sensoriamento remoto (SR), a partir de sensores remotos orbitais, é uma abertura que possibilita identificar essas variações ocorridas, onde o principal objetivo em todo o mundo é o gerenciamento e proteção dessas zonas costeiras. Desta maneira, a presente composição tem como objetivo apresentar a evolução da linha de LC durante o período de 1972-2020 (48 anos) e estimar a evolução da LC para os anos de 2030 e 2040 na ZC do município de Soure, localizado na parte nordeste (NE) da ilha de Marajó (Pará-Amazônia Oriental), inserida na Zona Costeira Estuarina Paraense (ZCEP), condicionada pelas hidrodinâmicas do canal Sul do Rio Amazonas e do estuário do Rio Pará. Para atingir esse objetivo, faz-se usufruto da aquisição de 6 imagens de uma série temporal do satélite: Landsat 1 (MSS) de 1972 e 1994 (bandas 7,6,5 e 5,4,3, respectivamente), Landsat 5 (TM) de 1985, 2004, 2009 (bandas 5,4,3), com resolução espacial de 30m, e Landsat 8 (OLI) de 2020 (bandas 6,5,4,8), com resolução espacial de 15 m após a fusão da banda 8 (pancromática), sendo obtidas no sítio da USGS (United States Geological Survey), todas já georreferenciadas e de técnicas de geoprocessamento para: a) delimitação da LC: onde foi criada a partir de métodos semi-automáticos combinados com métodos manuais, utilizando a técnica do *índice de diferença normalizada da água (NDWI)*; b) DSAS versão 5.0 (v5.0), sendo utilizados para compor a análise da LC através dessa ferramenta o: NSM, EPR e LRR, a versão v5 traz o Filtro de Kalman, na qual foi utilizado para calcular a estimativa futura na LC para os anos de 2030 e 2040. Como resultado, identificou-se que nos setores I e II (canal sul do rio Amazonas), predomina a acresção, no setor III (cabo Maguari) é onde obteve os maiores índices de acresção, e no setor IV predomina o processo acrescional com tendência erosiva, o setor V predomina a erosão. Esses dados são vinculados ao número total de 654 transectos compreenderam uma distância média de 214,4 m, onde a média de recuo é indicada com a taxa negativa de -179,5 m e uma taxa positiva de 451,9 m. Para os anos de 2030 e 2040, a tendência é que este processo continua, onde a maior retração costeira, cerca de 271.46 m, vai ser no Nordeste (NE) (setor II), e um avanço da LC de 625.26 m no setor III.

Palavras-chave: litoral Amazônico; GIS; linha de costa; DSAS v5.

ABSTRACT

Exogenous agents that act in the Coastal Zone (ZC) act as morphological modelers of the CoastLine (LC) and this action modifies the erosive and accretive scenario of the LC over time. To assess these temporal changes in the ZC, remote sensing (SR), from orbital remote sensors, is an opening that makes it possible to identify these variations, where the main objective around the world is the management and protection of these coastal areas. Thus, the present composition aims to present the evolution of the LC line during the period 1972-2020 (48 years) and estimate the evolution of the LC for the years 2030 and 2040 in the ZC of the Soure municipality, located in the northeastern part (NE) of the Marajó island (Pará-Eastern Amazon), inserted in the Pará Estuarine Coastal Zone (ZCEP), conditioned by the hydrodynamics of the South channel of the Amazon River and by the estuary of the Pará River. A set of 6 images from a time series of the satellite were acquired: Landsat 1 (MSS) from 1972 and 1994 (bands 7.6.5 and 5.4.3, respectively), Landsat 5 (TM) from 1985, 2004, 2009 (bands 5.4.3), with a spatial resolution of 30m, and Landsat 8 (OLI) 2020 (bands 6.5.4.8), with a spatial resolution of 15 m after the fusion of band 8 (panchromatic), being obtained from the USGS (United States Geological Survey) site, all already georeferenced and geoprocessing techniques for: a) LC delimitation: where it was created from semi-automatic methods combined with manual methods, using the normalized water difference index (NDWI) technique; b) DSAS version 5.0 (v5.0), being used to compose the LC analysis through this tool: NSM, EPR and LRR, version v5 brings the Kalman Filter, which was used to calculate the future estimate in the LC for the years 2030 and 2040. As a result, it was identified that in sectors I and II (southern channel of the Amazon River), accretion predominates, in sector III (Maguari Cape) it is where it obtained the highest accretion rates, and in sector IV the accretion process predominates with a tendency erosive, sector V erosion predominates. These data are linked to the total number of 654 transects comprising an average distance of 214.4 m, where the mean retreat is indicated with a negative rate of -179.5 m and a positive rate of 451.9 m. For the years 2030 and 2040, the trend is that this process will continue, where the greatest coastal retraction, around 271.46 m, will be in the Northeast (NE) (sector II), and a CL advance of 625.26 m in sector III.

Key-words: Amazon coast; GIS; coastline; DSAS v5.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização do município de Soure, nordeste da Ilha de Marajó 8
Figura 2- Reserva Extrativista Marinha de Soure
Quadro 1- Caracterização de natureza ambiental das classes de solos ocorrentes no município de Soure. Fonte: Adaptado de Furtado <i>et al.</i> (2009)
Figura 3- Mapa Pedológico do município de Soure16
Figura 4 - Etapas seguidas, ao longo do trabalho, para análise da dinâmica costeira (LC e manguezal da ZC de Soure – 48 anos)
Figura 5 - Divisão da ZC do município de Soure (Ilha de Marajó-PA) em 5 setores (I, II, III, IV, V)
Quadro 2 - Erros geométricos das imagens
Equação 1- Cálculo do índice de diferença normalizada da água (NDWI) 27
Equação 2- Sistematização do cálculo do índice de diferença normalizada da água (NDWI)
Figura 6 - Sobreposição das LC's por anos de análise do município de Soure, Ilha de Marajó-PA
Figura 7 - No exemplo acima, o movimento líquido da linha costeira é a distância de 76,03m entre as linhas costeiras mais recentes de 2005 e a linha costeira mais antiga de 1936
Figura 8 - Ilustração da relação entre as estatísticas de mudança da linha costeira: movimento líquido da linha costeira (NSM), taxa de ponto final (EPR) e envelope de mudança da linha costeira (SCE)
Figura 9 - Relação entre dados de tempo e espaço no mapa, e apresentados em uma forma gráfica como a distância da linha de base versus a data da LC. A taxa de regressão linear (LRR) foi determinada plotando as posições de intersecção da LC (distância da linha de base) em relação a tempo (anos) e calculando a equação de regressão linear de y = 1,34x - 2587,4. A inclinação da equação que descreve a linha é a taxa (1,34 m/ano)
Equação 3- Cálculo do coeficiente de determinação

Gráfico 1 - End-Point Rate (EPR). Valores positivos indicam avanço costeiro e os negativos recuo costeiro. Fonte: Próprio autor
Gráfico 2 - Net Shoreline Movement (NSM). Valores positivos indicam avanço costeiro e os negativos recuo costeiro. FNa folah de baixo é vionte: Próprio autor34
Gráfico 3 - Linear Regression Rate (LRR). Valores positivos indicam avanço costeiro e os negativos recuo costeiro. Fonte: Próprio autor
Figura 10 - Uma comparação da previsão da LC usando o filtro de Kalman versus linear regressão. Fonte: Himmeslstoss <i>et al.</i> (2018)
 Figura 11 - Um exemplo de previsão e incerteza do filtro de Kalman em dois transectos do Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Localizações. Os gráficos não são produtos DSAS; eles estão incluídos aqui para ajudar a explicar o método. 38
Figura 12 - Movimento Líquido da Linha Costeira (NSM) no município de Soure, Ilha do Marajó-PA. Fonte: Próprio autor
Figura 13 - Taxa do Ponto Final (EPR) no município de Soure, Ilha do Marajó-PA. 47
Figura 14 - Taxa de Regressão Linear (LRR) no município de Soure, Ilha do Marajó-PA.
Figura 15 - Movimento Líquido na Linha Costeira (NSM), Taxa do Ponto Final (EPR) e Taxa de Regressão Linear (LRR) no município de Soure, Ilha do Marajó-PA. 49
Figura 16 - Movimento Líquido da Linha Costeira (NSM) no setor I do município de Soure, Ilha do Marajó-PA
Figura 17 - Taxa do Ponto Final (EPR) no setor I do município de Soure, Ilha do Marajó- PA
Figura 18 - Mapa da Taxa de Regressão Linear (LRR) no setor I do município de Soure, Ilha do Marajó-PA
 Figura 19 - Movimento Líquido na Linha Costeira (NSM), Taxa do Ponto Final (EPR), Taxa de Regressão Linear (LRR) no setor I do município de Soure, Ilha do Marajó- PA
Figura 20 - Movimento Líquido da Linha Costeira (NSM) no setor II do município de Soure, Ilha do Marajó-PA

Figura 21 - Taxa do Ponto Final (EPR) no setor II do município de Soure, Ilha do Marajó- PA.Na folah de baixo é vi
Figura 22 - Mapa da Taxa de Regressão Linear (LRR) no setor II do município de Soure, Ilha do Marajó-PA
Figura 23 - Movimento Líquido na Linha Costeira (NSM, Taxa do Ponto Final (EPR) e Taxa de Regressão Linear (LRR) no setor II do município de Soure, Ilha do Marajó-PA
Figura 24 – Movimento Líquido da Linha Costeira (NSM) no setor III do município de Soure, Ilha do Marajó-PA
Figura 25 - Taxa do Ponto Final (EPR) no setor III do município de Soure, Ilha do Marajó- PA.Na folah de baixo é vi
Figura 26 - Mapa da Taxa de Regressão Linear (LRR) no setor III do município de Soure, Ilha do Marajó-PA
Figura 27 - Movimento Líquido na Linha Costeira (NSM, Taxa do Ponto Final (EPR) e Taxa de Regressão Linear (LRR) noNa folah de baixo é vi setor III do município de Soure, Ilha dNa folah de baixo é vio Marajó-PA
Figura 28 – Movimento Líquido da Linha Costeira (NSM) no setor IV do município de Soure, Ilha do Marajó-PA
Figura 29 - Taxa do Ponto Final Na folah de baixo é vi(EPR) no setor IV do município de Soure, Ilha do Marajó-PA
Figura 30 - Mapa da Taxa de Regressão Linear (LRR) no setor IV do município de Soure, Ilha do Marajó-PA
Figura 31 - Movimento Líquido na Linha Costeira (NSM, Taxa do Ponto Final (EPR) e Taxa de Regressão Linear (LRR) no setor IV do município de Soure, Ilha do Marajó-PA
Figura 32 – Movimento Líquido da Linha Costeira (NSM) no setor V do município de Soure, Ilha do Marajó-PA
Figura 33 - Taxa do Ponto Final (EPR) no setor V do município de Soure, Ilha do Marajó- PA

Figura 34 - Mapa da Taxa de Regressão Linear (LRR) no setor V do município de Soure, Ilha do Marajó-PA
Figura 35 - Movimento Líquido na Linha Costeira (NSM, Taxa do Ponto Final (EPR) eTaxa de Regressão Linear (LRR) no setor V do município de Soure, Ilha doMarajó-PA
Figura 36 - Projeção acrecional para os anos de 2030-2040 no município de Soure-PA
Gráfico 4 - Projeção Erosiva e acrecional no Município de Soure-PA para o ano de 2030.
Gráfico 5 - Projeção Erosiva e acrecional no Município de Soure-PA para o ano de 2040.
Gráfico 6 - Projeção erosiva para os anos de 2030-2040 no município de Soure-PA. 78
Gráfico 7 - Projeção acrecional para os anos de 2030-2040 no município de Soure-PA
Quadro 3 - Estatísticas descritivas para a projeção das Áreas Dinâmicas do ano de 2030 e 2040 no município de Soure-PA
Quadro 4 - Taxas erosivas e acrecional para o ano de 2030 e 2040 no município de Soure- PA
Figura 37 - Projeção de recuo e de acresção da LC para os anos de 2030-2040 no setor I - Rio Amazonas - NW, município de Soure-PA
Gráfico 8 - Projeção de recuo da LC para os anos de 2030-2040 no setor I – Rio Amazonas – NW, município de Soure-PA
Gráfico 9 - Projeção de acresção da LC para os anos de 2030-2040 no setor I – Rio Amazonas – NW, município de Soure-PA. Fonte: Próprio autor
Figura 38 – Projeção da erosão e acresção para os anos de 2030-2040 no setor II – Rio Amazonas – NE, município de Soure-PA.85Gráfico 10 - Projeção de erosão para os anos de 2030-2040 no setor II – Rio Amazonas – NE, município de Soure-PA.

Gráfico 11 - Projeção de acresção para os anos de 2030-2040 no setor II – Rio Amazonas
– NE, município de Soure-PA. Fonte: Próprio autor
Figura 39 - Projeção de acresção para os anos de 2030-2040 no Setor III - Cabo Maguari,
município de Soure-PA
Gráfico 12 - Projeção de acresção para os anos de 2030-2040 no Setor III – Cabo Maguari,
município de Soure-PA
Figura 40 - Projeção de acresção para os anos de 2030-2040 no Setor IV – Rio Pará – NE,
município de Soure-PA
Gráfico 13 - Projeção de erosão para os anos de 2030-2040 Setor IV - Rio Pará - NE,
município de Soure-PA
Gráfico 14 - Projeção de acresção para os anos de 2030-2040 Setor IV - Rio Pará - NE,
município de Soure-PA
Figura 41 - Projeção de acresção para os anos de 2030-2040 no Setor V – Rio Pará – SE,

i iguiu ii i	rojeçus de deresçus para os anos de 2000 2010 no setor v - rus rada	υц,
munic	cípio de Soure-PA	95
Gráfico 15 -	Projeção de acresção para os anos de 2030-2040 Setor V - Rio Pará -	- SE,
munic	cípio de Soure-PA	96
Gráfico 16 -	Projeção de erosão para os anos de 2030-2040 Setor V - Rio Pará -	- SE,
munic	zípio de Soure-PA.	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Sensores passivos e resolução espacial.	25
Tabela 2- Títulos de campo padronizados fornecida pelo Digital Shoreline Analy	ysis
System (DSAS) para cálculos de mudança	. 29
Tabela 3 - Resumo calculado das taxas de mudança da linha costeira da Zona-I par	a a
Zona-V (1972–2020) do município de Soure	. 50
Tabela 4 - Taxas de alteração da LC calculadas usando os métodos NSM (m), EPR e L	RR
(m/ano) entre os anos de 1972–2020 do município de Soure	. 51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALOS	Advanced Land Observing Satellite			
Am	Clima de Monção			
ASSREMAS	Associação dos Usuário da Reserva Extrativista Marinha de Soure			
ASF	Alaska Satellite Facility			
AVNIR-2	Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2			
B4rA´a´	Úmido, Nenhuma Deficiência Hídrica, Megatérmico			
CMMA	Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia			
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior			
CNB	Corrente Norte do Brasil			
SCNB	Subcorrente Norte do Brasil			
DSAS	Digital Shoreline Analysis System			
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação			
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária			
EPR	Taxa do Ponto Final			
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística			
GIS	Geographic Information System			
ICMBIO	Instituto Chico Mendes de Conservação e Biodiversidade			
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal			
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia			
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais			
IOC	Intergovernmental Oceanographic Commission			
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency			

LC	Linha de Costa			
LRR	Taxa de Regressão Linear			
MDE	Modelo Digital de Elevação			
MMA	Ministério do Meio Ambiente			
NASA	A National Aeronautics and Space Administration			
NDWI	Normalized difference water index			
NSM	Movimento Líquido da Linha Costeira			
ODS	Objetivos de Desenvolvimento sustentável			
ONU	Organização das Nações Unidas			
PALSAR	Phased Array type L band Synthetic Aperture Radar			
PIB	Produto Interno Bruto			
PRISM	Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping			
RESEX	Reserva Extrativista			
SAR	Synthetic Aperture Radar			
STRM	Shuttle Radar Topography Mission			
UTM	Universal Transversa de Mercator			
V5	Version 5			
ZC	Zona Costeira			
ZCEP	Zona Costeira Estuarina Paraense			
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical			

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	V
EPÍGRAFE	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	X
LISTA DE TABELAS	xv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xvi
1 INTRODUÇÃO	
2 OBJETIVOS	
2.1 OBJETIVO GERAL	
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	
3 DEFINIÇÃO DO OBJETO	
3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA DE ESTUDO	7
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	8
3.2.1 ReSex Marinha de Soure	
3.2.2 Aspectos Sociais e Econômicos	
3.2.3 Clima e Parâmetros Meteorológicos	
3.2.4 Geologia	
3.2.5 Geomorfologia	
3.2.6 Tipos de solos	
3.2.7 Cobertura Vegetal	
3.2.8 Aspectos Hidrológicos	
3.2.9 Aspectos Oceanográficos	
4 MATERIAL E MÉTODOS	
4.1 ETAPA 1: PROCEDIMENTOS PRIMÁRIOS	
4.11 Definição da Área de Estudo	
4.1.2 Revisão de Literatura	
4.2 ETAPA 2: COMPILAÇÃO DE DADOS	
4.2.1 Definição de projeção geográfica	
4.2.2 Imagens de satélite	
4.3 ETAPA 3: ETAPA DE GABINETE	
4.3.1 Erros Geométricos das Imagens Landsat	
4.3.2 Delimitação da Linha de Costa	

SUMÁRIO

4.3.3 Digital Shoreline Analysis System (DSAS) V5	. 28
5 ESTADO DA ARTE	41
6 RESULTADOS	. 45
6.1 ANÁLISE MULTITEMPORAL DA LINHA DE COSTA NOS ÚLTIMOS 48 ANOS (1972-2020)	. 45
6.1.1 Setor I: Canal Sul do Rio Amazonas – NW	52
6.1.2 Setor II: Rio Amazonas – NE	56
6.1.3 Setor III: Cabo Maguari	60
6.1.4 Setor IV: Estuário do Rio Pará – NE	. 65
6.1.5 Setor V: Estuário do Rio Pará – SE	. 70
6.2 PROJEÇÃO MUTITEMPORAL DA LINHA DE COSTA PARA OS ANOS DE 2030-2040 NO MUNICÍPIO DE SOURE (AMAZÔNIA ORIENTAL-BRASIL)	. 75
6.2.1 SETOR I: CANAL SUL DO RIO AMAZONAS – NW	81
6.2.1.1 Projeção da evolução da LC no Canal Sul do Rio Amazonas – NW	81
6.2.1.2 Projeção das áreas dinâmicas no Canal Sul do Rio Amazonas - NW	81
6.2.2 SETOR II: CANAL SUL DO RIO AMAZONAS – NE	. 84
6.2.2.2 Projeção das áreas de dinâmica do Canal Sul do Rio Amazonas – NE	84
6.2.3 SETOR III: CABO MAGUARI	. 87
6.2.3.1 Projeção da evolução da LC do Cabo Maguari	87
6.2.3.2 Projeção das áreas de dinâmica do Cabo Maguari	87
6.2.4 SETOR IV: ESTUÁRIO DO RIO PARÁ – NE	90
6.2.4.1 Projeção da evolução da LC no Estuário do Rio Pará - NE	90
6.2.4.2 Projeção das áreas de dinâmica no Estuário do Rio Pará – NE	91
6.2.5 SETOR V: ESTUÁRIO DO RIO PARÁ – SE	. 93
6.2.5.1 Projeção da evolução da LC do Estuário do Rio Pará – SE	93
6.2.5.2 Projeção das áreas de dinâmica do Estuário do Rio Pará – SE	94
7 DISCUSSÃO	. 97
7.1 SETORES I E II: DINÂMICA DO CANAL SUL DO RIO AMAZONAS	. 97
7.2 SETOR III: CABO MAGUARI	. 99
7.3 SETORES IV e V: MARGEM OESTE DO ESTUÁRIO DO RIO PARÁ	101
8 CONCLUSÃO	104
REFERÊNCIAS	106
APÊNDICE A - PROTOCOLO DE REVISÃO SISTEMÁTICA	119

1 INTRODUÇÃO

A Zona Costeira (ZC) representa a região de contato entre a terra e o mar (Apostolopoulos & Nikolakopoulos 2021, Dolan *et al.* 1980, Félix *et al.* 2012, Liu *et al.* 2019, Vasconcelos *et al.* 2020), porém este é um conceito básico, outros autores apresentam definições mais detalhadas para a ZC. A ZC brasileira corresponde ao espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, abrangendo uma faixa marítima e uma faixa terrestre. A primeira refere-se ao espaço que se estende por doze milhas náuticas, medido a partir da linha de base (linha de maré baixa), compreendendo, dessa forma, a totalidade do mar territorial. A segunda é o espaço compreendido pelos limites dos municípios que sofrem influência direta dos fenômenos (intensa urbanização, atividade portuária, turismo e atividades industriais) ocorrentes na ZC (MMA 2018).

Os principais agentes exógenos que atuam na ZC são as ondas, marés, correntes, ventos e chuvas que provocam erosão, transporte e deposição de sedimentos, levando a constantes modificações do litoral (Ahmad & Lakhan 2012, França 2003, França *et al.* 2012a).

A linha de costa (LC) é utilizada como indicador geomorfológico da dinâmica costeira devido a sua posição ser variável no tempo e no espaço (Baral *et al.* 2018; Bertacchini 2010, Chen *et al.* 2005, Liu *et al.* 2019, Roy *et al.* 2018). Sua movimentação para o interior do continente reflete um período de erosão costeira (Ahmed *et al.* 2021, Ivenicki 2021, White & El Asmar 1999). Ao contrário, sua movimentação na direção do mar ou da baía representa um período de acreção costeira (Muehe 1994). Estas mudanças ocorrem em uma escala de tempo de até 100 anos (França 2003).

O litoral brasileiro (Oiapoque - Chuí) compõe uma extensão de 8.500 km (MMA 2018) e, desta forma, é considerada uma das maiores ZC do mundo. Neste cenário, é possível identificar uma grande diversidade de paisagens como praias, campos de dunas, ilhas, recifes, costões rochosos, lagunas, baías, estuários, manguezais, brejos e falésias.

A ZC amazônica corresponde a 35% do litoral brasileiro e é recortada por um conjunto de estuários dinâmicos, promovendo características geomorfológicas e hidrodinâmicas peculiares. Esta ZC está compreendida entre o rio Oiapoque (Amapá - 5°N, 51°W) e a baía de São Marcos (Maranhão - 2°S, 44°W).

A Zona Costeira Estuarina Paraense (ZCEP) até o ano de 2018 é configurada por uma divisão político-administrativo dividida em 3 setores: (1) Costa Atlântica do Salgado Paraense; (2) Insular Estuarino (a área de estudo se enquadra-se neste) e (3) Continental Estuarino. A ZCEP enquadra-se ainda na costa do tipo *Amero Edge Trailing*, configurando-se como um litoral de "falsas rias", afogados, bastante ativos. A plataforma continental interna adjacente é recoberta por campos de depósitos arenosos orientados no sentido das correntes de maré (NE-SW) (El-Robrini *et al.* 2018).

Entretanto, a Lei n° 9.064 de 25 de maio de 2020, instituiu uma configuração tangível a uma reorganização político-administrativo da ZC da Amazônia paraense. Desta forma, este vetor interpreta que a ZCEP é o espaço geográfico atribuído: a) na faixa terrestre, pelo conjunto limítrofes dos municípios que encontram o mar em sua interface, desta forma abrangendo o complexo insular estuarino da Ilha do Marajó e a Costa Atlântica paraense, abrigando a diversidade dos ecossistemas costeiros, estuarinos e insulares primordiais e das atividades socioeconômicas características da ZC; b) na faixa marítima, pelas 12 (doze) milhas marítimas de largura que constituem o mar territorial na forma do art. 20, inciso VI, da Constituição federal de 1988 (Pará 2020).

Neste sentido, a faixa que compreende a ZCEP, para fins de gerenciamento costeiro (art. 6°), é composta por uma abrangência geográfica de 47 municípios, na qual são subdivididos em 5 setores, sendo eles: setor 1 – Marajó Ocidental: Afuá, Breves, Anajás, Chaves, São Sebastião da Boa Vista, Curralinho, Melgaço, Portel, Bagre, Oeiras do Pará e Gurupá; setor 2 – Marajó Oriental: Santa Cruz do Arari, Soure, Salvaterra, Cachoeira do Arari, Ponta de Pedras e Muaná; setor 3 – Continental Estuarino, considerando a Região Metropolitana de Belém: Abaetetuba, Barcarena, Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides, Santa Bárbara do Pará, Santa Isabel do Pará, Inhangapi e Castanhal; setor 4 – Flúvio-Marítimo: Colares, Vigia, Santo Antônio do Tauá, São Caetano de Odivelas, São João da Ponta, Curuçá, Terra Alta, Marapanim, Magalhães Barata e Maracanã; e setor 5 – Costa Atlântica Paraense: Santarém Novo, Salinópolis, São João de Pirabas, Primavera, Quatipuru, Capanema, Tracuateua, Bragança, Augusto Corrêa e Viseu (Pará 2020).

A área de estudo localiza-se no setor 2 do Marajó Oriental. As margens da Ilha do Marajó, influenciadas pelos estuários dos rios Amazonas e Pará e estão condicionadas a constantes mudanças morfológicas, imprimindo uma dinâmica particular em função de sua posição geográfica com relação a essas embocaduras.

A vazão dos principais estuários da região norte do Brasil, interagem com amplitudes de marés extremas, dentro de uma extensa e complexa rede de várzeas e bacias de drenagem. Os estuários dos rios Amazonas e Pará ocorrem na zona de influência da região de estudo e desembocam no Oceano Atlântico tropical (El-Robrini *et al.* 2018).

A descarga média anual do rio Amazonas é de 180.000 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ (Masson & Delecluse 2001, Oltman 1968; Richey *et al.* 1989). Entretanto, o rio Pará lança uma descarga hídrica de 10⁴ m³ s⁻¹, menor que a do rio Amazonas (Prestes *et al.* 2017). O rio Pará não possui nascente própria (formado por afluentes) ou unidirecionais cabeceiras e é influenciada por fortes correntes de maré semidiurnas que propagam ondas dentro do sistema. O estuário do rio Pará é um sistema complexo e especial na plataforma continental amazônica, com processos físicos de micro e mesoescala gerados por forças de diferentes fontes (por exemplo, marés astronômicas e vazão do rio) (Prestes *et al.* 2017).

