

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA HUMANA

ULISSES DENACHE VIEIRA SOUZA

**Transformação espacial na região dos Lençóis Maranhenses:
identificação e análise utilizando as geotecnologias**

Versão corrigida

São Paulo

2024

ULISSES DENACHE VIEIRA SOUZA

**Transformação espacial na região dos Lençóis Maranhenses:
identificação e análise utilizando as geotecnologias**

Versão corrigida

Tese apresentada à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Geografia.

Área de concentração: Geografia Humana

Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Paul Pérez Machado

São Paulo

2024



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS

ENTREGA DO EXEMPLAR CORRIGIDO DA DISSERTAÇÃO/TESE

Termo de Anuência do orientador

Nome do (a) aluno (a): Ulisses Denache Vieira Souza

Data da defesa: 04/12/2023

Nome do Prof. (a) orientador (a): Reinaldo Paul Pérez Machado

Nos termos da legislação vigente, declaro **ESTAR CIENTE** do conteúdo deste **EXEMPLAR CORRIGIDO** elaborado em atenção às sugestões dos membros da comissão Julgadora na sessão de defesa do trabalho, manifestando-me **plenamente favorável** ao seu encaminhamento ao Sistema Janus e publicação no **Portal Digital de Teses da USP**.

São Paulo, 04/04/2024

(Assinatura do orientador)

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

S729t Souza, Ulisses Denache Vieira
Transformação espacial na região dos Lençóis Maranhenses: identificação e análise utilizando as geotecnologias / Ulisses Denache Vieira Souza; orientador Reinaldo Paul Pérez Machado - São Paulo, 2023.
147 f.

Tese (Doutorado)- Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia. Área de concentração: Geografia Humana.

1. Geoprocessamento. 2. Litoral Maranhense. 3. Uso e cobertura da terra. 4. Mapbiomas. 5. Processamento em nuvem. I. Machado, Reinaldo Paul Pérez , orient. II. Título.

SOUZA, Ulisses Denache Vieira. **Transformação espacial na região dos Lençóis Maranhenses:** identificação e análise utilizando as geotecnologias. 2023. Tese (Doutorado em Geografia Humana). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

Aprovado em: 04 de Dezembro de 2023.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Reinaldo Paul Pérez Machado (Orientador)

Instituição: Departamento de Geografia - USP

Profa. Dra. Sueli Angelo Furlan

Instituição: Departamento de Geografia - USP

Prof. Dr. Júlio Cesar Pedrassoli

Instituição: Universidade Federal da Bahia – UFBA

Prof. Dr. Antonio Cordeiro Feitosa

Instituição: Universidade Federal do Maranhão - UFMA

*Bendirei ao Senhor em todo tempo.
(Salmo 33:1)*

A Deus, fonte de toda graça.

À minha esposa Natália, a nossa filha Giovanna e a Gabrielle (Gabi), *in memoriam*,

um anjinho que nos visitou, e que está bem pertinho de Deus.

A meus pais Carlos e Luzilane, e à minha avó Elenir "Mani". Muito obrigado por tudo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo Dom da Vida e pela força do Espírito Santo concedida a cada momento.

À minha esposa Natália, pelo companheirismo e cuidado comigo e com nossas filhas, especialmente durante as etapas de elaboração da pesquisa.

Aos meus pais Carlos Alberto e Luzilane, à minha avó Maria Elenir, pelo incentivo e constante apoio ao longo de minha vida.

Aos tios Vera, Paulo, Cristina, Vera Vanje, Matilde, Luzinete, Moreira pelo apoio durante a estadia em São Paulo.

Ao orientador e amigo Prof. Dr. Reinaldo Paul Pérez Machado pela compreensão em tantos momentos difíceis, incentivo e companheirismo nas etapas de gabinete e de campo.

Ao Prof. Dr. Antonio Cordeiro Feitosa pelo incentivo, parceria e conhecimento compartilhado sobre o Litoral Maranhense.

A Profa. Dra. Sueli Angelo Furlan, pela acolhida na USP, parceria nas atividades de campo e tantos aprendizados acadêmicos e de vida.

Ao Prof. Dr. Maurício Rangel pela amizade, pelas discussões sobre a temática de estudo e apoio no tratamento dos dados.

Ao Prof. Dr. André dos Santos pelo companheirismo e parceria durante as atividades de campo nos Lençóis Maranhenses.

A Profa Dra Rosalva de Jesus dos Reis e à Profa Dra Zulimar Márita pelas valiosas sugestões e incentivo para a conclusão do trabalho.

Ao Prof. Dr. Benedito Souza (Biné) e a Profa. Dra Maristela Andrade pelo convívio e aprendizado durante o projeto dos Lençóis Maranhenses.

Aos amigos Thomas, Igor, Felipe e Juliana pelo auxílio nas atividades de campo.

Ao Geógrafo George Longhitano da G-Drones pela parceria que tornou possível um mapeamento com drone nos Lençóis Maranhenses, com sete dias de atividades de campo e muitos desafios.

Aos Guias de turismo que me auxiliaram nos deslocamentos pelos Lençóis Maranhenses, Serginho (Atins), Chacal (Betânea) e a Sr Riba (Mairizinho).

Aos colegas professores do Colégio Universitário - COLUN em especial a Ângelo, Alberto Pestana, Janilson, Edna, Leidiane, Paulo Sérgio e César pelo apoio em diversos momentos.

A toda equipe do projeto Atlas Socioambiental dos Lençóis Maranhenses pelo convívio e aprendizado durante as reuniões e as etapas de campo.

A todos do grupo de “Orientandos do Reinaldo” pelas dicas, sugestões e apoio durante nossas reuniões de pesquisa, em especial à João Maurício, Alexandre, Mariana, Patrícia, Marco pela amizade.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA), pelo auxílio financeiro em etapas importantes do levantamento de campo.

RESUMO

Com aproximadamente 60% da população mundial residindo em áreas costeiras, o mapeamento e o monitoramento dessas áreas tornam-se fundamentais para a gestão integrada de seus recursos e de sua dinâmica de ocupação. A zona costeira maranhense se caracteriza pela presença de manguezais, praias, dunas e restingas. A escolha dos Lençóis Maranhenses justifica-se devido a importância desta área como destino turístico, e recente área de atração de investimentos, incluindo, construção de estradas, empreendimentos eólicos e de infraestrutura. O estudo propõe a utilização de tecnologias avançadas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para identificar e modelar os processos de alterações espaço-temporais na região dos Lençóis Maranhenses. Foram utilizados dados do Projeto MapBiomas, levantamentos com drone e técnicas de processamento digital em nuvem através da plataforma Google Earth Engine GEE, executando rotinas computacionais programadas em linguagem JavaScript (JS). Dentre as variadas aplicações oferecidas na plataforma do GEE, incluiu-se o cálculo dos Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI). Ao avaliar trinta e seis anos de dados de uso e cobertura da terra, complementados pelo levantamento de campo e pelo conhecimento das comunidades locais, torna-se evidente que a transformação espacial na microrregião dos Lençóis Maranhenses é um processo complexo, influenciado por diversos agentes e fatores indutores. Isso resulta em acentuada desigualdade social, aumentando os custos de vida, especialmente para os habitantes de Barreirinhas e Santo Amaro. Os resultados obtidos a partir da análise dos dados geoespaciais apontam para o aumento da expansão urbana sobre corpos hídricos, para o avanço do campo de dunas móveis sobre áreas de povoamento e o aumento das áreas de pastagens resultando em um processo dinâmico de ocupação do território ao longo das últimas décadas na região dos Lençóis Maranhenses.

Palavras-chave: Geoprocessamento; Litoral Maranhense; Uso e cobertura da terra.

ABSTRACT

With approximately 60% of the world's population living in coastal areas, the mapping and monitoring of these areas is essential for the integrated management of their resources and the dynamics of their occupation. The coastal zone of Maranhão is characterized by the presence of mangroves, beaches, dunes and sandbanks. The choice of Lençóis Maranhenses is justified by the importance of this area as a tourist destination and a recent area of investment attraction, including road construction, wind farms and infrastructure. The study proposes the use of advanced remote sensing and geoprocessing technologies to identify and model the processes of spatio-temporal change in the Lençóis Maranhenses region. Data from the MapBiomas project, drone surveys and digital cloud processing techniques were used through the Google Earth Engine GEE platform, executing computational routines programmed in JavaScript (JS). Among the various applications offered on the GEE platform were Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Normalized Difference Water Index (NDWI) calculations. The evaluation of thirty-six years of land use and land cover data, complemented by field surveys and the knowledge of local communities, shows that spatial transformation in the Lençóis Maranhenses micro-region is a complex process, influenced by various agents and inducing factors. The result is a marked social inequality that increases the cost of living, especially for the inhabitants of Barreirinhas and Santo Amaro. The results obtained from the analysis of geospatial data point to an increase in urban sprawl over water bodies, the advance of the mobile dune field over settlement areas and the increase in pasture areas, resulting in a dynamic process of land occupation in recent decades in the Lençóis Maranhenses region.

Keywords: Geoprocessing. Maranhão coast. Land use and land cover.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Perfil esquemático da zona costeira nordeste do estado do Maranhão.....	37
Figura 2: Setorização da Zona Costeira do estado do Maranhão.....	39
Figura 3: Modelo Conceitual de dados utilizáveis em geoprocessamento.....	42
Figura 4: Qualidade de um produto geoespacial.....	45
Figura 5: Microrregião dos Lençóis Maranhenses.....	51
Figura 6: Lista com especificações das Cartas DSG.....	55
Figura 7: Mosaico de Cartas Planialtimétricas.....	56
Figura 8: Modelo Digital de Elevação (MDE).....	57
Figura 9: Fluxograma dos procedimentos metodológicos adotados.....	58
Figura 10: Mosaico de fotos aéreas da bacia do Rio Preguiças.....	60
Figura 11: Interface gráfica com destaque para cobertura de areia e dunas.....	61
Figura 12: Visualização do mosaico de imagens de satélite preparado para compor o processamento em nuvem.....	63
Figura 13: NDVI gerado pelo processamento em nuvem a partir do mosaico de imagens de satélite.....	65
Figura 14: Visualização da espacialização do <i>MNDWI</i> para a área de estudo.....	66
Figura 15: (a) Guia da comunidade de Betânea, Santo Amaro - MA elaborando mapa das trilhas que utiliza. (b) Roda de conversa com comunitários e guias para apresentar o mapeamento que estava sendo realizado.....	67
Figura 16: Ortomosaicos RGB referentes às áreas A – Bairro Mangaba, margem do rio preguiça, B – Bairro Olho d’água – Santo Amaro do Maranhão e C – Atins/Foz do Rio Preguiças.....	71
Figura 17: Evolução do uso e da cobertura da terra na microrregião dos Lençóis Maranhenses.....	77
Figura 18: Area urbana na microrregião dos Lençóis Maranhenses.....	80
Figura 19: Area de pastagem nas proximidades do Lago de Santo Amaro.....	84
Figura 20: : Comparativo mapa de uso e cobertura da terra da microrregião de Barreirinhas 1984-2021.....	86
Figura 21: Localidade de Mato Grosso, município de Santo Amaro do Maranhão.....	87
Figura 22: Linha de torres eólicas nos Pequenos Lençóis.....	88
Figura 23: Foto de <i>drone</i> da MA 315, trecho Barreirinhas – Paulino Neves–MA.....	90
Figura 24: Foto de <i>drone</i> da MA 315, trecho próximo a Lagoa da Taboa.....	91

Figura 25: Trecho da rodovia estadual MA-320 ligando BR – 402 a Santo Amaro.....	92
Figura 26: Ponte sobre Rio Alegre no Povoado Alegre na rodovia estadual MA-320.	92
Figura 27: Foto de <i>drone</i> do trecho da MA 320– que liga Santo Amaro a Primeira Cruz.	94
Figura 28: Foto da Construção da Ponte sobre o Rio Preguiças – Barreirinhas-MA. ..	95
Figura 29: Evolução do uso e da cobertura da terra de 1985 a 2021, no município de Barreirinhas-MA.....	96
Figura 30: Mapa comparativo da área urbana entre 1985 a 2021 na sede do município de Barreirinhas-MA.....	97
Figura 31: Mapa comparativo da área urbana entre 1985 a 2021 em relação ao Rio Preguiças na sede do município de Barreirinhas-MA.	98
Figura 32: Comparativo da área urbana entre 1985 a 2021 sobreposta a imagem de satélite, município de Barreirinhas-MA.	99
Figura 33: Foto de drone da Ponte sobre o Rio Alegre, com destaque para o avanço do campo de dunas móveis ao fundo na sede do Município de Santo Amaro do Maranhão-MA.....	100
Figura 34: Foto de drone de uma area de 30.000m ² aberta para edificação de uma mansão em Santo Amaro do Maranhão-MA.	101
Figura 35: Foto externa da propriedade com area de 30.000m ² e no detalhe, a rua ao101	
Figura 36: Evolução do uso e da cobertura da terra de 1985 a 2021, no município de Santo Amaro do Maranhão-MA.....	102
Figura 37: Mapa comparativo da área urbana entre 1985 a 2021 na sede do município de Santo Amaro do Maranhão-MA.....	103
Figura 38: Mapa comparativo da área urbana entre 1985 a 2021 em relação ao Rio Preguiças na sede do município de Barreirinhas-MA.	104
Figura 39: Comparativo da área urbana entre 1985 a 2021 sobreposta a imagem de satélite, município de Santo Amaro do Maranhão-MA.....	105
Figura 40: Foto de drone do Rio Alegre desaguando no Lago de Santo Amaro na sede do Município de Santo Amaro do Maranhão-MA.....	108
Figura 41: Comparativo avanço de dunas e área urbana na sede do Município de Santo Amaro do Maranhão-MA.	109
Figura 42: Comparativo avanço de dunas, Lago de Santo Amaro e área urbana na sede do Município de Santo Amaro do Maranhão-MA.....	110

Figura 43: Comparativo avanço de dunas e área urbana sobre a imagem de satélite na sede do Município de Santo Amaro do Maranhão-MA.	111
Figura 44: Foto de drone da erosão costeira em Atins.....	113
Figura 45: Evolução da dinâmica de uso e cobertura em Atins de 1985 a 2021.	114
Figura 46: Área urbana sobreposta ao Modelo Digital de Superfície – MDS de Atins gerado pelo levantamento com drone.....	115
Figura 47: Locais Visitados em campo / Modelo Digital de Superfície – MDS de Atins e limite do PNLN.....	116
Figura 48: Aproximação com destaque para os locais visitados em campo / Modelo Digital de Superfície – MDS de Atins e limite do PNLN.....	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quantitativo de área das principais classes mapeadas na microrregião dos Lençóis Maranhenses	83
Tabela 2: Quantitativo de área das principais classes mapeadas no município de Barreirinhas-MA.....	95
Tabela 3: Quantitativo de área das principais classes mapeadas no município de Santo Amaro do Maranhão.....	100

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Tipos de Unidades de Conservação na área de estudo (Lei nº 9.985/2000). 33	
Quadro 2: Dados matriciais utilizados na pesquisa.	59
Quadro 3: Informações sobre os trabalhos de campo realizados.	68
Quadro 4: Acurácias posicionais dos pontos de controle e de checagem em relação aos eixos X, Y e Z.....	72

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Avaliação classes de Uso e Cobertura de 1985 a 2021.	76
Gráfico 2: Área Urbana da Microrregião de Barreirinhas, para o período de 1985 a 2021.	79

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Cálculo do NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)	64
Equação 2: Cálculo do NDWI (Índice Normalizado de Diferença de Água)	65
Equação 3: Cálculo do MNDWI (Modificação do Índice de Água de Diferença Normalizada)	66

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CAR	Cadastro Ambiental Rural
FAPEMA	Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
GERUR	Grupo de Estudos Rurais e Urbanos
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação e Biodiversidade
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMESC	Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos
NEPA	Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais
NEPO	Núcleo de Estudos e Pesquisas Populacionais
PARNA	Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses
SEMA	Secretaria Estadual de Meio Ambiente
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
UEMA	Universidade Estadual do Maranhão
UFMA	Universidade Federal do Maranhão
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

Introdução.....	17
Capítulo 1: Objetivos e justificativa.....	22
1.1. Objetivos.....	22
1.1.1. Objetivo geral.....	22
1.1.2. Objetivos Específicos.....	22
1.2. Hipótese.....	22
1.3. Justificativa.....	23
1.3.1. Por que a região dos Lençóis Maranhenses?.....	23
Capítulo 2: Considerações teórico-metodológicas.....	25
2.1. Sociedade e Natureza: uma abordagem geográfica.....	25
2.2. As transformações espaciais.....	27
2.3. Dinâmica Socioambiental em áreas costeiras.....	28
2.4. Uso e cobertura da terra: métodos e técnicas.....	40
2.5. A Tecnologia Geoespacial.....	41
2.5.1. O dado geoespacial.....	44
2.5.2. A análise espacial.....	45
2.5.3. Plataformas de integração e análise de dados geoespaciais.....	47
Capítulo 3: Metodologia.....	50
3.1. A área de estudo.....	50
3.2. Material utilizado.....	52
3.2.1. Dados de entrada.....	52
Capítulo 4: Resultados e Discussões.....	73
4.1. Análise da dinâmica do uso e da cobertura da terra.....	74
4.1.1. Análise espaço-temporal de uso e cobertura da terra.....	82
Capítulo 5: Considerações Finais.....	118
Disponibilidade dos mapas, figuras e materiais complementares da Tese em melhor definição e resolução.....	120
Limitações do trabalho.....	120
Recomendações para trabalhos futuros.....	121
Referências Bibliográficas.....	123
Anexos.....	137
ANEXO 01: Chave de interpretação para imagens Landsat.....	137
ANEXO 02: Códigos <i>Google Engine</i>	139

Introdução

As áreas costeiras têm sido testemunhas da evolução da civilização ao longo da história. Desde tempos imemoriais, a humanidade tem explorado os recursos naturais e se maravilhado com a beleza das regiões litorâneas. No entanto, o contexto atual impõe uma urgência sem precedentes para compreender, mapear e preservar os ecossistemas costeiros, à luz das crescentes preocupações com as mudanças climáticas e a necessidade de implementar medidas de mitigação e adaptação em escala global.

A compreensão dos processos que ocorrem na zona costeira torna-se ainda mais desafiadora e vital quando consideramos que aproximadamente 60% da população mundial reside em áreas costeiras, frequentemente em ambientes urbanos, onde demandas por habitação, acesso a água potável, serviços diversos e o direito a um ambiente saudável e equilibrado são prementes. Nesse contexto, as Nações Unidas, por meio dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabeleceram a meta de promover uma urbanização inclusiva e sustentável até 2030, melhorando as capacidades de planejamento e gestão de assentamentos humanos participativos, integrados e sustentáveis em todo o mundo.

No Brasil, as áreas prioritárias para conservação ao longo da costa enfrentam desafios complexos devido a uma miríade de políticas, leis, instrumentos, tipos e modelos de planejamento que, muitas vezes, se mostram ineficazes e geram sobreposições de responsabilidades, dificultando o controle e a gestão desses espaços e, em alguns casos, exacerbando conflitos.

Para auxiliar tomadores de decisão, gestores e planejadores na compreensão dos múltiplos usos e das diversas dinâmicas de ocupação das áreas costeiras, os métodos de mapeamento baseados em sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento emergem como ferramentas valiosas. E é nesse contexto que se insere o objetivo deste estudo: identificar as transformações espaciais por meio da análise de dados de

sensoriamento remoto, proporcionando uma compreensão aprofundada das mudanças nos padrões de uso, ocupação e cobertura da terra no período de 1985 a 2021. Este esforço de pesquisa visa contribuir para iniciativas de planejamento e gestão que promovam o ordenamento do território e a conservação das áreas costeiras, alinhando-se com as metas de desenvolvimento sustentável estabelecidas pela comunidade global.

O avanço da tecnologia de sensoriamento remoto e geoprocessamento desempenha um papel crucial na consecução dos objetivos deste estudo. Essas ferramentas fornecem uma visão abrangente das áreas costeiras, permitindo a coleta de dados precisos e em tempo real sobre variáveis ambientais e de uso da terra. A combinação de imagens de satélite, sistemas de informações geográficas (SIG) e análises avançadas de dados abre novas perspectivas para a compreensão das dinâmicas costeiras. O uso dessas tecnologias não apenas viabiliza uma abordagem mais eficaz para o monitoramento das mudanças, mas também promove uma gestão mais informada e proativa desses ecossistemas frágeis e estrategicamente importantes.

A conservação das áreas costeiras enfrenta uma série de desafios, incluindo a pressão do desenvolvimento urbano, a degradação dos ecossistemas marinhos e a crescente ameaça das mudanças climáticas. No entanto, também existem oportunidades significativas para a implementação de estratégias de preservação e manejo sustentável. Através de uma análise aprofundada das transformações espaciais, este estudo busca identificar áreas críticas que necessitam de atenção prioritária, bem como padrões de uso da terra que podem ser otimizados para promover a coexistência harmoniosa entre as atividades humanas e a proteção ambiental.

O resultado deste estudo não se limita à mera compreensão das mudanças nas áreas costeiras; ele desempenha um papel fundamental na promoção da sustentabilidade e resiliência costeira. Ao fornecer dados confiáveis e análises detalhadas, este trabalho

auxiliará os formuladores de políticas, os gestores e as comunidades locais na tomada de decisões embasadas em evidências. Isso permitirá a implementação de estratégias de adaptação e mitigação direcionadas, a gestão eficaz dos recursos naturais e a salvaguarda dos ecossistemas costeiros para as gerações futuras. Este estudo pretende contribuir para um equilíbrio vital entre o desenvolvimento humano e a conservação ambiental nas áreas costeiras, em consonância com os princípios dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas.

Nesse sentido, este documento segue uma estrutura organizacional composta por uma introdução inicial, seguida de três capítulos principais, delineados da seguinte maneira:

- ✓ No Capítulo 2, exploram-se as considerações teórico-metodológicas que abrangem uma análise aprofundada de conceitos fundamentais. Além disso, é realizado um levantamento da pesquisa prévia relacionada à interação entre sociedade e natureza, com ênfase nas transformações espaciais e na dinâmica socioambiental em áreas costeiras. Dentro deste contexto, são examinados estudos que incorporaram esses termos e abordagens.

No que diz respeito à utilização de técnicas de mapeamento, o capítulo discute a relevância das metodologias e ferramentas empregadas na cartografia do uso e cobertura da terra. Ele também aborda aspectos cruciais, como a tecnologia Geoespacial, a natureza dos dados geoespaciais, a análise espacial e explora como as plataformas de integração e análise podem ser instrumentalizadas para o processamento e interpretação de dados geoespaciais. Este capítulo é fundamental para estabelecer a base teórica e metodológica necessária para o desenvolvimento das análises subsequentes.

- ✓ O Capítulo 3 fornece detalhes sobre o material utilizado neste estudo, referido aqui como "dados de entrada". Ele começa apresentando os procedimentos de coleta de dados geoespaciais, com destaque para os tipos de imagens de satélite selecionadas. Além disso, descreve o processo de mosaico das cartas topográficas abrangendo toda a área de estudo e aborda os passos envolvidos no processamento de dados em nuvem, que resultaram na obtenção de índices espectrais relevantes para a pesquisa. No contexto da coleta de dados em campo, o capítulo descreve minuciosamente as etapas realizadas, incluindo a identificação dos locais visitados e o período do ano em que essas visitas ocorreram, levando em consideração as variações sazonais, especialmente em relação ao período chuvoso. O capítulo conclui com um relato detalhado sobre as imagens e os dados coletados em campo por meio de um drone, utilizado como uma ferramenta essencial para aprimorar a avaliação do contexto das áreas mapeadas e para aumentar a precisão do mapeamento em regiões identificadas como sujeitas a transformações espaciais significativas. Esta seção é fundamental para compreender a origem e a qualidade dos dados utilizados ao longo da pesquisa.

- ✓ O Capítulo 4 concentra-se na análise dos dados coletados, proporcionando uma compreensão abrangente da dinâmica do uso e da cobertura da terra com base nos levantamentos realizados. Essa análise é fundamentada na comparação dos dados abrangendo o período de 1985 a 2021, centrando-se na microrregião dos Lençóis Maranhenses. Neste contexto, são apresentadas quantificações que evidenciam as mudanças ocorridas ao longo do tempo.

Uma análise comparativa das classes de uso e cobertura da terra é realizada, com foco específico nas cidades de Barreirinhas e Santo Amaro. Dentro desses municípios, destacam-se as áreas urbanas que apresentaram os maiores índices de

expansão durante a análise de uso e cobertura da terra. Essa análise minuciosa permite identificar as transformações significativas que ocorreram nesses locais ao longo das últimas décadas.

Os resultados obtidos são discutidos de maneira aprofundada, e são mapeadas três áreas que se destacam como "áreas de relevante transformação espacial". Este capítulo desempenha um papel central na interpretação e contextualização dos dados coletados, fornecendo uma visão abrangente das mudanças observadas na microrregião dos Lençóis Maranhenses e nas cidades em foco.

Capítulo 1: Objetivos e justificativa

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo geral

Analisar os processos de transformações espaciais na região dos Lençóis Maranhenses usando técnicas de extração, inferência e análise espacial de dados no período de 1985 a 2021.

1.1.2. Objetivos Específicos

- ✓ (1) Identificar padrões nos dados cartográficos e de Sensoriamento Remoto em escala regional e em escala local, definindo áreas de teste da metodologia;
- ✓ (2) Realizar uma análise espaço-temporal tomando por base os diferentes tipos de uso e cobertura da terra entre 1985 e 2021;
- ✓ (3) Testar o potencial de índices de vegetação na análise;
- ✓ (4) Avaliar as vantagens da integração da análise de dados geoespaciais em nuvem, levantamentos em campo e o conhecimento das populações tradicionais;

1.2. Hipótese

1. Hipótese 01: É possível analisar as transformações espaciais na região dos Lençóis Maranhenses utilizando a tecnologia Geoespacial.
2. Hipótese Subjacente: A hipótese deste trabalho é a de que uma análise espaço-temporal de dados geográficos, com o uso de Tecnologia Geoespacial, permitirá identificar as áreas de transformações espaciais, resultado das pressões (*Drivers*) que influenciaram a dinâmica de ocupação, uso e cobertura da terra na região dos Lençóis Maranhenses no período de 1985 a 2021.

1.3. Justificativa

1.3.1. Por que a região dos Lençóis Maranhenses?

A escolha da região dos Lençóis Maranhenses para o estudo se justifica por ser uma área de implementações de políticas de incentivo ao turismo e de grandes empreendimentos eólicos, bem como da construção de elementos de infraestrutura, tais como: pontes, estradas, obras de calçamento e asfaltamento de novas vias, que outrora esses avanços e rápidas transformações estavam concentradas no Golfão Maranhense onde se localiza a capital do estado, São Luís. Porém, desde meados da década de 1990 que a região dos Lençóis Maranhenses, inserida no Litoral Oriental maranhense, tornou-se objeto de publicização e campanhas de atração seja como: destino turístico ou área com alto potencial para diferentes investimentos.

Lembrando, ainda, que os Lençóis Maranhenses se caracterizam como sendo um dos mais raros fenômenos geológicos do mundo, considerado o maior registro de dunas formadas no quaternário, um campo de dunas ativo (GONÇALVES 1997; GONÇALVES *et al.* 2003; GIANNINI *et al.* 2005), com a presença de formações eólicas em forma de dunas, lagoas de águas cristalinas, diversas espécies de tartarugas marinhas, aves migratórias, espécies de peixes, crustáceos e moluscos. A região apresenta contrastes físicos, geográficos e climáticos extremos, além de diversidade econômica e turismo emergente e sua dinâmica geoambiental singular é caracterizada pela presença de extensos campos de dunas modelados continuamente pela ação dos ventos e das águas das chuvas (SANTOS 2008; LUNA, *et al.* 2011; LUNA *et al.* 2012).

Esta raridade geológica, a beleza de suas paisagens e o apelo à visitação, tornaram essa região uma das mais visitadas do Brasil, destino de brasileiros e estrangeiros. Este aumento das atividades turísticas e a presença de novos empreendimentos em diversos setores, ampliaram a demanda por recursos naturais e humanos, tornando ainda mais

complexo, o desafio de equilibrar a implantação dessas novas infraestruturas e a conservação da biodiversidade da região.

Para além destas características ambientais que impressionam quem visita os Lençóis Maranhenses ou quem visualiza sua beleza pelas redes sociais através de uma imagem ou encarte turístico, estão as diferentes realidades dos habitantes dos núcleos urbanos ou das áreas rurais que são diretamente impactados pelas transformações que ocorrem na região. É comum a divulgação de materiais publicitários que apresentam a região como um grande “deserto” brasileiro ou o “oásis” do litoral maranhense, ou a afirmação de que o isolamento, as características naturais e as dimensões da área são fatores que facilitariam a prática de esportes radicais sem regras ou normativos locais. O tamanho e as particularidades da área dos Lençóis Maranhenses requerem a definição de uma metodologia própria de análise, baseado no arcabouço da ciência geográfica e lançando mão do conjunto de técnicas que o tratamento da informação espacial pode substanciar.

Os Lençóis Maranhenses se-constituem num local em que tempo, espaço, lugares e deslocamentos humanos desenham um mosaico de práticas humanas, é um território vivo, dinâmico, que para D’Antona (2002) são “*repletos de significados atribuídos por aqueles que ali vivem e manejam seus recursos e por aqueles que para lá dirigem seus esforços e sentimentos*”.

Capítulo 2: Considerações teórico-metodológicas

2.1. Sociedade e Natureza: uma abordagem geográfica

Santos (2004) relata que, desde a Antiguidade, a organização do espaço é uma premissa para grupos de pessoas que se propõem a viver em estado gregário, com objetivos e normas comuns e que o ambiente apresenta uma diversidade de recursos e possibilidades de uso, assim, o homem exerce formas variadas de apropriação desses diferentes recursos, com variados níveis de complexidade e de sofisticação consoante com o grau de técnicas desenvolvidas e da capacidade de exploração desses recursos.

Para Albuquerque e Vasconcelos (2014), a relação Sociedade versus Natureza se caracterizou por um tempo, a partir da noção de que a superexploração e o desrespeito ao ambiente se intensificavam com a ideia de separação entre o homem e o “restante da natureza” que acarretou, ao longo da história, em grandes problemas ambientais com os quais se depara a contemporaneidade.

Segundo Suertegaray (2003):

Ao longo de sua história a Geografia, no entanto, promoveu reflexões sobre esta relação, concebeu-a como determinismo geográfico, onde a natureza é entendida como a causa da organização social, concebeu-a como possibilismo geográfico onde o homem tem possibilidades de transformação da natureza a partir do seu desenvolvimento técnico, pensou a relação natureza - sociedade dialeticamente, ou seja, como uma relação mediada pelo trabalho. Mais recentemente é levada também a discutir esta problemática como compreensão (hermenêutica), construção indissociável onde o homem é natureza ainda que diferenciado na sua natureza (SUERTEGARAY, 2003, p. 44).

A complexidade da relação natureza sociedade leva Morin (1990) a afirmar que essa relação deve ser entendida de forma conjuntiva, como um sistema auto – eco – re – organizacional, ou seja, uma relação dinâmica e em continua interconexão.

Para Leff (2010) a problemática ambiental é uma questão histórica, está matizada nas entranhas do social e alcançará sua personalidade na ressignificação ambiental e na

política. A temática ambiental, por ser um tema de grande complexidade envolvendo de modo inter-relacionado elementos da sociedade e da natureza, vem se tornando um desafio para os que buscam compreender, com novos parâmetros, os problemas que afligem a população do Brasil e de todo o mundo.

A relação homem-ambiente, necessita de uma abordagem interdisciplinar, transescalar e multitemporal, assim os impactos socioambientais é objeto de pesquisa e uma abordagem estudada por pesquisadores de diversas áreas do conhecimento, tanto no Brasil, como em outros países. Em nível nacional, os impactos socioambientais provocados por diversos tipos de empreendimentos econômicos, geralmente associados ao agronegócio ou a grandes obras de infraestrutura, alteram paisagens e o modo de vida de povos e comunidades tradicionais, ao modificarem os territórios que ocupavam historicamente (PAULA ANDRADE *et al.*, 2014).

Para Moraes (2005) às vezes, em nome de uma visão integrativa entre os fenômenos naturais e sociais, acaba por se gerar um empobrecimento significativo, e não raro, nessa perspectiva, toda riqueza e complexidade da vida social é reduzida a uma única variável de estudo denominada de “ação antrópica” Nesse sentido, Moraes compreende que ao se tratar a questão ambiental, entre os homens e a natureza, deve se considerar como uma faceta das relações entre os homens, isto é, como objeto econômico, político e cultural.

Ainda, para compreensão da abordagem sobre população e ambiente, consultar Hogan (2000), Dimensões Humanas e mudanças ambientais globais Hogan e Tomalsquim (2001), populações e ambientes naturais McNeill (2006), população, ambiente e desenvolvimento Marandola Jr.; D’Antona, Ojima (2011).

2.2. As transformações espaciais

Uma determinada problemática quando estudada com base no olhar geográfico, pode e deve ser compreendida à luz das categorias de análise da geografia. Como as categorias partem de visões diversas sobre espaço, território, região, paisagem, lugar e rede, no próximo item evidencia-se alguns conceitos, que substanciarão a pesquisa.

A categoria de "lugar", como discutida por Tuan (1983), é fundamental para examinar as transformações espaciais. Justifica que os lugares são espaços carregados de significados culturais e emocionais, e as transformações nesses lugares refletem as mudanças nas relações sociais e na identidade cultural das comunidades locais.

Sack (1986) analisando o "território", revela como as transformações sociais estão intimamente ligadas ao controle e à delimitação de áreas geográficas. Conflitos territoriais, reivindicações territoriais e a construção de identidades territoriais são aspectos fundamentais a serem considerados na compreensão das transformações espaciais.

Lefebvre (2000), oferece uma visão crítica das transformações espaciais, destacando como o espaço é produzido e consumido socialmente. Argumenta que as transformações no espaço urbano e rural refletem e perpetuam desigualdades sociais e espaciais, levando à segregação e à exclusão de grupos marginalizados. Sua análise enfatiza a importância da justiça espacial na compreensão das transformações em curso.

Santos (2001), considerando as transformações espaciais em um contexto globalizado, destaca como o capitalismo influencia a organização do espaço geográfico, levando a desigualdades regionais e a uma reconfiguração das estruturas sociais e econômicas.

Para Corrêa (2000) o espaço geográfico é multidimensional e nos permite compreender os diferentes conceitos de espaço. As transformações espaciais sob a

perspectiva geográfica, utiliza-se das categorias de análise da geografia como estrutura conceitual para entender a dinâmica da sociedade e do espaço. Como Harvey (2004) argumentou, as transformações espaciais são intrinsecamente ligadas ao capitalismo global. Isso implica que as relações de poder econômico e político exercem uma influência substancial na organização do espaço geográfico, moldando a aparência e a função das cidades e regiões. Santos (2006) escreve:

O espaço é formado por um conjunto indissociável, solidário e também contraditório, de sistemas de objetos e de sistemas de ações, não considerados isoladamente, mas como o quadro único no qual a história se dá. No começo era a natureza selvagem, formada por objetos naturais, que ao longo da história vão sendo substituídos por objetos fabricados, técnicos e mecanizados e, depois cibernéticos, fazendo com que a natureza artificial tenda a funcionar como uma máquina (Santos, 2006, p. 39).

A categoria território auxilia no entendimento de como ocorrem os diferentes usos e a apropriação de determinada área pelos que ali habitam ou exercem influência. Sobre território, Souza (2000) explica que:

“O *território*, objeto desse ensaio, é fundamentalmente um espaço definido e delimitado por e a partir de relações de poder. A questão primordial, aqui, não é, na realidade, quais as características geoecológicas e os recursos naturais de uma certa área, o que se produz ou quem produz em um dado espaço, ou ainda quais as ligações afetivas e de identidades entre um grupo social e seu espaço” (SOUZA, 2000 p.78).

2.3. Dinâmica Socioambiental em áreas costeiras

A dinâmica socioambiental em áreas costeiras é um tema de extrema importância, pois essas regiões são altamente sensíveis às mudanças climáticas, ao desenvolvimento urbano e industrial, bem como às atividades humanas em geral. Uma das principais questões que surgem nesse contexto é o aumento do nível do mar devido ao aquecimento global, que ameaça comunidades costeiras em todo o mundo. Isso exige a adaptação e a implementação de políticas de gestão costeira que levem em consideração as implicações sociais e ambientais.

É a partir da década de 1960, que se esboçam inicialmente as preocupações de caráter ambiental. Para Oseki e Pellegrino (2004), o famoso relatório **The Limits to Growth**, que foi elaborado por técnicos do Massachusetts Institute of Technology (MIT) em 1972 marcou o auge inicial dessa preocupação, sendo fortalecida na Conferência da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre o Meio Ambiente, também em 1972.

Com as preocupações ambientais em evidência, diversas conferências foram realizadas e se tornaram o espaço de debate dessa preocupação. Inúmeras delas se destacaram e culminaram na divulgação de relatórios, como: O relatório da Comissão de Brundtland – Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, **Nosso futuro comum**, apresentado a assembleia geral da ONU em 1987.

Cohen e Small (1998), exploram uma abordagem inovadora na demografia humana, focalizando a distribuição da população humana com base na altitude geográfica. Os autores examinam como a geografia, especificamente a variação de altitude, influencia a densidade populacional em várias regiões do mundo. Eles argumentam que essa abordagem geográfica pode fornecer insights valiosos sobre a distribuição da população e sua relação com o relevo, destacando como fatores como disponibilidade de recursos, clima e acessibilidade podem moldar o padrão de assentamento humano em áreas de diferentes altitudes. Utilizam uma combinação de dados geoespaciais e análises estatísticas para investigar como a população se agrupa em diferentes altitudes, e como esse agrupamento pode variar em função de fatores sociais, econômicos e geográficos.

No centro da temática ambiental estão os modelos de conservação ambiental que remontam o final do século XIX, quando foram instituídos os Parques Nacionais com o objetivo de proteger a natureza. Ribeiro (2007) enfatiza que do final do século XIX até o presente momento ocorreu uma sofisticação no elenco de possibilidades territoriais para delimitar uma área protegida que repercutiu no mundo todo. A conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo, em junho de 1972,

com a participação de 1.500 delegados de 113 países, 40 organizações intergovernamentais, 600 observadores e 250 organizações não governamentais apresentou ao mundo a temática ambiental.

No Brasil, os espaços territoriais a serem protegidos, conforme previsto na Constituição Federal de 1988 e na Política Nacional do Meio Ambiente, englobam as áreas de proteção específica e as unidades de conservação – UCs. As UCs são áreas do território nacional definidas pelos governos federal, estadual e municipal, que devem ser preservadas ou utilizadas de forma adequada e sustentável, visando à proteção de ecossistemas significativos, em termos de recursos naturais e/ou culturais (BURSZTYN & BURSZTYN 2012).

Destaca-se ainda a Rio-92 – Conferência da ONU sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (Unced) – na qual vários documentos foram discutidos e protocolos firmados (entre eles, a Agenda 21, a Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, a Convenção da Biodiversidade, a Convenção do Clima e a Declaração de Princípios sobre Florestas), todos em torno da questão da harmonia entre desenvolvimento econômico e social levando a sustentabilidade.

Galvão (2009) ressalta que partindo da concepção de que a questão ambiental é, em si, um fenômeno geográfico e de que o ambiente está contido no espaço e constitui interesse presente na pesquisa, desde as formulações apresentadas por seus fundadores no século XIX e nos estudos de Geografia Humana dos mestres da escola francesa, nas primeiras décadas do século XX. Para Aguiar (2016):

O homem não vive isolado, mas em sociedade e interage continuamente com todos os elementos da natureza e da sociedade, sendo compreendido através de suas múltiplas conexões. Desta forma distinguimos que ambiente não é somente natureza, mas também o homem vivendo de modo dinâmico e interagindo com todos os elementos que compõem determinada sociedade e determinada natureza (AGUIAR, 2016).

O aumento populacional no Brasil e o modelo de exploração dos recursos naturais, levou a uma série de problemas ambientais, tais como: supressão da cobertura vegetal, poluição das águas e do ar, queimadas, erosão dos solos agricultáveis, crescimento desordenado das cidades, extinção de espécies da fauna e da flora. Segundo Troppmair (1995) os problemas ambientais brasileiros encontram-se no contexto global e põe em risco não apenas a vida de plantas e animais, mas do próprio homem.

Para Diegues (1995), esses problemas refletem o que ficou conhecido como crise ambiental, em decorrência do desequilíbrio causado pelo uso dos recursos naturais da biosfera. Os problemas “indicam que não se trata de crises regionais ou temporais, mas a crise generalizou-se, afetando a relação entre sociedade e o meio ambiente”.

Assim, em 2000 a partir da Lei 9.985 foi aprovado o Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC tendo por objetivo dentre outros, preservar e restaurar a diversidade de ecossistemas naturais, estabeleceu duas categorias de unidades de conservação, as quais correspondem padrões de gestão e tipos de usos determinados: o uso sustentável e a proteção integral na qual os Parques Nacionais estão inseridos.

Atualmente no Brasil existem 2029 UCs federais, estaduais e municipais, totalizando uma área de 1.582.758 km² sendo que 395 unidades são de proteção integral (MMA, 2018). A categoria de maior destaque são os parques nacionais, que ocupam um terço da área total das UCs federais. Apesar do grande número de UCs existentes e de seu forte ritmo de expansão nas últimas décadas, há problemas que persistem e comprometem os objetivos de conservação, entre eles é frequente a manifestação de conflitos envolvendo distintos grupos sociais envolvidos com as UCs, a degradação ambiental e a forte especulação imobiliária em algumas dessas áreas.

Nessa perspectiva, Órgãos ambientais oficiais, foram criados e no tocante à conservação ambiental, pautam suas ações em uma visão da manutenção da natureza como “natural” “virgem” ou “selvagem”, no Brasil, em 2007 foi criado o Instituto Chico

Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio, autarquia federal vinculada ao Ministério do Meio Ambiente – MMA, tendo como missão: proteger o patrimônio natural e promover o desenvolvimento socioambiental. ICMBio (2013) apresenta a legislação ambiental que visa a proteção das unidades de conservação brasileiras.