Neste sentido, é formado em um ponto conhecido como Baía de Bocas, localizado no canto sudoeste da Ilha de Marajó, ao sul do Estreito de Breves. O rio então corre para o leste, ao sul da Ilha de Marajó, até sua confluência com o rio Tocantins. O rio Pará então desloca-se no sentido nordeste, onde recebe a descarga hídrica e sedimentar de uma série de afluentes costeiros antes de desaguar no Oceano Atlântico, onde é influenciada por três bacias hidrográficas: a bacia do Amazonas (rios Amazonas, Tapajós e Xingu), a bacia do Araguaia- Tocantins (rio Tocantins) e as bacias do litoral norte / nordeste do Oceano Atlântico (rios Guamá e Capim) (Prestes *et al.* 2020a). Essa região é dominada por um regime de meso a macromarés, cuja variação das marés de sizígia alcança alturas máximas de 3,6 e 4,7 m, entre as ilhas de Mosqueiro e dos Guarás (DHN 2020).

Na zona costeira da Amazônia Paraense e do noroeste do Maranhão, que abrange o trecho da Baía de Marajó (PA) até a ponta de Tubarão (MA) ocorre a maior parte do cinturão contínuo de manguezais do planeta, sendo denominado de Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia (CMMA) (Souza Filho 2005).

Desta maneira, alguns pesquisadores vêm realizando estudos na ZCEP nos últimos anos (França & Souza Filho 2006, Neves *et al.* 2019, Souza Filho 2000), principalmente no Setor Costa Atlântica do Salgado Paraense, utilizando a LC como indicador das mudanças morfológicas na ZC (Baía *et al.* 2021, Ranieri & El-Robrini 2015, Rodrigues & Souza Filho 2011).

O avanço tecnológico permitiu o uso da técnica de sensoriamento remoto e geoprocessamento para interpretar e monitorar a posição da LC a partir de imagens de média e alta resolução, tornando a pesquisa cada vez mais precisa e detalhada.

Diante disto, com o imageamento através dos sensores ativos (radar) foi possível identificar a LC e bancos de sedimentos no litoral Amazônico através do Projeto Costa Norte (Vasconcelos *et al.* 2020), porém limitando-se a análise da maré alta e maré baixa no intervalo de um ano (2016-2017), sem analisar esta LC em âmbito multitemporal. O estudo da LC foi concebido a partir da análise da LC, usando imagens de satélite de anos distintos (através da sobreposição de vetores) como principal forma de identificar as variações ocorridas na ZC paraense (França 2003, Rodrigues & Souza Filho 2011). Nesta perspectiva, além da sobreposição direta de vetores, a ferramenta Digital Shoreline Analysis (DSAS) do software ArcGis, contribuiu para o entendimento das variações multitemporais ocorridas no cenário costeiro paraense (Baía *et al.* 2021, Conti & Rodrigues 2011, Ranieri & El-Robrini 2015).

A compreensão sobre a luz da: variação multitemporal ao longo de 48 anos, na extensão de 120 km de LC; é pouco explorada, sobretudo na ZC da Amazônia paraense e, em especial, em Soure.

Diante do exposto, surge a relevância de compreender melhor a dinâmica de outro setor da zona costeira paraense, o Setor Insular Estuarino, mais especificamente no município de Soure, apresentando em alguns questionamentos, sendo estes:

- a) Como se distribuem os setores erosivos e acrecionais na ZC de Soure, nos últimos 48 anos?
- b) Como são distribuídas as taxas de variação da LC na ZC de Soure, nos últimos 48 anos?
- c) Qual será o cenário de variação da LC para os anos de 2030 e 2040?

O enredo compreende uma análise de relevância da área de estudo (~120 km), por estar numa região estuarina, altamente dinâmica (França & Souza Filho 2003, Macedo *et*

al. 2012, Ranieri & El-Robrini 2015, Santos *et al.* 2021a). Esta região é influenciada pelas águas dos estuários do rio Amazonas (Canal Sul) e do Pará e apresenta uma vasta área de manguezal, importante para a proteção ambiental.

Ainda, esta pesquisa se enquadra no objetivo 17 da ODS (Objetivos de Desenvolvimento sustentável), visando "fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável" (ONU 2018).

Desta forma, esses conhecimentos podem subsidiar apoios de atividades de desenvolvimento de capacidades que fornecerão ferramentas para conduzir a ciência marinha e a habilidade de utilizar esses conhecimentos para informar os formuladores de políticas e a sociedade em geral (IOC-UNESCO 2020).

As técnicas utilizadas configuram o que há, no âmbito científico, de mais recente, a exemplo, o DSAS v5. Desta forma, a aquisição e tratamento de dados que configuram o entendimento da dinâmica e evolução da LC e a partir do filtro de Kalman, sendo possível estimar a projeção da LC para uma perspectiva evolutiva de 10 e 20 anos (2030 e 2040).

A maneira de condução da referida pesquisa, se enquadra no ecúmeno vetor de avanço científico na área de pesquisa da CAPES (Ciências Ambientais), por ser uma proposta de cunho inovador para a região de estudo.

Esta dissertação, objetiva a análise da evolução da LC do município de Soure-PA (período de 1972 a 2020), com técnicas de geoprocessamento que ainda não foram utilizadas na região, oriunda do DSAS v5 e *filtro de kalman*, atribuindo uma conexão entre a escala temporal proposta (totalizando 68 anos de estudo (1972 à 2040)) e sua estimativa para 10 e 20 (2030-2040) a partir do ano de 2020.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a evolução multitemporal da LC no município de Soure (Ilha do Marajó-PA), no período de 1972 – 2020.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Avaliar a variação de erosão e acreção da LC ao longo de 48 anos;
- b) Identificar e quantificar as taxas (m e m/ano) de recuo/avanço da LC, entre 1972 e 2020;
- c) Identificar e quantificar a evolução da LC para os anos de 2030 e 2040.

3 DEFINIÇÃO DO OBJETO

3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Soure localiza-se na mesorregião do Marajó, na microrregião do Arari enquadrada em quatro quadrantes, que compõe a localização da extensão poligonal do município, sendo entre as coordenadas geográficas: ao noroeste de latitude: 0° 14' 3.23" Sul e Longitude: 48° 59' 39.65" Oeste; a nordeste latitude: 0°14'59.18"S e Longitude: 48° 22' 0.99" Oeste; ao sudoeste latitude: 0° 41' 58.61" Sul e Longitude: 48° 59' 10.02" Oeste; a sudeste latitude: 0° 51' 29.08" Sul e Longitude: 48° 22' 16.88" Oeste. Assim, este é limitado ao norte pelo estuário do rio Amazonas, ao Sul pelo rio Paracauari e o município de Salvaterra, ao leste pela Baía de Marajó e ao oeste pelos municípios de Cachoeira do Ararí e Chaves (Menezes *et al.* 2009), apresentando uma área geográfica de 3.051 km².

O acesso ao município via fluvial, se dá através da capital paraense a partir do Terminal Hidroviário de Belém no Armazém 10 da Companhia das Docas do Pará, a viagem dura três horas e meia até o Porto de Camará, em Salvaterra. A partir desse porto, segue-se pela PA-153 até o município de Soure (figura 1).



Figura 1 - Mapa de localização do município de Soure, nordeste da Ilha de Marajó. Fonte: IBGE (2018), USGS (2021).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

3.2.1 ReSex Marinha de Soure

No município de Soure, está inserido Reserva Extrativista Marinha (REM) criada pelo Decreto (Lei nº 9.985, Decreto nº 98.897) de 22 de novembro de 2001 (Brasil 2001). Esta REM é uma Unidade de Conservação Federal, que está sob gerência do Instituto Chico Mendes de Conservação e Biodiversidade (ICMBIO) em conjunto com a Associação Mãe da Reserva, a Associação dos Usuários da Reserva Extrativista Marinha de Soure– ASSUREMAS (ICMBIO 2007). A REM é constituída por duas áreas descontínuas, que totalizam 27.463,58 ha, e subdivide-se em área marinha e ambiente costeiro com predominância de manguezais (figura 2) (Pessoa *et al.* 2019).

No entorno da ReSex formaram-se três comunidades: Vila de Pesqueiro, distante 7 Km do centro urbano da cidade de Soure; Comunidade do Caju-Úna, distante 18 km; e Povoado do Céu, distante a 23 km, sendo muito próximo da Comunidade do Caju-Úna (Oliveira *et al.* 2018, Lima *et al.* 2005).



Figura 2- Reserva Extrativista Marinha de Soure. Fonte: Adaptado de ICMBio (2001).

É importante destacar que os manguezais contidos na Resex marinha de Soure estão inclusos na parte da maior faixa contínua (Pará-Maranhão) de manguezal do mundo, abrangendo o estado do Maranhão até o Amapá (Souza Filho 2005). A área onde situa-se é estratégica para a conservação, sobretudo devido ao apelo socioambiental da região da Amazônia Atlântica, uma vez que é onde se concentra a maior parte da população e a pesca artesanal marinha-costeira do Brasil. Esse cenário reflete na grande demanda por criação de Resex Marinhas na costa amazônica, que já somam 13 federais, sendo a de Soure a primeira da região (Brasil 2001).

3.2.2 Aspectos Sociais e Econômicos

O município de Soure apresenta uma população estimada em 25.565 pessoas, distribuídas em uma área de 2.857,349 km², com densidade demográfica de 6,54 hab/km², sendo que 91% da população está localizada na área urbana e 9% na área rural. Este, por sua vez, tem um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) estimado em 0,615, correspondente a uma faixa média. O Produto interno bruto (PIB) per capita do município é de R\$ 7.469,63 (IBGE 2020).

As comunidades que compõem a Associação dos Usuário da Reserva Extrativista Marinha de Soure (ASSREMAS) têm a autorização para a prática do extrativismo sustentável do componente da biodiversidade da localidade. Para fazer usufruto os moradores inscritos recebem benefícios, destacando crédito ao material necessário para a prática (redes de pesca e moradia).

Os principais estabelecimentos de moradia correspondem á ocupação em casas de madeira, localizadas perto das principais praias do município, sendo constituídas por manguezais. As principais atividades desenvolvidas se moldam sob a prática da pesca artesanal e a extração do caranguejo e moluscos.

3.2.3 Clima e Parâmetros Meteorológicos

O município de Soure é influenciado por um clima tropical de monção (*Am*, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger) (Peel *et al.* 2007). Também predomina o tipo climático B4rA´a´ (Thornthwaite 1948).

O clima predominante de Soure é o quente e úmido. Esta característica dá-se por conta da sua proximidade ao Oceano Atlântico, sofrendo influência do fenômeno da maritimidade e, por estar localizado na interface da linha do equador, caracterizando uma grande quantidade de energia solar. Durante o tempo, há uma estabilidade sobre seu clima, embora de janeiro a maio tenha um período de chuvas abundantes. Esse período acontece devido às massas de ar equatorial atlântica e continental, ambos quentes, ao receberem uma grande massa polar atlântica, que é fria, viabilizando o aumento pluviométrico (INMET 2020).

Desde 1961, a menor temperatura registrada no município foi de 17,8 °C (30 de abril de 2016) e a maior chegou a 35 °C (15 de dezembro de 1976). A média térmica durante o ano é em torno de 27,4 °C e varia de 25 °C a 32 °C e raramente é inferior a 23 °C ou superior a 33 °C (INMET op. cit.).

O INMET, relata que o regime de maior índice de precipitação foi de 256,6 milímetros (mm) e ocorreu em 16 de março de 2009. Eventos pluviométricos iguais ou superiores aos 200 mm aconteceram com 235,3 mm em 2 de fevereiro de 1966; 212,3 mm em 01 de abril de 1995; 207,1 mm em 23 de março de 1995; 206 mm em 5 de março de 1975; e 201 mm em 10 de abril de 1995. O mês com o maior volume de precipitação foi o de abril de 1995, com 1.185,5 mm (INMET 2021). Diante disso, o município de Soure é classificado como o mais chuvoso do Estado do Pará, com total pluviométrico anual de 3.297 mm.

Os ventos atingem velocidades entre 6,2 m s⁻¹ e 7 m s⁻¹ (INMET op. cit.) e com direção preferencial NE, devido ao deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Estes, podem também variar na intensidade de acordo com os setores (ocidental e oriental), devido às diferenças topográficas. A vegetação condiciona esse fator, pois são consideradas barreiras naturais aos ventos que chegam de NE até à costa oriental e, por sua vez, estes perdem uma considerável velocidade (Lima *et al.* 2005).

Alguns eventos extraordinários costumam modificar o componente da dinâmica natural do clima, alterando de forma substancial os componentes que compõem o clima. Dentre esses eventos, destacam-se o El Niño e a La Niña (Cane *et al.* 1986, Kousky *et al.* 1984).

Em Soure, destacam-se a esses eventos e durante o intervalo de 1971 a 2000, uma redução nas médias totais anuais de precipitação, sendo elas nos anos de 1971, 1981, 1983, 1987, 1993,1997 e 1998 e um aumento significativo nos anos de 1974, 1975, 1984, 1985, 1988, 1989, 1995, 1999 e 2000, sendo relacionados à ocorrência de eventos anormais que caracterizam vetores tangíveis a ocorrência do El Niño e La Niña, respectivamente. No ano de 1985, apresenta-se uma variação de 1,9 mm e chegando a um nível pluviométrico de 4.670 mm, já os desvios negativos classificaram um padrão de - 2,3 mm para o município no ano de 1983, apresentando um período menos chuvoso durante a série histórica, com 1.641 mm (Nogueira *et al.* 2003).

A variabilidade meteorológica dá-se por conta da localização geográfica interferindo diretamente no principal sistema atmosférico da região (predomínio da ZCIT) e pelo fato do município estar 16m acima do nível do mar (INMET 2020).

3.2.4 Geologia

O município é predominantemente formado pelos sedimentos do Grupo Barreiras (Mioceno) (Arai 1997). Ao longo da parte leste de onde, a estrutura correspondente aos sedimentos Barreiras é representada por arenitos e argilitos seguidos por depósitos pós-Barreiras (Rossetti *et al.* 2008a 2008b) (figura 4).

Desta maneira, Soure está assentado sobre sedimentos de aluviões flúvio-lacustres holocênicos (QHfl) localizado na porção SW, sendo uma área de contato com os terraços holocênicos (QHt), presentes também na região S-SE. No extremo NW, encontram-se aluviões holocênicos (QHa) (Lacerda *et al.* 2008) (figura 3).

A maior parte do município é formada por terraços fluviomarinhos holocênicos (QPtfm), no quadrante N-NW-NE, até o limite com os depósitos fluviomarinhos holocênicos (QHfm) que contorna o limite externo da ZC de Soure e, por fim, no sentido SW-S-SE encontra-se os sedimentos da Cobertura Detrito-Laterítica Pleistocênica (QPdl) (Lacerda *et al.* 2008) (figura 3).

3.2.5 Geomorfologia

Os terrenos do município de Soure se enquadram na unidade geomorfológica do Golfão Marajoara. Por sua vez, esta unidade é subdividida em: Planícies Fluviomarinhas e Tabuleiros do Baixo Rio Amazonas (Melo & Simões 2016).

Na porção norte-nordeste da ilha de Marajó, há uma maior influência oceânica, onde predominam as planícies fluviomarinhas. A outra porção do município tem uma maior influência fluvial, com predomínio das planícies aluviais baixas e inundáveis, conhecidos como "Campos do Marajó". Ademais, há a presença de uma zona de tabuleiros baixos presentes (Melo & Simões 2016) (figura 4).

Em Soure ocorre uma planície costeira plana e baixa, constituída por sedimentos recentes argilosos e arenosos (Holoceno), favorecendo o desenvolvimento de manguezais e cordões de praias, sendo assim, sua vegetação é caracterizada por manguezais e restingas (Cohen & Lara 2003, França 2003, França & Souza Filho 2003, França *et al.* 2012a, Smith *et al.* 2011).

A planície costeira de Soure possui uma distribuição no sentido N-S, apresentando uma característica, na parte leste, em formato retilíneo. Este fator é marcado pelo controle exercido por falhas normais no sentido NW-SE, e recortada por desembocaduras com orientação preferencial NW-SE (França & Souza Filho 2006, Souza Filho 2000, 1995).

3.2.5.1 Planície de Maré

No município, ocorre a planície de maré desenvolvida no sentido longitudinal, onde alarga-se, originando uma transposição ao sentido norte, abrangendo planícies lamosas de intermaré. Estas, por sua vez, limitam-se a oeste até o planalto costeiro e com a planície lamosa de supramaré, a Leste com os cordões de dunas e praias, e ao sul com o rio Paracauari. As principais drenagens são representadas pelos canais do Uruci, Araruna, Glória, Barco, Pesqueiro e Cajuúna (Bittencourt 2016).

3.2.5.2 Cheniers

Os *cheniers* ou cordões arenosos antigos (Augustinus, 1980) estão situados na planície costeira de Soure, com área de 5,2 km² e, dispõem-se paralela à linha de costa, com uma distância de entre 0,2 a 1,5 km, e comprimentos variados e formas lineares ou curvadas. Apresentam direção preferencial N-S e NW-SE (Bittencourt 2016, França & Souza Filho 2006).

3.2.5.3 Canais e Deltas de maré

O município de Soure é recortado por inúmeros canais de marés. Dentre eles os canais de maré do Cajuúna e Pesqueiro, com largura máxima entre 112 e 468 m, e direções preferenciais NW-SE e N-S (Bittencourt 2016, França & Souza Filho 2006, Souza Filho 1995). Os deltas de maré vazante são caracterizados pela presença de dois ou mais canais

rasos, separados por bancos arenosos $(0,0063 < d \le 0,2 \text{ mm})$ (França & Souza Filho 2006, Souza Filho 1995).

3.2.5.4 Dunas costeiras

Na ZC de Soure, as dunas costeiras ocorrem com cristas paralelas à costa. As dunas são baixas, de espacialização longitudinal, e recobertas por uma vegetação de restinga, característica das interfaces da vegetação local (França & Souza Filho 2006, Souza Filho 1995).

3.2.6 Tipos de solos

Os solos em Soure são compostos por compostos estruturais. Essas características interferem nos distintos tipos de cobertura vegetal no município (tabela 1), configurando variados atributos pedológicos ao longo dos limites de sua área. Essas estruturas são formadas em função dos seus aspectos fisiográficos responsáveis pela presença de 6 classes tipos de solos (Embrapa 2018) (figura 5): (1) Gleissolo Háplico está presente na interface costeira do município de Soure, sendo encontrado na zona de contato com o rio Paracauari, no extremo sul do município; (2) Gleissolo Sálico, encontra-se distribuído, nas porções nordeste com seguimento NE-SE; e norte, com sentido NW-NE. Esse solo tem caráter sálico (CE \ge 7 dS m⁻¹, a 25 °C) em um ou mais horizontes ou camadas dentro dos primeiros 100cm (Palmiere and Santos, 1980); (3) Neossolo Flúvico ocupa quase a metade (47,1%) do município de Soure. Distribui-se na porção sudoeste e migra no sentido NW-E-N, abrangendo uma faixa considerável diante dos demais solos. Esse solo é derivado de sedimentos aluviais com horizonte A assente sobre a o horizonte C, na qual apresenta característica fluvial nos primeiros 150cm. Admite-se um horizonte Bi com menos de 10cm de espessura. Desta forma, existe a ausência do processo denominado de "gleização", na qual se expressa diante de 50cm da superfície do solo; (4) Gleissolo Tiomórfico abrange a faixa costeira externa do município, sendo distribuído na faixa leste com sentido NE-S e noroeste com sentido NW-E. Esses solos são constituídos por materiais sulfídricos em um ou mais horizontes ou camadas ou horizonte sulfúrico, ambos dentro de 100cm a partir da superfície do solo (Embrapa 2018); (5) Latossolo Amarelo compreende os solos constituídos por um material mineral, com horizonte B latossólico que está abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, exceto hístico. Desta forma, estes têm uma matriz 7,5YR ou mais amarelo na maior parte dos

primeiros 100cm do horizonte B (inclusive BA), onde não se configura na classe anterior (Embrapa, 2018). Em Soure, a presença deste solo não é abrangente assim como as demais, sendo encontrado no extremo sudeste do município, próximo ao rio Paracauari; (6) Plintossolo ocorre na porção do extremo sul de Soure, sendo distribuído no sentido SW-SE. Esse solo é altamente intemperizado, devido à drenagem local. Este, por sua vez, é rico em sesquióxido de ferro, pobre em húmus com mosqueado vermelho acinzentado, podendo apresentar concreções sob condições de umedecimento e ressecamento (Furtado *et al.* 2009).

Classes de solos	Relevo	Drenagem	Local	Vegetação
Latossolo Amarelo	Plano suave Ondulado	Bem drenado	Soure	Savana parque
Neossolos	Plano	Mal drenado	Soure	Restinga
Aluviais	Plano	Bem drenado	Soure	Floresta Ciliar
Salinos (solonchacks)	Plano	Mal drenado	Soure	Indiscriminado

Quadro 1- Caracterização de natureza ambiental das classes de solos ocorrentes no município de Soure. Fonte: adaptado de Furtado *et al.* (2009).



Figura 3- Mapa Pedológico do município de Soure. Fonte: adaptado de Embrapa (2018).

3.2.7 Cobertura Vegetal

Na faixa costeira do município de Soure, ocorrem os manguezais e restingas. Desta forma, destacam-se algumas espécies: *Rhyzophora racemosa*, *Rhyzophora mangle* L., *Avicennia schaweriana* Stapf & Leech, *Avicennia germinans* L. Stearn e Laguncularia racemosa Gaertn. Nas restingas, são comuns: Chrysobalanus icaco L., *Anacardium occidentale* L., *Paspalum vaginatum* Sw., *Ipomea pescaprae* Rott. e *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth (França & Souza Filho 2003, França *et al.* 2012b, Lisboa *et al.* 1993, Soares *et al.* 2020, Vasconcelos *et al.* 2020). O manguezal é controlado pelo teor de salinidade presente nos sedimentos e o nível de inundação dos sistemas estuarinos (Cohen & Lara 2003).

Também, os campos cerrados, são caracterizados pela interface de espécies arbóreas e herbáceas, na qual formam manchas que se destacam entre os espaços de capoeiras e matas de origem secundárias. Desta forma, as espécies arbóreas destacam-se e são: *Hancornia speciosa* Gom, *Curatella americana* L., *Hyrtella ciliata* (Mart ex Zucc) e *Salvertia convallariaeodora* A. St. Hill (França 2003).

Como espécies herbáceas, encontram-se: *Trachypogon plumosus* (Nees) Kunth, *Cassia hispidula* Vahl, *Borreria verticillata* G.F.W. Mey e *Bulbotylis junciformis* C.B. Clarke (Bastos 1984).

3.2.8 Aspectos Hidrológicos

A ZC de Soure possui uma extensão de 120 km. Esta é influenciada na porção norte pelo estuário do rio Amazonas (margem norte) e Pará (margem leste). Ainda ocorrem vários canais de maré, rios, lagos, furos e igarapés que ao longo do seu percurso de escoamento conduzem as águas salobras para as áreas internas do município.

O estuário do rio Amazonas influencia as partes oeste e norte da ilha de Marajó, e suas águas formam uma pluma de água branca na Plataforma Continental do Amazonas. Em Soure, sua influência ocorre desde o canal das Tartarugas, na parte oeste, até o Cabo do Maguari, na extremidade nordeste, com diminuição da salinidade da água (Lima *et al.* 2001).

A descarga hídrica/sólida do rio Amazonas é responsável pela imensa dinâmica na sua foz. A descarga hídrica máxima é de 220.000 m³/s (maio). Esse volume é expelido para o oceano Atlântico através de dois canais: o canal norte, que segue em direção ao Amapá (com 60% do fluxo); e o canal sul, em direção à ilha de Marajó (com 40% do fluxo) (Torres & El-Robrini 2006). Sendo assim a descarga hídrica máxima no canal sul é de 88.000 m³/s (Prestes *et al.* 2020b, 2017, n.d.). A descarga sólida gera um alto teor de material em suspensão com o total de que chega a 1,8 bilhões ton/ano, sendo que no canal sul chega 0,72 bilhões ton/ano, sendo maior em fevereiro-março e menor em outubronovembro (Prestes *et al.* 2020b, 2017, n.d.).

O rio Pará estende-se por cerca de 300 milhas e tem aproximadamente um total de 20 milhas de largura. Os seus processos físicos que são predominantes (energia) têmse a influência de ondas e maré. A maior porção (3/4) da brasileira costa é influenciada pela dinâmica da onda (Sul, Sudeste e Nordeste). Este estuário é influenciado pela maré dinâmica, com amplitudes de maré variando entre 3,6 e 4,6 m. Na margem esquerda do estuário (Ilha do Marajó) existe uma cem canais de maré (Rollnic & Rosário 2013). Os
canais estão associados a extensas planícies de maré e pântanos e vegetação de várzea (França & Souza Filho 2003).

3.2.9 Aspectos Oceanográficos

Na costa norte de Soure as marés atingem altura de 5,6 m e -0,4 m, respectivamente na sizígia e quadratura (DHN 2020). A parte leste da ZC de Soure está sob influência das águas do estuário do rio Pará. A vazão é de 98.594 m³/s no período chuvoso e de 65.269 m³/s na estiagem (Prestes *et al.* 2017). A maré oscila entre 5,6 m (preamar/sizígia) e 0,4 m (baixamar/quadratura) (DHN 2020) e as correntes de maré apresentam velocidades de 1,2 m s⁻¹ (enchente) e 1,4 m s⁻¹ (vazante) (Rosário 2016, Rosário *et al.* 2016).

Esta região é influenciada pela presença da corrente Norte do Brasil (CNB) e pela sua componente em subsuperfície a subcorrente Norte do Brasil (SCNB). Estas são oriundas da bifurcação da corrente Sul Equatorial, na qual alimenta o sistema CNB/SCNB. Onde, depois desta bifurcação, o complexo de CNB/SCNB transporta água quente do Atlântico Sul para noroeste, ao longo da costa do Brasil, cruzando a linha do equador com sentido direcional para o Atlântico Norte. A CNB varia de direção ao longo da costa norte brasileira, de acordo sobretudo com os padrões dos ventos e da localização no trajeto da corrente (Silva *et al.* 2009).