Para Diegues (1995), as formas de relação com a natureza operadas pelas populações tradicionais raramente são pensadas como alternativas para a conservação ou mesmo como possibilidade para combinar práticas nativas, definidoras de uma etnoconservação, com outras dadas pelos parâmetros das ciências naturais.

A criação de órgãos como o ICMBio e o fortalecimento e divulgação da legislação ambiental vigente, levaram entre outros aspectos a contemplar uma atenção, ou “tensão” maior as áreas protegidas e as comunidades que habitam, ou habitavam essas áreas, sob a ótica de que o objetivo principal dessas UC’s é a sustentabilidade ambiental.

Instituída a Lei sobre unidades de proteção, torna-se necessário entender as características e singularidades de cada uma dessas unidades. Algumas dessas unidades se localizam nas áreas costeiras, áreas, que no Brasil foram importantes desde o período colonial, quando as florestas que se situavam nas áreas costeiras foram alvos de intensa exploração (CABRAL; ROHM; SOUZA, 2003).

A seguir, no Quadro 1, destacam-se as Unidades de Conservação de acordo com a Lei 9.985/2000, o tipo, os objetivos para os quais foram instituídas, esferas de atuação e particularidades que precisam ser observadas e uma série de suas características, pesquisas teóricas realizadas e estudos de caso para cada modalidade.

Quadro 1: Tipos de Unidades de Conservação na área de estudo (Lei nº 9.985/2000).

Categoria	Tipo	Descrição/Objetivo	Nome UC na área de estudo	Esfera	Órgão Responsável
Uso Sustentável	Área de Proteção Ambiental - APA	Área em geral extensa, com certo grau de ocupação humana, dotada de atributos naturais, estéticos e culturais importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações	APA do Delta do Parnaíba	Federal	ICMBio
			APA da Foz do Rio das Preguiças	Estadual	SEMA/MA
			APA Upaon-Açu-Miritiba Alto Preguiças	Estadual	SEMA/MA
Proteção Integral	Reserva Extrativista - RESEX	Área natural com o objetivo principal de proteger os meios, a vida e a cultura de populações tradicionais, cuja subsistência baseia-se no extrativismo e, ao mesmo tempo, assegurar o uso sustentável dos recursos naturais existentes.	RESEX Marinha Baía de Tubarão	Federal	ICMBio
	Parque	Área destinada à proteção dos ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, onde podem ser realizadas atividades de recreação, educação e interpretação ambiental, e desenvolvidas pesquisas científicas	Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses	Federal	ICMBio

Fonte: Adaptado de BRASIL (2000) Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC.

Em 1994, foi estimado que 1.883.109 pessoas, ou 33,5% da população mundial, viviam a menos de 100 metros de altitude em relação ao nível do mar, mas apenas 15,6% de toda a área habitada se encontrava abaixo dos 100 metros de elevação. A média da população vivia a uma altitude de 194 metros acima do nível do mar. O número de pessoas diminuiu de forma mais rápida do que exponencialmente com o aumento da elevação. A densidade populacional integrada (IPD, o número de pessoas dividido pela área de terra) dentro dos 100 metros de altitude em relação ao nível do mar foi significativamente maior do que a de qualquer outra faixa de elevação e representava muito mais pessoas. Uma porcentagem significativa da população de baixa elevação vivia em densidades populacionais moderadas, em vez das maiores densidades encontradas em grandes cidades centrais. Avaliações de riscos costeiros que se concentram apenas em grandes cidades podem subestimar substancialmente o número de pessoas que podem ser afetadas (COHEN e SMALL, 1998).

Com o aumento da população e migração para as áreas costeiras, esses ambientes se tornaram cada vez mais impactados. Moraes (2007) apresenta a singularidade e importância da localização litorânea em geral, em aspectos teóricos e evidencia um quadro sintético da ocupação da zona costeira brasileira, afirmando que:

No que importa aos vetores de ocupação, o litoral pode ser definido como uma zona de usos múltiplos, pois em sua extensão é possível encontrar variadíssimas formas de ocupação do solo e a manifestação das mais diferentes atividades humanas (MORAES, 2007).

Além disso, a urbanização desordenada nas áreas costeiras frequentemente resulta em problemas de poluição da água e degradação do ecossistema marinho. A expansão de infraestruturas costeiras, como portos e resorts, muitas vezes ocorre às custas dos habitats naturais e da qualidade de vida das comunidades locais. Portanto, é fundamental buscar um equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a preservação

ambiental nas áreas costeiras, promovendo o uso sustentável dos recursos naturais e a mitigação dos impactos negativos.

A dinâmica socioambiental em áreas costeiras também está intrinsecamente ligada à pesca, ao turismo e à agricultura. As comunidades costeiras dependem dessas atividades para sua subsistência, mas a exploração inadequada dos recursos marinhos e a degradação ambiental podem comprometer a sustentabilidade dessas fontes de renda. Portanto, é necessário promover práticas de manejo sustentável, considerando tanto os aspectos sociais quanto os ambientais, a fim de garantir o bem-estar das comunidades costeiras e a preservação dos ecossistemas marinhos.

Em se tratando de estudos sobre a zona costeira brasileira evidenciam-se os estudos de Silveira (1968) que apresenta uma análise da costa brasileira, considerando seus tipos, características e articulações. No que tange a dinâmica litorânea brasileira, nos aspectos de Erosão e Progradação, Muehe (2006) apresenta para todos os estados brasileiros, que possuem faixa costeira uma série de dados baseados em pesquisas de estudiosos de cada localidade. Ainda, no estudo sobre os impactos e a Gestão Ambiental em ecossistemas costeiros, ressalta-se o trabalho de Prost e Mendes (2001) por elucidarem através, metodologias propositivas e discussões desse tema.

Quanto a costa maranhense no que concerne aos estudos sobre dinâmica ambiental, seus elementos, fatores e processos que operam e alteram a paisagem com ênfase para os agentes modeladores do relevo de origem climática, hidrológica e oceanográfica. Vide a respeito IMESC (2013), Souza e Feitosa, (2009); Krause e Bock, (2004); Feitosa, (1997); Feitosa & Christofolletti, (1993); ainda sobre os ambientes da costa maranhense Bezerra (2014) apresenta um modelo dinâmico da relação entre os manguezais e as alterações no nível do mar alimentando informações sobre as

consequências das mudanças ambientais para as populações costeiras socioambientalmente vulneráveis.

Especificamente sobre aspectos do Litoral Oriental Maranhense podem ser encontrados em Ab'Saber (1960) ao tratar da “Costa de Dunas” e em Silveira (1968) que apresenta este segmento da costa maranhense como “recoberta por dunas elevadas, conhecidas pelo nome de Lençóis Maranhenses. As pesquisas do Projeto Radam Brasil Nunes *et al.*, (1973) de Barbosa; Pinto (1973) somam-se aos esforços de caracterização da geologia e da geomorfologia da região, respectivamente.

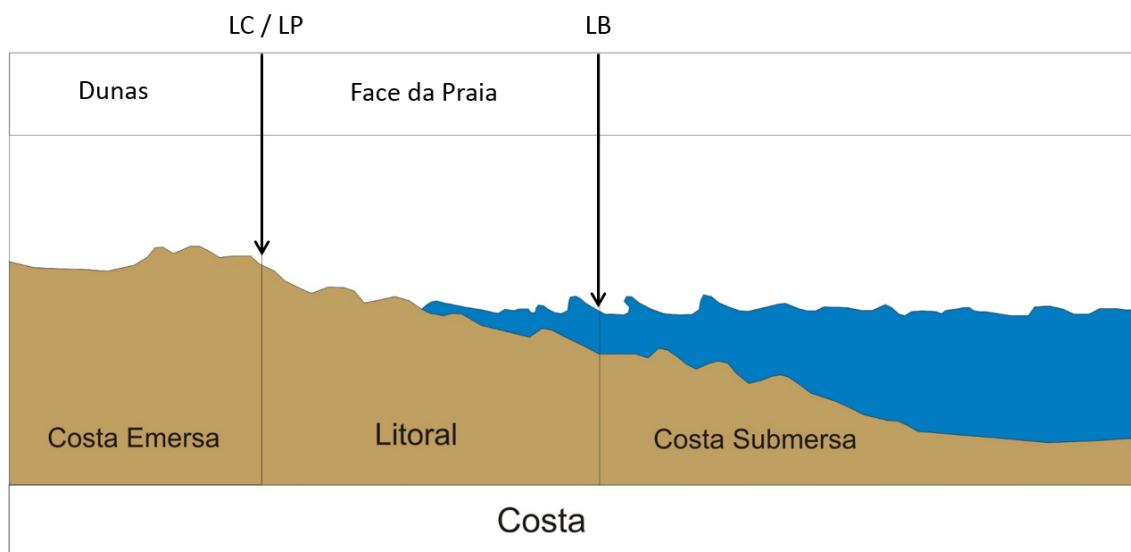
Com uma extensão aproximada de cerca de 640 km, o litoral Maranhense possui características geoambientais diversificadas, sendo a porção do Litoral Oriental caracterizada pelo predomínio de praias, com um litoral onde os agentes morfogenéticos contribuem para a retificação do litoral.

A Costa de Dunas e Restingas, em especial a área ocupada pelo Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses e seu entorno que abrange áreas dos municípios de Barreirinhas, Santo Amaro do Maranhão, Humberto de Campos, Paulino Neves, Primeira Cruz e Tutóia é caracterizada pelo domínio de elementos físicos de intensa dinâmica que facilitam a ocorrência de processos modeladores da paisagem.

Para compreensão da morfologia costeira da zona costeira nordeste maranhense (Figura 1), Feitosa e Souza (2015) explicam que:

A atividade dos agentes morfogenéticos configura uma paisagem costeira em que se divisam os segmentos: Costa emersa, Litoral e Costa submersa, cada um com fisiografia diferenciada em face do comportamento dos agentes modeladores da paisagem e dos processos geomorfológicos mais recorrentes: erosão, transporte e deposição. A movimentação dos sedimentos ocorre da área submersa para a área emersa seguindo a direção geral dos ventos nordeste sudoeste (FEITOSA E SOUZA, 2015).

Figura 1: Perfil esquemático da zona costeira nordeste do estado do Maranhão.



Fonte: Feitosa e Souza (2015).

Na zona de contato entre a costa emersa e a costa submersa, entre a linha de preamar e de baixa mar, se encontra o litoral, e é nessa faixa onde a presença de ambientes com alta fragilidade ambiental, como os manguezais e as áreas de estuário precisam de estudos e monitoramento constante. Também pode se avaliar a vulnerabilidade socioambiental através de índices, com a utilização de indicadores, perfis e metodologias diversas como descrito em Anazawa (2012), ou com a definição de framework que integre diferentes dados e simulação, como Marengo *et al.* (2017) aplicam no litoral de São Paulo.

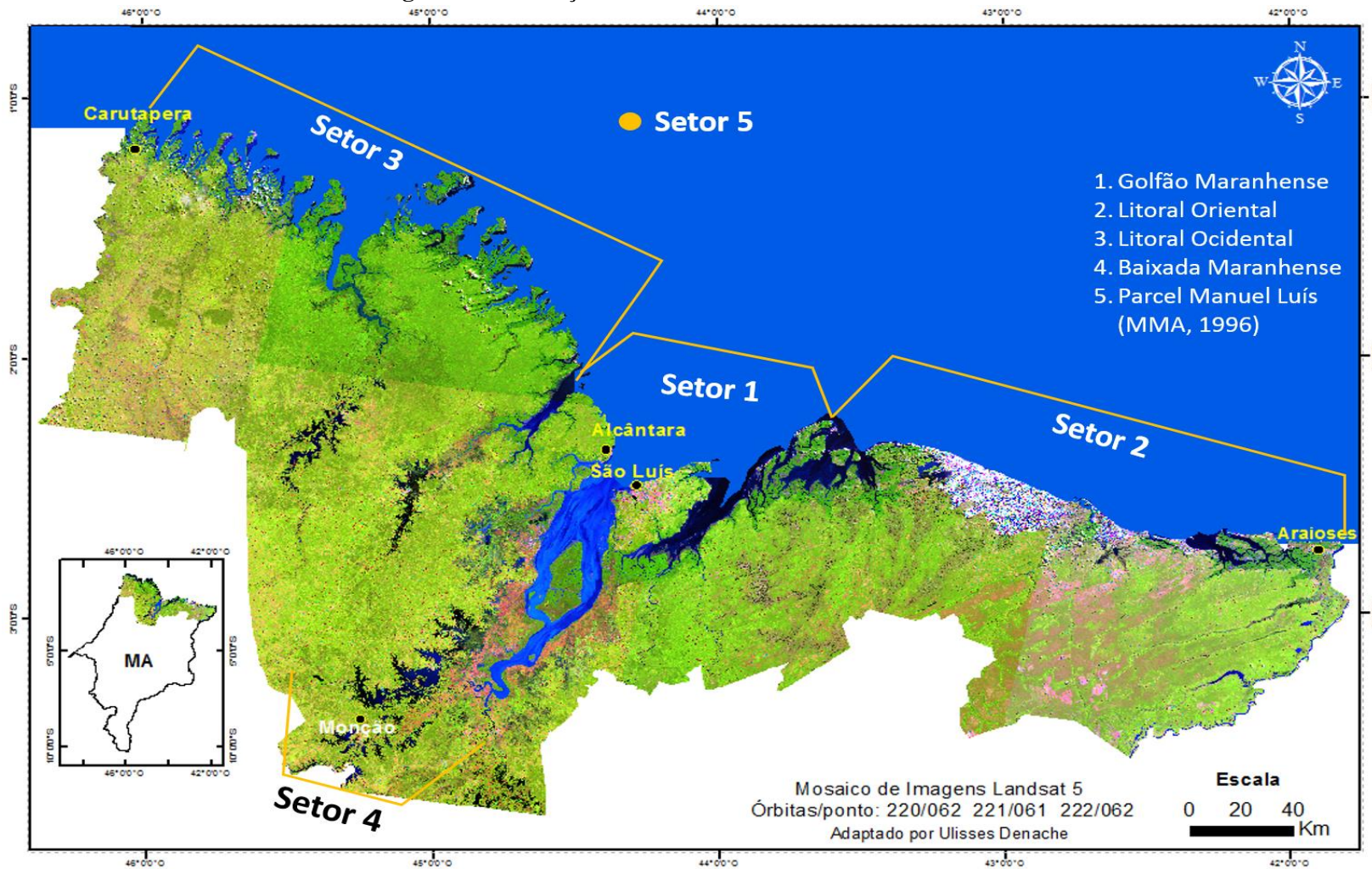
O litoral Oriental maranhense, setor 02 (Figura 2) estende-se desde o Golfão Maranhense até a foz do Rio Parnaíba, possuindo em seus domínios a região dos Lençóis Maranhenses. O Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses possui uma extensão de 155 mil hectares, tendo sido instituído pelo Decreto Lei N° 86.060, de 02 de junho de 1981, com a “*finalidade precípua [de] proteger a flora, a fauna e as belezas naturais existentes no local, ficando sujeito ao regime especial do Código florestal*” (BRASIL, 1981).

A zona costeira maranhense, com sua vasta extensão de manguezais, praias deslumbrantes e rica herança cultural, enfrenta desafios e oportunidades complexos na interseção entre a sociedade e o meio ambiente. Compreender e abordar a dinâmica

socioambiental nessa região é essencial para proteger seus ecossistemas frágeis e garantir o sustento das comunidades locais. À medida que o mundo lida com as mudanças climáticas e busca modelos de desenvolvimento mais sustentáveis, a zona costeira maranhense desempenha um papel significativo como um microcosmo das questões globais de conservação e justiça social.

Em suma, a dinâmica socioambiental em áreas costeiras envolve desafios complexos que exigem uma abordagem integrada e colaborativa. É crucial considerar as implicações sociais e ambientais das atividades humanas nessas regiões para garantir a resiliência das comunidades costeiras, a proteção dos ecossistemas marinhos e a sustentabilidade a longo prazo dessas áreas vulneráveis.

Figura 2: Setorização da Zona Costeira do estado do Maranhão



Fonte: Maamar, 2020.

2.4. Uso e cobertura da terra: métodos e técnicas

As definições sobre uso e cobertura da terra estão ligadas as atividades humanas que resultam em significativas alterações que ocorrem nos ecossistemas, nas cidades, e em áreas específicas do planeta. Desde 2015, uma série de dados são produzidos e distribuídos pelo IBGE, desagregados por estados da Federação e por conseguinte podem ser consultados por diferentes níveis de unidade territorial. O material identifica os tipos de expansão (agrícola, pastoril, urbana ou de silvicultura), apontando o ritmo e vetores preferenciais de ocupação das terras (IBGE, 2021).

Dentre os métodos para o estudo do uso e da cobertura da terra, estão os que utilizam o sensoriamento remoto e dados geoespaciais para identificar alvos terrestres, monitorar as atividades humanas e a dinâmica das paisagens. Jensen (2005) apresenta uma série de técnicas de processamento digital de imagens que possibilitam mapear áreas diversas. Lan (2008) destacou as várias metodologias para o mapeamento do uso e da cobertura da terra e suas transformações.

No planejamento regional, a tomada de decisão quanto ao ordenamento do território deverá se apoiar em mapeamentos do uso e da cobertura da terra. Principalmente quando este território é dinâmico, repleto de recursos naturais e sujeito a pressões econômicas especulativas as comparativas dos diferentes tipos de classe, favorece o acompanhamento do crescimento das áreas, as tendências de ocupação e permite prevenir impactos e estruturar atividades futuras.

Métodos e técnicas que utilizam rotinas computacionais e aprendizado por máquina são propostos em estudos recentes sobre o monitoramento das alterações de uso e cobertura da terra em áreas costeiras. Diniz (2021), avaliou três décadas de mudanças na planície costeira brasileira, especificamente o status dos manguezais.

2.5. A Tecnologia Geoespacial

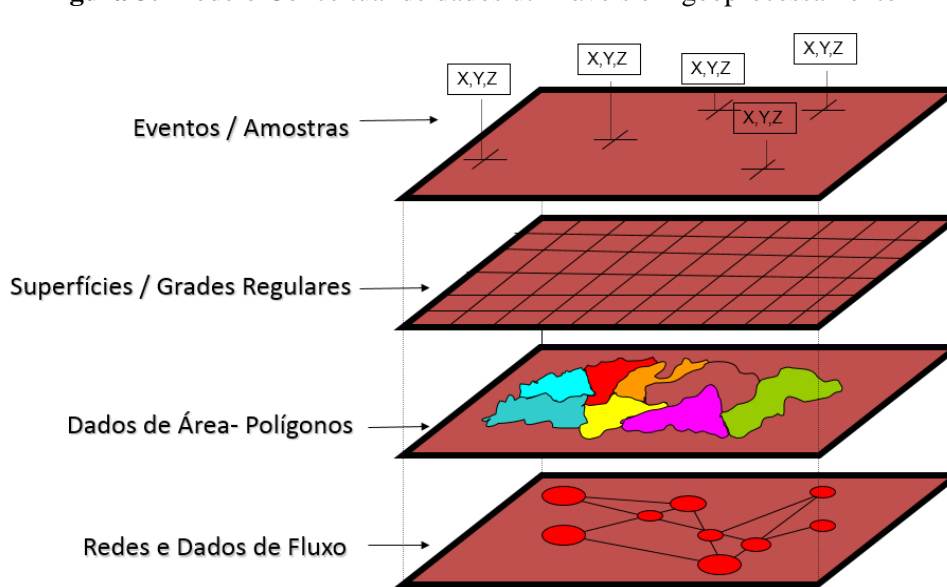
A tecnologia geoespacial desempenha um papel crucial em diversas áreas científicas e aplicadas, incluindo geografia, geologia, meteorologia, planejamento urbano, agricultura, gestão de recursos naturais e monitoramento ambiental. Com suas ferramentas avançadas de aquisição, análise e representação de dados geográficos, desempenha um papel crucial na geografia contemporânea. Segundo Goodchild (1992), um dos principais especialistas em geotecnologias, a tecnologia geoespacial oferece uma maneira sistemática de coletar e organizar informações espaciais, permitindo aos geógrafos examinar padrões, tendências e relações espaciais de forma mais precisa e eficiente. Com o uso de sistemas de informação geográfica (SIG), os geógrafos podem integrar dados de diversas fontes e realizar análises espaciais complexas para abordar questões geográficas multifacetadas.

Além disso, Rogerson (2001) destaca que a tecnologia geoespacial também é uma ferramenta valiosa para a visualização e comunicação de informações geográficas. A capacidade de criar mapas interativos, gráficos e modelos tridimensionais auxilia na divulgação de resultados de pesquisa geográfica de forma acessível e compreensível para um público mais amplo. Isso é particularmente relevante em um mundo cada vez mais orientado para a informação, onde a visualização geoespacial desempenha um papel fundamental na tomada de decisões e na conscientização pública sobre questões geográficas críticas, como mudanças climáticas e gestão de recursos naturais.

Considerando o arcabouço teórico-metodológico sobre a inserção do Sistema de Informação Geográfica na Geografia, Ferreira (2007) alerta que o SIG tem como característica primordial a integração entre os campos de conhecimento geográficos, sendo suas práticas adequadas à esfera do planejamento e à tomada de decisão em geografia. Druck *et al.* 2004 ao proporem ensaio sobre a epistemologia da Ciência da

Geoinformação resgatam as fontes de contribuição teórica sobre o conceito de espaço geográfico, discutindo as limitações do geoprocessamento frente a complexidade da questão do espaço geográfico, podendo no máximo considerar um modelo conceitual de representação (Figura 3).