A 44°W o complexo da CNB/SCNB transportam água em torno de 35 Sv a 36 Sv $(1 \text{ Sv} = 106 \text{ m}^3 \text{s}^{-1})$ em direção ao Equador, com uma amplitude de variação sazonal média de 3 Sv (Johns *et al.* 1998, Schott *et al.* 1998). De maneira genérica, a velocidade máxima da CNB é localizada na isopicna de 24,5, com um fluxo de aproximadamente de 60 x 100 cm.s⁻¹. Onde, a CNB flui ao longo da quebra da Plataforma continental do Amazonas sobre o talude continental, com sentido noroeste, com velocidades de 50-100 cm.s⁻¹ (Silva *et al.* 2009).

4 MATERIAL E MÉTODOS

A execução e êxito do trabalho depende das técnicas de geoprocessamento. Desta forma, o laboratório e processamento de dados tornam-se indispensáveis na aquisição e tratamento dos dados para compreender a dinâmica costeira da área de estudo.

Este processo perpassa por etapas constituintes de: aquisição de imagens gratuitas no sítio do serviço público disponibilizado de maneira global, o componente técnico (infraestrutura), processamento dos dados gerados a partir das técnicas de geoprocessamento e, por fim, a análise dos componentes gerados (figura 6).

Após o processamento, devido a extensão da área de estudo, identificou-se a necessidade de dividir em 5 setores (figura 7) para a melhor mensuração dos dados gerados e analisar de forma mais detalhada a dinâmica particular do espaço geográfico de estudo, sendo assim, subdivide-se em: I) rio Amazonas - NW; II) rio Amazonas - NE; II) Cabo Maguari; IV) rio Pará - NE; V) rio Pará - SE. Essa setorização foi escolhida seguindo o critério da dinâmica apresentada através dos dados gerados.



Figura 4 - Etapas seguidas, ao longo do trabalho, para análise da dinâmica costeira (LC e manguezal da ZC de Soure – 48 anos).



Figura 5 - Divisão da ZC do município de Soure (Ilha de Marajó-PA) em 5 setores (I, II, III, IV, V).

4.1 ETAPA 1: PROCEDIMENTOS PRIMÁRIOS

4.1.1 Definição da Área de Estudo

A escolha da área de estudo tem como base o estudo de espaço de suma importância para o viés de sobrevivência de um rico ecossistema (manguezal), onde neste município encontra-se a RESEX Marinha de Soure. A ausência de estudos motivou a aplicação de técnicas de geoprocessamento para a compreensão da sua dinâmica.

Além do exposto, os componentes necessários para o êxito da pesquisa encontram-se disponíveis de forma gratuita nos sítios da ASF/NASA e USGS em instituições/órgãos, facilitando a obtenção de dados e posteriormente a análise a partir do que foi gerado.

4.1.2 Revisão de Literatura

A pesquisa bibliográfica tem como intenção a coleta de informações referentes a atribuições de relevância para o eixo central do enredo textual. Neste sentido, pauta-se na aquisição de um referencial tangível a conceitos relacionados à dinâmica costeira, fatores que influenciam nessa dinâmica ao longo do tempo e, por fim, os métodos que são necessários para a avaliação decorrentes da variabilidade costeira ao longo do tempo.

Objetivando chegar a um enredo textual coerente sobre a temática do trabalho, optou-se por realizar uma revisão sistemática (RS), a fim de atribuir à pesquisa um carácter inédito para a proposição técnica, metodológica e o espaço geográfico da realização do estudo.

Em suma, este componente da RS perpassa pelos seguintes procedimentos: a) Revisão Teórica da RS; b) Material Utilizado; c) Protocolo da Revisão; d) Gerenciamento de Referência Bibliográfica: e) Mendeley (Elsevier); f) Condução da Revisão Sistemática; por fim, g) Base de Obtenção e Resultados dos Dados Bibliográficos Coletados.

4.1.2.1 Revisão Sistemática (RS)

Uma RS é uma forma que o leitor tem para identificar, avaliar e interpretar na literatura todo o campo de pesquisa que está disponível e a qual seja relevante para a sua composição textual, levando em consideração um tópico ou um fenômeno de interesse (Kitchenham & Charters 2007, Mafra & Travassos 2005).

A forma de condução de uma RS apresenta uma forma metodológica de avaliação coesa sobre o ponto de vista do cenário científico à medida que este utiliza-se de uma metodologia que compõe uma revisão extremamente rigorosa, de parâmetro confiável e, por sua vez, passível de auditagem.

Ademais, uma RS deve, de forma obrigatória, conter o protocolo para que a comunidade acadêmica e outros leitores sobre o interesse do mesmo possam repetir a revisão para os seus fins específicos.

As revisões individuais que antecedem a RS são denominadas de estudos primários. Neste sentido, a RS é classificada como um estudo que advém a posteriori, ou seja, um componente teórico secundário (Mafra & Travassos 2005).

Compreender o processo de execução da RS é cada vez mais comum no âmbito científico e, desta maneira, é uma forma metodológica essencial para os pesquisadores em suas mais variadas áreas de pesquisa. Neste sentido, esse recurso pode torna-se fundamental para as pesquisas de uma determinada área de concentração ou tópico a ser pesquisado, pois ao fornecer uma visão ampla da área de pesquisa, fornece ao pesquisador e os demais uma forma de reprodução e avanço no campo de discussão sistemática (Kitchenham 2004, Kitchenham & Charters 2007, Mafra & Travassos 2005).

4.1.2.2 Material Utilizado

Para realizar a RS¹, através da facilitação da extração e sumarização dos dados, foram confeccionados os seguintes formulários e software:

- Formulário de Condução da Revisão: contendo os campos para o armazenamento de informações sobre a fonte de dados e que forma foi obtida, buscando atribuir o período em que foi realizada a pesquisa, as combinações de palavras-chave que foram essenciais para a realização da busca de artigos e a lista dos artigos encontrados.
- Formulário de Seleção de Estudos, que contém o: nome do artigo, lista de autores, data de sua publicação, veículo de publicação do artigo, fonte de onde foi obtido e situação do artigo (pendente, incluído e excluído).
- Formulário de Extração de Dados: contendo campos para o resumo do artigo, objetivo do estudo, descrição do estudo técnico, resultados do estudo, além de comentários adicionais dos dados.
- O software Mendeley desktop: responsável pelo gerenciamento das referências encontradas.
- O software Zotero: sendo responsável por importar o arquivo de formato *comma-separated-values* (.CSV) para o formato *Information Systems Research* (.RIS).

¹O protocolo integral encontra-se no Apêndice.

4.2 ETAPA 2: COMPILAÇÃO DE DADOS

Este componente é responsável por fazer o levantamento e interpretação de dados adquiridos nos sítios oriundos das pesquisas e processados em software de geoprocessamento.

4.2.1 Definição de projeção geográfica

O processo de escolha da definição do sistema de projeção compreende uma prerrogativa da utilização da quantificação dos dados que irão ser gerados e a utilização das bases cartográficas em sistemas de referência com projeções UTM (Universal Transversal de Mercator).

Desta forma, o sistema de projeção escolhido utiliza como unidade de medida o metro (m) para calcular distâncias e projetar a posição de determinado componente, proporcionando dados quantitativos inerentes à área em questão.

Ademais, o plugin DSAS v5, utilizado no software ArcGIS 10.5®, tem por base o uso do sistema de coordenadas UTM para fazer a interpolação de dados, caso esteja em outro tipo de projeção, não é possível gerar os dados finais.

4.2.2 Imagens de satélite

Para garantir a execução da análise feita sobre a variação da LC e dos limites internos do manguezal, entre as áreas sob influência dos estuários dos rios Amazonas e do Pará e da confluência entre ambos, baseou-se na comparação de imagens de média resolução Landsat 1 MSS de 1972 e 1994 (bandas 1, 3), Landsat 5 TM de 1985, 2004, 2009 (bandas 2, 4), com resolução espacial de 30m, e Landsat 8 OLI de 2020 (bandas 3, 5), com resolução espacial de 15 m após a fusão da banda 8 (pancromática), sendo obtidas no sítio da USGS (United States Geological Survey), acessado em setembro/2020 (tabela 1).

Após a vetorização direta sobre as imagens, houve a sobreposição dos vetores dos anos de 1972 a 2020, a partir da técnica do DSAS (Digital Shoreline Analysis System). Posteriormente, foi possível gerar os dados cartográficos e quantitativos: confecção de mapas, medidas lineares, cálculo de áreas e taxas. A comparação entre os vetores e os

dados quantitativos revelaram a mobilidade temporal da LC a distribuição dos setores erosivos e acrecionais e a magnitude da erosão e da sedimentação, nos últimos 48 anos.

Tabela 1- Sensores passivos e resolução espacial.

Fonte: Adaptado de USGS (2020), CPTEC (2020).

Radar/ Satélite	Sensor	Órbita Ponto	Data de Aquisição	Cobertura de Nuvem (%)	Parâmetro Climático	Hora (Am)	Resolução Espacial (m)	Combinação de Bandas	Resolução Radiométrica	
LANDSAT 1	MSS	240060	13/12/1972	3.00	El Niño	12:56	79x79	1, 3	7 bits (band 4,5,7)	
LANDSAT 5 LANDSAT 1	TM MSS	224060 224060	09/10/1985 30/07/1994	6.00 19.00	Sem Ocorrência Sem Ocorrência	12:57 12:46	30x30 30x30	2, 4	8 bits 8 bits 7 bits (band 4,5,7) 6 bits (band 6)	
LANDSAT 5 LANDSAT 5	TM TM	224060 224060	23/06/2004 09/09/2009	30.00 3.00	Sem Ocorrência El Niño	13:10 13:18	30x30 30x30	2, 4	8 bits 8 bits	
LANDSAT 8	OLI/TIRS	224060	07/09/2020	6.17	La Niña	13:29	30x30 15x15 (pan)	3, 5	16 bits	

4.3 ETAPA 3: ETAPA DE GABINETE

Todo o processamento e o fornecimento do código fonte do ArcMap, foi realizado com o apoio e auxílio do Laboratório da Informação Geográfica (LAIG-UFPA). Neste seguimento foi feita a interpretação visual das imagens e a vetorização da LC no ArcMap, do software ArcGis 10.5. Foi considerada como LC a extração do contato da água com o continente, através do NDWI, ou seja, os cordões de praias arenosas que bordejam a costa de Soure com o contato com água a partir da técnica mencionada. Todas as linhas limítrofes foram visualizadas e extraída a partir das imagens Landsat utilizadas.

4.3.1 Erros Geométricos das Imagens Landsat

Para garantir a confiabilidade dos dados e a precisão dos resultados, foi definido um erro geométrico acumulativo entre as imagens utilizadas. Considerando o erro de georreferenciamento de cada imagem, extraído dos metadados e relacionando-o por regra de três ao valor do pixel, obteve-se o erro de 56,688 m com uma média entre os anos de 9,478 m para medidas lineares e o erro de 1704,6 m² apresentando 284,1 m² para medidas de área poligonal (Quadro 1).

Ano de Aquisição de Imagem	Erro do pixel	Erro geométrico linear (m)	Erro geométrico de área (m²)		
1972	0,370	11,124	333,0		
1985	0,326	9,781	293,4		
1994	0,384	11,523	345,6		
2004	0,310	9,304	279		
2009	0,352	10,573	316,8		
2020	0,152	4,563	136,8		
Erros geom	étricos				
Acumula	tivos	56,868	1704,6		
Média dos Err	t OS	9,478	284,1		

Quadro 2 - Erros geométricos das imagens. Fonte: Adaptado de Sítio da USGS (2020).

4.3.2 Delimitação da Linha de Costa

A vetorização da LC foi criada a partir de métodos semi-automáticos combinados com métodos manuais, assim como proposto por Santos *et al.* (2021). Desta forma, as bandas de infravermelho próximo/curto e de comprimento de onda visível dos sensores Landsat foram utilizadas para atribuir o critério das superfícies da terra e da água ao longo da ZC. Foi preferencialmente utilizada a banda de comprimento de onda do infravermelho pelo fato de que essas contribuem para a diferenciação das características da água e da terra, pois a energia do infravermelho médio é absorvida pela água (ou água turva) e a vegetação, areia e outras características costeiras na faixa têm características de

refletância fortes nesta largura de banda (Alesheikh *et al.* 2007, Apostolopoulos & Nikolakopoulos 2021, Santos *et al.* 2021b).

Neste cenário, há variados índices de água que são utilizados para a diferenciação do componente de diferenciação óptica da terra e da água (a exemplo, (Acharya *et al.* 2018, Apostolopoulos & Nikolakopoulos 2021, Kabir *et al.* 2020, Ouma & Tateishi 2006, Qiao *et al.* 2012, Santos *et al.* 2021b, Sarp & Ozcelik 2017, Xu 2006, Yang *et al.* 2017). Nesta composição, o índice de diferença normalizada da água (NDWI) foi utilizado por apresentar resultado mais satisfatórios do que outros métodos e também, de um conteúdo técnico mais aprimorado para a detecção da LC (Abu Zed *et al.* 2018; Behling *et al.* 2018, Do *et al.* 2019, Joevivek *et al.* 2019, Mishra *et al.* 2019, Santos *et al.* 2021b, Xu 2018). Onde,

$NDWeu = \frac{GREEN - NeuRG}{GREEN + NeuR}$

Equação 1- Cálculo do índice de diferença normalizada da água (NDWI)

Desta forma, o Green e o NIR representam a banda verde e a banda infravermelha próxima, respectivamente. A estrutura deste componente é projetada para maximizar a refletância da água usando comprimentos de onda verdes; e minimizar a baixa refletância do NIR por recursos de água aproveitando a alta refletância de NIR por recursos de vegetação e solo. Como consequência, a água tem valores tangíveis ao positivo e são aumentadas ao longo do processo, enquanto a vegetação e o solo tangenciam valores de encontro a zero ou negativos, sendo suprimidos ao longo do processamento (Abu Zed *et al.* 2018, Apostolopoulos & Nikolakopoulos 2021, Baral *et al.* 2018, Behling *et al.* 2018, McFEETERS 1996, Qiao *et al.* 2012, Xu 2018).

Assim, o NDWI (equação 2) foi aplicado às imagens Landsat no ArcMap, após a criação de uma imagem *tiff* com o componente NDWI para cada imagem Landsat adquirida e, por fim, foi vetorizada criando (em formato shapefile) o delineamento da LC (figura 10).

$$NDWI = \frac{R_{860} - R_{1240}}{R_{860} + R_{1240}}$$

Equação 2- Sistematização do cálculo do índice de diferença normalizada da água (NDWI)



Figura 6 - Sobreposição das LC's por anos de análise do município de Soure, Ilha de Marajó-PA.

4.3.3 Digital Shoreline Analysis System (DSAS) V5

O Digital Shoreline Analysis System (DSAS) é uma aplicação que está disponível de forma gratuita e sua funcionalidade engloba a utilização do software Esri Geographic Information System (ArcGIS). Neste sentido, o DSAS tem por função o cálculo estatístico da taxa de mudança de uma série multitemporal de vetores que são obtidos a partir da interpretação visual da LC (Himmelstoss *et al.* 2018).

Como componente de análise do estudo utiliza-se a versão mais recente do DSAS, a versão 5.0 (v5.0). Deste modo, esta versão, segundo Himmelstoss *et al.* (2018), foi lançada em dezembro de 2018 e teve sua testagem na compatibilidade com ArcGIS versões 10.4 e 10,5, sendo compatível com os sistemas operacionais Windows 7 e Windows 10.

Sobre o uso do DSAS, o mesmo a partir do seu processamento gera transectos ortogonais em um espaçamento definido pelo usuário, assim, é calculado posteriormente o movimento da LC e suas respectivas taxas de mudanças através de métodos estatísticos

aplicados, na qual são distintos e são mostrados em uma tabela de atributos nos componentes dos metadados no software (Mishra *et al.* 2020, Nascimento 2012).

Para o cálculo estatístico do DSAS é utilizado um método para calcular as taxas de mudança da LC, sendo baseada nas diferenças que são medidas entre as posições da LC através do tempo. As taxas relatadas são expressas como metros de mudança por ano, medidos ao longo dos transectos gerados. Após o processamento dos cálculos, o DSAS produz uma nova classe de recurso de taxa de transectos e uma classe de recurso de intersecção de ponto (tabela 2) (Himmelstoss *et al.* 2018).

Tabela 2- Títulos de campo padronizados fornecida pelo Digital Shoreline Analysis System (DSAS) para cálculos de mudança.

Estatísticas do		Descrição
NSM		Movimento líquido da linha costeira
SCE		Envelope de mudança da linha costeira
EPR		Taxa do ponto final
EPRunc		Incerteza da taxa do ponto final
LRR		Taxa de regressão linear
LSE		Erro padrão de regressão linear
LCI	taxas	Intervalo de confiança de regressão linear – LCI%, onde% é o valor do CI é inserido na janela para calcular as
LR2		<i>R</i> - Quadrado de regressão linear
WLR		Regressão linear ponderada
WSE		Erro padrão de regressão linear ponderada
WCI	para cale	Intervalo de confiança da regressão linear ponderada - WCI%, onde% é o valor do CI é inserido na janela cular taxas
WR2		<i>R</i> - Quadrado da regressão linear ponderada

Fonte: Himmelstoss et al. (2018).

Os métodos mais utilizados para compor a análise da LC através do DSAS são o NSM, EPR e LRR. Desta forma, o EPR na costa dos Estados Unidos da América é bastante utilizado, pois o mesmo utiliza apenas duas posições da face da LC para fazer o cálculo dos valores que compõem as taxas de variação ao longo do tempo (Dolan *et al.* 1991).

Sobre o LRR, a análise feita sobre esse método tem resultados satisfatórios, assim como mostra o estudo das posições da LC medidas de Delaware e Nova York, na qual foram usadas para calcular as taxas de erosão de longo prazo e, com isso, fazer previsões para posições subsequentes conhecidas e como resultado teve como redução do erro em mais de 70% em Nova York e 34% em Delaware para a análise das taxas, incluindo costas de tempestades. Neste sentido, o componente de análise do EPR e do LRR tem grande êxito para a análise da variação da LC e por consequência, no campo científico, são as que mais são utilizadas para os estudos costeiros com o DSAS (Honeycutt *et al.* 2001).

Nesta composição foram utilizados os 3 métodos citados anteriormente:

4.3.3.1 Movimento líquido da linha costeira (NSM)

O NSM, é a distância entre as linhas costeiras mais antigas e mais novas para cada transecto. Onde o valor positivo indica o movimento em direção ao mar e o valor negativo indica o movimento da linha costeira em direção à terra (figura 11) (Himmelstoss *et al.* 2018; Kabir *et al.* 2020).



Figura 7 - No exemplo acima, o movimento líquido da linha costeira é a distância de 76,03m entre as linhas costeiras mais recentes de 2005 e a linha costeira mais antiga de 1936. Fonte: (USGS 2017).

4.3.3.2 Taxa do ponto final (End-Point Rate- EPR)

O componente da taxa do ponto final é calculado a partir da divisão da LC a partir do tempo decorrido entre a linha mais antiga e a mais recente no componente de análise (figura 12). Neste sentido, assim como ressalta Himmelstoss *et al.* (2018), a principal vantagem de usar este método é que precisa apenas de dois componentes vetoriais (LC) para fazer a análise ao longo do tempo estudado. Porém, há desvantagens; e ela corresponde a questão analítica de mais dados, ou seja, mais LC's, estas são ignoradas ao longo do processamento. É importante ressaltar que os dados obtidos a partir desse método, não descaracteriza a análise dos resultados (Nascimento 2012).



Figura 8 - Ilustração da relação entre as estatísticas de mudança da linha costeira: movimento líquido da linha costeira (NSM), taxa de ponto final (EPR) e envelope de mudança da linha costeira (SCE). Fonte: Himmelstoss *et al.* (2018).

4.3.3.3 Taxa de regressão linear (Linear Regression Rate - LRR)

A taxa de regressão linear nesta análise vai ser determinada ajustando uma linha de regressão de mínimos quadrados a todos os pontos da costa para um transecto gerado no processamento (figura 13). A linha que tem como base o recuo é inserido de maneira que a soma dos componentes ao quadrado (determinado pelo quadrado do deslocamento distância de cada ponto de dados da linha de regressão e adicionando os resíduos quadrados juntos) seja minimizada (Dolan *et al.* 1991).



Figura 9 - Relação entre dados de tempo e espaço no mapa, e apresentados em uma forma gráfica como a distância da linha de base versus a data da LC. A taxa de regressão linear (LRR) foi determinada plotando as posições de intersecção da LC (distância da linha de base) em relação a tempo (anos) e calculando a

equação de regressão linear de y = 1,34x - 2587,4. A inclinação da equação que descreve a linha é a taxa (1,34 m/ano). Fonte: Himmelstoss *et al.* (2018).

O LRR tem como principal recursos: 1) todos os dados são usados, independentemente de mudanças na tendência ou precisão, 2) o método é puramente computacional, 3) o cálculo é baseado em conceitos estatísticos aceitos, e 4) o método é fácil de utilizar (Crowell *et al.* 1997, Dolan *et al.* 1991). No entanto, o método de regressão linear é suscetível a efeitos atípicos e tende a subestimar a taxa de mudança em relação a outras estatísticas, como EPR (Dolan *et al.* 1991, Genz *et al.* 2007).

Foram traçados seiscentos e cinquenta e quatro (654) transectos perpendicularmente à LC com espaçamento de 100 m entre estes. Nas configurações é estabelecida uma linha de base, localizada continente adentro, em relação à LC mais antiga (1972), na qual serve como ponto de partida para a tomada de medidas em todas as linhas de costa geradas. Desta forma, são obtidos resultados a partir do método da/o: Movimento líquido da Linha Costeira (NSM), a taxa do ponto final (End-Point Rate-EPR) e a taxa de regressão linear (Linear Regression Rate- LRR (gráficos 3, 4 e 5).

Os dois métodos usados servem como embasamento analítico da referida ZC. Apesar das duas formas metodológicas serem distintas, o motivo para a utilização é aplicado para demonstrar a semelhança alcançada a partir dos dados gerados por ambos. Assim, este trabalho irá fazer usufruto dos métodos: NSM, EPR e LRR (Almonacid-Caballer *et al.* 2016, Baía *et al.* 2021, Benkhattab *et al.* 2020, Kabir *et al.* 2020, Mahapatra *et al.* 2014, Misra & Balaji 2015, Muskananfola *et al.* 2020; Santos *et al.* 2021b)

A razão para que fosse utilizado apenas esse método tange a perspectiva que além de calcular as taxas de variação da LC com certa precisão, este método vai possibilitar identificar, através do coeficiente de determinação (R²), a tendência do seu comportamento para médio prazo. Onde, calcula-se

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

Equação 3- Cálculo do coeficiente de determinação.

Onde,

R² é o coeficiente de determinação;

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

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

 \overline{y} é a média das distâncias medidas da linha costeira a partir da linha de base.

Neste sentido, o R² ou Coeficiente de Determinação, mostra uma estreita relação entre os dados gerados e analisados. Contudo, se o R² for próximo de 1, identifica-se uma tendência correlativa dos dados satisfatória. Desta forma, mostra-se uma perspectiva de continuidade do processo atuante (avanço da LC). Se o R² é próximo de 0, isso significará que a correlação entre os dados analisados não é satisfatória. Nesse caso, mostra-se uma perspectiva de estagnação ou de descontinuidade (erosão) do processo atual no condicionamento costeiro (Allan *et al.* 2003, Himmelstoss *et al.* 2018, Maiti & Bhattacharya 2009).



Gráfico 1 - Net Shoreline Movement (NSM). Valores positivos indicam avanço costeiro e os negativos recuo costeiro. Fonte: Próprio autor.



Gráfico 2 - End-Point Rate (EPR). Valores positivos indicam avanço costeiro e os negativos recuo costeiro. Fonte: Próprio autor.



Gráfico 1 - Linear Regression Rate (LRR). Valores positivos indicam avanço costeiro e os negativos recuo costeiro. Fonte: Próprio autor.

4.3.3.4 Técnica de previsão da linha de costa (10 ou 20 anos)

A versão v5 do plugin DSAS traz consigo uma opção para calcular uma previsão da LC (10 ou 20 anos no futuro) com base nos dados históricos da posição da LC. Para estimar esse parâmetro é utilizado um cálculo utilizando o filtro de Kalman (Al Ruheili & Boluwade 2021, Himmelstoss *et al.* 2018, Kalman 1960, Natarajan *et al.* 2021), combinando as posições das LC's com a derivação do modelo metodológico para estimar a posição da LC no contexto futuro (Himmelstoss *et al.* 2018, Long & Plant 2012). Desta forma, o processo origina-se a partir do cálculo estatístico do parâmetro LRR, ou seja, da taxa de regressão linear no plugin DSAS; ademais, é estimada a posição da costa e classifica a cada dez dias do ano e fornece uma estimativa da incerteza posicional em cada intervalo de tempo (figura 14).



Figura 10 - Uma comparação da previsão da LC usando o filtro de Kalman versus linear regressão. Fonte: Himmeslstoss *et al.* (2018).

4.3.3.4.1 Modelo de Filtro Kalman

O Filtro de Kalman realiza uma análise para minimizar o erro entre as posições da linha costeira modeladas e observadas para melhorar a previsão, incluindo atualização da taxa e incertezas (Himmelstoss *et al.* 2018, Kalman 1960, Long & Plant 2012, Natarajan *et al.* 2021). Essa taxa é usada para fazer uma previsão da posição da LC ao

longo do tempo que sucede até que o levantamento seja alcançado e novamente os novos dados sejam assimilados em o modelo.

O padrão de medição usa o erro de medição, estimando e usando a incerteza da LC que é associada a cada LC utilizada para fazer a análise. Contudo, esse método vai tentar resolver o processo ruído, na qual inclui a variabilidade sazonal não resolvida em cada local.

Neste sentido, de forma inicial é estimada a partir do intervalo de confiança e erro padrão da regressão linear previamente calculada pelo DSAS (LCI e LSE). Pois, o ruído do processo está incluído no processo. Na previsão, a incerteza na previsão continuará crescendo a cada ano até que outra observação seja assimilada. Quando os dados da LC são bem representados por um ajuste linear, a previsão baseada no Filtro de Kalman se parece com uma regressão linear linha extrapolada para o futuro.

Essa abordagem pode ser capaz de modelar melhor essa divergência de uma regressão linear e longo prazo, permitindo que a taxa mude um pouco ao longo do tempo. Exatamente quanto a taxa deve variar depende de vários fatores.