Figura 3: Modelo Conceitual de dados utilizáveis em geoprocessamento



Fonte: Lang et. al 2014

São inúmeras as possibilidades de aplicação de um SIG, Pérez Machado (2014) relata que dentre os trabalhos apresentados na *XI Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica (CONFIBSIG)* a maioria se concentrava na seção SIG População e Qualidade de Vida e que cerca de 56% dos trabalhos apresentados no evento pode ser classificada dentro de temas relacionados a Geografia Humana.

Para Moran (2009):

SIG e outras abordagens geoespaciais são ferramentas que permitem a integração de diferentes fontes de dados, promovendo a comunicação entre as disciplinas e uma análise mais rica dos dados. SIG e análise espacial são ferramentas críticas por causa da dependência de escala dos fenômenos sociais e biofísicos e das relações complexas entre o homem e o ambiente. Trabalhar em uma única escala espacial pode falsear a representação dos processos em determinado local. A análise de dados espacialmente explícitos é uma das formas de abordar os assuntos relacionados à escala, inerentes nesses sistemas (MORAN, 2009).

Considerando a experiência do uso de SIG's para estudo e planejamento de UCs, Paese *et al.* (2012) apresentam a integração entre o conhecimento étnico e informação geográfica evidenciando uma proposta de metodologia para consolidação em SIG das iniciativas de Etnomapeamento. Paese *et al.* (*op. cit.*) explicam que o EtnoSIG, retorna a SIG as informações étnicas do mapeamento participativo usando ferramentas de geoprocessamento. Possibilita a interação das camadas de informações oriundas do conhecimento tradicional com as informações geoespaciais preexistentes, subsidiando a gestão de TIs.

Especificamente para o estudo da paisagem com SIG, Lang e Blaschke (2009) estudam as diferentes métricas da paisagem, demonstrando as possibilidades de uso do SIG para a caracterização da estrutura, o monitoramento e a análise de mudanças da paisagem em especial em fragmentos vegetais.

A densa fundamentação teórica subsidia os caminhos que o projeto e a pesquisa podem tomar, principalmente no que tange, as bases consolidadas que a ciência geográfica possui, sendo notória a quantidade de trabalhos técnicos e acadêmicos que utilizam a análise espacial de dados geográficos em aplicações ambientais.

Dentre as abordagens, a experiência de Morato (2008) se destaca por empregar análise espacial no estudo da desigualdade ambiental navegando por uma discussão onde a situação demográfica, institucional, ambiental e política são consideradas e modeladas para uma realidade em SIG, servindo de suporte a tomada de decisão e se tornando um retrato aproximado e confiável sobre a realidade da desigualdade ambiental na cidade de São Paulo. Assim o uso criterioso, inovador e criativo do SIG para o estudo da relação homem-ambiente pode contribuir no avanço dessa temática desafiadora.

A tecnologia geoespacial está intrinsecamente ligada à evolução das teorias geográficas contemporâneas. O conceito de "geografia crítica", desenvolvido por Harvey

(2000), destaca a importância da análise espacial e das tecnologias geoespaciais na compreensão das dinâmicas socioeconômicas e na investigação das relações de poder no espaço. Portanto, a tecnologia geoespacial não apenas amplia as capacidades analíticas dos geógrafos, mas também enriquece a teoria geográfica, permitindo uma análise mais profunda das complexas interações entre sociedade e espaço geográfico.

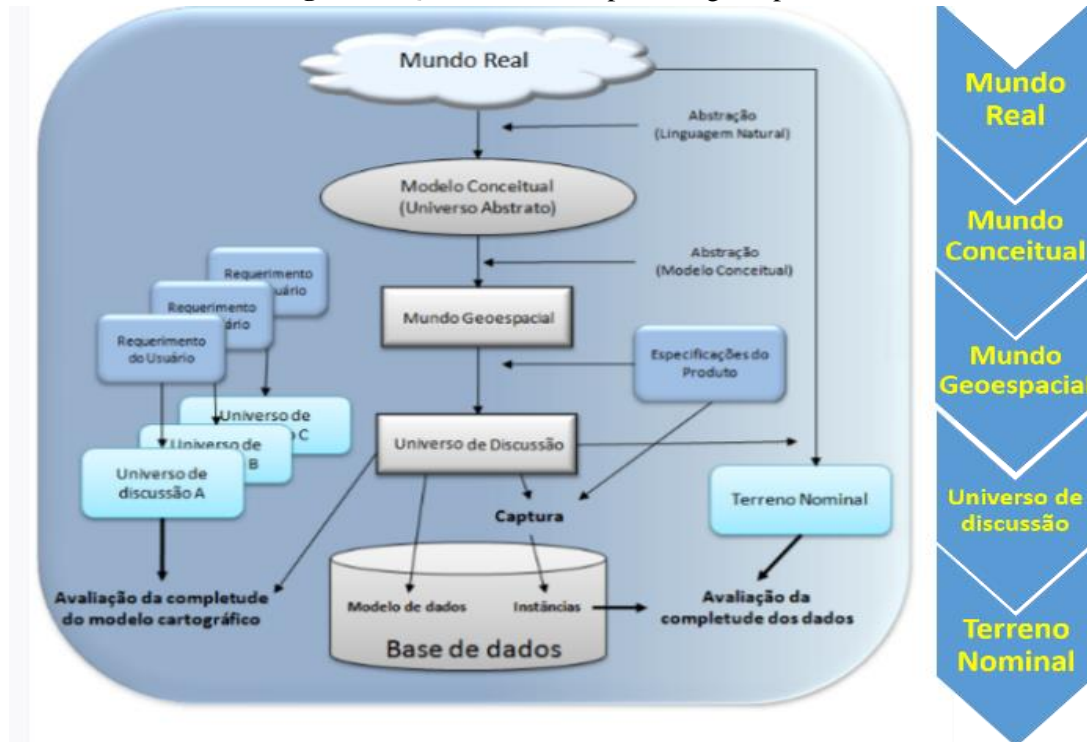
2.5.1. O dado geoespacial

Os dados geoespaciais desempenham um papel fundamental na geografia e em diversas áreas relacionadas. Goodchild (1993), um dos principais especialistas em sistemas de informação geográfica (SIG), argumenta que os dados geoespaciais são uma parte essencial da revolução da informação geográfica e que "os sistemas de informações geográficas não podem funcionar sem dados geoespaciais". Esses dados incluem informações sobre a localização e distribuição de elementos geográficos, como pontos de interesse, estradas, rios, edifícios e fenômenos naturais, e são cruciais para análises espaciais e tomada de decisões informadas.

Duas estruturas de dados podem ser utilizadas para reduzir os fenômenos geográficos a formas que possam ser codificadas em bases de dados: matricial e vetorial. Para Longley *et al.* (2013) "em princípio, ambos podem ser usados para codificar tanto campos contínuos quanto objetos discretos, mais na prática existe uma forte associação entre matrizes e campos e entre vetores e objetos discretos.

É imprescindível a representação geoespacial a avaliação de sua qualidade, já que representam modelos do mundo real e possuem um nível de acuracidade, determinada por sua conformidade com um modelo abstrato da realidade. Longley *et al.* (2013) e IBGE (2018) representam o processo de avaliação dos dados geoespaciais (Figura 4).

Figura 4: Qualidade de um produto geoespacial



Fonte: Adaptado de Longley *et al.* (2013) e IBGE (2018).

2.5.2. A análise espacial

A análise espacial é uma abordagem fundamental na geografia e nas ciências geoespaciais, que busca compreender a distribuição, padrões e relações de fenômenos geográficos em diferentes escalas. Tobler (1970), em seu livro "Computer Mapping: The SYMAP Tutorial", introduziu a primeira lei da geografia do computador, que afirma que "tudo está relacionado a tudo, mas coisas próximas são mais relacionadas do que coisas distantes". Essa lei ressalta a importância da proximidade geográfica na análise espacial e serve como um princípio fundamental na compreensão de padrões geográficos.

Ao avaliar uma região e suas problemáticas torna-se necessário avaliar dados, indicadores e variáveis explicativas e se a localização de área, de determinados pontos e lugares, for fundamental ou contribuir para explicar determinada situação e resolver determinado problema estamos diante de uma aplicação de análise espacial de dados geográficos.

A teoria da localização, desenvolvida por Weber e Friedrich (1929), em sua clássica obra intitulada "Theory of the Location of Industries", é um exemplo clássico de análise espacial. Weber argumentou que as empresas escolhem locais com base em fatores como custos de transporte, disponibilidade de mão de obra e acesso a matérias-primas. Essa teoria fornece um quadro conceitual para entender por que certas indústrias se concentram em determinadas áreas geográficas e como a análise espacial pode ser usada para otimizar decisões de localização.

A análise espacial auxilia na compreensão dos fenômenos de distribuição de recursos físicos e da organização do território em nossas sociedades (FERREIRA, 2014). Para Druck *et al.* (2004) “A ênfase da Análise Espacial é mensurar propriedades e relacionamentos, levando em conta a localização espacial do fenômeno em estudo de forma explícita. Ou seja, a ideia central é incorporar o espaço a análise que se deseja fazer”.

Haggett (1972), autor de "Geography: A Modern Synthesis", destacou a importância da análise espacial na compreensão das interações entre sistemas naturais e sociais. Ele argumentou que a geografia é única por sua ênfase na dimensão espacial e na análise das relações entre os elementos do espaço geográfico. Haggett enfatizou a necessidade de aplicar métodos e técnicas de análise espacial para abordar questões complexas, como a disseminação de doenças, migração de populações e dinâmica urbana.

Os fenômenos em análise espacial podem ser representados através de pontos ou por áreas localizados no espaço. O livro de Bailey and Gattrel (1995) apresenta uma série de aplicações e exemplos utilizando técnicas de análise espacial.

A análise espacial é uma abordagem teoricamente fundamentada que utiliza princípios como a lei da geografia do computador, a teoria da localização e a ênfase na dimensão espacial para compreender e explicar padrões e relações em nosso mundo

geográfico. Ela desempenha um papel crucial na pesquisa geográfica e em disciplinas relacionadas, permitindo uma compreensão mais profunda dos processos geográficos e das interações entre sistemas naturais e sociais.

2.5.3. Plataformas de integração e análise de dados geoespaciais

As plataformas de integração e análise de dados geoespaciais desempenham um papel fundamental na gestão e tomada de decisões em diversas áreas, desde a gestão de recursos naturais até o planejamento urbano e a resposta a desastres naturais. De acordo com Longley *et al.* (2015), essas plataformas são sistemas de informação geográfica (SIG) avançados que permitem a integração de dados espaciais de várias fontes, como satélites, GPS e sensores terrestres, proporcionando uma visão holística do ambiente geográfico.

Uma das principais características das plataformas de integração geoespacial é a capacidade de análise de dados espaciais. Autores como Goodchild *et al.* (2012), destacam como essas plataformas possibilitam a criação de modelos e simulações que auxiliam na compreensão de padrões geoespaciais complexos.

No contexto da análise de dados geoespaciais, a integração de informações é crucial. Autores como Arsanjani *et al.* (2013), discutem como essas plataformas permitem a fusão de dados de diferentes fontes, como clima, topografia e infraestrutura, para avaliar o impacto ambiental e planejar estratégias de mitigação.

Além disso, a acessibilidade e a facilidade de uso das plataformas de integração geoespacial têm aumentado significativamente nos últimos anos. Autores como Chang (2018), ressaltam como a evolução da tecnologia e a disponibilidade de dados geoespaciais de código aberto têm democratizado o acesso a essas ferramentas,

permitindo que uma variedade de profissionais e pesquisadores aproveitem os benefícios da análise geoespacial em suas áreas de atuação.

A grande quantidade de dados globais obtidos por sensoriamento remoto e a disponibilidade de plataformas de processamento geoespacial que permitem uma interoperabilidade dos dados tem fornecido a possibilidade de análise de dados em larga escala em nuvem. O processamento digital de dados em nuvem se caracteriza pela disponibilidade em realizar o tratamento de dados diretamente na internet, com recursos de computação, a inserção de códigos em rede e o uso de algoritmos.

Dentre as várias plataformas de integração e análise de dados geoespaciais que são amplamente utilizadas em pesquisa e aplicações práticas, podemos exemplificar:

1. **ArcGIS (Esri)**: é uma das plataformas de sistema de informação geográfica (SIG) mais populares do mundo. Ele oferece uma ampla gama de ferramentas para coleta, análise e visualização de dados geoespaciais, além de recursos avançados para modelagem e simulação.

2. **QGIS**: O Quantum Geographic Information System (QGIS) é uma plataforma de código aberto que oferece funcionalidades semelhantes ao ArcGIS. É uma opção acessível e altamente personalizável para análise espacial.

3. **GRASS GIS**: Geographic Resources Analysis Support System (GRASS GIS) é outro software de código aberto que se concentra em análises espaciais avançadas e modelagem ambiental.

4. **Google Earth Engine**: Esta plataforma da Google permite a análise de grandes conjuntos de dados geoespaciais usando a infraestrutura de computação em nuvem. É frequentemente usado para monitorar mudanças ambientais em grande escala. Possui, em seu domínio um catálogo de imagens de sensoriamento remoto e de dados geoespaciais,

o que permite ao usuário a análise a partir da utilização de uma linguagem em código de programação customizável, muitas vezes já disponível no sistema.

5. **GeoServer**: é uma plataforma de código aberto que permite a publicação e compartilhamento de dados geoespaciais em conformidade com os padrões da Open Geospatial Consortium (OGC).

6. **PostGIS**: PostGIS é uma extensão espacial para o sistema de gerenciamento de banco de dados PostgreSQL. Ele permite a análise avançada de dados geoespaciais diretamente em um ambiente de banco de dados.

Essas plataformas desempenham um importante papel na coleta, análise e visualização de dados geoespaciais em uma variedade de campos, desde planejamento urbano e ambiental até monitoramento de recursos naturais e pesquisas científicas. A escolha da plataforma depende das necessidades específicas do projeto e das preferências do usuário.

Capítulo 3: Metodologia

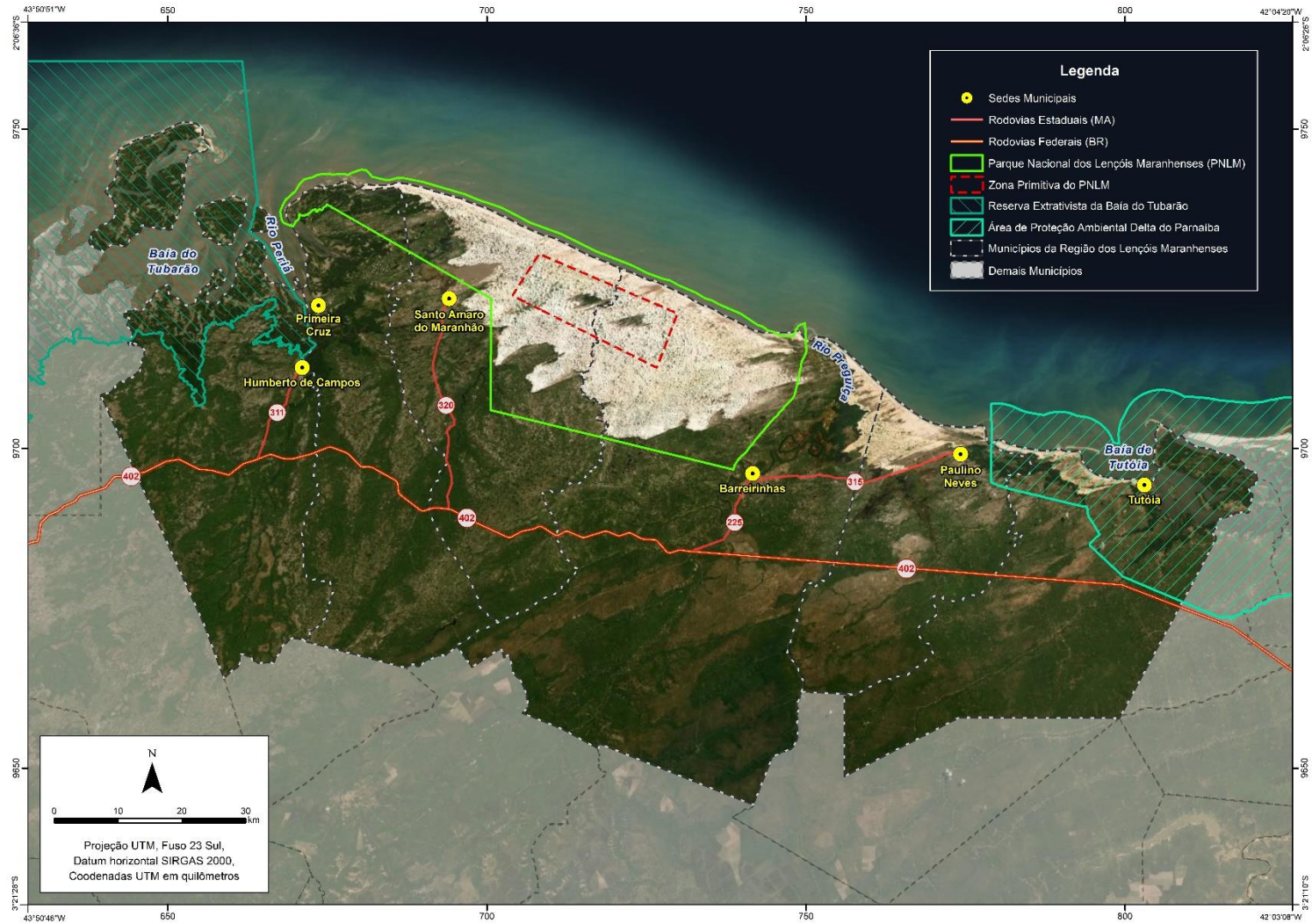
3.1. A área de estudo

A área de estudo está inserida nas bacias do Rio Periaá, do Rio Parnaíba e do Rio Preguiças, situada no litoral Oriental do Maranhão, limitando-se com o oceano Atlântico ao Norte, ao Leste a Bacia do Rio Parnaíba, ao Oeste e ao sul a bacia do Rio Munim (Figura 5).

Em termos de planejamento a região dos Lençóis Maranhenses está inserida na mesorregião Norte Maranhense, área costeira maranhense. Especificamente, contempla a microrregião dos Lençóis Maranhenses, que possui uma área de 10.314 km², e é composta pelos municípios de Primeira Cruz, Santo Amaro do Maranhão (desmembrado de Primeira Cruz em 1996), Barreirinhas, Humberto de Campos, Paulino Neves (desmembrado de Barreirinhas em 1996) e Tutóia. O Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses abrange os municípios de Barreirinhas, Santo Amaro do Maranhão e Primeira Cruz, e sua área de entorno inclui os outros três municípios da microrregião.

A área em estudo é caracterizada pela dinâmica de dois períodos distintos: o chuvoso (que ocorre entre os meses de dezembro e de junho em média) e o período de estiagem (de julho até novembro). Trata-se de uma região de considerável complexidade nas relações socioambientais, onde comunidades tradicionais que habitam a faixa litorânea dependem quase que inteiramente dos recursos marinhos para sua subsistência. Isso ocorre devido à limitada disponibilidade de recursos terrestres para atividades produtivas, e os indicadores econômicos refletem os desafios enfrentados na busca por fontes alternativas de renda.

Figura 5: Microrregião dos Lençóis Maranhenses



3.2. Material utilizado

3.2.1. Dados de entrada

Para desenvolver a metodologia proposta, iniciou-se com a seleção, compatibilização e criação de um banco de dados geográficos que serviu como base para o tratamento e a representação espacial das informações. Utilizaram-se técnicas de computação em nuvem para o processamento dos dados, e posteriormente, empregaram-se SIG's para análise e espacialização dos dados correspondentes:

- a)** Estruturação dos dados da coleção 07 do Mapbiomas para a microrregião dos Lençóis Maranhenses para o período de 1985 a 2021;
- b)** Preparação dos mosaicos das imagens LANDSAT 5 e LANDSAT 8 OLI para extração dos índices de vegetação NDVI e NDWI;
- c)** Dados de superfície de água da série Mapbiomas de 1985 a 2020;
- d)** Mosaico de cartas Planialtimétricas na escala 1:100.000 disponibilizadas pela Divisão de Serviços Geográficos do Exército - DSG;
- e)** Limites dos Setores Censitários das áreas urbanas e áreas rurais (com enfoque para áreas que possuem localidades e dados sobre a população estimada) para o censo de 2010;
- f)** Limite das Unidades de Conservação federal, estadual e municipal;
- g)** Conjunto de informações sobre as Áreas de Preservação Permanentes – APP's, elaborados a partir dos dados disponíveis na base do Cadastro Ambiental Rural (CAR);
- h)** Croquis dos povoados dos municípios de Barreirinhas e de Santo Amaro disponibilizados pelos agentes de saúde;
- i)** Dados de posicionamento geográfico das habitações, poços, escolas, postos de saúde, trilhas, locais de cultivo, de pesca e áreas verdes, obtidas através de

dispositivos de navegação e receptores de sinal GPS, código aberto, nas localidades durante as atividades de campo e também fornecidas pelo Grupo de Estudos Rurais e Urbanos – GERUR – UFMA;

- j) Informações provenientes do mapeamento aéreo realizados com drone em áreas identificadas como locais com alterações espaciais significativas após uma avaliação na área de estudos.