Na versão do DSAS que é usada nesta composição, esses parâmetros foram definidos para valores gerais mantendo o modelo relativamente próximo para a regressão linear. Neste sentido, é importante ressaltar que esta ferramenta de previsão futura não é ideal para todos os locais, tipos de dados e os padrões de mudança da LC, cabendo ao técnico responsável considerar as especificações e limitações de seus componentes de dados quando decidir sobre a conveniência de usar esta ferramenta para projetar uma posição costeira prevista.

No caso do objeto de estudo, essa ferramenta é aplicável. Haja vista que a dinâmica dos processos de vetorização da LC e a dinâmica da costa é pouco influenciada a partir de atores antropogênicos que possa alterar o dinamismo natural de evolução futura da LC.

4.3.3.4.2 Taxa de camada de dados

O filtro de Kalman é inicializado usando uma taxa de regressão linear calculada pelo DSAS. Desta forma, o técnico responsável deve ter executado a taxa cálculos que incluem uma regressão linear como uma das métricas de taxa calculadas.

A taxa do LRR pode ser calculada com três ou mais linhas costeiras, a previsão da LC não está disponível para dados com menos de quatro LC's. Adiante, o responsável deve clicar no Ícone *Shoreline Forecasting* na barra de ferramentas DSAS, classes de recursos que contêm o campo de atributo LRR aparecem no menu suspenso para seleção. A previsão do litoral DSAS usa arquivos de taxa de transecção e o arquivo de interseção correspondente para cálculos. Se o arquivo de intersecção não estiver presente no mapa, o arquivo de taxa não será exibido na janela *Shoreline Forecasting* para seleção (Himmelstoss *et al.* 2018).

4.3.3.4.3 Horizontes de tempo de previsão

A abordagem do filtro de Kalman, segundo Himmeslstoss et al. (2018), pode ser usada para gerar horizontes de previsão da linha costeira de 10 ou 20 anos a partir da data de execução. Um ou ambos os prazos podem ser selecionados para saída. Cada período de tempo produz arquivos de saída da seguinte maneira:

1. A previsão da LC (10 ou 20 anos), exibida como uma classe de recurso de LC de polilinha e uma classe de recurso de ponto.

Esta é a localização prevista da linha costeira no período de tempo selecionado. A classe de recurso de ponto tem atributos adicionais de ambos os transectos e a previsão e está incluído para uso na exportação e plotagem de dados de previsão da LC. A linha do horizonte de previsão da LC deve sempre ser exibida com a incerteza de previsão da LC associada (abaixo).

2. A incerteza da previsão da LC, exibida como uma classe de recurso de polígono transparente. Isso pode ser considerado como a banda de incerteza para a linha do horizonte da LC prevista.

Destaca-se que quando o horizonte da LC previsto é exibido, é fortemente recomendado que a banda de incerteza também seja tão os dois produtos são projetados

para serem usados simultaneamente. A incerteza calculada por este método incorpora apenas a incerteza devido às posições anteriores da LC e suas incertezas e assume que a mudança futura será como a mudança passada.

Essas incertezas não podem levar em conta outros fatores que podem influenciar a posição da LC no futuro. A parte superior da figura 15 mostra o horizonte de previsão da LC e a incerteza traçada pelo DSAS como recursos em um mapa.

A previsão da LC é uma linha sólida e a banda de incerteza é um polígono transparente que se estende a partir da previsão. Os gráficos na figura 13 não são produtos DSAS, mas ilustram o método pelo qual o filtro de Kalman opera ao longo do tempo para atingir o horizonte de previsão resultante e a banda de incerteza que são exibidos no mapa. Na figura 13 (gráfico à esquerda), a previsão DSAS e o linear as taxas de regressão são semelhantes. No entanto, no gráfico à direita (figura 13), há mais variabilidade na posição da LC ao longo do tempo, e o filtro de Kalman pode modelar posições com base na progressão não linear dos dados. No entanto, isso resulta em uma incerteza maior faixa ao redor da costa prevista.



Figura 11 - Um exemplo de previsão e incerteza do filtro de Kalman em dois transectos do Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Localizações. Os gráficos não são produtos DSAS; eles estão incluídos aqui para ajudar a explicar o método.

4.3.3.4.4 Datum da previsão da LC

A previsão da LC produz uma estimativa de previsão de 10 e (ou) 20 anos com base no *datum* dos dados de entrada da LC. Se todas as entradas as linhas costeiras são do mesmo *datum* (por exemplo, MHW), a linha costeira resultante será a localização futura em potencial de um MHW litoral.

Se os dados de entrada contiverem vários proxies da linha costeira (HWL e MHW), um viés *proxy-datum* deve ser aplicado para usar a previsão da linha costeira. O PDB converterá as linhas costeiras HWL em um datum MHW, e todas as LC's previstas foram referenciadas MHW.

Desta maneira, se alguns transectos não têm um valor de PDB, a previsão da LC tem uma solução alternativa embutida para aplicar uma conversão regional a esses transectos de modo que todos os dados previstos sejam referenciados a MHW.

O valor do PDB pode variar muito ao longo de um estudo área. Deste modo, esta "conversão regional" pode introduzir mais erros para a previsão nesses transectos. Introduzindo opções para prosseguir se DSAS detecta um conflito de dados incluindo pular transectos sem viés, aplicando uma média regional de viés para os transectos ausentes informações de polarização e interromper totalmente a previsão (Himmelstoss *et al.* 2018).

4.3.3.4.5 Desafio de previsão da Linha de Costa

O dinamismo costeiro em várias porções das áreas costeiras do globo tornou-se um desafio para a contenção da erosão proporcionada pelos fatores exógenos que atuam na ZC. Desta forma, as condições ambientais presentes e futuras, o ambiente costeiro deve abranger medidas de proteção na ZC, sendo adequados e flexíveis, sustentáveis, multifuncionais e economicamente eficazes para permitir a solução dos problemas causados pelo recuo da LC (Ciritci & Türk 2019, Natarajan *et al.* 2021, ONU 2020, Raj *et al.* 2020).

Em parâmetros multitemporais de longa escala futuros, é possível evidenciar que a previsão da evolução da LC é um dos principais problemas para a contenção da erosão costeira, pois é um dos espaços geográficos que têm suas características geomorfológicas mais dinâmicas do planeta (Davidson *et al.* 2010, Dolan *et al.* 1991, Fenster *et al.* 1993, Natarajan *et al.* 2021).

Em suma, a versão (v5) do DSAS utilizado no enredo textual, através do Filtro de Kalman, é uma ferramenta de previsão da linha costeira adequada para suprir a necessidade de previsão da LC. Pois, ao combinar a posição multitemporal da LC's e as posições da LC's derivadas do modelo para prever a LC futura, utiliza-se uma faixa de incerteza (Long & Plant 2012, Natarajan *et al.* 2021).

Por fim, o presente estudo, irá prever as posições das LC's para 2030 e 2040 com as faixas de incerteza, estimando dados quantitativos que remetem ao avanço e recuo da LC, a partir do DSAS v5.

5 ESTADO DA ARTE

As ZC's do mundo são altamente dinâmicas. Desta forma, as mudanças climáticas globais influenciam a evolução dos ambientes costeiros, potencializados pelo aumento das taxas do nível médio dos oceanos (IPCC 2013). Diante deste cenário de modificação, o desenvolvimento multivariado de ensaios sobre as mudanças da posição da LC têm tomado destaque no cenário científico mundial, tornando-se substanciais para o entendimento, percepção e aplicações de políticas de gerenciamento costeiro (IOC-UNESCO 2020, Sousa *et al.* 2017).

A análise, sistematizações e aplicações do estudo da LC têm o seu início marcado por interpretações através de métodos rústicos (mapas, aerofotografias), mas com enquadramento inovadores para a década 1960 (El-Ashry & Wanless 1967). A partir deste cenário, o desenvolvimento técnico avança de maneira notória no campo científico mundial, aplicando a sistematização de aplicações desse campo de estudo, perpassando sobre a óptica analista do campo erosivo e acrecional, calculando taxas de retrogradação e progradação da LC (Boak & Turner 2005, Camfield & Morang 1996, Dolan *et al.* 1991, Honeycutt *et al.* 2001, Thieler *et al.* 2005, Thieler & Danforth 1994, Williams *et al.* 1990).

Com as intensas taxas erosivas na ZC destacadas ao longo da década de 1970, essas implicações técnicas começam a ganhar notoriedade apenas na década de 1990, ou seja, 20 anos mais tarde (de Gouveia Souza & Suguio 2003, Souza-Filho *et al.* 2005). A maioria das produções nesta época apresentam relevantes evidências (indicadores) que deixa em evidência o estado de retrogradocional e o relaciona-o à fenômenos e causas, naturais e/ ou antrópicas (Souza-Filho *et al.* 2005).

O desenvolvimento aeroespacial possibilitou o aprimoramento das técnicas de pesquisa sob a óptica da LC, abrangendo componentes multiintegrados na sua análise, buscando sistematizações adequadas para o melhoramento e ampliação do horizonte interpretativo em escalas espaciais e temporais de abrangência significativa (Thieler *et al.* 2005).

No contexto amazônico, o parâmetro de desenvolvimento aplicado ao estudo da LC desenvolveu-se da mesma maneira. Neste sentido, os trabalhos pioneiros, principalmente na Amazônia paraense, competem a análise da erosão e acreção costeira neste espaço (Lohan Barbosa Baía *et al.* 2021, Conti & Rodrigues 2011, França & Souza Filho 2003, Martins *et al.* 2003, Martins & Mendes 2011, Souza Filho 2001, 2013, 2000), usando técnicas de geoprocessamento (curto, médio e longo período) para estimar, a partir de métodos indiretos (Amaral 1999, Souza 2001, Toldo Jr. *et al.* 1999) as taxas de erosão e acreção.

O avanço científico nesta vertente fornece subsídios necessários para o planejamento dos municípios que contemplam a ZC da Amazônia paraense e, de maneira geral, outros municípios brasileiros.

A utilização de imagens aerofotogramétricas fornece subsídios para a delimitação da LC e sua respectiva interpretação, baseando-se em interpretações visuais da linha de contato do corpo hídrico e vegetação (Tessler & Mahiques 1993, Thieler & Danforth 1994), porém com uma espacialização limitada.

A variabilidade temporal e sustentação analítica de investigação costeira conta com: fotografias históricas, mapas e mapas costeiros, fotografia aérea, levantamentos de praia, linhas costeiras do sistema de posicionamento geográfico *in situ* e uma série de componentes digitais de elevação (Boak & Turner 2005) ou imagens derivadas de plataformas de sensoriamento remoto (a exemplo, USGS, USF, INPE).

Nesta perspectiva, é possível a identificação de uma LC. Esta, corresponde a duas etapas binárias: 1) a seleção e definição de uma característica de indicador de LC; e 2) a detecção da característica de LC escolhida dentro da fonte de dados disponível (Boak & Turner 2005).

Ao longo do tempo até os dias remetentes a atualidade, a forma mais utilizada na literatura de interpretação da LC dá-se em uma interpretação visual subjetiva (França 2003, Honeycutt *et al.* 2001, Ranieri & El-Robrini 2015, Souza Filho *et al.* 2005). Deste modo, o avanço promovido no cenário do geoprocessamento a partir da: coleta de dados topográficos, técnicas de processamento digital de imagens de satélite; no cenário contemporâneo viabiliza ao pesquisador da ZC a usar métodos objetivos de detecção de LC's (Cardoso *et al.* 2014, Palinkas *et al.* 2018a, Sankar *et al.* 2018a, Santos *et al.* 2021a, Thieler *et al.* 2013).

O grande desafio que se origina é a potencialização da compreensão quantitativa e baseada nas características do indicador da LC e sua eventual ao limite físico da terraágua (Boak & Turner 2005) em consonância com a vegetação adjacente. A partir desta perspectiva, métodos e estruturações de técnicas de geoprocessamento compreendem análises sistemáticas. Desta forma, dois métodos estatísticos são usados nesta vertente de quantificação: a) o método AMBUR (Moving Boundaries Using R) (de Lima *et al.* 2021, Sankar *et al.* 2018b) e; b) o DSAS (Digital Shoreline Analysis System) (Dolan *et al.* 1991, Himmelstoss *et al.* 2018, Honeycutt *et al.* 2001, Thieler *et al.* 2009, 2005, 2003).

O pacote AMBUR (Moving Boundaries Using R) para o ambiente de software R, permite a verificação, a partir de dados estatísticos, das mudanças ocorridas ao longo do tempo da LC, importando dados geoespaciais no formato de arquivo ESRI, que é compatível com a maioria dos softwares GIS comerciais e de código aberto. A metodologia AMBUR consiste em várias funções estatísticas e parâmetros (por exemplo, ambur.analysis, ambur.forecast) que permitem a quantificação da interface terra-água (Jackson *et al.* 2012, Sankar *et al.* 2018a). Apesar de apresentar uma interessante metodologia de análise da LC's, este método é pouco utilizado no parâmetro mundial, brasileiro e, sobretudo na Amazônia. Desta forma, a técnica que é mais recorrente na literatura é o *Digital Shoreline Analysis System* (Terres de Lima *et al.* 2021).

O DSAS é comumente mais utilizado para a análise sistemática de dados quantitativos (Feng *et al.* 2015, Joseph *et al.* 2016, Mishra *et al.* 2020, 2019, Nassar *et al.* 2019, 2018, Santos *et al.* 2021a, Stanchev *et al.* 2018, Sytnik *et al.* 2018). Assim como o método AMBUR, essa ferramenta traz análises estatísticas a partir das linhas costeiras.

No Brasil, alguns trabalhos utilizam o DSAS com ferramenta de análise de mudanças na LC (Albuquerque *et al.* 2013, Jardim *et al.* 2013, Santos *et al.* 2021b, Santos 2013), atribuindo a esse componente a importância e eficiência dos dados gerados para a interpretação da dinâmica costeira existente.

Entretanto, na Amazônia, essa perspectiva analítica ainda é pouca utilizada. Na literatura, apenas alguns estudos são contemporâneos deste método, destacando o estudo de: Ranieri & El-Robrini (2015), analisando 25 anos (1988-2013) de dinâmica e utilizando a versão 4.3 da extensão DSAS, utilizando o parâmetro estatístico do EPR (End Point Rate) e NSM (Net Shoreline Movement); Conti & Rodrigues (2011) analisaram a partir do de 38 anos (1973-2011), usando transectos perpendiculares a LC e o NSM (Net Shoreline Movement) como componente de dados para a amostragem dos resultados. Ademais, os trabalhos contribuíram para o avanço científico na região, entretanto, estes, pela época em que foram publicados fez-se usufruto de versões do DSAS menos aprimoradas.

Desta forma, cada versão do DSAS (versões: 1.0, 2.0, 4.2, 4.3.4730) ao longo do tempo inclui uma série de aprimoramentos, seguindo as atualizações do Software ArcGis (MapGrafix e ArcInfo, ArcGIS 9, ArcGIS 10; respectivamente), todas sendo escritas em *VB.NET* e usando *ArcObjects Object Library for ArcGIS*. De certa forma, em cada versão há uma melhoraria nos parâmetros estatísticos da taxa de alteração e na interface do usuário (Danforth & Thieler 1992, Thieler *et al.* 2009, 2005, 2003, Thieler & Danforth 1994).

6 RESULTADOS

6.1 ANÁLISE MULTITEMPORAL DA LINHA DE COSTA NOS ÚLTIMOS 48 ANOS (1972-2020)

Os resultados obtidos, oriundos da variabilidade multitemporal da LC, compõe um parâmetro escalar-temporal tangente a um médio período (1972-2020) ao longo da ZC do município de Soure (~120 km) é visível nas tabelas 3 e 4. Adiante, admite-se que as taxas que representam quantificações de carácter positivo (0>) do EPR, LRR e NSM representam um parâmetro de deslocamento da LC em direção do mar/rio, configurando valores de acreção. Desta forma, o quantitativo negativo (<0) da LC indicam componentes de variação de mudança em direção continental, representando o vetor erosivo.

Na ZC de Soure, tem-se uma tendência de acresção da LC. Pois, os valores obtidos a partir dos parâmetros: NSM, EPR e LRR; caracterizaram, de maneira denotativa, valores positivos.

As taxas do NSM, vinculados ao número total de 654 transectos compreenderam uma distância média de 214,4 m, onde a média de recuo é indicada com a taxa negativa de -179,5 m e uma taxa positiva de 451,9 m (figuras 14 e 17).

O componente total do recuo da LC, compreendeu um total de 246 transectos, o que representa um montante quantitativo correspondente a 38,21%, onde indica uma taxa negativa máxima de -1247,46 (transecto 586).

Em contraste, 408 transectos indicaram taxas acrecionais, onde este montante representa 61,79% dos indicadores progradacionais. A maior distância denotando Taxa máxima positiva 1930,9 m (transecto 321).

O parâmetro EPR contou com 654 transectos para composição das taxas. Estas taxas geraram uma média de 4,45 m/ano, onde a média dos intervalos de confiança associados às taxas é de 0,3 m/ano; obtendo um número de 97 transectos independentes, com uma taxa média de 0,03m/ano e a taxa média com redução do número de incerteza variando em 4,45 +/- 0,03 m/ano (Figuras 15, 17).

Foram identificados 246 transectos com comportamento erosivo (<0), o que representa 38,21% sob a óptica total; estatisticamente, os transectos que têm erosão

significante corresponde à 35,45%. O valor máximo de recuo foi de -26,6 m/ano (transecto 586) e a média de todas as taxas erosivas indicou -3,48 m/ano.

Em contrapartida, o total de transectos de característica acrecional totalizou 408, o que indica 61,79% dos seguimentos totais; porém, apenas os transectos que têm acréscimo estatisticamente significativo é de 59,19%. O acréscimo de valor máximo correspondeu a 41,17 m/ano (transecto 321), onde a média de todas as taxas de acreção é de 9,35 m/ano.

O LRR conta com 654 transectos para análise estatística das taxas. Estas, por sua vez, têm uma média de 4,93 m/ano, na qual a média dos intervalos de confiança associados às taxas é de 6,94 m/ano; um montante de 27 transectos independentes, atribuindo uma taxa média de 1,12 m/ano e uma taxa média com a redução do número de incertezas variando entre 4,93 +/- 2,1 m/ano (Figuras 16 e 17).

Foram identificados 223 transectos com evidência erosiva (<0), o que corresponde a 36,22% sob o total destes; entretanto, estatisticamente, os transectos que indicam uma erosão significante corresponde à 16,42%. Desta forma, o valor máximo de recuo foi de -29,41 m/ano (transecto 586) e a média de todas as taxas erosivas apresentou -3,48 m/ano.

Em sentido contrastante, o total de transectos de acresção totalizou 431, o que corresponde a 63,78% dos seguimentos totais; entretanto, os transectos que obtém um acréscimo estatisticamente significativo é de 31,08%. A taxa acrescida de valor máximo correspondeu a 41,21 m/ano (transecto 321), na qual a média de todas as taxas de acreção é de 9,71 m/ano.

Ao dividir a ZC do município de Soure em 5 setores para a melhor análise de cada seguimento, observou-se dinâmicas distintas entre a retração e progressão da LC. Desta forma, os setores I, e II (figuras: 18-21; 22-25), configuram um processo acreção latente, com destaque para o setor III (figuras: 26-29), onde a perspectiva acumulativa tem um percentual único e progressivo, com ausência de erosão. Os setores IV (figuras: 30-33), conta com um processo de estabilização da LC, porém com uma tendência de erosão. Por fim, o setor V (figuras 34, 35, 36, 37), tem um comportamento altamente erosivo em detrimento aos outros setores já destacados.



Figura 12 - Movimento Líquido da Linha Costeira (NSM) no município de Soure, Ilha do Marajó-PA. Fonte: Próprio autor.



Figura 13 - Taxa do Ponto Final (EPR) no município de Soure, Ilha do Marajó-PA. Fonte: Próprio autor.



Figura 14 - Taxa de Regressão Linear (LRR) no município de Soure, Ilha do Marajó-PA. Fonte: Próprio autor.



Figura 15 - Movimento Líquido na Linha Costeira (NSM), Taxa do Ponto Final (EPR) e Taxa de Regressão Linear (LRR) no município de Soure, Ilha do Marajó-PA. Fonte: Próprio autor.

Tabela 3 - Resumo calculado das taxas de mudança da linha costeira da Zona-I para a Zona-V (1972– 2020) do município de Soure. Fonte: Próprio autor.

Estatísticas descritivas	SETOR I	SETOR II	SETOR III	SETOR IV	SETOR V	TOTAL
ID do Transecto	3-169	170-294	295-374	375-496	497-656	3-656
\mathbf{N}° total de transectos	167	125	80	122	160	654
Comprimento da costa (km)	30,5	23	16,5	23	27	120
N° total de transectos onde a erosão foi registrada	35	40	***	46	114	235
N° total de transectos onde a acreção foi registrada	132	85	80	76	46	419
N° total de transectos onde a incerteza estatística (R² > 0,5) foi registrada	108	29	77	26	87	327
N° total de transectos onde a incerteza estatística (R² < 0,5) foi registrada	59	96	3	96	73	327
% do número total de transectos onde a erosão foi registrada	21	32	***	38	71	36
% do número total de transectos onde a acreção foi registrada	79	68	100	62	29	64
% do número total de transectos onde a incerteza estatística (R ² > 0.5) foi registrada	65	23	96	21	54	50
% do número total de transectos onde a incerteza estatística (R ² < 0.5) foi registrada	35	77	4	79	46	50
Mudança média da LC (m/ano)	7,1	1,4	28,1	0,2	-2,1	6,94
Mudança máxima positiva da LC (m/ano)	28,2	8,8	43,6	10,7	5,8	28,2
Mudança máxima negativa da LC (m/ano)	-8,8	-7,9	***	-12,44	-29,4	-29,4
Taxa média de acréscimo (m/ano)	10	3,1	28,1	3,2	2,3	9,34
Taxa média de erosão (m/ano)	-3,8	-2,1	***	-4,8	-3,9	-2,92

Tabela 4 - Taxas de alteração da LC calculadas usando os métodos NSM (m), EPR e LRR (m/ano) entre os anos de 1972–2020 do município de Soure. Fonte: Próprio autor.

Setores	Ι			II			III			IV			V		
Estatísticas	NSM (m)	EPR (m/ano)	LRR (m/ano)												
Taxa máxima negativa	-433,4	-9,24	-8,79	-280,93	-5,99	-7,91	***	***	***	-635,72	-13,55	-12,44	-1247,46	-26,6	-29,41
Taxa máxima positiva	1277,08	27,23	28,22	439,18	9,36	8,8	1930,9	41,17	43,63	490,81	10,46	10,68	1012,72	21,59	5,83
Média das taxas negativas	-153,58	-3,27	-3,84	-96,21	-2,05	-2,14	***	***	***	-200,25	-4,30	-4,82	-193,5	-3,53	-3,94
Média das taxas positivas	476,32	10,26	10,03	173,18	3,69	3,19	1159,5	24,72	33,52	119,75	2,55	3,23	110,07	3,82	2,34
Média Ponderada	348,07	7,5	7,11	110,68	2,35	1,48	1159,5	24,72	33,52	-51,54	-1,09	0,19	-113,81	-2,38	-2,13

6.1.1 Setor I: Canal Sul do Rio Amazonas – NW

O setor I (~30,5 km) apresenta 167 transectos (3-169), onde as taxas estatísticas apresentam um comportamento dinâmico tangente ao processo de acresção (79%) em detrimento da erosão (21%), compondo uma variação da LC de 7,1 m/ano.

Desta forma, foram identificados 35 transectos com características erosivas e 132 transectos com comportamento de acresção. As incertezas estatísticas de $R^2>0.5$ correspondem a 108 transectos e 59 transectos com $R^2<0.5$, sendo 65% e 35%, respectivamente (tabela 3). Neste sentido, os valores que se aproximam de 1 para o R^2 , corresponde a uma dinâmica que sugere uma tendência de continuidade do processo acrecional, nos demais trechos, onde ocorre equilíbrio da LC, os valores de R^2 foram mais próximos de 0.

As taxas estatísticas do NSM apontam acresção, onde a média entre todas as taxas negativas e positivas correspondem a 348,07m. Desta forma, a taxa máxima negativa de -433,4 m (transecto 46), com média de -153,58 m, em contrapartida, a taxa máxima positiva configura 1277,08 m (transecto 152), onde a taxa média é de 476,32 m (figuras 18 e 21).

Os resultados obtidos a partir dos métodos EPR e LRR taxam uma variabilidade média de 7,5 m/ano e 7,11 m/ano, respectivamente. A taxa máxima negativa é de -9,24 m/ano (transecto 46) com média entre essas taxas de -3,27 m/ano para o EPR e para o método do LRR de -8,79 m/ano (transecto 46) apresentando uma média de -3,84 m/ano; enquanto as taxas de acreção compõem uma taxa máxima de 27,23 m/ano (transecto 152) com média de 10,26 m/ano e 28,22 m/ano (transecto 140) com variabilidade média de 10,03 m/ano, para os métodos em evidência (figuras 19, 20 e 21).



Figura 16 - Movimento Líquido da Linha Costeira (NSM) no setor I do município de Soure, Ilha do Marajó-PA. Fonte: Próprio autor.



Figura 17 - Taxa do Ponto Final (EPR) no setor I do município de Soure, Ilha do Marajó-PA. Fonte: Próprio autor.


Figura 18 - Mapa da Taxa de Regressão Linear (LRR) no setor I do município de Soure, Ilha do Marajó-PA. Fonte: Próprio autor.



Figura 19 - Movimento Líquido na Linha Costeira (NSM), Taxa do Ponto Final (EPR), Taxa de Regressão Linear (LRR) no setor I do município de Soure, Ilha do Marajó-PA. Fonte: Próprio autor.

6.1.2 Setor II: Rio Amazonas – NE

O setor II (~23 km) conta com 125 transectos (170-294), onde as taxas estatísticas apresentam taxas acrecionais da LC (68%) em detrimento da erosão (32%) da ZC, compondo uma variação de 1,4 m/ano da LC.

Nesta perspectiva, 40 transectos mostram características erosivas e 85 transectos com taxas positivas. As incertezas estatísticas de R²>0,5 correspondem a 29 transectos (23%) e 96 transectos (77%) com R²<0,5 (tabela 3); representando que apesar deste setor está passando por um processo progradativo, a tendência é a estabilização ou possível erosão.