3.2.1.1. Levantamento dos dados geoespaciais

Foram coletados dados cartográficos de fontes públicas e plataformas web que disponibilizam downloads de dados geográficos em formatos vetorial e matricial. Entre os elementos que compõem a base de dados utilizada para embasar esta pesquisa, merecem destaque:

- ❖ Cartas Topográficas elaboradas pela Divisão de Serviços Geográficos do Exército – DSG. Esta etapa envolveu o levantamento das Cartas Planialtimétricas com o objetivo de fornecer suporte na avaliação dos elementos relacionados à drenagem, cotas altimétricas, localização das áreas de povoamento, tipos de cobertura vegetal, área territorial total e da linha de avanço das dunas, conforme nas cartas datadas do ano de 1988. Para abranger integralmente a microrregião dos Lençóis Maranhenses, foi essencial compor um mosaico que englobasse as nove cartas disponíveis:
 - ✓ Carta Boa Vista nº 496 Folha SA_23_Z_B_I;
 - ✓ Carta de Barreirinhas nº 552 e 497 Folha SA_23_Z_B_II e Folha SA_23_Z_B_V;
 - ✓ Carta de Sertãozinho nº 500 Folha SA_23_Z_A_VII;
 - ✓ Carta Humberto de Campos nº 551 Folha SA_23_Z_B_IV;

- ✓ Carta São Benedito do Rio Preto nº 611 Folha SA_23_Z_C_III;
- ✓ Carta Urbano Santos nº 612 Folha SA_23_Z_D_I;
- ✓ Carta Carrapatal nº 495-A Folha SA_23_Z_A_III;
- ✓ Carta Rio Gengibre nº 613 Folha SA_23_Z_D_II;
- ✓ Carta Magalhães de Almeida nº 614 Folha SA_23_DIII.

Os arquivos das cartas 495-A e 614, denominadas respectivamente de Carrapatal e Magalhães de Almeida, necessárias para a composição do mosaico completo da microrregião dos Lençóis, não estavam disponíveis no repositório disponibilizado pelo órgão responsável pelo Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão (Figura 6). As cartas foram disponibilizadas pela DSG, após solicitação para consulta e download com nível 02 de acesso na plataforma BDGEX.¹

¹ BDGEX – Sistema de Banco de Dados Geográficos do Exército, disponibiliza dados geoespaciais levantados pela Divisão de Serviços Geográficos – DSG. É necessário realizar um cadastro e solicitar o nível de acesso que possibilite ao usuário efetuar o download do dado que necessita.

Figura 6: Lista com especificações das Cartas DSG

**ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO
DO ESTADO DO MARANHÃO**

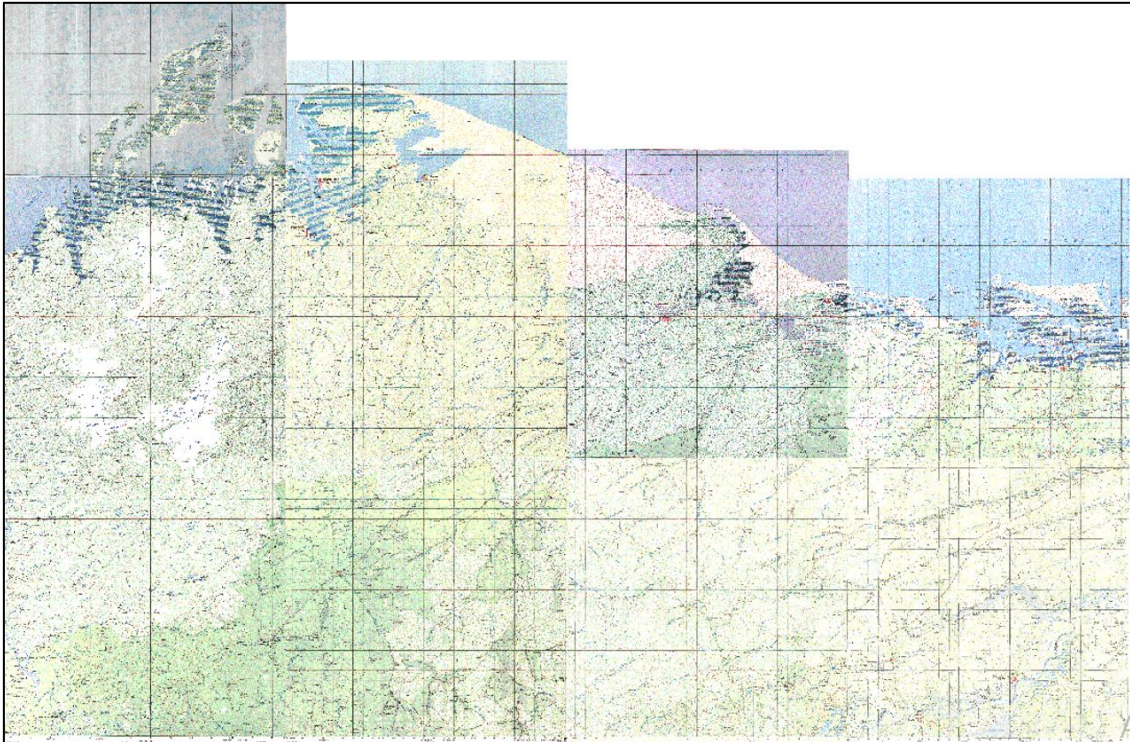
494	SA.23-Z-A-I	Guimarães	66.120 Kb	494.doc
495	SA.23-Z-A-II	Alcantara	64.558 Kb	495.doc
495-A	SA.23-Z-A-III	Carrapatal		
496	SA.23-Z-B-I	Boa Vista	64.036 Kb	496.doc
497_552	SA.23-Z-B-II	Barreirinhas	71.540 Kb	497_552.doc
544	SA.23-Y-A-VI	Fazenda Uraim	65.976 Kb	544.doc
545	SA.23-Y-B-IV			
546	SA.23-Y-B-V			
547	SA.23-Y-B-VI	Pinheiro	65.436 Kb	547.doc
548	SA.23-Z-A-IV	S. J. Batista	64.923 Kb	548.doc
549	SA.23-Z-A-V	São Luis	66.064 Kb	549.doc
550	SA.23-Z-A-VI	Sertãozinho	63.680 Kb	550.doc
551	SA.23-Z-B-IV	Humberto de Campo	63.983 Kb	551.doc
553	SA.23-Z-B-VI	Tutóia	64.227 Kb	553.doc
554	SA.24-Y-A-IV	Parnaíba	65.483 Kb	554.doc
605	SA.23-Y-C-III	Fazenda Croantã	65.104 Kb	605.doc
606	SA.23-Y-D-I			
607	SA.23-Y-D-II			
608	SA.23-Y-D-III	Penalva	65.155 Kb	608.doc
609	SA.23-Z-C-I	Arari	64.581 Kb	609.doc
610	SA.23-Z-C-II	tapecuru-Mirim	64.133 Kb	610.doc
611	SA.23-Z-C-III	S. Benedito do R. Preto	65.417 Kb	611.doc
612	SA.23-Z-D-I	Urbano Santos	64.668 Kb	612.doc
613	SA.23-Z-D-II	Rio Gengibre	64.167 Kb	613.doc
614	SA.23-Z-D-III	Magalhães de Almeida		

Fonte: Zoneamento Ecológico Econômico – ZEE/MA

As cartas, disponibilizadas no formato PDF e com escala 1:100.000, passaram por um processo de importação e registro individual, garantindo a precisão do mosaico ao alinhar as bordas correspondentes de cada carta. Com o objetivo de aprimorar a visualização dos elementos cartografados, aplicou-se um ajuste de cores utilizando o software ENVI versão 6. Após a conclusão do mosaico que engloba todas as cartas registradas, juntamente com a aplicação do equilíbrio de cores para otimização, a imagem resultante foi exportada no formato GEOTIFF² (Figura 7).

² GEOTIFF é um padrão de metadados de Domínio público o qual permite embutir informações das coordenadas geográficas em um arquivo TIFF.

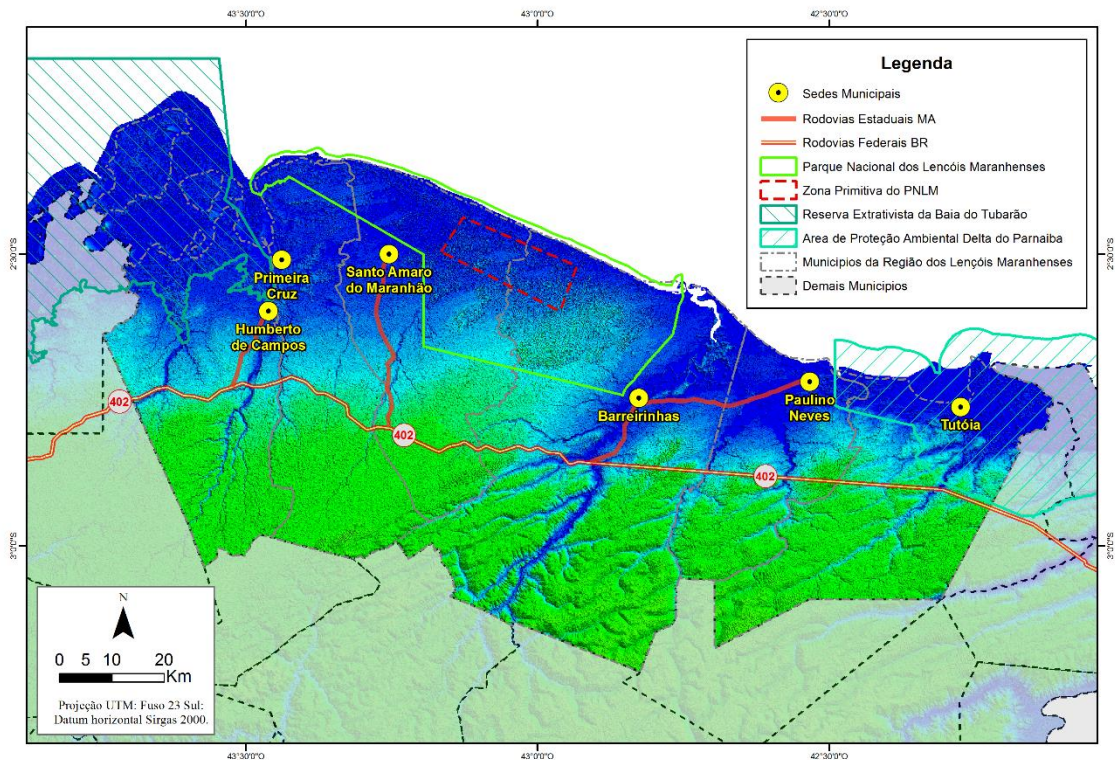
Figura 7: Mosaico de Cartas Planialtimétricas.



Fonte: Portal ZEE – MA; Banco de Dados Geoespaciais – BDGEX.

- Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado a partir de dados Alos Palsar, disponibilizado no Atlas dos Recursos Hídricos do Estado do Maranhão, iniciativa do Serviço Geológico Brasileiro, antiga CPRM. Os dados foram disponibilizados através de cadastro e requisição feita ao SACE (plataforma desenvolvida pelo Serviço Geológico do Brasil) (Figura 8).

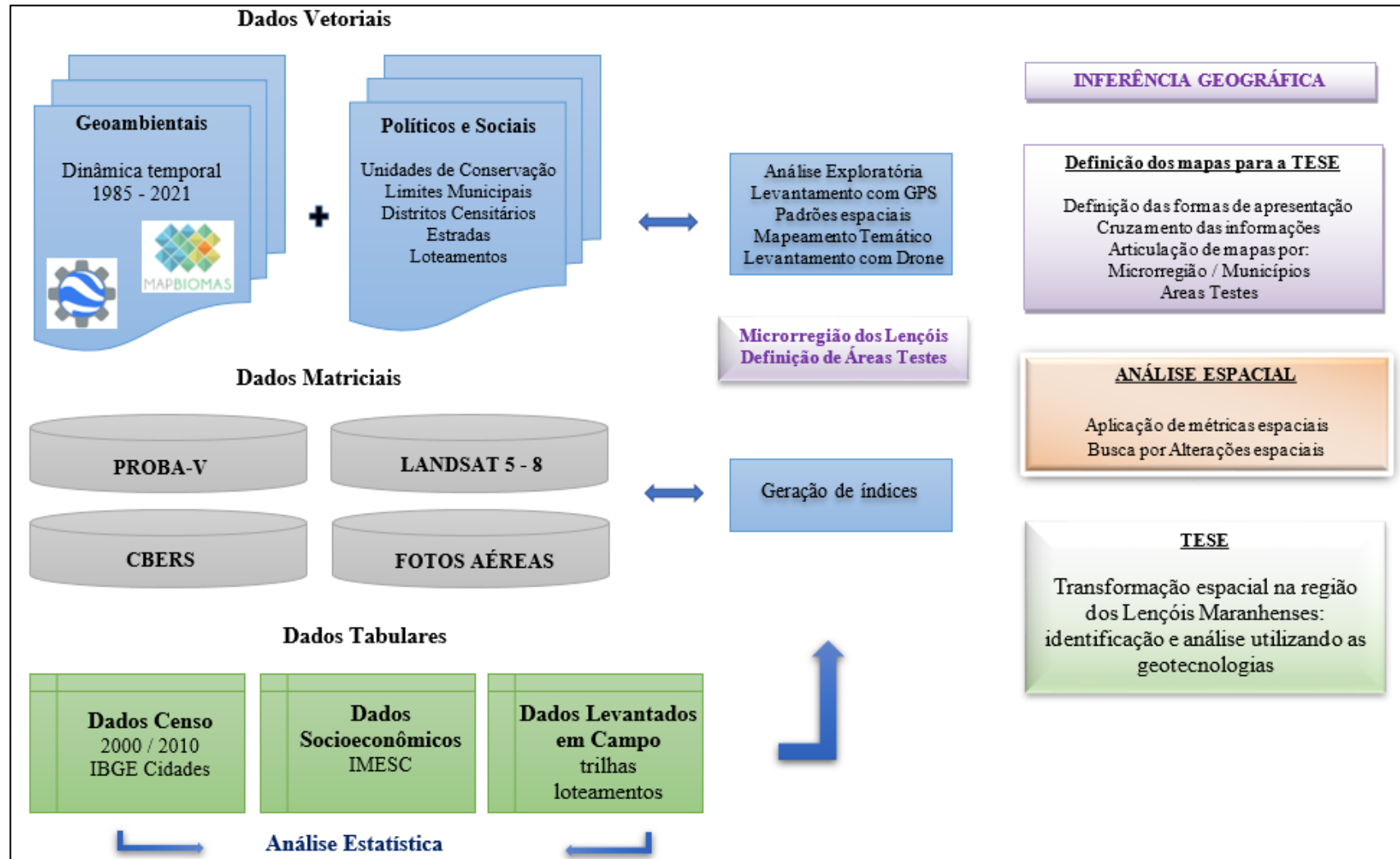
Figura 8: Modelo Digital de Elevação (MDE).



Fonte: Portal ZEE – MA; Banco de Dados Geoespaciais – BDGEX. Adaptado pelo autor.

- Dados sobre a dinâmica geoambiental para os períodos de alta e baixa pluviosidade foram obtidos por meio da análise do mosaico de imagens de satélite, selecionando cenas com uma cobertura parcial de nuvens de até 25%, conforme especificado no Quadro 1, que descreve as características e datas das cenas analisadas.
- Malha cartográfica territorial com a Base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), para o ano de 2022, com o limite estadual/municipal/mesorregião/microrregião;
- Base de dados do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), com o objetivo de obter os Limites oficiais das UCs federais;
- Para a obtenção dos resultados desejados, procedeu-se à análise de informações multitemporais, abrangendo aspectos socioeconômicos e ambientais, conforme esquematizado no fluxograma representado na Figura 9.

Figura 9: Fluxograma dos procedimentos metodológicos adotados.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

3.2.1.2. Dados Matriciais

Cientes das vantagens proporcionadas pelas imagens de satélite, que oferecem uma visão abrangente e a capacidade de monitorar várias áreas e alvos, coletamos conjuntos de imagens que desempenham um papel fundamental no mapeamento e no desenvolvimento da metodologia proposta nesta tese. A seguir, detalhamos o satélite, o sensor utilizado e as contribuições específicas de cada produto para a atual pesquisa (Quadro 2):

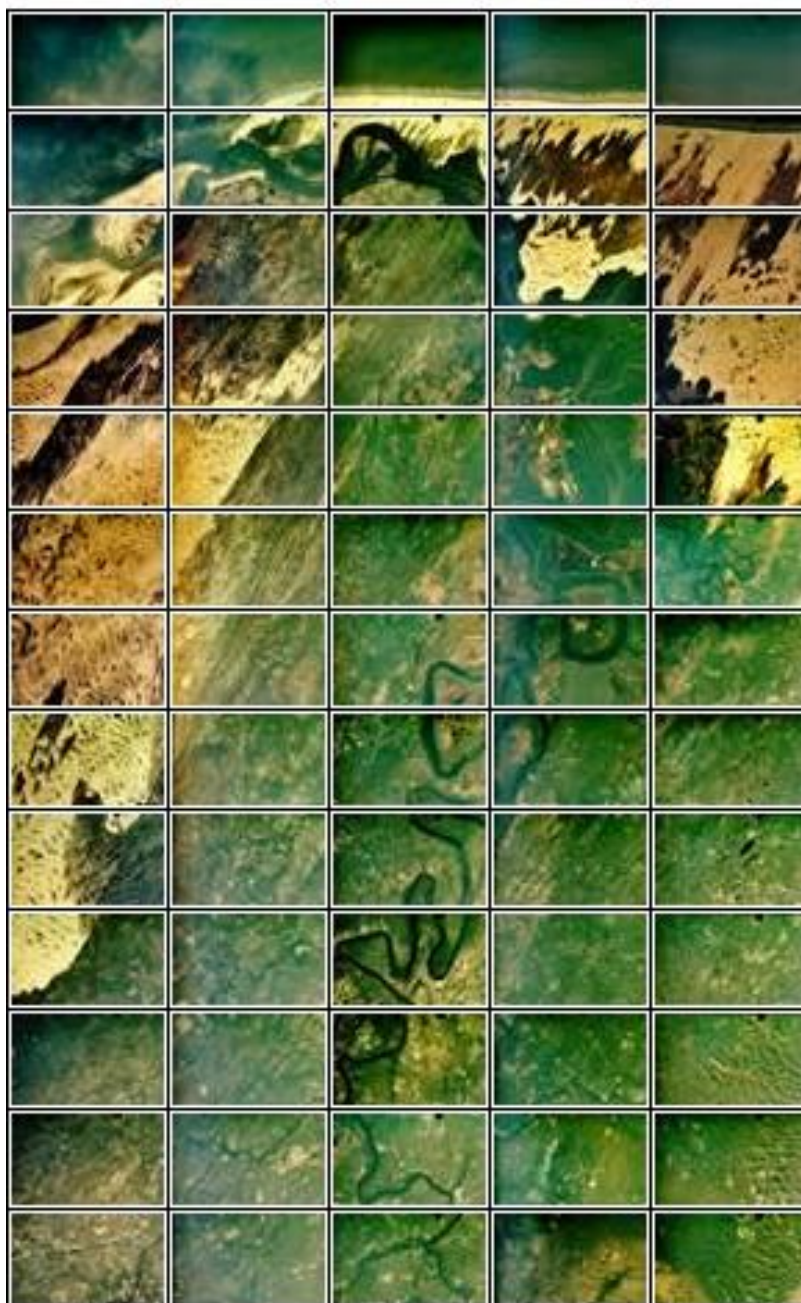
Quadro 2: Dados matriciais utilizados na pesquisa.

Satélite	Sensor	Data (s)	Resolução	Contribuição	Disponível em:
PROBA - V	<i>Vegetation imaging instrument</i>	01/07/2016 21/02/2019	100 m	1. Índice de Vegetação – NDVI 2. Serviços de Monitoramento da Terra – plataforma “Copernicus”	http://proba-v.vgt.vito.be/en/product-types
LANDSAT 5 e 8	<i>Thematic Mapper (TM)</i> <i>Operational Terra Imager (OLI)</i>	20/06/1984 16/06/1995 11/06/2004 07/08/2016 06/06/2018	30 m	1. Composições em falsa cor e em cor verdadeira permitindo evidenciar diferentes alvos (dunas, vegetação, corpos hídricos).	https://landsat.gsfc.nasa.gov/
CBERS	PAN – Multiespectral e Pancromática – PAN Câmera Multiespectral Regular - MUX	07/08/2015 18/09/2018	5 m (B01)/10 m (B02,B03,B04) na PAN 20 m na câmera MUX	1. Identificação de áreas de florestas e expansão de campos agrícolas. 2. Sinais de queimadas recentes	http://www.dgi.inpe.br/CDSR/

Fonte: USGS - Earth Explorer

Além do conjunto de imagens de satélite, foram disponibilizadas pelo Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Maranhão – ZEE / MA um conjunto de fotografias aéreas do curso do Rio Preguiças (Figura 10).

Figura 10: Mosaico de fotos aéreas da bacia do Rio Preguiças.



Fonte: ZEE – MA, 2000.

3.2.1.3. Mapbiomas

O projeto MapBiomas disponibiliza mapas anuais que retratam a cobertura e o uso da terra no Brasil. Sua coleção mais recente abrange o extenso período de 1985 a 2022, apresentando informações em uma resolução espacial de 30 metros (Figura 11). O que destaca esse projeto é a excelência na coleta de dados, que é complementada pela oportunidade de revisão e avaliação contínuas realizadas por uma equipe de especialistas de diversas áreas de atuação e conhecimento. Essa abordagem colaborativa tem permitido ao MapBiomas aprimorar constantemente a qualidade do produto que oferece, garantindo informações precisas e atualizadas para uma variedade de aplicações.

Figura 11: Interface gráfica com destaque para cobertura de areia e dunas.



Fonte: MapBiomas

A escolha de utilizar a série temporal de dados do MapBiomas para avaliar a dinâmica da cobertura e uso da terra na microrregião dos Lençóis Maranhenses nas últimas três décadas é respaldada pela praticidade e confiabilidade desses dados, aliada a facilidade de manipulação oferecida pelo Google Engine. Além disso, para enriquecer nossa análise espaço-temporal na microrregião, contamos com outro recurso fundamental fornecido pelo MapBiomas: os dados de superfície de água. Esses dados permitem uma avaliação detalhada, ano após ano, da evolução dos corpos hídricos, complementando de forma significativa nosso entendimento da dinâmica ambiental na região.

Os dados provenientes do MapBiomass foram eficientemente carregados na nuvem, agilizando o processo de análise. Dado que esses dados representam um conjunto estável e comparável de informações sobre uso da terra e cobertura vegetal, pôde-se realizar uma identificação precisa das mudanças que ocorreram nas diferentes classes em várias subáreas estudadas. Isso possibilitou uma análise focalizada na evolução ao longo das últimas três décadas das dinâmicas das dunas, dos corpos d'água e das áreas urbanizadas na microrregião dos Lençóis Maranhenses.

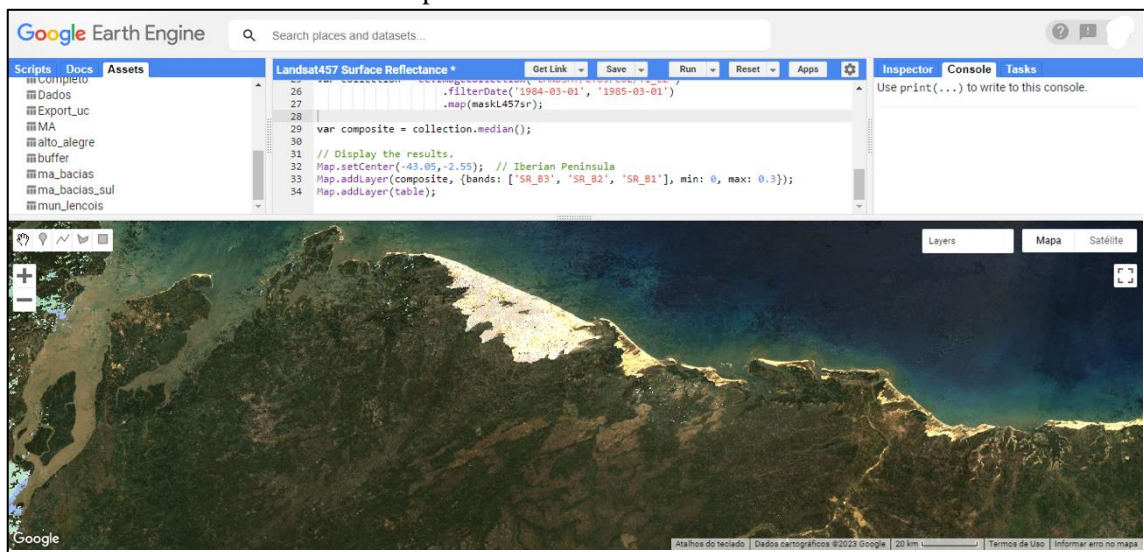
A riqueza desses dados geospaciais do MapBiomass permitiu não apenas identificar as transformações nas subáreas em questão, mas também ofereceu uma visão abrangente das tendências ao longo do tempo. A análise da dinâmica das dunas revelou informações cruciais sobre a preservação e a expansão desses ambientes naturais únicos, enquanto a monitorização dos corpos d'água lançou luz sobre as oscilações nos recursos hídricos da microrregião. Além disso, a observação das áreas urbanizadas forneceu insights valiosos sobre o crescimento populacional e o desenvolvimento urbano, aspectos fundamentais para o planejamento regional.

Essa abordagem baseada em dados sólidos e de alta qualidade do MapBiomass não apenas respalda nossas avaliações, mas também capacita a tomada de decisões informadas e estratégias de conservação mais eficazes para os Lençóis Maranhenses. A combinação da confiabilidade dessas informações com as ferramentas modernas de análise na nuvem abre caminho para uma compreensão mais profunda e atualizada das mudanças ambientais em curso na região, contribuindo para a gestão sustentável desse precioso ecossistema.

3.2.1.4. Processamento de dados na nuvem

As técnicas de processamento digital em nuvem foram realizadas através da plataforma denominada Google Earth Engine GEE, especificamente editando os dados na aba (GEE Code Editor). As rotinas foram programadas utilizando a linguagem JavaScript (JS) e executadas de forma a permitir obter coleções de imagens de satélite, aplicando filtros de até 25% de nuvens para cada imagem. Logo em seguida, os dados do projeto Mapbiomas foram integrados a análise, possibilitando realizar uma avaliação multitemporal da dinâmica das classes de uso e cobertura da terra. É importante destacar a dificuldade em obter imagens sem nuvens para os períodos chuvosos sendo as vezes necessário a aplicação do algoritmo (máscara), disponível no GEE para cada coleção Landsat, artifício do processamento digital que permite compor imagens. (Figura 12).

Figura 12: Visualização do mosaico de imagens de satélite preparado para compor o processamento em nuvem



Fonte: Google Earth Engine – GEE

3.2.1.4.1 Índices Espectrais

Dentre as variadas aplicações oferecidas na plataforma do GEE, inclui-se o cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), uma métrica de importância fundamental para o monitoramento da cobertura vegetal e a condição da

fitofisionomia das plantas. O NDVI é calculado a partir de imagens de satélite que capturam dados nas bandas espectrais do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (RED). Sua fórmula é representada por:

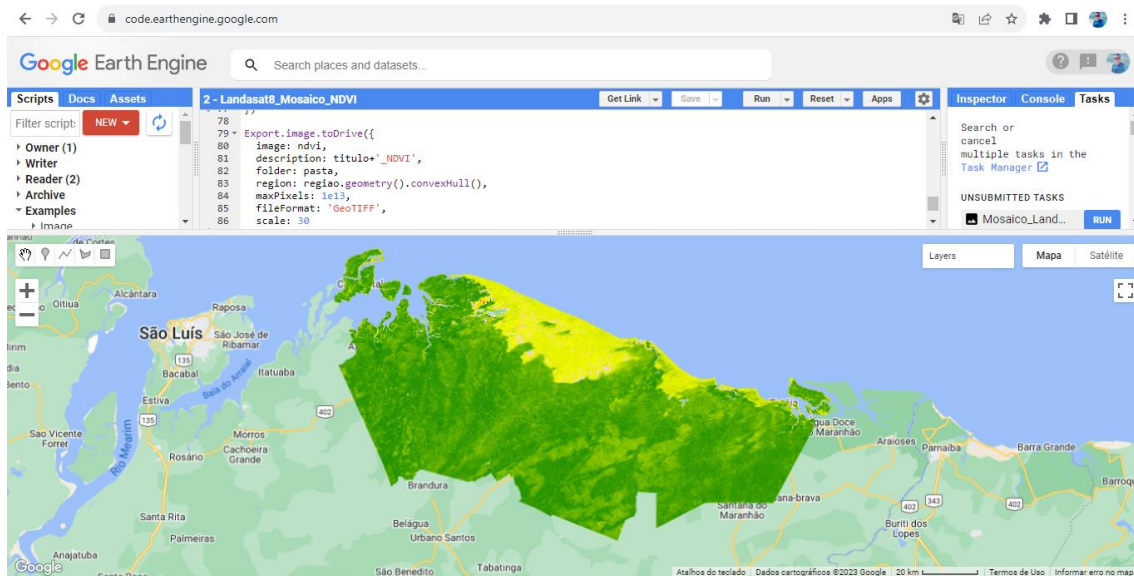
$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

Equação 1: Cálculo do NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)

Na plataforma do GEE, é possível calcular o NDVI de maneira direta, através da execução de um comando que aproveita sua habilidade em realizar operações matemáticas em imagens de satélite. Para realizar esse cálculo, é necessário desenvolver um código em JavaScript, fazendo uso da API disponibilizada pelo GEE.

Na aba de código do GEE, as variáveis B5 e B4 são atribuídas às bandas NIR (infravermelho próximo) e RED (vermelho), respectivamente. A disponibilidade de coleções de imagens que abrangem séries temporais provenientes de satélites como Landsat, Sentinel e outros tem sido destacado por Dong *et al.* (2016) e Gorelick *et al.* (2017), e isso resulta em significativa aceleração no tempo de processamento. A análise de séries temporais utilizando o NDVI calculado no GEE é amplamente adotada para a investigação das variações na vegetação, como ilustrado na Figura 13.

Figura 13: NDVI gerado pelo processamento em nuvem a partir do mosaico de imagens de satélite



Fonte: Google Earth Engine – GEE

São vários os métodos para classificação de água listados na literatura, tais como o Índice Normalizado de Diferença de Água (*Normalized Difference Water Index - NDWI*) e suas variações, como o MNDWI (*Modified Normalized Difference Water Index*) (XU, 2006; MCFEETERS, 1996; GAO, 1996). O NDWI permite uma melhor visualização das áreas com alto teor de umidade e corpos de água. Segundo Gao (1996), varia quase linearmente com a espessura da lâmina da água. Na análise foi utilizado o Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) (Equação 2), que foi concebido por McFeeters (1996) com a finalidade de delinear ambientes de águas abertas minimizando o restante dos alvos, automatizando a determinação do limiar entre água e terra.

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$$

Equação 2: Cálculo do NDWI (Índice Normalizado de Diferença de Água)

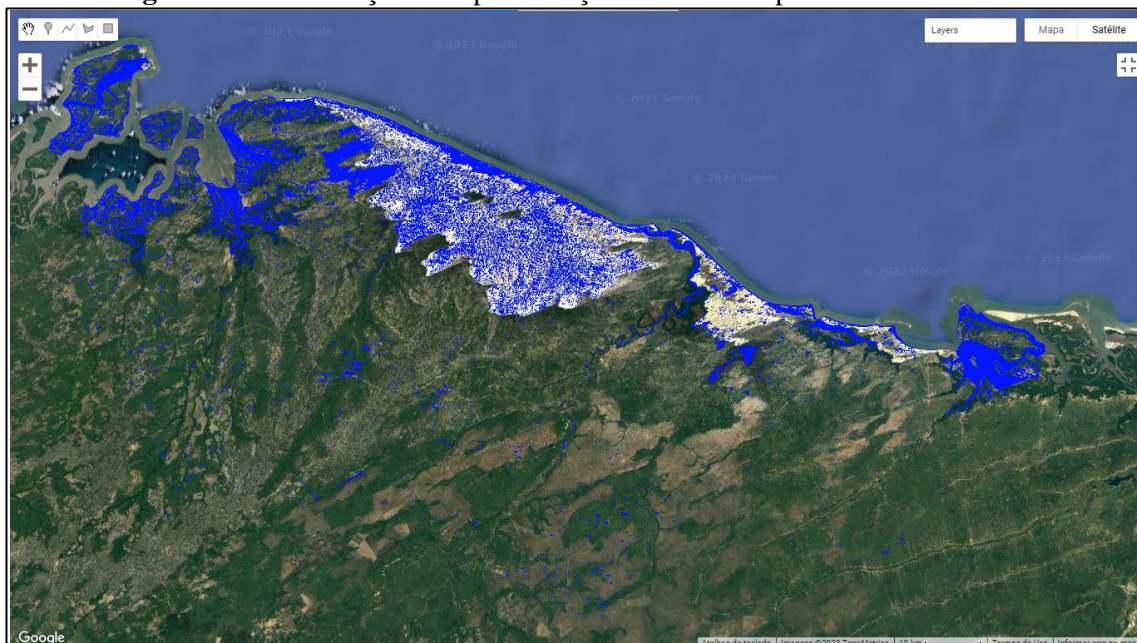
Para as variações do Índice Normalizado usamos o MNDWI (Modificação do Índice de Água de Diferença Normalizada) proposto por Xu (2006), para comparações e

validações, (Equação 3) que consiste em uma razão de expressão modificada do NDWI, para delineamento de feições relacionadas à água (Figura 14).

$$MNDWI = (Green - SWIR1) / (Green + SWIR1)$$

Equação 3: Cálculo do MNDWI (Modificação do Índice de Água de Diferença Normalizada)

Figura 14: Visualização da espacialização do MNDWI para a área de estudo



Fonte: Google Earth Engine - GEE

3.2.1.5. Levantamento de campo

Para a validação da metodologia proposta e uma compreensão mais aprofundada do contexto da área de pesquisa, as atividades de campo foram organizadas da seguinte forma:

1. Com visitas exploratórias para fins de mapeamento, levando em consideração a sazonalidade, um fator de grande relevância na análise da região em estudo;
2. Houve a colaboração e acompanhamento de equipes envolvidas no projeto do Atlas Socioambiental dos Lençóis Maranhenses (ASALM), com o objetivo de otimizar recursos, promovendo a troca de ideias e o compartilhamento de

conhecimentos. O Quadro 3 apresenta detalhadamente os períodos, objetivos e locais visitados durante essas atividades de campo.

3. Após o mapeamento prévio das áreas que deveriam ser visitadas foram definidos os pontos que deveriam ser fotografados e georreferenciados com uso do GPS, com o apoio dos guias de turismo, moradores das comunidades visitadas que indicaram as principais trilhas e rotas utilizadas de acordo com a sazonalidade, alguns desses locais tiveram de ser acessados de barco (Figura 15).

Figura 15: (a) Guia da comunidade de Betânea, Santo Amaro - MA elaborando mapa das trilhas que utiliza. (b) Roda de conversa com comunitários e guias para apresentar o mapeamento que estava sendo realizado



(a)



(b)

Fonte: acervo pessoal do autor.

Quadro 3: Informações sobre os trabalhos de campo realizados.

Período/ sazonalidade	Objetivos	Locais visitados
Novembro 2017 (Pico estiagem)	Verificar os níveis de ocupação às margens do Rio Preguiças	(Alazão, Vassouras, Morro do Boi, Espadarte, Mandacaru, Bar da Hora, Caburé, Atins e à foz do Rio Preguiças)
Julho 2018 (Final período chuvoso)	Mapear a localização, os tipos vegetacionais e os principais usos nas áreas visitadas	(Sedes dos municípios de Primeira Cruz e de Humberto de Campos, parte da RESEX Baía de Tubarão, Ilha de Carrapatal, Farol de Santana, Ilha de Santaninha, Ponta Verde)
Novembro 2018 (Pico estiagem)	Validar o mapeamento de uso e cobertura obtido por imagens de satélite, mapear as alterações (construções de pontes, novas trilhas e o início do asfaltamento da estrada de Santo Amaro a Primeira cruz)	Mairizinho, Travosa, Campo Novo, Mato Grosso e a Sede de Santo Amaro
Maio de 2019 (Pico do período chuvoso)	Identificar os empreendimentos (o parque eólico, mini usina solar, linha de energia novos loteamentos implantados Validar do mapeamento das áreas inundadas obtidas por imagens de satélite	Sede de Barreirinhas e Paulino Neves “Zona primitiva” ³ do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, Baixa Grande, Queimada dos Britos,
Novembro de 2020 (Pico estiagem)	Levantamento com drone (mapeamento do uso e da cobertura) validação dos dados levantados	Canto do Atins e Atins Bairro Olho d’água Santo Amaro Bairro Mangaba Barreirinhas

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

3.2.1.6. Levantamento com *drone*

Após a conclusão da aquisição e processamento dos dados provenientes de imagens de satélite, procedemos à realização de levantamentos imagéticos por meio de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), ou drones, com o propósito de efetuar o mapeamento das seguintes áreas:

1. Área localizada em Atins, estado do Maranhão, situada na Foz do Rio Preguiças.

³ A “Zona Primitiva” do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses é uma área considerada pelo plano de manejo como de uso restrito. O acesso a área só pode ser feito mediante autorização. A atividade de campo foi autorizada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio, através do Ofício SEI nº 30/2019 do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses - PARNA/ICMBio.

2. Área correspondente ao bairro Mangaba, localizada na sede do município de Barreirinhas, também no estado do Maranhão.
3. Área situada no bairro Olho d'Água, que se encontra na sede do município de Santo Amaro do Maranhão.

As etapas envolvidas no processo de levantamento com drone foram as seguintes:

1. Planejamento das missões de voos, considerando-se as áreas a serem sobrevoadas, condições ambientais e climáticas dos locais a serem sobrevoados e a logística.
2. Realização de voos para captação de imagens RGB, obtidas por meio de um sensor RGB em uma câmera modelo FC6310 com comprimento focal de 8.8 mm e aproximadamente 20 Megapixels, acoplado ao drone multirrotor quadricóptero *Phantom 4 Advanced*⁴.
3. Análise das imagens obtidas, seleção e processamento em softwares específicos de aerofotogrametria por drones, gerando os seguintes produtos:
 - a. Geração de Ortomosaico georreferenciado RGB com resolução espacial (GSD) de aproximadamente 7 cm/pixel, fornecido em arquivos de extensão GeoTIFF que será integrado posteriormente a análise em SIGs; x Preparação da nuvem de pontos em arquivo laz, las, dxf e/ou txt. brutas e trabalhadas para remoção de ruídos;
 - a. Geração do Modelo Digital de Superfície – MDS em arquivo dxf (TIN) e GeoTIFF (raster);

⁴ O *Phantom 4 Advanced* é um quadricóptero fabricado pela DJI, possui um sensor de 20 megapixels, autonomia nominal de 30 minutos e sensores de prevenção de obstáculos frontais. Neste trabalho ao todo foram obtidas um total de 12.930 imagens para o levantamento das três áreas, que foram utilizadas posteriormente no processamento e geração dos produtos digitais.

Na fase de processamento das imagens obtidas por meio de VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado), as coordenadas das imagens da área correspondente a Atins, na Foz do Rio Preguiças, foram submetidas a correções por meio da utilização de pontos de controle estrategicamente distribuídos ao longo da área mapeada. Após a correção das imagens, iniciou-se o processo de processamento, empregando software específico destinado ao processamento fotogramétrico.

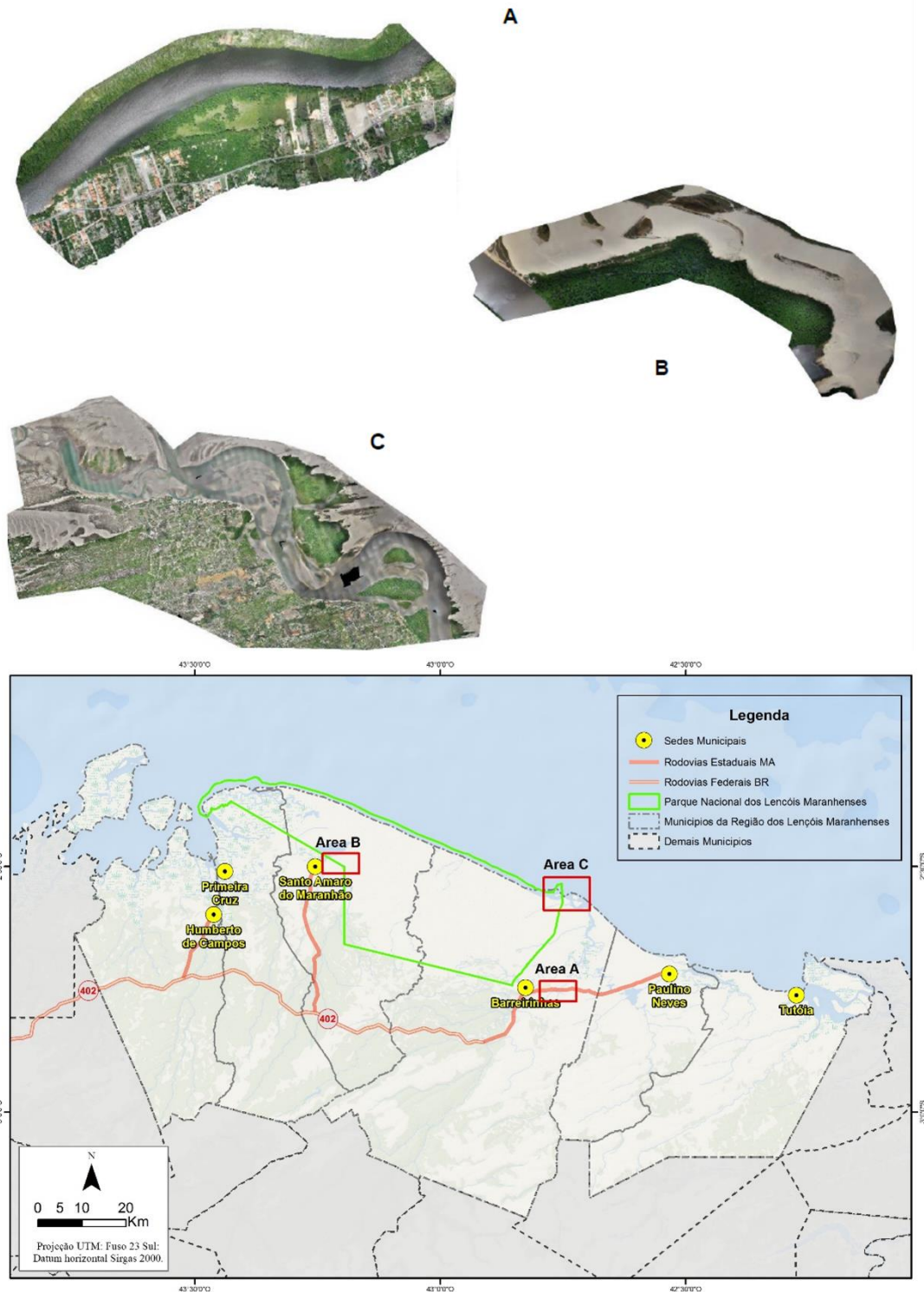
Em seguida, procedeu-se à etapa de alinhamento das imagens, na qual se realizou a fototriangulação, uma técnica que determina as coordenadas horizontais e verticais com base em medições efetuadas nas imagens. O resultado desse processo é a obtenção de uma nuvem esparsa de pontos, cuja função primordial consiste em representar o sistema de coordenadas do terreno de maneira precisa e georreferenciada. Essa nuvem de pontos materializa as informações do terreno, viabilizando análises subsequentes e a geração de produtos cartográficos de alta qualidade e precisão.