O movimento líquido da LC (NSM), possui uma perspectiva de acresção, onde a média entre todas as taxas negativas e positivas correspondem a 110,68 m. Adiante, a taxa máxima negativa de -280,93 m (transecto 240), com uma taxa média de -96,21 m, em contraste, a taxa máxima positiva corresponde a 439,18 m (transecto 221), onde a taxa média é de 173,18 m (figuras 22 e 25).

A partir dos métodos EPR e LRR foram identificadas taxas que apresentam uma média de 2,35 m/ano e 1,48 m/ano, respectivamente. Nesta perspectiva, a taxa máxima de erosão é de -5,99 m/ano (transecto 240) com -2,05 m/ano de média entre essas taxas para o EPR e para o LRR, evidencia-se -7,91 m/ano (transecto 240) com uma média de -2,14 m/ano; em contrapartida, as taxas de positivas taxam uma máxima de 9,36 m/ano (transecto 221) com média de 3,69 m/ano e 8,8 m/ano (transecto 180) com uma variabilidade média de 3,19 m/ano, para os métodos destacados (figuras 23, 24 e 25).



Figura 20 - Movimento Líquido da Linha Costeira (NSM) no setor II do município de Soure, Ilha do Marajó-PA. Fonte: Próprio autor.



Figura 21 - Taxa do Ponto Final (EPR) no setor II do município de Soure, Ilha do Marajó-PA. Fonte: Próprio autor.



Figura 22 - Mapa da Taxa de Regressão Linear (LRR) no setor II do município de Soure, Ilha do Marajó-PA. Fonte: Próprio autor.



Figura 23 - Movimento Líquido na Linha Costeira (NSM, Taxa do Ponto Final (EPR) e Taxa de Regressão Linear (LRR) no setor II do município de Soure, Ilha do Marajó-PA. Fonte: Próprio autor.

6.1.3 Setor III: Cabo Maguari

O setor III (~16,5 km) abrange o montante de 80 transectos (295-374) e as taxas estatísticas desses transectos mostram que este fragmento espacial está em processo de acresção, que representa 100% e, por consequência, não havendo índice de erosão, compondo uma variação de 28,1 m/ano da LC.

As incertezas estatísticas de $R^2>0,5$ correspondem a 77 transectos e apenas 3 transectos com $R^2<0,5$, sendo 96% e 4%, de maneira respectiva (tabela 3). Os dados do R^2 com maior percentual próximo a 1, sugerem que o processo acrecional neste setor tende a ser progressivo, retendo sedimento e proporcionando a evolução da ZC no sentido do mar/rio.

As taxas estatísticas do movimento líquido da LC (NSM), apresenta uma média 1159,5 m. Diante do exposto, a taxa máxima de avanço da LC é de 1930,9 m (transecto 321) (figuras 26 e 29), é tangível destacar que este setor não apresenta erosão, pois todas as taxas estão acima de 0 (0>)

Os resultados obtidos a partir dos métodos EPR e LRR mostram taxas variáveis, com média de 24,72 m/ano e 33,52 m/ano, respectivamente. As taxas de acreção da LC apresentam uma taxa máxima de 41,17 m/ano (transecto 321) e 43,63 m/ano (transecto 303), para o EPR e LRR, respectivamente. Por não haver tendências de erosão, a variabilidade média segue o mesmo seguimento já descrito (figuras 27, 28 e 29).



Figura 24 – Movimento Líquido da Linha Costeira (NSM) no setor III do município de Soure, Ilha do Marajó-PA. Fonte: Próprio autor.



Figura 25 - Taxa do Ponto Final (EPR) no setor III do município de Soure, Ilha do Marajó-PA. Fonte: Próprio autor.



Figura 26 - Mapa da Taxa de Regressão Linear (LRR) no setor III do município de Soure, Ilha do Marajó-PA. Fonte: Próprio autor.



Figura 27 - Movimento Líquido na Linha Costeira (NSM, Taxa do Ponto Final (EPR) e Taxa de Regressão Linear (LRR) no setor III do município de Soure, Ilha do Marajó-PA. Fonte: Próprio autor.

6.1.4 Setor IV: Estuário do Rio Pará - NE

O setor IV (~23 km) apresenta 122 transectos (375-496), onde as taxas dos modelos estatísticos correspondem a uma dinâmica que permeia o processo de estabilização com tendência erosiva. Onde, são evidenciados 76 transectos (62%) nesta perspectiva, em detrimento da erosão que apresenta 46 transectos (38%), entretanto, as taxas de erosão são superiores aos dos transectos acrecivos (tabela 3), compondo uma variação da LC de 0,2 m/ano.

As incertezas estatísticas de $R^2>0,5$ correspondem a 26 transectos e 96 transectos com $R^2<0,5$, sendo 21% e 79%, respectivamente (tabela 3). A representação das incertezas dispõe de uma tendência que passa de estabilidade ou possível erosão ao decorrer do tempo.

As taxas oriundas do movimento líquido da LC (NSM), mostram uma tendência próxima a estabilização, mesmo havendo um abastecimento acrecional, onde a média entre todas as taxas negativas e positivas correspondem a -51,54 m. A taxa máxima de erosão é de -635,72 m (transecto 392), com uma taxa média de -200,25 m, em contraste, a taxa máxima positiva configura 490,81 m (transecto 486), onde a taxa média é de 119,75 m (figuras 30 e 33).

A partir dos métodos EPR e LRR as taxas mostram um caso de estabilidade tendenciando para o componente erosivo. Desta forma, as taxas apresentam uma variabilidade média de -1,09 m/ano e 0,19 m/ano, respectivamente. A taxa máxima erosiva marcou o montante de -13,55 m/ano (transecto 392) com média de -4,30 m/ano para o método do EPR e para o LRR de -12,44 m/ano (transecto 392) com uma média de -4,82 m/ano; enquanto as taxas máximas positivas são de 10,46 m/ano (transecto 486) com média de 2,55 m/ano e 10,68 m/ano (transecto 486) com variabilidade média de 3,23 m/ano, para a óptica dos métodos abordados (figuras 31, 32 e 33).



Figura 28 – Movimento Líquido da Linha Costeira (NSM) no setor IV do município de Soure, Ilha do Marajó-PA. Fonte: Próprio autor.



Figura 29 - Taxa do Ponto Final (EPR) no setor IV do município de Soure, Ilha do Marajó-PA. Fonte: Próprio autor.



Figura 30 - Mapa da Taxa de Regressão Linear (LRR) no setor IV do município de Soure, Ilha do Marajó-PA. Fonte: Próprio autor.



Figura 31 - Movimento Líquido na Linha Costeira (NSM, Taxa do Ponto Final (EPR) e Taxa de Regressão Linear (LRR) no setor IV do município de Soure, Ilha do Marajó-PA. Fonte: Próprio autor.

6.1.5 Setor V: Estuário do Rio Pará – SE

O setor V (~27 km) conta com um conjunto de 160 transectos (497-656). A quantificação dos modelos estatísticos mostra evidências de erosão. Desta forma, foram identificados 46 transectos (29%) de tendência de acresção. Entretanto, 114 transectos (71%) tem caráter erosivo, com taxa média de recuo da LC de -2,1 m/ano.

O parâmetro do $R^2>0,5$ conta 87 transectos, averso a isso, 73 transectos com $R^2<0,5$ foram identificados, sendo 54% e 46%, para os dois seguimentos respectivos (tabela 3). Esses dados apresentados configuram uma perspectiva de continuidade dos processos atuantes na ZC neste cenário, onde há uma alternância do processo dinâmico, onde, segundo as estatísticas do R^2 , predominará a sedimentação, entretanto, dispõe de intensa erosão.

O NSM configura resultados que dispõe de uma perspectiva de recuo da LC. A taxa média dos dados gerados a partir deste método é de -113,81 m. Onde, a maior taxa erosiva foi de -1247,46 m (transecto 586), com uma média de -193,5 m. O cenário de avanço da LC configura uma taxa de 1012,72 m (transecto 583), com uma taxa média inferior a de erosão, contando com 110,07 m (figuras 34 e 37).

O recuo da LC neste setor é marcante. Evidenciando esta tendência, e tangenciando a vertente analítica a partir dos métodos do EPR e LRR, configura-se um vetor de ampla erosão neste seguimento. Diante do exposto, os dados quantificados identificam uma variabilidade média de -2,38 m/ano e -2,13 m/ano, respectivamente para os dois métodos. A erosão máxima conta com recuo de -26,6 m/ ano (transecto 586), variando em média -3,53 m/ano, entre os valores negativos do EPR e, em contraste, o LRR apresenta -29,41 m/ano (transecto 586) com média de -3,94 m/ano dentre os valores de carácter erosivo. Os valores de avanço da LC, mostram taxa máxima positiva de 21,59 m/ano (transecto 583) com média de 3,82 m/ano e 5,83 m/ano (transecto 583) e variabilidade média de 2,34 m/ano, para os métodos subjacentes evidenciados (figuras 35, 36 e 37).



Figura 32 – Movimento Líquido da Linha Costeira (NSM) no setor V do município de Soure, Ilha do Marajó-PA. Fonte: Próprio autor.



Figura 33 - Taxa do Ponto Final (EPR) no setor V do município de Soure, Ilha do Marajó-PA. Fonte: Próprio autor.



Figura 34 - Mapa da Taxa de Regressão Linear (LRR) no setor V do município de Soure, Ilha do Marajó-PA. Fonte: Próprio autor.



Figura 35 - Movimento Líquido na Linha Costeira (NSM, Taxa do Ponto Final (EPR) e Taxa de Regressão Linear (LRR) no setor V do município de Soure, Ilha do Marajó-PA. Fonte: Próprio autor.

6.2 PROJEÇÃO MUTITEMPORAL DA LINHA DE COSTA PARA OS ANOS DE 2030-2040 NO MUNICÍPIO DE SOURE (AMAZÔNIA ORIENTAL-BRASIL)

O modelo do filtro de Kalman foi utilizado para prever (perspectiva temporal de 2030 e 2040) a evolução da LC em cinco setores (Setor I – Rio Amazonas – NO; Setor II – Rio Amazonas – NE; Setor III – Cabo Maguari; Setor IV – Rio Pará – NE; e Setor V – Rio Pará – SE) da ZC de Soure (~120 km) (figura 38) e configurando as zonas poligonais sobre a medida de disposição de erosão ou acreção, como tendência de dinamismo, identificando as zonas onde ocorrem esses parâmetros. Desta maneira, os resultados gerados a partir do processamento e compilação, estão presentes nos quadros 3 e 4.

Desta forma, para o cenário de 2030, é estimada uma possível aferição que a maior erosão (271.46 m), ocorrerá no Nordeste (NE) do canal sul do rio Amazonas (setor II), e uma taxa de 625.26 m no Cabo maguari (setor III) (quadro 4; gráfico 4).

Porém, para a década posterior (2040), estima-se que a maior taxa erosiva, cerca de 316.98 m, deverá ocorrer no nordeste do rio Pará (setor IV), enquanto a acreção ainda é correspondente ao setor III, com 1,084.90 m acrecivos a LC (quadro 4; gráfico 5).

Após a verificação e aferição dos principais parâmetros erosivos e acrecionais da LC para a projeção temporal de 10 e 20 anos (2030-2040), pós o ano de 2020; foram identificadas as principais zonas de erosão e acreção, o que se refere à medição em metro quadrático (m²) dos polígonos gerados após o processamento (quadro 3; figura 38).

Desta maneira, projeta-se para o ano de 2030 uma estimativa de área de erosão máxima de 456,734.74 m², na porção leste (E) de Soure, no estuário do rio Pará (setor IV). Desta forma, seguindo a tendência de erosão o ano de 2040 terá uma área de 741,030.61 m² erosivos no mesmo espaço geográfico citado anteriormente (quadro 3; figura 38; gráfico 6).

Para o ano de 2030, haverá uma tendência de acreção de 7,834,441.76 m², sendo atribuído ao Cabo Maguari (setor III). Seguindo essa tendência, o avanço permanecerá neste cenário espacial, atribuindo o montante acrecional correspondente a 12,769,905.30 m² (quadro 3; figura 38, gráfico 7).

A ZC do município de Soure apresenta uma grande proporção em termos de extensão e, por sua vez, contribui com área de dinâmicas que remetem a uma configuração erosiva e acrecional distinta. Por esse motivo, para a melhor compreensão

da previsão futura da LC e das áreas poligonais dinâmicas para os de 2030 e 2040, atribuise um cenário de recorte espacial que remete a análise em 5 setores, onde cada um irá apresentar comportamentos diferenciados ao longo de 10 e 20 anos a partir do ano de 2020.



Figura 36 - Projeção acrecional para os anos de 2030-2040 no município de Soure-PA. Fonte: Próprio autor.



Gráfico 2 - Projeção Erosiva e acrecional no Município de Soure-PA para o ano de 2030. Fonte: Próprio autor.



Gráfico 3 - Projeção Erosiva e acrecional no Município de Soure-PA para o ano de 2040. Fonte: Próprio autor.



Gráfico 4 - Projeção erosiva para os anos de 2030-2040 no município de Soure-PA. Fonte: Próprio autor.



Gráfico 5 - Projeção acrecional para os anos de 2030-2040 no município de Soure-PA. Fonte: Próprio autor.

Estatísticas descritivas	SETOR I		SETOR II		SETOR III		SETOR IV		SETOR V	
Anos	2030	2040	2030	2040	2030	2040	2030	2040	2030	2040
Número total de Polígonos	34	25	40	29	1	1	50	48	99	72
Número total de polígonos onde a erosão foi registrada	17	12	19	13	***	***	26	25	50	37
Número total de polígonos onde a acreção foi registrada	17	13	21	16	1	1	24	23	49	35
% do número total de transectos onde a erosão foi registrada	50%	48%	47%	45%	***	***	52%	52%	51%	51%
% do número total de polígonos onde a acreção foi registrada	50%	52%	53%	55%	100%	100%	48%	48%	49%	49%
Mudança poligonal média (m²/ano)	8,328.54	8,093.62	6,149.29	27,421.55	391,823.59	319,298.63	3,361.33	2,518.65	1,451.10	1,515.35
Máxima poligonal positiva (m²)	1,153,123.31	1,898,599.28	1,153,123.31	12,769,905.30	7,834,441.76	12,769,905.30	419,329.79	273,602.91	164,446.37	392,184.34
Máxima poligonal negativa (m²)	106,718.02	234,018.51	40,039.20	83,250.52	***	***	456,734.74	741,030.61	93,281.76	458,933.30
Taxa média de acréscimo (m²/ano)	18,598.06	17,584.58	12,158.85	47,511.87	391,823.59	319,298.63	2,958.82	1,409.76	1,376.55	1,297.31
Taxa média de erosão (m²/ano)	1,940.97	2,188.26	478.38	891.19	***	***	3,500.08	3,356.35	1,475.25	1,647.53

Quadro 3 - Estatísticas descritivas para a projeção das Áreas Dinâmicas do ano de 2030 e 2040 no município de Soure-PA.

Fonte: Próprio autor.

Estatísticas descritivas	SETOR I		SETOR II		SETOR III		SETOR IV		SETOR V	
Anos	2030	2040	2030	2040	2030	2040	2030	2040	2030	2040
Máxima positiva (m)	558.06	703.02	207.52	149.25	625.26	1,084.90	219.17	196.53	176.15	230.23
Máxima negativa (m)	-271.46	-202.92	-90.96	-273.41	***	***	-212.37	-316.98	-193.98	-314.05
Mudança média (m/ano)	14.33	12.50	2.91	-6.21	62.53	54.25	0.34	-3.01	-0.89	-2.10
Taxa média de acréscimo (m/ano)	55.81	35.15	10.38	14.93	62.53	54.25	21.92	9.83	17.61	11.51
Taxa média de erosão (m/ano)	-27.15	-10.15	-4.55	-27.34	***	***	-21.24	-15.85	-19.40	-15.70
Média total sedimentar	90.96		25.31		116.78		31.75		29.12	
Média total erosiva	-37.3		-31.89		***		-37.09		-35.1	
% de variação de erosão	73%	27%	14%	86%	***	**	57%	43%	55%	45%
% de variação de sedimentação	61%	39%	59%	41%	54%	56%	69%	31%	60%	40%

Quadro 4 - Taxas erosivas e acrecional para o ano de 2030 e 2040 no município de Soure-PA. Fonte: Próprio autor.

6.2.1 SETOR I: CANAL SUL DO RIO AMAZONAS - NW

6.2.1.1 Projeção da evolução da LC no Canal Sul do Rio Amazonas – NW

Para o ano de 2030-2040 o noroeste (NW) do rio Amazonas apresentará uma acreção, com média de 90.96 m; enquanto 37.3 m de retração entre os anos analisados (10 e 20 anos), com uma mudança média de acresção de \pm 14.33 m/ ano e \pm 12.50 m/ano, respectivamente (figura 39; gráficos 4 e 5; quadro 4).

Desta forma, estima-se que a acreção terá uma máxima positiva da LC em 2030 seja de 558.06 m \pm 14.33 m/ano, com taxa de acreção projetada em 55.81 m/ano em detrimento de 271.46 m \pm 14.33 m/ano de erosão (figura 39; gráficos 6 e 7; quadro 4).

A LC em 2040, avançará cerca de 35.15 m/ano em detrimento de um recuo de 10.15 m/ano, configurando a continuação da tendência de acresção. Desta maneira, é estimado que a acresção máxima seja de 703.02 m \pm 12.50 m/ano e em contraste o recuo máximo será de 202.92 m \pm 12.50 m/ano (figura 39; gráficos 6 e 7; quadro 4).

A dinâmica de erosão e acresção, entre 2030-2040, neste setor atribui em 10 anos a variação de recuo da LC e corresponderá à 73% e, a posteriori, nos 20 anos seguintes apresentará 23% de recuo 61% e 39% para o ano de 2030 e 2040, respectivamente (figura 39; gráficos 6 e 7; quadro 4).

6.2.1.2 Projeção das áreas dinâmicas no Canal Sul do Rio Amazonas - NW

Para compreender a dinâmica de erosão e de acreção das áreas (m²) foram criados polígonos que estimam o processo de alternância desse processo. Neste sentido, foram identificados e analisados 34 e 25 polígonos para o ano de 2030 e 2040, em sentido respectivo (quadro 3).

É estimado que em 10 anos, 17 áreas irão sofrer erosão, cerca de 50%, e em 20 anos 12 irão passar por esse processo, representando 48%; em contraste, para 2030 são projetados 17 trechos, significando 50% de acresção, entretanto, para 2040, serão 13 trechos (total de 52%) (figura 39; gráficos 8 e 9; quadro 3).

Para 2030, a mudança média ficará em torno de 8,328.54 m²/ ano, onde a taxa máxima da área que apresentará a maior acresção será de 1,153,123.31 m² \pm 18,598.06 m²/ano e a de maior erosão será de 106,718.02 m² \pm 1,940.97 m²/ano (figura 39; gráficos 8 e 9; quadro 3).

Já para o ano de 2040 a média será de 8,093.62 m²/ ano, configurando uma taxa de acresção de 1,898,599.28 m² \pm 17,584.58 m²/ano, enquanto o recuo será de 234,018.51 m² \pm 2,188.26 m²/ano (figura 39; gráficos 8 e 9; quadro 3).



Figura 37 - Projeção de recuo e de acresção da LC para os anos de 2030-2040 no setor I – Rio Amazonas – NW, município de Soure-PA. Fonte: Próprio autor.



Gráfico 6 - Projeção de recuo da LC para os anos de 2030-2040 no setor I – Rio Amazonas – NW, município de Soure-PA. Fonte: Próprio autor.



Gráfico 7 - Projeção de acresção da LC para os anos de 2030-2040 no setor I – Rio Amazonas – NW, município de Soure-PA. Fonte: Próprio autor.

6.2.2 SETOR II: CANAL SUL DO RIO AMAZONAS – NE

6.2.2.1 Projeção da evolução da LC do Canal Sul do Rio Amazonas – NE

O setor II apresentará uma situação mista, com acresção e recuo da LC. Configurando um processo que tange à uma estrutura de média futura de 2.91 m/ano para o ano de 2030 e 6.21 m/ano erosivos para 2040. O que representa que em 10 transectos predominará a acresção, mas como uma tendência erosiva para 20 anos.

Para o avanço de 10 anos é estimado que cerca de 207.52 m de acresção da LC com taxa média de \pm 10.38 m/ano e uma representação máxima de recuo da LC de 90.96 m com taxa média \pm 4.55 m. Já para 2040, este setor apresentará acresção de tangente a 149.25 m \pm 4.93 m/ano e recuo máximo de -273.41 m \pm 27.34 m/ano (figura 40; gráficos 4 e 5; quadro 4).

A perspectiva de análise e interação dinâmica entre os anos abordados (10-20 anos) é estimada que a erosão corresponderá 14% para o ano de 2030 e 86% para 2040, aferindo que 59% e 41% são dados para os respectivos anos em análise. Assim, atribuindo uma dinâmica que evolui de predomínio de acreção para uma tendência erosiva nos anos em questão (figura 40; gráficos 4 e 5; quadro 4).

6.2.2.2 Projeção das áreas de dinâmica do Canal Sul do Rio Amazonas – NE

A dinâmica de acresção e recuo das áreas (m²) é estimada em processo de configuração alternada que tange a uma perspectiva acrecional neste setor. Desta forma, são projetados 40 trechos para o ano de 2030 e 29 trechos para o ano de 2040 (quadro 3).

Desta maneira, foi estimado que para a perspectiva do ano de 2030, 19 áreas irão apresentar uma resposta erosiva em relação a dinâmica existente no local, o que representa cerca de 47%, entretanto, em 2040, 13 irão adquirir esse carácter citado anteriormente, o que é traduzido em 45%. No que tange ao processo de acreção, para a estimativa de 10 anos são projetados 21 espaços acrecionais, configurando 53% desta perspectiva; já para os 20 anos posteriores a esse cenário apresentará 16 polígonos, o que figura a 55% do total acrecional (figura 40; gráficos 10 e 11; quadro 3).

A estimativa para o ano de 2030 fica em média 6,149.29 m²/ano de caráter positivo, onde a representação máxima da área que apresentará o maior quantitativo acrecional abrange uma premissa futura de 1,153,123.31 m² \pm 12,158.85 m²/ano e, em

contrapartida, a maior área erodida corresponderá a $40,039.20 \text{ m}^2 \pm 478.38 \text{ m}^2$ /ano (figura 40; gráficos 10 e 11; quadro 3). Tais dados demonstram que neste recorte temporal, haverá um predomínio de avanço das áreas de acresção.

No cenário temporal tangente para o ano de 2040 é obtida uma média de 27,421.55 m²/ano acrecivos, o que tangencia uma perspectiva de continuação do processo de acreção neste setor, atribuindo uma taxa de 12,769,905.30 m² \pm 47,511.87 m²/ano, porém a erosão corresponderá à 83,250.52 m² \pm 891.19 m²/ano (figura 40; gráficos 10 e 11; quadro 3).



Figura 38 – Projeção da erosão e acresção para os anos de 2030-2040 no setor II – Rio Amazonas – NE, município de Soure-PA. Fonte: Próprio autor.



Gráfico 8 - Projeção de erosão para os anos de 2030-2040 no setor II – Rio Amazonas – NE, município de Soure-PA.



Gráfico 9 - Projeção de acresção para os anos de 2030-2040 no setor II – Rio Amazonas – NE, município de Soure-PA. Fonte: Próprio autor.

6.2.3 SETOR III: CABO MAGUARI

6.2.3.1 Projeção da evolução da LC do Cabo Maguari

O setor III apresentará um processo tangente a uma evolução da LC em uma perspectiva exclusiva de acreção, o que caracteriza, de certa forma, um precedente de grande expansão espacial em direção aos estuários, entre os anos de 2030 e 2040, tangenciando quase que o dobro de deposição. Desta maneira, é possível aferir que para o ano de 2030 a taxa média de acresção será de 62.53 m/ano, e nos 20 anos posteriores, a taxa média será estimada em 54.25 m/ano (quadro 4)

Após 10 anos passados a partir do ano de 2020, o avanço da LC será de 625.26 m \pm 62.53 m/ano; a partir da mesma premissa, para um para um vetor temporal de 20 anos a máxima de acresção da LC é estimada em 1,084.90 m \pm 54.25 m/ano (figura 41; gráficos 4 e 5; quadro 4).

A variação entre os anos estimados de 54% em um processo de acresção para o ano de 2030 e de 56% para o ano de 2040, o que significa que na projeção de 10 e 20 anos permanece uma constante acreção no Cabo Maguari (quadro 4).

6.2.3.2 Projeção das áreas de dinâmica do Cabo Maguari

A dinâmica do setor III apresenta uma dinâmica peculiar destes anos pretéritos, analisados mostrando acresção, pois há apenas polígonos de acreção, o que proporciona uma análise criteriosa de um grande avanço na costa, ou seja, o Cabo Maguari vai ter um componente de maior avanço entre todos os setores estudados (figura 41; gráfico 12; quadro 3).

Diante do exposto, é possível aferir que para o ano de 2030 e o ano de 2040 existe apenas um polígono em cada ano que representa a acresção. Desta maneira, o total foi de 100% de acreção nas perspectivas analisadas (quadro 3).

Para 2030 a mudança média será de 391,823.59 m²/ano, já para o ano de 2040 apresentará uma média de 319,298.63 m²/ano, representando acresção excepcional. A máxima positiva para o ano de 2030 será de 7,834,441.76 m² \pm 391,823.59 m²/ano e de 12,769,905.30 \pm 319,298.63 m²/ano para 2040 (figura 41; gráfico 12; quadro 3).

Esses dados remetem a um processo que leva em consideração uma grande descarga sedimentar oriunda do processo e da dinâmica do canal sul do Rio Amazonas e do estuário do Rio Pará.



Figura 39 - Projeção de acresção para os anos de 2030-2040 no Setor III – Cabo Maguari, município de Soure-PA. Fonte: Próprio autor.


Gráfico 10 - Projeção de acresção para os anos de 2030-2040 no Setor III – Cabo Maguari, município de Soure-PA. Fonte: Próprio autor.

6.2.4 SETOR IV: ESTUÁRIO DO RIO PARÁ - NE

6.2.4.1 Projeção da evolução da LC no Estuário do Rio Pará - NE

O setor IV, está localizado a nordeste da Costa de Soure, a priori apresenta uma tendência de acresção, isso em relação há 10 anos (± 0.34 m/ano) a partir do ano de 2020; mas em 2040 uma tendência erosiva (± 3.01 m/ano) (quadro 4)

Desta maneira, para o ano de 2030 a avaliação da LC será de 219.17 m \pm 21.92 m/ano de acresção, já a erosão será de para esse ano com 212.37 m \pm 21.24 m/ano. Entretanto, em 2040 e seguindo, a acresção da LC deverá ser de 196.53 m \pm 9.83 m/ano e o recuo da LC será de 316.98 m \pm 15.85 m/ano (figura 42; gráficos 4 e 5; quadro 4).

É possível verificar que há perspectiva de variação de 57% para o ano de 2030 no que tange a erosão e 43% para o ano de 2040. A posteriori, é possível inferir uma estimativa de acresção de 69% para o ano de 2030 e de 31% para o ano de 2040.

Em suma, a tendência erosiva presente nesse setor evolui entre o cenário de 10 e 20 anos assim como apresentado anteriormente o que configura uma narrativa que neste setor a uma forte dinâmica quem imprime a retirada de segmentos da LC para acresção no setor III onde localiza-se o Cabo Maguari.

6.2.4.2 Projeção das áreas de dinâmica no Estuário do Rio Pará – NE

O setor IV apresenta o número total de polígonos projetados para os anos de 2030 e 2040 de 50 e 48, respectivamente. Desta forma, para 2030, esses estão distribuídos em uma projeção futura de 26 áreas em erosão, o que representa 52% e 24 trechos em acresção, apresentando 48%; e para 2040, terão 25 áreas em erosão (52%) e 23 de acresção (48%) (quadro 3).

A mudança média para o ano de 2030 foi de 3,361.33 m²/ano e para o ano de 2040 foi de 2,518.65 m²/ano. Em 2030, é projetada uma área em acresção com maior volume de 419,329.79 m² \pm 2,958.82 m²/ano e uma outra em erosão de 456,734.74 m² \pm 3,500.08 m²/ano. A perspectiva para 2040, será de uma redução na área de acresção o em relação a década anterior, correspondendo a uma máxima poligonal de 273,602.91 m² \pm 1,409.76m²/ano, em detrimento do recuo que corresponderá a 741,030.61 m² \pm 3,356.35 m²/ano (figura 42; gráfico 13 e 14; quadro 3).

Por fim, é importante ressaltar que neste setor, ao longo dos anos estudados, referente a 2030 em 2040 a tendência é que este espaço geográfico perca área referente ao continente o que caracteriza uma vertente erosiva acentuada nesse setor principalmente quando a estrutura analítica de previsão para o ano de 2040 ou seja 20 anos após o ano de 2020.



Figura 40 - Projeção de acresção para os anos de 2030-2040 no Setor IV – Rio Pará – NE, município de Soure-PA.



Gráfico 11 - Projeção de erosão para os anos de 2030-2040 Setor IV – Rio Pará – NE, município de Soure-PA. Fonte: Próprio autor.



Gráfico 12 - Projeção de acresção para os anos de 2030-2040 Setor IV – Rio Pará – NE, município de Soure-PA. Fonte: Próprio autor.

6.2.5 SETOR V: ESTUÁRIO DO RIO PARÁ - SE

6.2.5.1 Projeção da evolução da LC do Estuário do Rio Pará – SE

O setor 5 apresenta uma disposição de erosão para os anos de 2030 e 2040. Neste sentido, importante destacar que a LC para os anos mencionados destaca uma perspectiva futura que tange de uma média de recuo de 0.89 m/ ano (2030) e 2.10 m/ano (2040).

Para o ano de 2030, a acresção máxima da LC será de 176.15 m \pm 17.61 m/ano, enquanto o recuo da LC será de 193.98 m \pm 19.40 m/ano. Já para 2040, a tendência de acresção da LC estimada em uma máxima positiva de 230.23 m \pm 11.51 m/ano, enquanto õ recuo máximo da LC será de 314.05 m \pm 15.70 m/ano (figura 43; gráficos 4 e 5; quadro 4).

Desta maneira, destaca-se que, pois, anos o que são estimados em sua dinâmica corresponde a um vetor erosivo de 55% para o ano de 2030 e 45% para 1 ano em 2040 quando se analisa a perspectiva entre a taxa erosiva dos componentes citados. Encontrar

o percentual de variação sobre a acreção abra hoje a tendência de 60% para 2030 anos e 40% para 2040 anos (figura 43; gráficos 4 e 5; quadro 4).

Em suma, a tendência no setor V será, a partir dos dados apresentados, é de que há uma dinâmica que estrutura uma erosão intensa.

6.2.5.2 Projeção das áreas de dinâmica do Estuário do Rio Pará – SE

Neste recorte espacial de alternância entre acresção e erosão, onde em 2030 irá predominar acresção (\pm 1,451.10 m²/ano) e em 2040 anos a erosão (1,515.35 m²/ano) (quadro 3).

Desta forma, neste setor estão representados para o ano de 2030 e 2040 uma área abrangente de 99 e 72 polígonos, respectivamente. Essas áreas representam uma tendência de erosão e de acresção, onde em 2030, 50 destes polígonos representaram componente erosivo, entretanto, 49 acrecionais; já para 2040, 37 áreas serão de recuo e 35 de acresção; representando, respectivamente, 51% e 49% para 2030 e 51% e 49% para 2040 (figura 43; gráficos 15 e 16; quadro 3).

Para o ano de 2030 o avanço máximo poligonal será de 164,446.37 m² \pm 1,376.55 m/ano, enquanto o recuo em área será de 93,281.76 m² \pm 1,475.25 m²/ano. Para 2040, a tendência de acresção é estimada em uma máxima positiva de 392,184.34 m² \pm 1,297.31 m/ano, enquanto a máxima negativa que representa a erosão da LC será de 458,933.30 m \pm 1,647.53 m/ano (figura 43; gráficos 15 e 16; quadro 3).

Após a verificação dos dados é passível aferir que a tendência evolutiva para 10 e 20 anos compõe uma tendência que corresponde a uma dinâmica alternada entre a acresção e recuo da LC. É possível destacar que haverá uma tendência de acresção da LC para 2030 mas que vai perdendo a sua área de abrangência dando origem, em 2040, a uma tendência negativa em relação à LC, ou seja, passa a ser configurado um recuo.



Figura 41 - Projeção de acresção para os anos de 2030-2040 no Setor V – Rio Pará – SE, município de Soure-PA. Fonte: Próprio autor.



Gráfico 13 - Projeção de acresção para os anos de 2030-2040 Setor V – Rio Pará – SE, município de Soure-PA. Fonte: Próprio autor.



Gráfico 14 - Projeção de erosão para os anos de 2030-2040 Setor V – Rio Pará – SE, município de Soure-PA. Fonte: Próprio autor.

7 DISCUSSÃO

7.1 SETORES I E II: DINÂMICA DO CANAL SUL DO RIO AMAZONAS

A investigação sobre o contexto costeiro do rio Amazonas é observada sob uma óptica que tange ao estigmada da maior descarga hídrica (220.000 m³/s em maio). Desta maneira, Torres *et al.* (2018), evidenciam que o fluxo na foz do rio Amazonas é dividido em duas partes (Canal norte e Sul): 60% para o canal norte e de 40% para ilha do Marajó; onde descarga hídrica máxima no canal sul é de 88.000 m³/s (Carneiro *et al.* 2020, Prestes *et al.* 2020b), destacando que a descarga sólida possibilita o aumento do teor de material em suspensão (71,8 bilhões ton/ano), obtendo sua maior amplitude em fevereiro-março e menor em outubro-novembro, favorecendo o processo de sedimentação na região.

Outro fator que influencia essa região (foz do rio Amazonas), onde está localizada a LC norte de Soure é a macro e mesomaré, com preamar (sizígia) e baixamar (quadratura), 5,6 m e -0,4 m respectivamente (DHN 2020). Os eventos extremos influenciam também a dinâmica de LC de Soure. A *La Niña* é um exemplo claro, pois aumenta a intensidade de chuvas na região amazônica (Baía *et al.* 2021, Jiménez-Muñoz *et al.* 2016), ocasionando o aumento significativo dos índices pluviométricos, resultando em um aumento do nível fluviométrico dos rios e, em sua maior vazão. Tal fato foi observado por Baía *et al.* (2021) nas margens do estuário do rio Marapanim.

Diante do exposto, abrangendo o objeto de investigação sob o olhar hidrodinâmico e de âmbito dinâmico entre a vertente exógena que modelam a LC em sua extensão, sobretudo em sua foz (Espinoza Villar *et al.* 2009, Marcos *et al.* 2004, Vauchel *et al.* 2017), pode-se destacar que o Setor I, a área espacial está em um processo de acresção (79%) em detrimento da erosão (21%), haja vista que os dados estatísticos (tabela 3), obtiveram um perfil de acresção e apresentando um balanço positivo (\pm 7,1 m/ano). Já no setor II, onde as taxas estatísticas apresentam uma dinâmica que tange a acresção (68%) em detrimento da erosão (32%) da ZC, compondo uma variação de \pm 1,48 m/ano.

Os resultados do setor I compostos pelo NSM (1277,08 \pm 476,32) e EPR e LRR taxam uma variabilidade média de 7,5 m/ano e 7,11 m/ano, respectivamente. O setor II, apresenta para o NSM 439,18 \pm 173,18 m, e para o EPR 2,35 m/ano e LRR 1,48 m/ano. Nessa região, a erosão e acreção são influenciadas pela maré. Este cenário localizado na margem direita do Canal Sul do rio Amazonas, por onde transitam 40% da sua descarga hídrica e sólida, sendo caracterizado por uma hidrodinâmica alta (Prestes et al., 2020b, 2017). Isso vem se traduzindo em recuo da LC. Somado a esses fatores, No ano de 1985, apresenta-se uma variação de 1,9 mm e chegando a um nível pluviométrico de 4.670 mm (Nogueira et al., 2003), o que potencializa o aporte acrecional líquido máximo no setor I (1277,08 \pm 348,07 m) e no setor II (439,18 \pm 110,68).

Os ventos de direção NE, que atingem velocidade de 6,2 m s⁻¹ e 7 m s⁻¹, são fundamentais para a compreensão do processo erosivo (para o setor I: 433,4 \pm 153,58 (NSM), 9,24 m/ano (EPR), 8,79 m/ano (LRR); e setor II: 280,93 m \pm 96,21 m (NSM), 5,99 m/ano (EPR), 2,14 (LRR) (para o setor I: 433,4 \pm 153,58 (NSM), 9,24 m/ano (EPR), 8,79 m/ano (LRR); e setor II: 280,93 m \pm 96,21 m (NSM), 5,99 m/ano (EPR), 2,14 (LRR) (para o setor I: 433,4 \pm 153,58 (NSM), 9,24 m/ano (EPR), 8,79 m/ano (LRR); e setor II: 280,93 m \pm 96,21 m (NSM), 5,99 m/ano (EPR), 2,14 (LRR) é explicitada na tabela 3. Pois, a porção norte de Soure é influenciada pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (INMET 2020), o que imprime uma variação energética ao fluxo hídrico, que atinge a LC em sentido perpendicular a costa.

Alguns pesquisadores chegaram a resultados semelhantes aos obtidos nesta pesquisa. A exemplo, Baía *et. al.* (2021) obtiveram, para o parâmetro da taxa do ponto final (EPR), o resultado 3,89 a -1,23 m/ano (praia de Santa Maria-PA) e 8,87 a -1,61 m/ano e 40,91 a -9,82 m/ano (praias de Marudá-PA e Crispim-PA); Santos *et. al.* (2021), obtiveram para o parâmetro LRR 1,75 m/ano e para o EPR 1,35 m/ano (praia de Cabo Branco) e EPR: 1,36 m/ano LRR: 1,50 m/ano (praia de Maraira); Natarajan (2021), apresenta as taxas máximas de acreção foram 3,9 m / ano (LRR) e 4,2 m / ano (EPR) perto de Puthupettai. Os valores NSM mostraram que a LC foi recuada em 81,6 m em Kayalpattu e acrescida em uma distância de 204,1 m em Puthupettai. Outros trabalhos também contrastam dessa dinâmica costeira (Baig *et al.* 2021, Ovando *et al.* 2018, Quadrado *et al.* 2021, Raj *et al.* 2020, Ranieri & El-Robrini 2015).

O contraste da LC dos setores I e II é formado pelos fatores apresentados anteriormente. Porém, ao comparar os dados, essa LC em evidência possui uma dinâmica distinta do já publicado na literatura (Batista *et al.* 2009, Neves *et al.* 2019, Palinkas *et al.* 2018b, Souza *et al.* 2020), pois apresenta dados superiores de acresção e dinâmica controladas por grandes eventos climáticos, marés, hidrodinâmica e etc., configurando o processo erosivo e acrecional.

A tendência do processo nesses setores, em uma perspectiva futura de 10-20 anos, é passível de uma continuação, haja vista que os dados obtidos relatam esse contexto (Quadros 3 e 4). Essa situação acontece pelo fato do processo erosivo decorrente do rio Amazonas e pelo fato de que a região destes setores obterem uma zona de amortecimento energético (Batista *et al.* 2009), possibilitando a vertente dinâmica de acresção e recuo da LC, porém, por conta da alta descarga sedimentar o processo de acreção predominará.

7.2 SETOR III: CABO MAGUARI

Na Amazônia ocidental, ao longo tangencial a foz do rio Pará e Amazonas, as flutuação e descarga sedimentar é objeto de estudo de diversos pesquisadores que enquadram a análise da dinâmica existente nesta região (Baía *et al.* 2021; Batista *et al.* 2009, França & Souza Filho 2003, França 2013, Neves *et al.* 2019, Ranieri & El-Robrini 2015, Vasconcelos *et al.* 2020). Neste sentido, o controle desse fator está relacionado com as variações da descarga do rio Amazonas e Pará, de processos neotectônicos, oceanográficos e meteorológicos (Ahmad & Lakhan 2012, Batista *et al.* 2009, Prestes 2016, Prestes *et al.* 2017, n.d., Rossetti & Valeriano 2007).

O cenário espacial em evidência ao longo do estudo, oriundo de uma análise temporal de que tange a uma escala temporal de 48 anos (1972-2020), dos processos de erosão e acresção da LC é configurada a partir de diversos fatores e, neste sentido, influenciada por parâmetros exógenos, como: ondas, marés, fluxo de correntes na ZC, intensidade e regime de ventos e climatológicos.

As condições hidrodinâmicas, interferem diretamente no processo de transporte litorâneo. Diversas investigações revelaram que a LC possui forma característica média, que é denominada perfil de equilíbrio teórico. O perfil de equilíbrio foi definido como "um perfil estatístico médio, que mantém sua forma independente de pequenas flutuações, inclusive sazonais". A evolução no perfil de equilíbrio aumenta exponencialmente com a distância 12,90 m ano⁻¹ da linha costeira de acordo com a equação $h(x) = Ax^{m=0,67}$ (Dean 1991).

Desta forma, a região Amazônica ocidental é controlada por modificações pela migração dos bancos de lama em *offshore* que imprimem a LC uma condição acrecional, ampliando o sentido linear do litoral (Muehe 1994) e a erosão com sua migração em sentido continental (Ahmed *et al.* 2021) compõe o aparecimento de *interbancos*, deixando a ZC desprotegida e sofrendo com a ação das ondas promovidas pelas marés; coexistindo uma relação de trocas *mud bank* e *tidal mud flat*, o que representa os bancos lamosos e a planície de maré lamosa, respectivamente (Batista *et al.* 2009).

É importante ressaltar que nesta região, as ondas chegam à costa de em um sentido oblíquo com sentido preferencial de E para W, em direção a LC onde estão localizados o setor IV e V na margem Oeste do estuário do rio Pará; e de W para E nos setores I e II. O setor III tem um sentido pelas duas áreas adjacentes a sua LC, tangenciando uma zona de ondas de origem *offshore* com direção preferencial; W-E e E-N (DHN 2020).

Neste sentido, Batista *et al.* (2009), apresentam que a região de cabos obtém grande bancos lamosos, e somados com migração do manguezal, favorece o processo de sedimentação e, por consequência o aparecimento de grandes extensões progradativas, ou seja, os cabos de maré lamosa.

A exemplo, o cabo Orange, com uma área poligonal de 55,85 km² de acreção e ~566,2 m \pm 24,6 m/ano, analisados ao longo de 23 anos (1983-2003). Esses dados são influenciados pelo canal norte do rio Amazonas. Porém, ao contrastar com o canal sua do rio Amazonas, a presença desse fenômeno também é ocorrente, o que é caracterizado pelo Cabo Maguari (setor III), onde apresenta um movimento líquido da LC (NSM) de 1930,9 m e uma taxa de 41,17 m/ano (EPR) e 43,63 m/ano (LRR) de acreção. Nessa confluência origina-se uma zona de acumulação preferencial de sedimentos, influenciando o desenvolvimento de cabo arenoso e lamoso (Cabo Maguari), com crescimento na direção do oceano Atlântico, através da formação de barras arenosas (*sand ridges*) e expansão das florestas de manguezal. Este cabo resulta na sedimentação do acúmulo de um volume muito grande de sedimentos, e apresenta uma geometria recurvada em forma de arco, acoplada à extremidade nordeste da área de investigação. Esses fatos expostos condicionam a prospecção futura de tendência acumulativa, onde para o ano de 2030 estima-se cerca de 7,834,441.76 m² ± 391,823.59 m²/ano e em 2040 essa perspectiva tende a continuar estimando em 12,769,905.30 ± 319,298.63 m²/ano.

Nesta área do setor III, existe a presença de camadas de lama fluída, com um substrato de origem de fundo. Esses componentes influenciam diretamente nas marés, pois a lama alteram a propagação das ondas costeiras, tornando-as do tipo "solitária", causando o amortecimento de seu efeito (Batista *et al.* 2009). Essa estrutura explica a ocorrência do desenvolvimento do manguezal, o que contribui diretamente para o processo de acresção, pois fornece um mecanismo adicional de retenção e fixação de sedimentos, atuando como "armadilhas" para os sedimentos e serve, também, como proteção a remoção pelas ondas (Allison *et al.* 2000). Neste sentido, a forma como o manguezal retém os sedimentos é inerente à intensa atividade biológica, advindas das raízes que desenvolvem estruturas mosqueadas (Souza Filho & El-Robrini 1996).

7.3 SETORES IV e V: MARGEM OESTE DO ESTUÁRIO DO RIO PARÁ

O cenário dos setores IV e V, onde ambos são influenciados pela dinâmica do estuário do rio Pará, na qual predominam variações semidiurnas, obtendo uma importância secundária das oscilações diurnas (ambas astronomicamente puras) e componentes das marés, gerados devido à interação não linear entre o harmônico principal constituintes, especialmente o M₄ (Prestes et al. 2020b), o que configuram uma correlação dinâmica que tange a perspectiva erosiva e/ao evolutiva a essa perspectiva.

Onde, no setor IV, as médias são de variação da LC de 0,2 m/ano e a média entre todas as taxas do NSM negativas e positivas correspondem a -51,54 m, e apresenta uma taxa máxima de erosão é -635,72 \pm 200,25 m, em contraste, a taxa máxima positiva configura 490,81m \pm 119,75 m. E, o EPR e LRR, média de -1,09 m/ano e 0,19 m/ano, respectivamente, o que traduz um processo de estabilidade tendenciando erosivo. Já o setor V, assume de fato um comportamento erosivo, com uma taxa média de recuo da LC de -2,1 m/ano, onde o NSM compõe uma média de -113,81 m, com uma taxa erosiva máxima de -1247,46 m \pm -193,5 m e como cenário positivo com 1012,72 m \pm 110,07 m; o EPR com média de -2,38 m/ano e LRR com -2,13 m/ano.

A interpretação desses dados obtidos, configura um processo vinculado a uma dinâmica que é explicado, principalmente, pela forçante oriunda das marés (máxima de 4,2 m, com variação de 0.5-1.2 m entre a maré morta), haja vista que o estuário do rio Pará apresenta uma intensa contribuição fluvial, combinada com a co-oscilação das marés astronômicas, faz com que seja produzida um padrão hidrodinâmico diferente e processo de mistura complexo. Desta, maneira, a foz do estuário do rio Pará tem um padrão de meso-macromaré semidurno e com alta amplitude M₂ (Prestes *et al.* 2020b), diminuindo à medida que a onda de maré é atenuada devido ao atrito com a parte inferior e as margens, contribuindo para altos índices de erosão presente nesses setores (tabela 3).

O avanço da LC deste espaço geográfico está relacionada a padrão de distribuição do material em suspensão, onde atinge o máximo de 0,385ms ⁻¹ e um mínimo de 0,112ms ⁻¹ e sem inversão de corrente (Carneiro *et al.* 2020). Desta forma, os dados obtidos por Carneiro *et al.* (2020), estimaram que a exportação de sólidos suspensos (T _{SSL}) obteve um valor máximo de 0,9229kg m ⁻¹ s ⁻¹ na estação seca e 0,6650kg m ⁻¹ s ⁻¹ na estação chuvosa. Essa condição também é influenciada pela pluma do rio Amazonas, que deposita sedimentos nas adjacências das margens do rio Pará, sobretudo pelo estreito de Breves. Assim, também destacável que as marés penetrantes são importantes para a regulação da dinâmica dos sólidos que estão suspensos nos ambientes dos estuários e, em especial, no rio Pará, onde a descarga fluvial é de 20.946 m ³ .s ⁻¹ (Prestes *et al.* 2020b), imprimindo a essa região uma grande energia cinética perpendicular à LC, onde a entrada líquida de regime continental reage e integra diretamente com o fluxo barotrópico gerado pelas correntes de maré.

Desta forma, alguns pesquisadores chegaram a resultados semelhantes (Baig *et al.* 2020, Benkhattab *et al.* 2020, Galvez *et al.* 2020, Kabir *et al.* 2020, Mishra *et al.* 2020, Muskananfola *et al.* 2020, Santos *et al.* 2021b, Warnasuriya *et al.* 2020). Desta maneira, Santos *et al.* (2021), nas praias de: Bessa, Intermarés Campina; com o método EPR os valores de -1,20 m / ano e 0,94 m / ano, para a taxa máxima e mínima, respectivamente. Com o método LRR, as taxas mínimas e máximas de alteração da LC foram de -0,90 m/ano e 1,22 m/ano, o que remete um processo semelhante a dinâmica que acontece no setor IV. Em contraste, para a praia do Ponta do Seixas, o autor compõe taxas para do EPR (-0,39 m/ano) foram maiores os valores de LRR (-0,32 m/ano), configurando uma amplitude de carácter erosivo, o que se assemelha ao setor V, presente a sudeste do município de Soure.

A perspectiva futura desta dinâmica, assim como os resultados obtidos nos quadros 3 e 4, evidenciam o vetor de continuação do processo erosivo. Em especial, o setor IV que na análise de 1972 à 2020 já passa por um processo de acresção para um cenário erosivo e, onde em 2030 e 2040 passa a predominar o processo de recuo na LC. Assim, Natarajan *et al.* (2021), estimam uma continuação do processo erosivo em Chinna Vaaikaal durante as próximas duas décadas, e observa uma maior da LC em Thammanam pettai, Reddiyar pettai, Singarathope, Poochimedu, Kayalpattu e Devanampattinam até o ano de 2040. De tal maneira, a costa ocidental do rio Pará, em Soure, passará por uma tendência semelhante a dos autores citados anteriormente, porém a região de estudo se diferencia pelo fato de haver a 5ª maior descarga hídrica do mundo (Prestes *et al.* 2020b), o que controla o processo erosivo, ao contrário do Rio Coleroon que não figura nem entre os 10 primeiros sob essa óptica.

Esse fato, em escala local, além de proporcionar a possibilidade de medidas mitigadores de controle erosivo em Soure, ela proporciona a possibilidade de replicação da técnica em qualquer parte do mundo, o que amplia a aparato técnico e metodológico, através do sensoriamento remoto, para prever as mudanças da LC em cenários adversos, principalmente em áreas de grande estresse antropogênico.

8 CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos sobre a LC do município de Soure-PA, é coerente salientar que os processos de mudanças costeiras imprimem um teor acrecional na extensão adjacente à LC, tendo em vista a avaliação feita ao longo dos 68 anos propostos (1972-2040). Desta forma, destaca que há 5 setores que apresentam dinâmicas distintas, devido as exposições aos processos de origem costeira oriundo dos estuários dos rios Pará e Amazonas, ou seja, de origem natural e com pouca influência antropogênica.

Ao apresentarem dados quantitativos diferenciados, o setor I e II, localizados no canal sul do rio Amazonas apresentou uma perspectiva acrecional na LC adjacente em comparação ao IV e V no estuário do rio Pará, onde apresenta um componente mais erosivo por conta da energia exercida pela hidrodinâmica. Desta forma, estas condicionantes controlam a dinâmica multitemporal da LC do município, sendo atribuídas a maior erosão sobre a forte descarga hídrica do rio Pará. Porém, há a ocorrência de grandes áreas erosiva ao norte da ZC de Soure, onde é condicionada pelo canal sul do rio Amazonas.

O sentido das descargas sedimentares decorrentes dos estuários dos rios Amazonas e Pará, condiciona ao setor III (confluência do canal sul rio Amazonas e do rio Pará) acumulação de sedimentos, fenômeno que é comum em áreas que estão localizadas em grandes desembocaduras fluviais. Assim ampliando o vetor acrecional da LC e ampliando, em concomitância, o gradiente deposicional deste cenário espacial.

Sem dúvidas, uma das principais contribuições deste manuscrito foi a possibilidade de estimar a previsão que ocorrerá para os próximos 20 anos a partir do ano de 2020, ou seja, compondo uma vertente de análise, que a priori, seria de 48 anos (1972-2020), para a perspectiva temporal de 68 anos de análise (1972-2040).

Em suma, os objetivos propostos foram alcançados, sendo possível analisar a variação da LC ao longo de 48 anos de estudo e, posteriormente, projetar para os anos de 2030 e 2040, de forma analítica e criteriosa, a LC e quantificando as áreas erosivas e progradacionais ao longo dessa perspectiva temporal.

Os resultados alcançados possuem relevância, pois a análise pode ser utilizada pelos administradores públicos considerando que a ZC do município de Soure não apresenta dinâmicas iguais em sua extensão. Cada setor é marcado por uma dinâmica

diferente de acordo com a sua exposição aos fenômenos costeiros e por se tratar de uma área com grande relevância social, histórica e econômica para o Estado do Pará. Ademais, a relevância para a década do oceano promovido pela ONU é imensurável, pois trata-se de uma região que compõe o maior cinturão contínuo do planeta, assim como destaca Souza Filho (2005).