Após o alinhamento foram utilizados os pontos de controle, coletados em campo, para melhorar o posicionamento do bloco fotogramétrico e então reotimizadas as localizações de todas as imagens. Essa etapa não foi realizada nas áreas do bairro Mangaba na sede do município de Barreirinhas, somente nas demais áreas de pesquisa.

Na etapa seguinte foi realizada a densificação da nuvem de pontos que foi gerada no processo anterior, aumentando a quantidade de pontos na nuvem e diminuindo os espaços vazios. A nuvem de pontos foi classificada em: terreno, vegetação e estradas. Em seguida, o processo de triangulação dos pontos constrói um modelo tridimensional que representa de forma fiel o terreno mapeado. Nesta etapa também é possível representar o Modelo Digital de Superfície (MDS), caracterizado como a representação tridimensional detalhando os objetos de superfície. Por fim, foi elaborado o ortomosaico, que consistiu na ortorretificação das imagens onde as feições foram projetadas ortogonalmente com a escala constante, não apresentando os deslocamentos devidos ao relevo e à inclinação do sensor.

Com as imagens devidamente corrigidas, o software realizou a mosaicagem e criou um único produto para cada área mapeada com drone, conforme demonstrado na Figura 16.

Figura 16: Ortomosaicos RGB referentes às áreas A – Bairro Mangaba, margem do rio Preguiça, B – Bairro Olho d'água – Santo Amaro do Maranhão e C – Atins/Foz do Rio Preguiças.



Fonte: Registros da pesquisa. Elaborado pelo autor (2023).

A acurácia dos dados levantados por drone correspondeu ao esperado, conforme apresentado a seguir no Quadro 4.

Quadro 4: Acurácias posicionais dos pontos de controle e de checagem em relação aos eixos X, Y e Z.

Pontos de Checagem (Total)	Erro X (cm)	Erro Y (cm)	Erro Z (cm)	Total (cm)
3	2.8863	3.42327	46.5399	46.7549
Pontos de Controle (Total)	Erro X (cm)	Erro Y (cm)	Erro Z (cm)	Total (cm)
8	0.183554	0.701193	0.213354	0.755569

Fonte: Registros da pesquisa. Elaborado pelo autor (2023).

Os erros referentes aos Pontos de Controle total se referem à diferença encontrada entre o alinhamento do bloco fotogramétrico e os pontos de controle. Os erros dos pontos de checagem consistem na diferença do bloco fotogramétrico após realizado o ajuste pelos pontos de controle. Os pontos de checagem não são utilizados para ajustes, somente para conferência.

No decorrer da aplicação desta metodologia, tornou-se inegável o valor das tecnologias geoespaciais, tais como imagens de satélite, sistemas de informações geográficas, processamento de dados em nuvem e levantamentos em campo, como recursos essenciais para a coleta, análise e representação dos dados necessários a pesquisa. A integração efetiva dessas ferramentas proporcionou uma visão holística e detalhada dos aspectos socioambientais abordados, contribuindo significativamente para a compreensão de padrões, relações espaciais e dinâmicas que se mostram cruciais na consecução dos objetivos desta tese. A abordagem multidisciplinar e a convergência de informações espaço-temporais, socioeconômicas e ambientais, , estabeleceram uma sólida base para a investigação das intrincadas interações entre a sociedade e a natureza.

Capítulo 4: Resultados e Discussões

Com o avanço contínuo de métodos e técnicas inovadoras de visualização de dados geoespaciais, a Cartografia tem se adaptado para incorporar uma variedade crescente de fontes de informações em suas representações. Essas fontes, em sua maioria, consistem em conjuntos de dados geoespaciais acessíveis por meio de plataformas digitais que oferecem mapas interativos e ferramentas de análise espacial. Essa evolução tem contribuído para a expansão dos sistemas de mapeamento atuais e o acompanhamento das tendências emergentes, conforme discutido por Kraak *et al.* em 2020. Nesse sentido, a Cartografia continua desempenhando um papel crucial na nossa capacidade de compreender, analisar e interagir com o mundo ao nosso redor.

A capacidade de sobrepor informações geoespaciais provenientes de diversas fontes e formatos, seja em plataformas interativas baseadas na nuvem ou em SIGs instalados em dispositivos físicos, desempenha um papel fundamental na identificação de relações e padrões espaciais, bem como na compreensão de fenômenos geográficos e de suas interconexões. Essas representações cartográficas, geradas dentro de um ambiente computacional e combinadas com o conhecimento humano sobre esses processos, têm o potencial de impulsionar avanços significativos na análise geográfica, como discutido por MacEachren *et al.* 2000.

Neste capítulo, os resultados derivados dos métodos, técnicas e procedimentos empregados na pesquisa são apresentados, com um foco inicial na análise da dinâmica de evolução do uso e da cobertura da terra na microrregião dos Lençóis Maranhenses, abrangendo o período de 1985 a 2021. Esta análise é conduzida com uma abordagem quantitativa que examina o avanço, o recuo e as tendências espaciais das diversas classes mapeadas. Uma ênfase especial é dada às áreas onde novos empreendimentos e estruturas

foram construídos, que são descritas de forma detalhada e documentadas por meio de registros fotográficos em nível de microrregião.

Adicionalmente, o estudo se aprofunda em áreas específicas selecionadas como "áreas testes". Estas áreas foram escolhidas com base na avaliação dos resultados do mapeamento e nas informações obtidas através de visitas de campo. Estas "áreas testes" são particularmente interessantes, pois representam diferentes padrões de expansão da ocupação, quer seja nas proximidades de cursos d'água ou sobre áreas de vegetação. A análise destas áreas oferece insights valiosos sobre os processos de transformação do uso da terra e a interação entre os diferentes elementos do ambiente.

Além disso, a identificação e análise dessas "áreas testes" permitem a compreensão mais aprofundada dos fatores que impulsionam o desenvolvimento e a ocupação em diferentes partes da microrregião dos Lençóis Maranhenses. Isso contribui para uma compreensão mais abrangente das mudanças no ambiente e das dinâmicas socioeconômicas que moldam a região ao longo do tempo. Portanto, este capítulo desempenha um papel crucial na contextualização dos resultados e na interpretação das mudanças observadas na paisagem da microrregião.

4.1. Análise da dinâmica do uso e da cobertura da terra

A análise da dinâmica do uso e da cobertura da terra na microrregião dos Lençóis Maranhenses foi conduzida utilizando os dados gerados pelo projeto Mapbiomas. Este projeto disponibiliza séries anuais de informações sobre o uso e a cobertura da terra, obtidas por meio da classificação de imagens orbitais. Além disso, o Mapbiomas integra dados temáticos fornecidos por instituições parceiras em sua análise. Importante ressaltar que essa avaliação contou com a contribuição de especialistas com experiência em desenvolvimento de ferramentas computacionais, análise de dados e sensoriamento

remoto, garantindo assim uma análise abrangente e precisa da evolução do uso da terra na região dos Lençóis Maranhenses.

Os mapas de uso e cobertura da terra foram desenvolvidos com base nos atributos das classes identificadas nos dados disponibilizados. A legenda inclui os códigos e as classes correspondentes, destacados a seguir: 1.1 Formação Florestal; 1.2 Formação Savânica; 1.3 Mangue; 3.1 Pastagem; 4.1 Praias, Dunas e Areal Lavoura temporária; 4.2 Área Urbanizada; 5.1 Rios, Lagoas e Oceano; Restinga Herbácea; Apicum; Campo Alagado. Essa legenda detalhada facilita a interpretação e a análise dos mapas, permitindo uma representação precisa das diferentes categorias de uso e cobertura da terra na região.

A análise dos dados disponibilizados pelo Mapbiomas para a microrregião dos Lençóis Maranhenses possibilita a identificação das classes que apresentaram aumento ou diminuição em sua área ao longo do período de avaliação. Com base nesse comparativo, foram gerados mapas classificados para a microrregião, abrangendo os anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2021. Esses mapas fornecem uma representação visual das mudanças ocorridas na região ao longo do tempo, destacando as variações nas classes de uso e cobertura da terra.

A análise multitemporal das mudanças no uso e ocupação da terra na microrregião dos Lençóis Maranhenses revela um quadro dinâmico e complexo ao longo das décadas. No período de 1985 a 2021, várias tendências significativas emergiram, proporcionando insights importantes para a gestão ambiental e o planejamento regional.

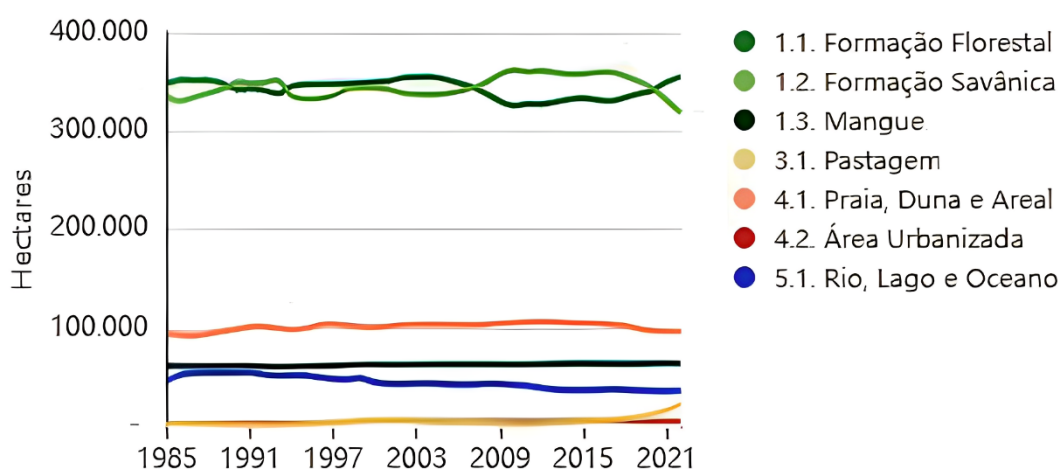
Observa-se uma redução nas áreas de floresta e savana, indicando uma pressão crescente sobre os ecossistemas naturais da região (Figura 17). Essa diminuição está associada principalmente à expansão da área urbanizada, ao avanço das lavouras temporárias e ao aumento das pastagens. O crescimento das áreas urbanas é evidente,

refletindo a urbanização e o desenvolvimento econômico da região, bem como a pressão da atividade turística que vem crescendo ao longo dos anos.

Em contraste, as áreas de mangue e campos alagados mostram uma tendência à estabilidade ou, em alguns casos, um aumento, sugerindo esforços de conservação bem-sucedidos e a conscientização sobre a importância desses ecossistemas locais. As áreas de restinga herbácea e apicum também permanecem relativamente constantes, indicando uma certa resiliência dessas paisagens costeiras (Gráfico 1). A preservação dos manguezais e campos alagados é de extrema importância, pois esses ecossistemas desempenham papéis cruciais na proteção da costa contra erosão, na manutenção da biodiversidade e na captura de carbono. Portanto, políticas de conservação e restauração dessas áreas podem ser essenciais para mitigar os impactos das mudanças no uso da terra.

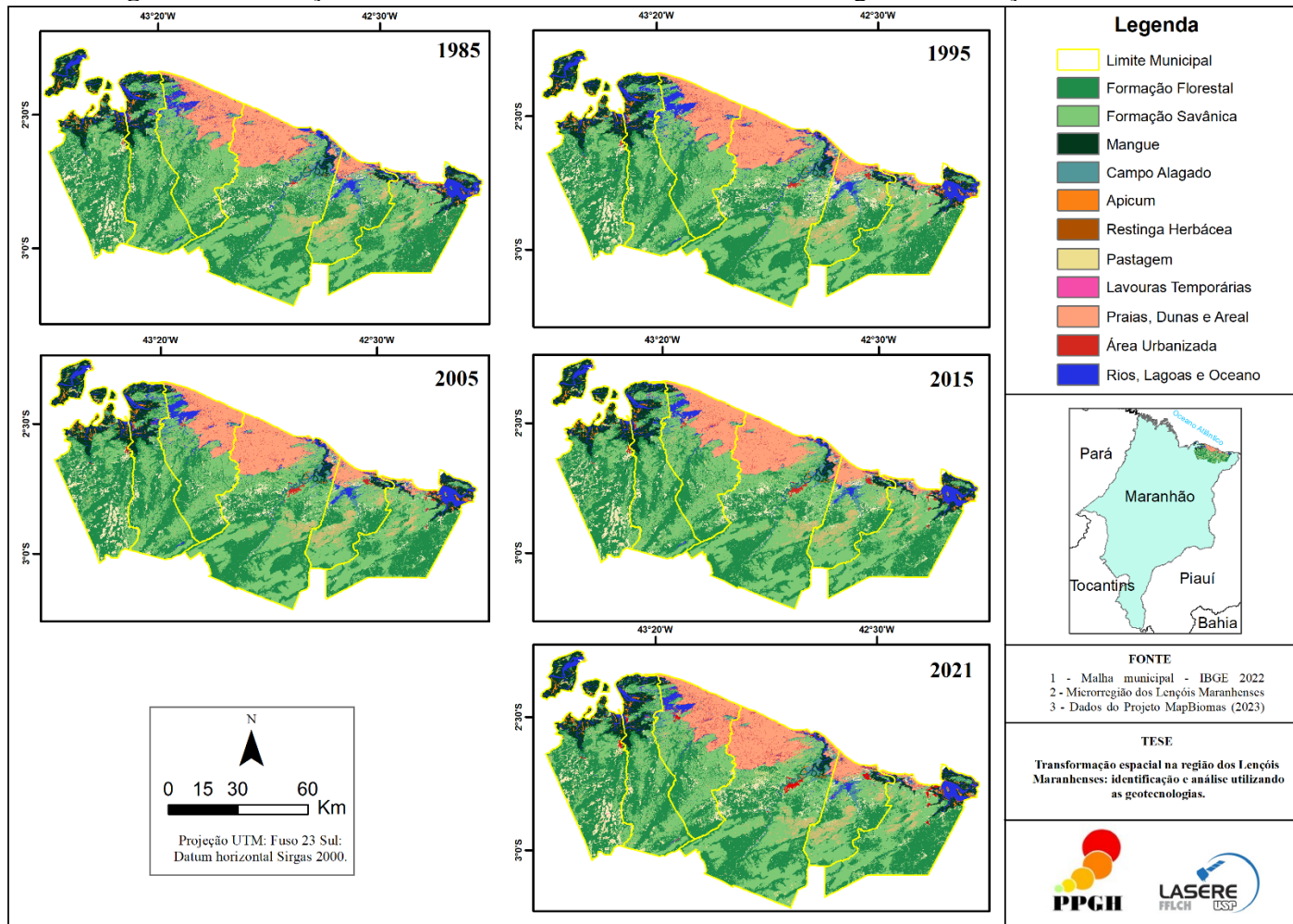
As praias, dunas e areais exibem flutuações sazonais, enquanto as áreas de rios, lagos e oceanos mantêm sua configuração geral, apesar de possíveis mudanças locais. Essa análise multitemporal fornece uma visão abrangente da evolução do uso da terra nos Lençóis Maranhenses, destacando a necessidade de equilibrar o desenvolvimento humano com a preservação dos valiosos ecossistemas naturais da região.

Gráfico 1: Avaliação classes de Uso e Cobertura de 1985 a 2021.



Fonte: Mapbiomas

Figura 17: Evolução do uso e da cobertura da terra na microrregião dos Lençóis Maranhenses



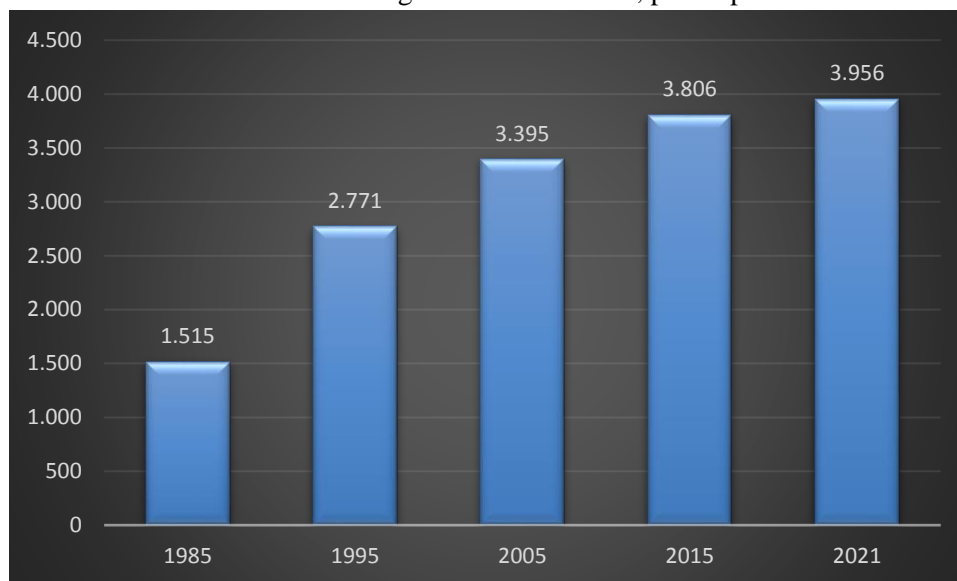
Fonte: Mapbiomas

Ao analisar os dados populacionais disponibilizados pelo IBGE e efetuar uma comparação entre os censos de 2000 e 2010, identificamos um crescimento expressivo de 31,06% na Microrregião dos Lençóis Maranhenses ao longo desse período de 10 anos. Para uma atualização mais recente, considerando os dados populacionais estimados para o ano de 2018, verificou-se um crescimento de 10,89% em relação ao ano de 2010.

É notável que os municípios de Barreirinhas e Tutóia foram os que experimentaram os maiores aumentos em termos de população absoluta, respectivamente. No entanto, em termos percentuais, chama a atenção o desempenho do município de Santo Amaro do Maranhão, que registrou um notável aumento de 61,85% em seu contingente populacional desde o ano 2000. Esse crescimento populacional, que dá continuidade ao contexto anterior, pode ser resultado de fatores como migração, desenvolvimento econômico local ou mudanças nas taxas de natalidade e mortalidade, e merece uma análise mais aprofundada para compreender suas implicações socioeconômicas e demográficas.

Ao examinarmos de forma mais detalhada os dados populacionais do Município de Barreirinhas, torna-se evidente um aumento notável da população urbana, sobretudo a partir do ano de 2000. Esse crescimento foi particularmente significativo, apresentando um aumento de 48% em relação ao ano de 1991. É plausível inferir que esse aumento populacional pode estar correlacionado com a construção de estradas e o desenvolvimento da infraestrutura urbana na cidade, especialmente durante a década de 1990. Essas melhorias na infraestrutura urbana provavelmente exerceram um papel atrativo, resultando na migração de moradores da área rural para a zona urbana de Barreirinhas, contribuindo assim para o crescimento demográfico da região urbana (Gráfico 02). Essa tendência destaca a importância de considerar o contexto histórico e as transformações socioeconômicas na análise demográfica de áreas específicas (Figura 18).

Gráfico 2: Área Urbana da Microrregião de Barreirinhas, para o período de 1985 a 2021.