Por fim, a análise feita sobre o município de Soure corrobora para uma análise integrada dos processos que atuam na LC desta, sendo apenas um fragmento para o entendimento de uma dinâmica mais complexa. O mesmo servirá com subsídio teórico e metodológico para prospecções futuras sobre a dinâmica costeira do município de Soure, adicionando mecanismo informacionais que servem como um modelo de previsão das mudanças ambientais, sobre o mesmo, de larga escala temporal e espacial.

REFERÊNCIAS

Abu Zed A.A., Solima, M.R., Yassi A.A. 2018. Evaluation of using satellite image in detecting long term shoreline change along El-Arish coastal zone, Egypt. Alexandria *Eng. J.* **57**: 2687–2702. https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.10.005.

Acharya T., Subedi A., Lee D. 2018. Evaluation of Water Indices for Surface Water Extraction in a Landsat 8 Scene of Nepal. *Sensors* **18**: 2580. https://doi.org/10.3390/s18082580.

Ahmad S.R. & Lakhan V.C. 2012. GIS-Based Analysis and Modeling of Coastline Advance and Retreat Along the Coast of Guyana. *Mar. Geod.* **35**: 1–15. https://doi.org/10.1080/01490419.2011.637851.

Ahmed N., Howlader N., Hoque M.A.-A., Pradhan B. 2021. Coastal erosion vulnerability assessment along the eastern coast of Bangladesh using geospatial techniques. *Ocean Coast. Manag.* **199**: 105408. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105408.

Al Ruheili A.M. & Boluwade A. 2021. Quantifying Coastal Shoreline Erosion Due to Climatic Extremes Using Remote-Sensed Estimates from Sentinel-2A Data. *Environ. Process.* https://doi.org/10.1007/s40710-021-00522-2.

Albuquerque M., Espinoza J., Teixeira P., Oliveira A.de, Corrêa I., Calliari L. 2013. Erosion or Coastal Variability: An Evaluation of the DSAS and the Change Polygon Methods for the Determination of Erosive Processes on Sandy Beaches. *J. Coast. Res.* **165**: 1710–1714. https://doi.org/10.2112/SI65-289.1.

Alesheikh A.A., Ghorbanal, A., Nouri N. 2007. Coastline change detection using remote sensing. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* **4**: 61–66. https://doi.org/10.1007/BF03325962

Allan J.C., Komar P.D., Priest G.R. 2003. Shoreline variability on the high-energy Oregon Coast and its usefulness in erosion-hazard assessments. *J. Coast. Res.* **38**: 83–105.

Allison M.A., Lee M.T., Ogston A.S., Aller R.C. 2000. Origin of Amazon mudbanks along the northeastern coast of South America. *Mar. Geol.* **163**: 241–256. https://doi.org/10.1016/S0025-3227(99)00120-6.

Almonacid-Caballer, J., Sánchez-García, E., Pardo-Pascual, J.E., Balaguer-Beser, A.A., Palomar-Vázquez, J., 2016. Evaluation of annual mean shoreline position deduced from Landsat imagery as a mid-term coastal evolution indicator. *Mar. Geol.* **372**, 79–88. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2015.12.015.

Amaral R. 1999. A utilização de fotografias aéreas de pequeno formato no monitoramento da zona costeira do Rio Grande do Norte. *In*: 7º Congresso da ABEQUA. Porto Seguro. *Anais*[...]. http://www.abequa.org.br/trabalhos/viiabequa_zcp004.pdf.

Apostolopoulos D. & Nikolakopoulos K. 2021. A review and meta-analysis of remote sensing data, GIS methods, materials and indices used for monitoring the coastline evolution over the last twenty years. *Eur. J. Remote Sens.* **54**: 240–265. https://doi.org/10.1080/22797254.2021.1904293.

Arai M. 1997. Dinoflagelados (Dynophiceae) miocênicos do Grupo Barreiras do nordeste do estado do Pará (Brasil). *Rev. da Univ. Guarulhos* **2**: 98–106.

Baía L. B, Ranieri L.A., Rosário R.P. 2021. Multitemporal analysis of variations in the coastlines of stuarine macrotidal beaches in the eastern Amazon, Brazil . *Geociencias* **40**: 231–244. https://doi.org/10.5016/geociencias.v40i1.13470

Baig M.R.I., Ahmad I.A., Shahfahad Tayyab M., Rahman A. 2020. Analysis of shoreline changes in Vishakhapatnam coastal tract of Andhra Pradesh, India: an application of digital shoreline analysis system (DSAS). *Ann. GIS* **26**: 361–376. https://doi.org/10.1080/19475683.2020.1815839

Baig M.R.I., Shahfahad Ahmad I.A., Tayyab M., Asgher M.S., Rahman A. 2021. Coastal Vulnerability Mapping by Integrating Geospatial Techniques and Analytical Hierarchy Process (AHP) along the Vishakhapatnam Coastal Tract, Andhra Pradesh, India. *J. Indian Soc. Remote Sens.* **49**: 215–231. https://doi.org/10.1007/s12524-020-01204-6

Baral R., Pradhan S., Samal R.N., Mishra S.K. 2018. Shoreline Change Analysis at Chilika Lagoon Coast, India Using Digital Shoreline Analysis System. *J. Indian Soc. Remote Sens.* **46**: 1637–1644. https://doi.org/10.1007/s12524-018-0818-7.

Bastos M. de N. do C. 1984. Levantamento florístico dos campos do Estado do Pará I - campo de Joanes (Ilha de Marajó). *Bol. do Mus. Para. Emílio Goeldi* 1: 67–86.

Batista E. das M., Souza Filho P.W.M. e, Silveira O.F.M. da 2009. Avaliação de áreas deposicionais e erosivas em cabos lamosos da zona costeira Amazônica através da análise multitemporal de imagens de sensores remotos. *Rev. Bras. Geofísica* **27:** 83–96. https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0102-261X2009000500007.

Behling R., Milewski R., Chabrillat S. 2018. Spatiotemporal shoreline dynamics of Namibian coastal lagoons derived by a dense remote sensing time series approach. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* **68**: 262–271. https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.01.009.

Benkhattab F.Z., Hakkou M., Bagdanavičiūtė I., Mrini A., El Zagaoui, H. Rhinane, H. Maanan M. 2020. Spatial-temporal analysis of the shoreline change rate using automatic computation and geospatial tools along the Tetouan coast in Morocco. *Nat. Hazards* **104**: 519–536. https://doi.org/10.1007/s11069-020-04179-2.

Bertacchini E. 2010. Map updating and coastline control with very high resolution satellite images: application to Molise and Puglia coasts (Italy). Ital. *J. Remote Sens.* **103**: 115. https://doi.org/10.5721/ItJRS20104228.

Bittencourt L.A. 2016. *Morfodinâmica da praia estuarina do Cajuúna, Soure, Marajó – Pará.* PhD Dissertação. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. 143 p.

Boak E.H. & Turner I.L. 2005. Shoreline definition and detection: A review. J. Coast. Res. 21: 688–703. https://doi.org/10.2112/03-0071.1.

Brasil. 2001. *Decreto s/n° de 22 de novembro de 2001*. Diário Oficial da União, Brasília, DF.

Camfield F.E. & Morang A. 1996. Defining and interpreting shoreline change. *OceanCoast. Manag.* **32**: 129–151. https://doi.org/10.1016/S0964-5691(96)00059-2.

Cane M.A., Zebiak S.E., Dolan S.C. 1986. Experimental forecasts of El Niño. *Nature* **321:** 827–832. https://doi.org/10.1038/321827a0.

Cardoso G.F., Souza C., Souza Filho P.W.M. 2014. Using spectral analysis of Landsat-5 TM images to map coastal wetlands in the Amazon River mouth, Brazil. Wetl. *Ecol.Manag.* **22**: 79–92. https://doi.org/10.1007/s11273-013-9324-4.

Carneiro A.G., Prestes Y.O., Rollnic M. 2020. Estimates of suspended solid transport in the pará river estuary. *Ocean Coast. Res.* **68:** 1–8. https://doi.org/10.1590/S2675-28242020068281.

Chen S., Chen L., Liu Q., Li X., Tan Q. 2005. Remote sensing and GIS-based integrated analysis of coastal changes and their environmental impacts in Lingding Bay, Pearl River Estuary, South China. *Ocean Coast. Manag.* **48**: 65–83. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2004.11.004.

Ciritci D. & Türk T. 2019. Automatic Detection of Shoreline Change by Geographical Information System (GIS) and Remote Sensing in the Göksu Delta, Turkey. *J. Indian Soc. Remote Sens.* **47:** 233–243. https://doi.org/10.1007/s12524-019-00947-1.

Cohen M.C.L. & Lara R.J. 2003. Temporal changes of mangrove vegetation boundaries in Amazonia: Application of GIS and remote sensing techniques. Wetl. *Ecol. Manag.* **11**: 223–231. https://doi.org/10.1023/A:1025007331075.

Conti L.A. & Rodrigues M. 2011. Variação da linha de costa na região da Ilha dos Guarás

- PA através de análise de série temporal de imagens de satélites. *Rev. Bras. Geogr. Física* **4:** 922–937.

Crowell M., Douglas B.C., Leatherman tephen P. 1997. On Forecasting Future U.S. Shoreline Positions: A Test of Algorithms. *J. Coast. Res.* **13**: 11.

Danforth W.W. & Thieler E.R. 1992. *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)* user'sguide; version 1.0.

Davidson M.A., Lewis R.P., Turner I.L. 2010. Forecasting seasonal to multi-year shoreline change. *Coast. Eng.* **57**: 620–629. https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2010.02.001.

Dean R.G. 1991. Equilibrium beach profiles: characteristics and applications. J. Coast. Res. 7: 53–84.

DHN 2020. DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação) [WWW Document]. URL https://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare (accessed 10.23.20).

Do A.T.K., De Vries S., Stive M.J.F. 2019. The Estimation and Evaluation of Shoreline Locations, Shoreline-Change Rates, and Coastal Volume Changes Derived from Landsat Images. *J. Coast. Res.* **35**: 56–71. https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-18-00021.1.

Dolan R., Fenster M.S., Holme S.J. 1991. Temporal analysis of shoreline recession and accretion. J. Coast. Res. 7: 22.

Dolan R., Hayden B.P., May P., May S. 1980. The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs. *Shore and Beach* **48**: 22–29.

El-Ashry M.T. & Wanless H.R. 1967. Shoreline features and your changes, Photogramm. Photogramm. *Eng. Remote Sens.* **33**: 184–189.

El-Robrini M., Ranieiri L.A., Silva P.V.M., Guerreiro J.S., Alves M.A.M. da S., Oliveira R.R.S. de, Oliveira R.R.S. de, Amora P.B.C., Robrini M.H.S. El, Fenzl N., Daniel Ramôa Farias 2018. Pará, in: Muehe, D. (Ed.), *Panorama Da Erosão Costeira No Brasil*. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Ambiental Rural, Brasília, DF, p. 759.

Embrapa 2018. *Sistema brasileiro de classificação de solos*, 5th ed, Embrapa Solos. Embrapa, Brasília, DF.

Espinoza Villar J.C., Guyot J.L., Ronchail J., Cochonneau G., Filizola N., Fraizy P., Labat D., Oliveira E.de, Ordoñez J.J., Vauchel P. 2009. Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon basin (1974–2004). *J. Hydrol.* **375**: 297–311. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.03.004

Félix A., Baquerizo, A., Santiago, J.M., Losada, M.A., 2012. Coastal zone management with stochastic multi-criteria analysis. *J. Environ. Manage.* **112**: 252–266. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.05.033

Feng Y., Liu Y., Liu D. 2015. Shoreline mapping with cellular automata and the shoreline progradation analysis in Shanghai, China from 1979 to 2008. *Arab. J. Geosci.* **8:** 4337–4351. https://doi.org/10.1007/s12517-014-1515-7

Fenster M.S., Dolan R., Elder J.F. 1993. A New Method for Predicting Shoreline Positions from Historical Data. J. Coast. Res. 9: 147–171.

França C.F. 2003. *Morfologia e mudanças costeiras da margem Leste da ilha de Marajó*. PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 144p.

França C.F. de & Souza Filho P.W.M.e 2003. Análise das mudanças morfológicas costeiras de médio período na margem leste da ilha de Marajó (Pa) em imagem Landsat. *Rev. Bras. Geociências* **33:** 127–136. https://doi.org/10.25249/0375-7536.200333s2127136

França C.F. de & Souza Filho P.W. M.e. 2006. Compartimentação Morfológica Da Margem Leste Da Ilha De Marajó: Zona Costeira Dos Municípios De Soure E Salvaterra – Estado Do Pará. *Rev. Bras. Geomorfol.* **7**: 33–42. https://doi.org/10.20502/rbg.v7i1.58

França M.C. 2013. Desenvolvimento da vegetação e morfologia da foz do Amazonas-Pa e rio Doce-ES durante o quaternário tardio. PhD Thesis, Uiversidade Federal do Pará, Instituto de Geociências. 169 p.

França M.C., Francisquini M.I., Cohen M.C.L., Pessenda L.C.R., Rossetti D.F., Guimarães J.T.F., Smith, C.B. 2012a. The last mangroves of Marajó Island - Eastern Amazon: Impact of climate and/or relative sea-level changes. *Rev. Palaeobot. Palynol.* **187**: 50–65. https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2012.08.007

França M.C., Francisquini M.I., Cohen M.C.L., Pessenda L.C.R., Rossetti D.F., Guimarães J.T.F., Smith C.B. 2012b. The last mangroves of Marajó Island — Eastern Amazon: Impact of climate and/or relative sea-level changes. *Rev. Palaeobot. Palynol.* **187:** 50–65. https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2012.08.007

Furtado A., França C.F. de, Pimentel M.D.S. 2009. Relações relevo-solo-vegetação da Ilha de Marajó-Pa. *In: Geo.Ufv.Br.* 23° Simpósio Braisleiro de Geografia Física Aplicada, Rio Claro, SP.

Galvez D.S., Papenmeier S., Hass H.C., Bartholomae A., Fofonova V., Wiltshire K.H. 2020. Detecting shifts of submarine sediment boundaries using side-scan mosaics and GIS analyses. *Mar. Geol.* **430**: 106343. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106343

Genz A.S., Fletcher C.H., Dunn R.A., Frazer L.N., Rooney J.J. 2007. The Predictive Accuracy of Shoreline Change Rate Methods and Alongshore Beach Variation on Maui, Hawaii. *J. Coast. Res.* **231**: 87–105. https://doi.org/10.2112/05-0521.1

Himmelstoss E.A., Henderson R.E., Kratzmann M.G., Farris A.S. 2018. *Digital Shoreline Analysis System (versão 5.0)*; Um ArcGIS © extensão para o cálculo alteração na linha costeira: lançamento do software U.S [WWW Document]. **Geol. Surv.** URL https://code.usgs.gov/cch /dsas. Accessed 5.20.20.

Honeycutt M.G., Crowell M., Douglas B.C., 2001. Shoreline-Position Forecasting: Impact of Storms, Rate-Calculation Methodologies, and Temporal Scales. *J. Coast. Res.* **17**: 721–730.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 2020. [WWW Document]. URL https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/soure.html (accessed 4.23.21).

ICMBio 2007. *Plano de Desenvolvimento territorial sustentável do Arquipélago do Marajó*; resumo executivo da versão preliminar para discussão nas consultas públicas. Versão preliminar. Grupo Executivo Interministerial, Brasília- DF.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) 2020. *Normais Climatológicas*. Disponível em: URL https://portal.inmet.gov.br/. Accessed 4.23.20.

Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil. 2021. Normais Climatológicas (1961/2019) [WWW Document]. URL https://portal.inmet.gov.br/servicos/normaisclimatológicas

IOC-UNESCO 2020. Summary report of the regional planning workshop for the South Atlantic. Rio de Janeiro, Brasil, p. 68.

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

Ivenicki A. 2021. Digital Lifelong Learning and Higher Education: multicultural strengths and challenges in pandemic times. *Ens. Avaliação e Políticas Públicas em Educ.* **29:** 360–377. https://doi.org/10.1590/s0104-403620210002903043

Jackson C.W., Alexander C.R., Bush D.M. 2012. Application of the AMBUR R package for spatio-temporal analysis of shoreline change: Jekyll Island, Georgia, USA. *Comput. Geosci.* **41:** 199–207. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2011.08.009.

Jardim K.A., Santos V.F. dos, Silveira O.F.M. da 2013. Mapeamento morfológico da região do cabo norte utilizando imagens alos palsar, Amapá, costa amazônica, Brasil.https://doi.org/10.13140/2.1.2217.7927.

Jiménez-Muñoz J.C., Mattar C., Barichivich, J., Santamaría-Artigas A., Takahashi K., Malhi Y., Sobrino J.A., Schrier G. van der 2016. Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015–2016. *Sci. Rep.* **6**: 33130. https://doi.org/10.1038/srep33130.

Joevivek V., Saravanan S., Chandrasekar N. 2019. Assessing the shoreline trend changes in Southern tip of India. *J. Coast. Conserv.* **23**: 283–292. https://doi.org/10.1007/s11852-018-0657-2.

Johns W.E., Lee T.N., Beardsley R.C., Candela J., Limeburner R., Castro B. 1998. Annual Cycle and Variability of the North Brazil Current. *J. Phys. Oceanogr.* **28**: 103–128. https://doi.org/10.1175/1520-0485(1998)028<0103:ACAVOT>2.0.CO;2.

Joseph M.B., Preston D.L., Johnson P.T.J. 2016. Integrating occupancy models and structural equation models to understand species occurrence. *Ecology* **97**: 765–775. https://doi.org/10.1890/15-0833.1.

Kabir M.A., Salauddin M., Hossain K.T., Tanim I.A., Saddam M.M.H., Ahmad A.U. 2020. Assessing the shoreline dynamics of Hatiya Island of Meghna estuary in Bangladesh using multiband satellite imageries and hydro-meteorological data. *Reg. Stud. Mar. Sci.* **35:** 101167. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101167.

Kalman R.E. 1960. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. J. Basic Eng. 82: 35–45. https://doi.org/10.1115/1.3662552.

Kitchenham B. 2004. Procedures for performing systematic reviews. Australia.

Kitchenham B. & Charters S. 2007. *Guidelines for performing systematic literature reviewsin software engineering*. Technical Report EBSE.

Kousky V.E., Kagano M.T., Cavalcanti I.F.A. 1984. A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. *Tellus A* **36:** A, 490–504. https://doi.org/10.1111/j.1600-0870.1984.tb00264.x.

Lacerda M. & Vasquez Rosa-Costa, L.T. da 2008. *Geologia e recursos minerais do Estado do Pará*: Sistema de Informações Geográfi cas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará. Belém, CPRM. Escala 1:1.000.000.

Lima A.M.M. de, Oliveira L.L. de, Fontinhas R.L., Lima, R.J. da S. 2005. Ilha do Marajó: revisão histórica, hidroclimatológica, bacias hidrográficas e proposta de gestão. *Holos Environ.* **5**: 65. https://doi.org/10.14295/holos.v5i1.331.

Lima L.T. de, Fernández-Fernández S., Espinoza J.M.A., Albuquerque M.G., Bernardes C. 2021. End point rate tool for QGIS (EPR4Q): validation using DSAS and AMBUR. *Preprints*. https://doi.org/https://doi.org/10.20944/preprints202101.0082.v2.

Lima R.R., Tourinho M.M., Costa J.P.C. da 2001. Várzeas Flúvio-marinhas da Amazônia brasileira: características e possibilidades agropecuárias. Belém, FCAP. Serviços de Documentação e Informação.

Lisboa P.L.B., Lisboa R.C.L., Rosa N. de A., Santos M.R. dos. 1993. Padrões de diversidade florística na Reserva Ecológica do Bacurizal, em Salvaterra, ilha do Marajó, Pará. *Bol. do Mus. Para*. Emílio Goeldi, **9**: 223–248.

Liu Y., Li X., Hou X. 2019. Spatiotemporal Changes to the River Channel and Shoreline of the Yellow River Delta during a 40-Year Period (1976–2017). *J. Coast. Res.* **36:** 128. https://doi.org/10.2112/jcoastres-d-19-00012.1

Long J.W. & Plant N.G. 2012. Extended Kalman Filter framework for forecasting shoreline evolution. *Geophys. Res. Lett.* **39:** n/a-n/a. https://doi.org/10.1029/2012GL052180

Macedo R.J.A. de, Manso V. do A.V., Pereira N.S., França L.G. de. 2012. Transporte de Sedimentos e Variação da Linha de Costa em Curto Prazo na Praia de Maracaípe (PE), Brasil. *Rev. Gestão Costeira Integr.* **12**: 343–355. https://doi.org/10.5894/rgci319.

Mafra S.N. & Travassos G.H. 2005. *Técnicas de Leitura de Software: Uma Revisão Sistemática*. XIX Simpósio Bras. Eng. Softw. 1–16.

Mahapatra M., Ratheesh R., Rajawat A.S. 2014. Shoreline Change Analysis along the Coast of South Gujarat, India, Using Digital Shoreline Analysis System. *J. Indian Soc. Remote Sens.* **42:** 869–876. https://doi.org/10.1007/s12524-013-0334-8.

Maiti S., Bhattacharya, A.K., 2009. Shoreline change analysis and its application to prediction: A remote sensing and statistics based approach. *Mar. Geol.* **257**, 11–23. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2008.10.006.

Marcos N., Oliveira A.D., Coppe P. C.C.D.T.S. Fundão, I., Janeiro, R. de, 2004. Id 121 Propagação da maré no estuário do Rio Amazonas. *Comput. Geosci.* 2004.

Martins P.W. Filho S. de, Morais Tozzi H.A., El-Robrini M. 2003. Geomorphology, Land-use and Environmental Hazards in Ajuruteua Macrotidal Sandy Beach, Northern Brazil. *J. Coast. Res.* **580**: 589.

Martins S.E.M. & Mendes A.C. 2011. Portal de Periódicos. Pesqui. em Geociências 38:

(2): 168–180.

Masson S. & Delecluse P. 2001. Influence of the Amazon River runoff on the tropical atlantic. Phys. Chem. Earth, Part B Hydrol. *Ocean. Atmos.* **26**: 137–142. https://doi.org/10.1016/S1464-1909(00)00230-6

McFeeters S.K. 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *Int. J. Remote Sens.* **17**: 1425–1432. https://doi.org/10.1080/01431169608948714.

Melo L.B. & Simões P. 2016. Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa: Soure - Ilha do Marajó, Pará. Soure.

Menezes M.O.B., Macedo S.R. de P., Corrêa S.C., Farage E.R. 2009. Efeitos da expansão urbana nas ilhas do Baixo Estuário do Amazonas: o caso de Soure, Arquipélago do Marajó. *Rev. Gestão Costeira Integr.* **9**: 113–126. https://doi.org/10.5894/rgci122.

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

Mishra M., Chand P., Pattnaik N., Kattel D.B., Panda G.K., Mohanti M., Baruah U.D., Chandniha S.K., Achary S., Mohanty T. 2019. Response of long- to short-term changes of the Puri coastline of Odisha (India) to natural and anthropogenic factors: a remote sensing and statistical assessment. *Environ. Earth Sci.* **78**: 338. https://doi.org/10.1007/s12665-019-8336-7.

Mishra M., Sudarsan D., Kar D., Naik A.K. das P.P., Santos C.A.G., Silva R.M.da. 2020. The development and research trend of using dsas tool for shoreline change analysis: A scientometric analysis. J. Urban Environ. Eng. 14: 69–77. https://doi.org/10.4090/juee.2020.v14n1.069077

Misra A. & Balaji R. 2015. A study on the shoreline changes and LAND-use/ Land-cover along the South Gujarat Coastline. *Procedia Eng.* **116**: 381–389. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.311.

Muehe D. 1994. Geomorfologia costeira. *In*: Cunha S.B. da & Guerra A.J.T. (eds.). *Geomorfologia*: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro, Brasil, Bertrand Brasil, p. 253–308.

Muskananfola M.R. & Supriharyono Febrianto S. 2020. Spatio-temporal analysis of shoreline change along the coast of Sayung Demak, Indonesia using Digital Shoreline Analysis System. *Reg. Stud. Mar. Sci.* **34**: 101060. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101060.

Nascimento L. do 2012. Comportamento da linha de costa nos últimos 50 Anos e o risco de prejuízos econômicos na face oceânica da ilha de Itaparica – Bahia. PhD Theszes, Universidade Federal da Bahia, 124p.

Nassar K., Fath H., Mahmod W.E., Masria A., Nadaoka K., Negm A. 2018. Automatic detection of shoreline change: case of North Sinai coast, Egypt. *J. Coast. Conserv.* 22: 1057–1083. https://doi.org/10.1007/s11852-018-0613-1.

Nassar K., Mahmod W.E., Fath H., Masria A., Nadaoka K., Negm A. 2019. Shoreline change detection using DSAS technique: Case of North Sinai coast, Egypt. *Mar. Georesources Geotechnol.* **37:** 81–95. https://doi.org/10.1080/1064119X.2018.1448912.

Natarajan L., Sivagnanam N., Usha T., Chokkalingam L., Sundar S., Gowrappan M., Roy P.D. 2021. Shoreline changes over last five decades and predictions for 2030 and 2040: a case study from Cuddalore, southeast coast of India. *Earth Sci. Informatics*. https://doi.org/10.1007/s12145-021-00668-5.

Neves S.C.R., França C.F. de, Silva R.R.P. e 2019. Morfologia e dinâmica da orla costeira do Maraú, ilha de Mosqueiro, Belém, Pará. *Geosul* **34**: 107–125. https://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n73p107.

Nogueira D.S., Gaspar A.V.G., Oliveira M. do C.F. de 2003. *Tendência e influência dos fenômenos el niño e la ninã na ilha do Marajó - Soure e Breves - 1971 a 200 - Parte 2 - variabilidade anual*, in: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Santa Maria, pp. 2–3.

Oliveira N.R. de, Santos C.R. dos, Turra A. 2018. Percepção ambiental como subsídio para gestão costeira da Baía do Araçá, Litoral Norte do Estado de São Paulo, Brasil. *Desenvolv. e Meio Ambient.* **44:** https://doi.org/10.5380/dma.v44i0.53825.

Oltman R.E. 1968. Reconnaissance investigations of the discharge and water quality of the Amazon River, U. S. *Geological Survey*.

Organização das Nações Unidas (ONU). 2020. A ciência que precisamos para o oceano que queremos. Década das Nações Unidas da Ciência Oceânica para o Desenvolvimento Sustentável, p. 24.

Organização das Nações Unidas (ONU). 2018. *Objetivos de desenvolvimento sustentável* [WWW Document]. ONU. https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Accessed 5.20.20

Ouma Y.O., Tateishi, R. 2006. A water index for rapid mapping of shoreline changes of five East African Rift Valley lakes: an empirical analysis using Landsat TM and ETM+ data. *Int. J. Remote Sens.* **27:** 3153–3181. https://doi.org/10.1080/01431160500309934.

Ovando A., Martinez, J.M. Tomasella, J., Rodriguez D.A., von Randow C. 2018. Multi-

temporal flood mapping and satellite altimetry used to evaluate the flood dynamics of the Bolivian Amazon wetlands. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* **69:** 27–40.https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.02.013.

Palinkas C.M., Sanford L.P., Koch E.W. 2018a. Influence of Shoreline Stabilization Structures on the Nearshore Sedimentary Environment in Mesohaline Chesapeake Bay. *Estuaries and Coasts* **41**: 952–965. https://doi.org/10.1007/s12237-017-0339-6.

Palmiere F. & Santos H.G. dos 1980. Levantamento semidetalhado e aptidão agrícola dossolos do Município do Rio de Janeiro, RJ. EMBRAPA-SNLCS, Rio de Janeiro.

Pará 2020. *L.ei* n° 9.064, de 25 de maio de 2020. Diário Oficial – República Federativa do Brasil – Estado do Pará, Belém, PA.

Peel M.C., Finlayson B.L., McMahon T.A. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **11**: 1633–1644. https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007

Pessoa R.M.C., Jiménez J.A., Costa R.M. da, Pereira L.C.C. 2019. Federal conservation units in the Brazilian amazon coastal zone: An adequate approach to control recreational activities? *Ocean Coast. Manag.* **178**: 104856. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104856.

Prestes Y. 2016. *Interações físicas entre o estuário do rio Pará e a plataforma continental no norte do Brasil*. Dissertation, Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia. 122 p.

Prestes Y.O., Borba T.A. da C., Silva A.C. da, Rollnic, M. 2020a. A discharge stationary model for the Pará-Amazon estuarine system. *J. Hydrol. Reg. Stud.* **28**: 100668. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100668.

Prestes Y.O., Rollic M., Silva M.S., Rosário R.P., n.d. *Volume transport in the tidal limit of the Pará River, Brazil*, in: Proceedings of the 17th Physics of Estuaries and Coastal Seas Conference. Porto de Galinhas, Pernambuco, Brazil.

Prestes Y.O., Silva A.C., Rollnic M., Rosário R.P. 2017. The M2 and M4 tides in the Pará River Estuary. *Trop. Oceanogr.* **45**: 26–37. https://doi.org/10.5914/tropocean.v45i1.15198.

Qiao C., Luo J., Sheng Y., Shen Z., Zhu Z., Ming D. 2012. An Adaptive Water Extraction Method from Remote Sensing Image Based on NDWI. *J. Indian Soc. Remote Sens.* **40**: 421–433. https://doi.org/10.1007/s12524-011-0162-7.

Quadrado G.P., Dillenburg S.R., Goulart E.S., Barboza E.G. 2021. Historical and geological assessment of shoreline changes at an urbanized embayed sandy system in Garopaba, Southern Brazil. *Reg. Stud. Mar. Sci.* **42**: 101622. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101622.

Raj N., Rejin Nishkalank R.A., Chrisben Sam S. 2020. Coastal Shoreline Changes in Chennai: Environment Impacts and Control Strategies of Southeast Coast, Tamil Nadu, in: Handbook of Environmental Materials Management. *Springer International Publishing, Cham, pp.* **1**: 14. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58538-3_223-1.

Ranieri L.A. & El-Robrini M. 2015. Evolution of the salinópolis shoreline, Northeastern of Pará, Brazil. *Pesqui. em Geociencias* **42:** 207–226. https://doi.org/10.22456/1807-9806.78121

Richey J.E., Nobre C., Deser C., 1989. Amazon river Discharge and Climate Variability:1903 to 1985. *Science*, **246**(80): 101–103.

https://doi.org/10.1126/science.246.4926.101.

Rodrigues S.W.P. & Souza Filho P.W.M. e 2011. Análise da variação da linha de costa anoroeste do Estado do Pará (Baía de Curuçá) através das imagens Landsat TM e ETM+ e CBERS 2B. *In*: 15° Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. *Anais*[...] INPE,Curitiba, PR, Brasil, p. 5062.

Rollnic M. & Rosário R.P. 2013. Tide propagation in tidal courses of the Pará river estuary, Amazon Coast, Brazil. *J. Coast. Res.* **165**: 1581–1586. https://doi.org/10.2112/si65-267.1

Rosário R.P. 2016. *Análise de processos oceanográficos no estuário do rio Pará*. PhD Thesis. Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geofísica. 139 p.

Rosário R.P., Borba T.A.C., Santos A.S., Rollnic M. 2016. Variability of Salinity in Pará River Estuary: 2D Analysis with Flexible Mesh Model. *J. Coast. Res.* **75**: 128–132. https://doi.org/10.2112/SI75-026.1

Rossetti D.F., Góes A.M., Valeriano M.M., Miranda M.C.C. 2008a. Quaternary tectonics in a passive margin: Marajó Island, northern Brazil. *J. Quat. Sci.* 23: 121–135. https://doi.org/10.1002/jqs.1132

Rossetti D.F. & Valeriano M.M. 2007. Evolution of the lowest amazon basin modeled from the integration of geological and SRTM topographic data. *CATENA* **70**: 253–265. https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.08.009

Rossetti D.F., Valeriano M.M., Góes A.M., Thales M., 2008b. Palaeodrainage on Marajó Island, northern Brazil, in relation to Holocene relative sea-level dynamics. *The Holocene* **18**: 923–934. https://doi.org/10.1177/0959683608091798

Roy S., Mahapatra M., Chakraborty A. 2018. Shoreline change detection along the coast of Odisha, India using digital shoreline analysis system. *Spat. Inf. Res.* **26:** 563–571. https://doi.org/10.1007/s41324-018-0199-6

Sankar R.D., Donoghue J.F., Kish S.A. 2018a. Mapping shoreline variability of two Barrier Island Segments Along the Florida Coast. *Estuaries and Coasts* **41**: 2191–2211. https://doi.org/10.1007/s12237-018-0426-3.

Santos C.A.G., Nascimento T.V.M. do, Mishra M., Silva R.M. da, 2021a. Analysis of long- and short-term shoreline change dynamics: A study case of João Pessoa city in Brazil. *Sci. Total Environ.* **769:** https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144889.

Santos J. 2013. *ArcGIS*: rescale em Batch, Composição Colorida RGB e Fusão de Imagens Landsat-8 14.

Sarp G. & Ozcelik M. 2017. Water body extraction and change detection using time series: A case study of Lake Burdur, Turkey. *J. Taibah Univ. Sci.* **11**: 381–391. https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2016.04.005.

Schott F.A., Fischer J., Stramma L. 1998. Transports and Pathways of the Upper-Layer Circulation in the Western Tropical Atlantic. *J. Phys. Oceanogr.* **28**: 1904–1928. https://doi.org/10.1175/1520-0485(1998)028<1904:TAPOTU>2.0.CO;2.

Silva A.C.da, Santos M.de L.S., Araujo M.C., Bourlès B. 2009. Observações hidrológicas e resultados de modelagem no espalhamento sazonal e espacial da pluma de água Amazônica. *Acta Amaz.* **39:** 361–369. https://doi.org/10.1590/s0044-59672009000200014.

Smith C.B., Cohen M.C.L., Pessenda L.C.R., França M.C., Guimarães J.T.F., Rossetti D. de F., Lara R.J. 2011. Holocene coastal vegetation changes at the mouth of the Amazon

 River.
 Rev.
 Palaeobot.
 Palynol.
 168:
 21–30.

 https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2011.09.008.

Soares M.L.G., Chaves F.O., Sabino C.M., Machado M.R.O., Alves A., Pereira L. 2020. Caracterização das florestas de mangue. *In: Projeto Costa Norte, Desenvolvimento de Metodologias para o Entendimento de Processos Costeiros e Estuarinos e da Vulnerabilidade de Florestas de Mangue na Margem Equatorial Brasileira*. Rio de Janeiro, Brasil, Capítulo 11, p. 1147–1420.

Souza C.R. de Gouveia & Suguio K. 2003. The Coastal Erosion Risk Zoning and the SãoPaulo State Plan for Coastal Management. *J. Coast. Res.* **530**: 547.

Sousa R.C. de, Pereira L.C.C., Costa R.M. da, Jiménez J.A. 2017. Management of estuarine beaches on the Amazon coast though the application of recreational carrying capacity indices. *Tour. Manag.* **59:** 216–225. https://doi.org/10.1016/j.tourman.2016.07.006.

Souza C.R.D.G.e. 2001. Coastal erosion risk assessment, shoreline retreat rates and Causes of Coastal Erosion Along the State of São Paulo Coast, Brazil. *Pesqui. em Geociências* **28**: 459. https://doi.org/10.22456/1807-9806.20320.

Souza C.M., Z. Shimbo J., Rosa M.R., Parente L.L., A. Alencar A., Rudorff B.F.T., Hasenack H., Matsumoto M., G. Ferreira L., Souza-Filho P.W.M., de Oliveira S.W., Rocha W.F., Fonseca A. V., Marques C.B., Diniz C.G., Costa D., Monteiro D., Rosa E.R., Vélez-Martin E., Weber E.J., Lenti F.E.B., Paternost F.F., Pareyn F.G.C., Siqueira J. V., Viera J.L., Neto L.C.F., Saraiva M.M., Sales M.H., Salgado M.P.G., Vasconcelos R., Galano S., Mesquita V. V., Azevedo T. 2020. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. *Remote Sens.* **12**: 2735. https://doi.org/10.3390/rs12172735.

Souza Filho, P.W.M.e 1995. A planície costeira bragantina (NE do Pará): influência das variações do nível do mar na morfoestratigrafia costeira durante o Holoceno. Dissertation, Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, 123p.

Souza Filho, P.W.M.e 2000. Avaliação e aplicação de dados de sensores remotos no estudo de ambientes costeiros tropicais úmidos, Bragança, Norte do Brasil. PhD Theses, UniversidadeFederal do Pará. Instituto de Geociências, xvii, 220 p.

Souza Filho P.W.M.e. 2005. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. *Rev. Bras. Geofísica* **23**: 427–435. https://doi.org/10.1590/s0102-261x2005000400006.

Souza Filho P.W.M.e. 2001. Impactos naturais e antrópicos na planície costeira de Bragança. *In:* Prost M. T. & Mendes A. C *Ecossistemas costeiros*: impactos e gestão ambiental. Belém, MPEG. P. 113-125.

Souza Filho P.W.M.e. & El-Robrini M. 1996. Morfologia, processos de sedimentação e Litofácies dos ambientes morfo-sedimentares da Planície Costeira Bragantina, Nordeste do Pará, Brasil. *Geonomos* **4**: 1–16.https://doi.org/10.18285/geonomos.v4i2.197

Souza Filho P.W.M. e, Gonçalves F., Beisl C., Miranda F., Almeida E., Cunha E. 2005. Sistemade Observação Costeira e o Papel dos Sensores Remotos no Monitoramento da Costa Norte Brasileira, Amazônia. *Rev. Bras. Cartogr.* **2:** 79–86.

Stanchev H., Stancheva M., Young R., Palazov A. 2018. Analysis of shoreline changes and cliff retreat to support Marine Spatial Planning in Shabla Municipality, Northeast Bulgaria. *Ocean Coast. Manag.* **156:** 127–140. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.06.011.

Sytnik O., Del Río L., Greggio N., Bonetti J. 2018. Historical shoreline trend analysis and drivers of coastal change along the Ravenna coast, NE Adriatic. *Environ. Earth Sci.* **77**: 779. https://doi.org/10.1007/s12665-018-7963-8.

Terres de Lima, L. Fernández-Fernández, S. Marcel de Almeida Espinoza, J., da Guia Albuquerque M., Bernardes C. 2021. End Point Rate Tool for QGIS (EPR4Q): Validation Using DSAS and AMBUR. ISPRS *Int. J. Geo-Information* **10**: 162. https://doi.org/10.3390/ijgi10030162

Tessler M.G. & Mahiques M.M. de 1993. Utilization of Coastal Geomorphic Features as Indicators of Longshore Transport: Examples of the Southern Coastal Region of the Stateof São Paulo, Brasil. *J. Coast. Res.* **9:** 823–830.

Thieler E.R. & Danforth W.W. 1994. Historical Shoreline Mapping (II): Application of the Digital Shoreline Mapping and Analysis Systems (DSMS/DSAS) to Shoreline Change Mapping in Puerto Rico. *J. Coast. Res.* **10**: 600–620.

Thieler E.R., Himmelstoss E.A., Zichichi J.L., Ergul A. 2009. *The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 4.0 - An ArcGIS extension for calculating shoreline change*, Open-File Report. Reston, VA. https://doi.org/10.3133/ofr20081278

Thieler E.R., Himmelstoss E.A., Zichichi J.L., Ergul A., Miller T.L. 2005. *The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 4.0 - An ArcGIS extension for calculating shoreline change*, Open-File Report. Reston, VA. https://doi.org/10.3133/ofr20051304

Thieler E.R., Martin D., Ergul A. 2003. *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version* 2.0: An ArcView extension for calculating shoreline change, Open-File Report. Reston, VA. https://doi.org/10.3133/ofr0376

Thieler E.R., Smith T.L., Knisel J.M., Sampson D.W. 2013. *Massachusetts Shoreline Change Mapping and Analysis Project, 2013 Update*, Open-File Report. Reston, VA. https://doi.org/10.3133/ofr20121189.

Thornthwaite C.W. 1948. An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geogr. Rev.* **38:** 55. https://doi.org/10.2307/210739.

Toldo Jr. E.E., Almeida L.E.S.B., Barros C.E., Baitelli R., Martins L.R., Nicolodi J.L. 1999. *Retreat of the Rio Grande do Sul coastal zone, Brazil*, in: Martins, L.R., Santana, C.I. (Eds.), Non Living Resources of the Southern Brazilian Coastal Zone and Continental Margin. IOC-UNESCO, OSNLR, SERG, Porto Alegre, pp. 50–68.

Torres A.M. & El-Robrini M. 2006. Amapá. *In*: Muehe D. C. E. H. *Erosão e progradação do Litoral Brasileiro*.Brasília,DF, Ministério do Meio Ambiente, p. 11–40.

Vasconcelos A.O., Silva P.M., Cruz C.L.Z., Gonçalves J.B., Landau L. 2020. "Caracterização do uso e cobertura do solo e da linha de costa". *In: Projeto Costa Norte*, – desenvolvimento de metodologias para o entendimento de processos costeiros e estuarinos e da vulnerabilidade de florestas de mangue na Margem Equatorial Brasileira. Rio de Janeiro, Brasil. Capítulo 9. Vauchel P., Santini W., Guyot J.L., Moquet J.S., Martinez J.M., Espinoza J.C., Baby P., Fuertes O., Noriega L., Puita O., Sondag F., Fraizy P., Armijos E., Cochonneau G., Timouk F., de Oliveira E., Filizola N., Molina J., Ronchail J. 2017. A reassessment of the suspended sediment load in the Madeira River basin from the Andes of Peru and Bolivia to the Amazon River in Brazil, based on 10 years of data from the HYBAM monitoring programme. *J. Hydrol.* **553:** 35–48. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.07.018.

Warnasuriya T.W.S., Kumara M.P., Gunasekara S.S., Gunaalan K., Jayathilaka R.M.R.M., 2020. An Improved Method to Detect Shoreline Changes in Small-Scale Beaches Using Google Earth Pro. *Mar. Geod.* **43**: 541–572. https://doi.org/10.1080/01490419.2020.1822478.

White K. & El Asmar H.M. 1999. Monitoring changing position of coastlines using Thematic Mapper imagery, an example from the Nile Delta. *Geomorphology* **29**: 93–105. https://doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00008-2.

Williams S.J., Dodd K.A., Gohn K.K. 1990. *Coasts in crisis, circular*. https://doi.org/10.3133/cir1075.

Xu H. 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *Int. J. Remote Sens.* **27**: 3025–3033. https://doi.org/10.1080/01431160600589179.

Xu N. 2018. Detecting Coastline Change with All Available Landsat Data over 1986–2015: A Case Study for the State of Texas, USA. *Atmosphere (Basel)*. **9**: 107. https://doi.org/10.3390/atmos9030107.

Yang X., Zhao S., Qin X., Zhao N., Liang L. 2017. Mapping of Urban Surface Water Bodies from Sentinel-2 MSI Imagery at 10 m Resolution via NDWI-Based Image Sharpening. *Remote Sens.* **9**: 596. https://doi.org/10.3390/rs9060596.

APÊNDICE A:

PROTOCOLO DE REVISÃO SISTEMÁTICA

"Estado da arte em utilização da Ferramenta Digital Shoreline Analysis System (DSAS)"

Rafael Alexandre Alves Menezes²

PROTOCOLO PARA REVISÃO SISTEMÁTICA

DATA DA PESQUISA: 22/03/2020 à 28/07/2021

OBJETIVO:

Identificar e analisar os métodos existentes para avaliar ambientes costeiros que utilizam a ferramenta Digital Shoreline Analysis System (DSAS) e suas respetivas versões.

QUESTÕES DE PESQUISA:

- 1. Quais são os métodos existentes para avaliar ambientes costeiros utilizando o DSAS?
- 2. Quais desses métodos utilizaram a versão v5 do DSAS?

Intervenção:

Métodos e técnicas de avaliação

Controle:

Artigos de surveys obtidos com o orientador sobre DSAS obtidas na Internet, Revisões sistemáticas anteriores.

População:

² Graduação em Licenciatura em Geografia (IFCH/UFPA); Especialização em Geoprocessamento e Análise Ambiental (PROFIMA/NUMA/UFPA); Mestrado em Oceanografia (PPGOC/UFPA); Universidade Federal do Pará, Belém-PA; E-mail: rafael.menezes@ifch.ufpa.br.

Trabalhos que utilizam o DSAS em ZC's que usam ou definem métodos de avaliação

Resultados:

Visão profunda e abrangente dos métodos e técnicas para a compreensão das ZC's a partir do DSAS.

Aplicação:

Foram considerados estudos de caso conduzidos com profissionais ou estudantes da área de Oceanografia, Geografia, Geologia e afins

SELEÇÃO DE FONTES:

As fontes deverão estar disponíveis via web, preferencialmente em bases de dados científicas da área. Poderão ser selecionados também, trabalhos disponíveis em outros meios, desde que atendam aos requisitos de presença de mecanismos de busca através de palavras-chave; garantia de resultados únicos através da busca de um mesmo conjunto de palavras-chave; possuir, no mínimo, nível B1 de avaliação Qualis Capes.

MÉTODOS DE BUSCA DE FONTES:

As fontes foram acessadas via web, portanto, no contexto desta revisão, não será considerada a busca manual.

PALAVRAS-CHAVES:

"Digital Shoreline Analisys Sistem com os termos DSAS v5.

LISTAGEM DE FONTES:

- Biblioteca Digital do IEEE (http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/)
- SCOPUS (http://www.scopus.com/home.url)
- Scielo (https://analytics.scielo.org/?journal=clean)
- Springerlink (https://link-springer-com.ez3.periodicos.capes.gov.br/)

TIPO DOS ARTIGOS:

- Artigos com qualis acima de B1 na área de Ciências Ambientais;
- Artigos que fazem a análise da Linha de costa utilizando o DSAS na Amazônia.

IDIOMA(S) DOS ARTIGOS:

- Inglês;
- Francês;
- Português.

CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO DOS TRABALHOS:

Critérios de inclusão:

 (I) (a) trabalhos publicados e disponíveis integralmente em bases de dados científicas ou em versões impressas

(I) (b) trabalhos recentes (publicados a partir de 2005) que já possuam aprovação pela comunidade científica.

(I) (c) trabalhos mais recentes (publicados a partir de 1990, com preferência para os anos de: 2019, 2020 e 2021) que já possuam aprovação pela comunidade científica.

Critérios de exclusão:

(E) (a) trabalhos que avaliam ambientes costeiros que não sejam relacionados ao DSAS

(E) (b) trabalhos publicados como artigos curtos ou pôsteres;

(E) (c) trabalhos que apresentam avaliações sem apresentar o método utilizado

CRITÉRIOS DE QUALIDADE DOS ESTUDOS PRIMÁRIOS:

O trabalho deverá ter sido publicado em periódico ou anais de eventos com revisão por pares quando se referir a artigos. Para avaliar os artigos foram utilizados os seguintes critérios: população considerada na avaliação e métodos estatísticos

PROCESSO DE SELEÇÃO DOS ESTUDOS PRIMÁRIOS:

 O pesquisador irá executar o processo de busca das referências em cada uma das fontes de daods selecionadas para identificar os artigos que contenham as *strings* inciais;

2. Os artigos encontrados vão ser extraídos das fonte em formato ".RIS", quando este não poder ser obtido neste formato, será convertido e documentados na lista de artigos encontrados, presente no Formulário de Condução da Revisão;

3. Os artigos encontrados pelo processo de busca são selecionados pelo pesquisador através da verificação dos critérios de inclusão e exclusão estabelecidos; a verificação é executada mediante a leitura do *abstract* do artigo e das *key words*.

4. Os artigos incluídos e excluídos são documentados na lista de artigos incluídos e lista de artigos excluídos, respectivamente, presentes no Formulário de Condução da Revisão, juntamente com a justificativa de sua inclusão ou exclusão, sendo esses comentários adjunto ao Mendeley.

5. Os artigos incluídos são avaliados mediante a leitura do artigo inteiro; os artigos incluídos são documentados no Formulário de Seleção de Estudos e encaminhados para a avaliação da qualidade dos estudos primários. Os artigos excluídos são documentados na lista de artigos excluídos junto com a justificativa de exclusão.

Havendo divergência, o pesquisador e o orientador entram em consenso sobre a seleção dos artigos.

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS ESTUDOS PRIMÁRIOS

Os referidos artigos selecionados a partir da execução do processo de extração dos estudos primários são avaliados pelo pesquisador de acordo com os critérios de qualidade

pré-estabelecidos. O resultado da avaliação da qualidade de cada estudo irá determinar sua inclusão ou exclusão da lista dos estudos de onde foram extraídos os dados.

ESTRATÉGIA DE EXTRAÇÃO DE INFORMAÇÃO:

Após definidos os trabalhos definitivamente incluídos, este foram lidos na íntegra. O revisor fará um resumo de cada um deles, destacando os métodos utilizados para a avaliação e parâmetros considerados, quando for o caso.

Forão preenchidos "formulários de extração de dados" para cada texto, considerado válido para a RS, lido integralmente. Além das informações básicas (dados bibliográficos, data de publicação, abstract, entre outros), esses formulários deverão conter a síntese do trabalho, redigida pelo pesquisador que conduzirá a RS e reflexões pessoais do mesmo a respeito do conteúdo e das conclusões do estudo:

- 1. Qual versão do DSAS ultilizada?={v1,v2,v3,v4,v5}
- Que autores utilzaram a versão v5?=[Local de Utilização,Tamanho da LC,Parâmetros ultilizados]
- 3. Quantos anos foram analizados no estudo?
- 4. Que parâmetro foi utilizado para vetorizar a LC (se houver)?
- 5. Utilizou definição da LC? =[Sim,Não]
- 6. Qual a técnica utilizada para definir a LC?
- 7. O artigo relata alguma ferramenta de apoio aos estudos primários?=[Sim,Não]
- 8. O artigo utilizou a projeção da LC?=[Sim,Não]
- 9. Resumo e Métodos Utilizados
- 10. Informações básicas (dados bibliográficos, data de publicação, abstract, entre outros)

SUMARIZAÇÃO DOS RESULTADOS:

Após a leitura e o resumo dos trabalhos selecionados, será elaborado um relatório técnico com uma análise quantitativa dos trabalhos. Também será elaborada uma análise qualitativa a fim de definir as vantagens e desvantagens de cada método.

Atributos a serem extraídos dos artigos incluídos: nome da técnica, técnicas estatísticas empregadas, domínio de aplicação da técnica.

CONDUÇÃO DA REVISÃO SISTEMÁTICA

String utilizada:

Digital Shoreline Analysis System" AND "DSAS" AND "DSAS v5"

Período considerado:

1990 a 2021

Filtros utilizados:

TITLE-ABS-KEY (dsas) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))

BASE DE OBTENÇÃO E RESULTADOS DOS DADOS BIBLIOGRÁFICOS COLETADOS

IEEE XPLORE:

Número de documentos encontrados:

2 itens

Link de disponibilidade em arquivo de formato .RIS:

https://drive.google.com/file/d/1ZxV_XK7zOx2cZWo4y4Y8a2sEzNJwaKz/view?usp=sharing

SCOPUS:

Número de documentos encontrados:

153 itens

Link de disponibilidade em arquivo de formato .RIS:

https://drive.google.com/file/d/19PbipMIUz8E5r35g6WWY6OXyRcx1QE5U/vi ew?usp=sharing

SCIELO:

Número de documentos encontrados:

6 itens

Link de disponibilidade em arquivo de formato .RIS:

https://drive.google.com/file/d/1c1ybwDLsFxWLYXTwUCPGU6EI1R-

bTMJr/view?usp=sharing

SPRINGERLINK:

Número de documentos encontrados:

103 itens

Link de disponibilidade em arquivo de formato .RIS:

https://drive.google.com/file/d/1elZ7-u6fziy7CAxeWsFTxst3moafA-Hm/view?usp=sharing

WEB OF SCIENCE:

Número de documentos encontrados:

86 itens

Link de disponibilidade em arquivo de formato .RIS:

https://drive.google.com/file/d/1zI2p-

VQhkVPhq_35ZMDfSqeqkziO9PMK/view?usp=sharing

FILTRAGEM DOS RESULTADOS:

Referências sem duplicidade:
237 itens

Link de disponibilidade em arquivo de formato .RIS:

https://drive.google.com/file/d/1110clwM-

YBtg17ZVJtMsEs7aFSNnudy9/view?usp=sharing

Referências selecionadas:

52 itens

Link de disponibilidade em arquivo de formato .RIS:

https://drive.google.com/file/d/1acsd1eVbiGkkh0ABhubB8jo39360JS_l/view?us p=sharing