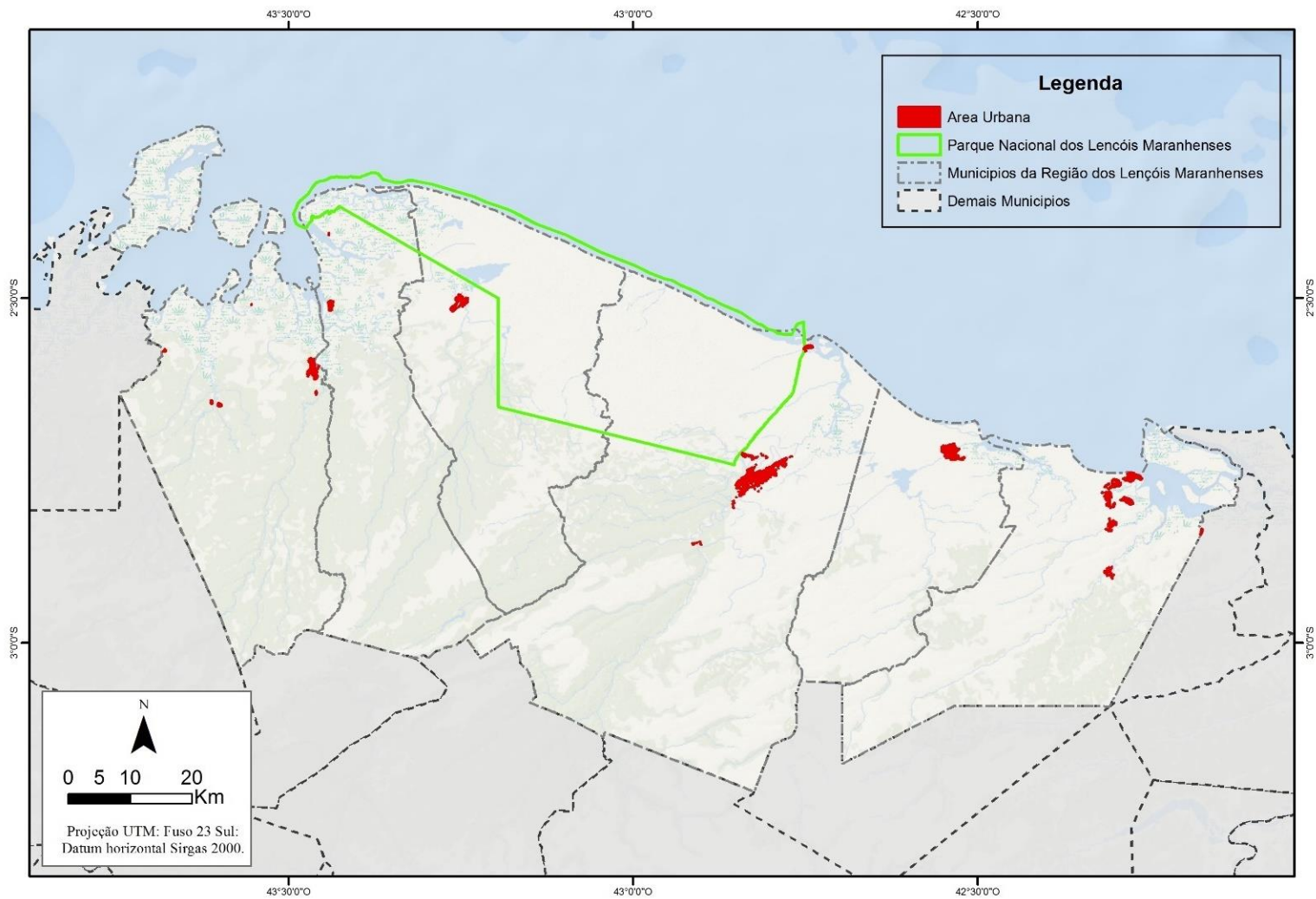


Fonte: IBGE

Nas zonas rurais dos municípios, particularmente nas proximidades do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses e da Área de Proteção Ambiental (APA) da Foz do Rio Preguiças (Pequenos Lençóis), a ocupação humana se manifesta de maneira fragmentada. Essa ocupação ocorre principalmente em locais próximos aos rios, lagos, estradas vicinais e em certas áreas da faixa litorânea dos municípios. Nestas áreas, é comum encontrar pequenas propriedades rurais e povoados que se estendem tanto nos arredores como dentro do Parque Nacional.

Nos centros urbanos dos municípios, como as sedes municipais, observa-se o maior adensamento populacional. Isso se traduz em um aumento da oferta de serviços públicos, embora, em alguns setores, como a área da saúde e o acesso a povoados mais remotos, ainda persistam deficiências significativas. Esse contraste entre as áreas urbanas e rurais reflete desafios comuns enfrentados em regiões de transição ecológica e ressalta a necessidade de políticas públicas que abordem tanto o desenvolvimento urbano quanto a preservação ambiental.

Figura 18: Area urbana na microrregião dos Lençóis Maranhenses



Fonte: Mapbiomas

As mudanças em curso na região dos Lençóis Maranhenses também têm um impacto considerável no cenário geoeconômico, especialmente devido à implantação de novos empreendimentos. Um destaque notável as questões específicas das comunidades rurais, garantindo uma distribuição equitativa de serviços e oportunidades.

Os indicadores disponíveis destacam a presença de baixos padrões de qualidade de vida na região, o que se reflete na escassez ou total ausência de infraestrutura e serviços essenciais para atender às necessidades sociais das comunidades, sobretudo para os habitantes dos povoados dispersos por toda a área dos Lençóis Maranhenses. Essa carência de recursos e serviços básicos sublinha os desafios socioeconômicos enfrentados por essa população e a urgente necessidade de investimentos em infraestrutura e políticas públicas voltadas para a melhoria das condições de vida e bem-estar nessas localidades remotas.

No que diz respeito aos aspectos econômicos, ao analisarmos os indicadores, como o Produto Interno Bruto (PIB) e o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) para o município de Barreirinhas e os demais municípios da Microrregião, observa-se um crescimento contínuo no PIB desses municípios, pelo menos de acordo com os dados disponibilizados pelo IBGE para os anos de 2005 e 2010. Notavelmente, o Município de Barreirinhas desponta como o de maior PIB na região, tendo dobrado o valor ao longo do período analisado. Esse aumento no PIB sugere um crescimento econômico significativo e pode ser resultado de vários fatores, incluindo o desenvolvimento do turismo na região, a expansão da infraestrutura e a diversificação da economia local. No entanto, é importante complementar essa análise com outros indicadores, como o IDHM, para obter uma compreensão mais completa do desenvolvimento socioeconômico na Microrregião dos Lençóis Maranhenses.

No contexto geral, a região sob análise ocupava a penúltima posição no ranking das 32 regiões do estado, de acordo com os dados do censo do IBGE de 2000. Contudo,

observou-se uma melhora significativa ao atingir a 28ª posição no ano de 2010. Essa mudança demonstra claramente a necessidade premente de implementar políticas públicas destinadas a promover o aprimoramento desses indicadores, abrangendo os aspectos fundamentais que contribuem para a oferta de condições de vida superiores para a população. Essa evolução é um sinal positivo de que, com investimentos adequados e estratégias eficazes, é possível alcançar progressos significativos no desenvolvimento socioeconômico e na qualidade de vida na região

4.1.1. Análise espaço-temporal de uso e cobertura da terra

Ao realizar uma análise das mudanças nos padrões de uso da terra na microrregião, a partir da comparação de mapas com base no ano de 1985 e finalizando no ano de 2021, que coincide com o término das atividades de campo conduzidas neste estudo, é possível identificar um aumento notável nas áreas urbanas. Esse crescimento pode representar oportunidades econômicas, mas também requer um planejamento cuidadoso para evitar impactos negativos no meio ambiente.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 1, a extensão das áreas de pastagem aumentou substancialmente, passando de 2.964 hectares para 16.003 hectares, o que representa um acréscimo de aproximadamente 13.000 hectares, concentrando-se especialmente nas regiões limítrofes entre os municípios de Barreirinhas e Paulino Neves, indicando uma mudança significativa nos padrões de uso da terra nessa área específica. Esse aumento pode ser um indicativo da expansão da atividade agropecuária na região, o que, embora possa trazer benefícios econômicos, também levanta preocupações sobre a conservação dos ecossistemas naturais que pode ter implicações para o uso da terra e para o ecossistema local, incluindo os próprios Lençóis Maranhenses.

Tabela 1: Quantitativo de área das principais classes mapeadas na microrregião dos Lençóis Maranhenses

Classe/Ano	1985	1995	2005	2015	2021
Formação Florestal	348.535	347.326	353.054	333.599	350.259
Formação Savânica	335.057	332.849	337.714	357.967	331.217
Mangue	61.226	60.808	62.755	63.402	63.636
Pastagem	2.964	2.148	3.893	4.645	16.003
Praia, Duna e Areal	94.726	99.248	103.543	104.287	96.385
Área Urbanizada	1.515	2.771	3.395	3.806	3.956
Rio, Lagoa e Oceano	46.026	51.630	42.427	36.708	35.098

Fonte: Mapbiomas

Embora tenha havido flutuações ao longo dos anos, a formação florestal manteve-se relativamente estável no período, com um aumento discreto até 2021. Isso sugere que a região tem conseguido preservar em grande parte suas áreas de floresta. Assim como a formação florestal, a formação savânica também se manteve relativamente constante ao longo das décadas, com algumas oscilações, mas com uma tendência de aumento recente.

As áreas de pastagem estão dispersas por várias regiões da microrregião, servindo como meio de subsistência para pequenos produtores e comunidades que mantêm rebanhos de bovinos e ovinos em escala reduzida. No município de Santo Amaro, essas áreas de pastagem concentram-se particularmente nas proximidades do Lago de Santo Amaro, coexistindo com outros tipos de cobertura do solo, como áreas de restinga herbácea, faixas de dunas e zonas de ocupação humana. Essa distribuição espacial das pastagens reflete as práticas agrícolas e de criação de gado adaptadas às condições locais e ao ambiente geográfico diversificado da região dos Lençóis Maranhenses (Figura 19).

Figura 19: Area de pastagem nas proximidades do Lago de Santo Amaro



Fonte: Registro da pesquisa, em 05/12/2020.

As áreas de mangue apresentaram um crescimento constante ao longo do período, indicando uma expansão moderada desse ecossistema. Isso pode ser atribuído a fatores como o aumento da sedimentação nas áreas costeiras. Outra observação importante é a manutenção das áreas de praia, duna e areal, que permaneceram relativamente estáveis ao longo do período analisado. Isso é crucial para a preservação do patrimônio natural e turístico da região, uma vez que essas características únicas são um grande atrativo para visitantes. No entanto, a análise também destaca a necessidade de gestão e planejamento cuidadosos para equilibrar o desenvolvimento econômico com a proteção do meio ambiente.

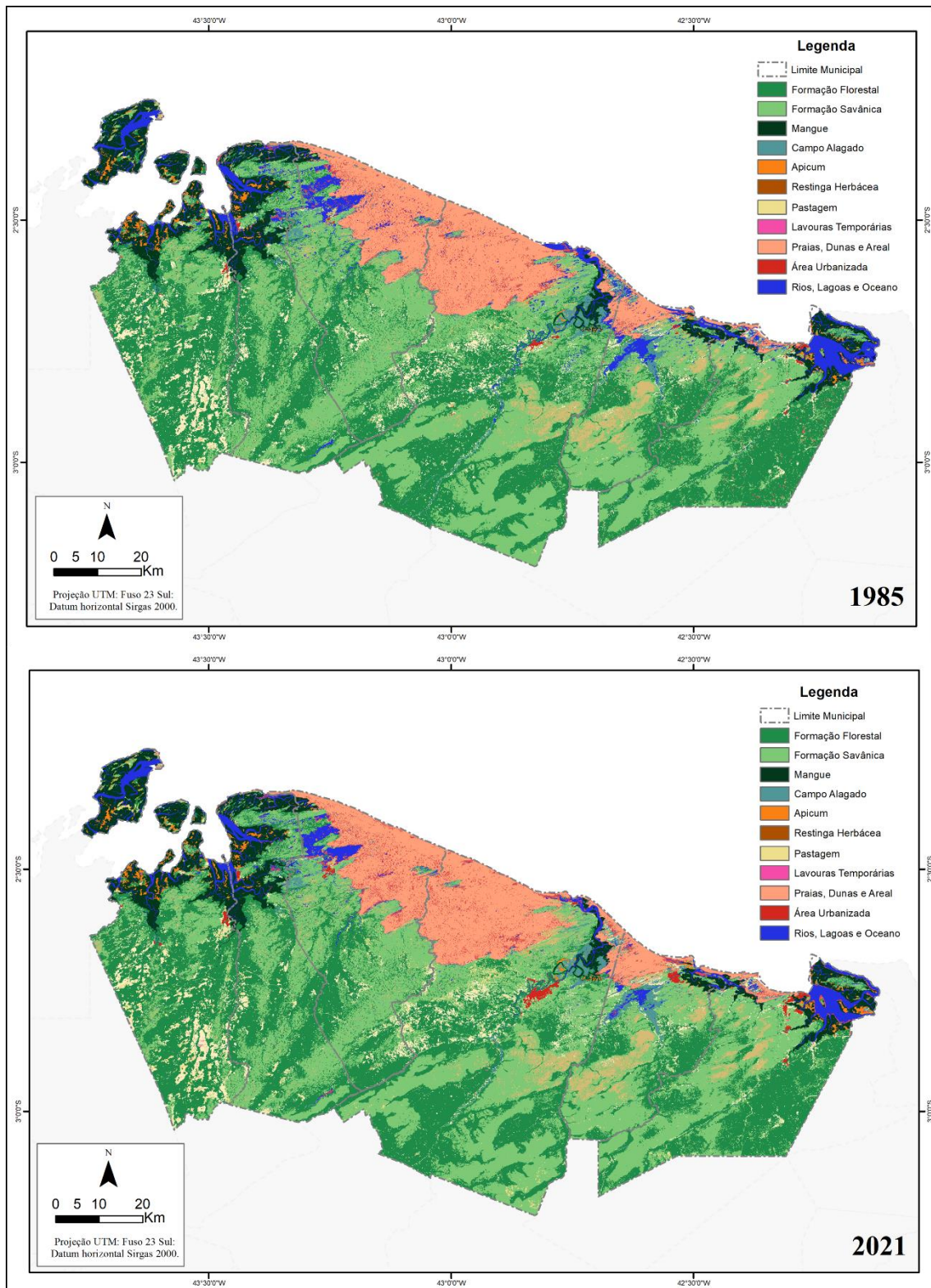
No mapeamento comparativo da microrregião ao longo desses trinta e seis anos de análise, a classe de mangue registrou um incremento modesto de apenas 2,41 hectares, praticamente mantendo-se estável durante esse período. Diante disso, optou-se por concentrar a pesquisa na identificação de áreas em que as dunas apresentam avanço sobre os manguezais e também sobre áreas habitadas, com o objetivo de compreender a

dinâmica espaço-temporal desses processos. Dentre as localidades mapeadas como as mais impactadas pelo avanço das dunas, destacam-se: Cajueiro, Betânea, Mocambo e Lagoa da Esperança no município de Santo Amaro, além de Bracinho, Buriti Amarelo e Ponta do Mangue no município de Barreirinhas. Essa análise permite identificar as áreas mais vulneráveis às mudanças ambientais na região, oferecendo informações valiosas para a tomada de decisões e o planejamento de ações de mitigação e adaptação.

A análise espaço-temporal sobre os mapas de uso da terra oferece insights valiosos sobre as mudanças socioambientais em curso na microrregião dos Lençóis Maranhenses. Esse conhecimento é essencial para orientar políticas públicas, práticas de conservação e planejamento de uso da terra que garantam um desenvolvimento sustentável e a preservação desse ecossistema singular.

Ao analisar os dados de uso da terra na microrregião dos Lençóis Maranhenses, nota-se algumas tendências e mudanças notáveis ao longo das últimas décadas. Essa análise ressalta a importância de monitorar e compreender as mudanças nos padrões de uso da terra em uma região tão sensível quanto os Lençóis Maranhenses. Essas mudanças têm implicações tanto para a conservação do ecossistema único da região quanto para o desenvolvimento socioeconômico local, especialmente no contexto do turismo crescente na área. É essencial que essas mudanças sejam gerenciadas de forma sustentável para garantir um equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a preservação ambiental (Figura 20).

Figura 20: Comparativo mapa de uso e cobertura da terra da microrregião de Barreirinhas 1984-2021.



Fonte: Mapbiomas

Os dados também revelam a presença de pequenas manchas de povoamento em toda a extensão da microrregião, além das áreas urbanas mais amplas que correspondem às sedes municipais. Ao longo da pesquisa, observamos que essas localidades estão frequentemente dispostas espacialmente nas proximidades do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, com algumas delas situadas parcialmente dentro e parcialmente fora dos limites do parque, como é o caso de Atins em Barreirinhas e Campo Novo em Santo Amaro. Em nossa análise, identificamos um total de 68 dessas pequenas áreas de povoamento dentro de uma zona de influência de até cinco quilômetros do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses. Adicionalmente, durante as atividades de campo, visitamos e mapeamos outras vinte dessas localidades. Utilizamos o mapeamento prévio como base para nossa visita no local, permitindo-nos validar as categorias indicadas no mapa e registrar fotograficamente essas localidades, como exemplificado em Mato Grosso, município de Santo Amaro - MA. Esse processo de mapeamento e validação no campo contribuiu significativamente para nossa compreensão da dinâmica socioespacial na região (Figura 21).

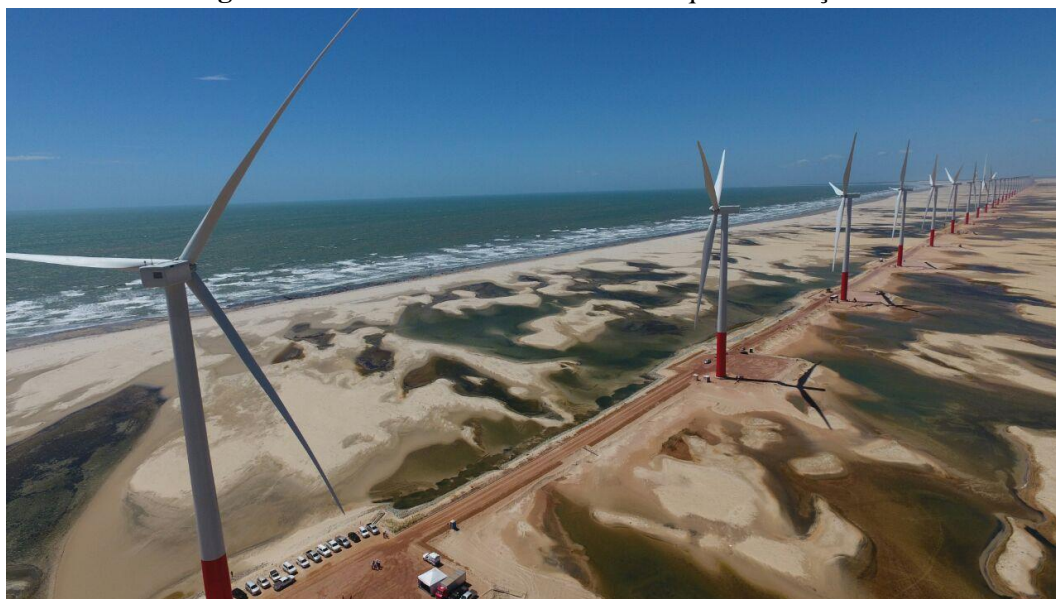
Figura 21: Localidade de Mato Grosso, município de Santo Amaro do Maranhão.



Fonte: Registro da pesquisa, em 04/12/2021.

As mudanças em curso na região dos Lençóis Maranhenses também têm um impacto considerável no cenário geoeconômico, especialmente devido à implantação de novos empreendimentos. Um destaque notável foi a instalação do parque eólico de Paulino Neves, em 2015 conhecido como o complexo eólico Delta 03, situado nos municípios de Barreirinhas e Paulino Neves, com uma capacidade instalada de geração de 220,8 MW (Figura 22).

Figura 22: Linha de torres eólicas nos Pequenos Lençóis.



Fonte: Ômega Energia, publicada no jornal o Imparcial em 01/04/2018.

A instalação deste complexo eólico não apenas representa um avanço na diversificação da matriz energética da região, reduzindo a dependência de fontes tradicionais, como também tem implicações geoeconômicas significativas. A geração de energia eólica promove o desenvolvimento econômico local ao criar empregos diretos e indiretos em todas as fases do empreendimento, desde a construção até a operação das turbinas eólicas. Além disso, a capacidade de fornecer energia ao NOS (Operador Nacional do Sistema), sob a supervisão da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), é um marco fundamental na contribuição da região para a estabilidade do sistema elétrico nacional.

Essa análise geoeconômica destaca o potencial das energias renováveis como um motor para o crescimento econômico regional sustentável. No entanto, é importante continuar avaliando os impactos sociais, ambientais e econômicos a longo prazo desses empreendimentos, bem como identificar oportunidades adicionais para o desenvolvimento econômico e energético na região dos Lençóis Maranhenses.

No ano de 2018, ocorreu mais um leilão que resultou na autorização para a implantação de um novo complexo eólico na região, denominado Delta 05, também localizado no município de Paulino Neves. Este complexo possui uma capacidade instalada de 54 MW e teve sua operação iniciada em novembro de 2018. Esse empreendimento adicionou ainda mais capacidade de geração de energia eólica à região, consolidando seu papel como um importante polo na produção de energia limpa e renovável. A expansão contínua da capacidade de geração de energia eólica na área não apenas contribui para a diversificação da matriz energética do país, mas também promove o desenvolvimento econômico local, criando oportunidades de emprego e fortalecendo a infraestrutura energética da região dos Lençóis Maranhenses.

A construção e pavimentação de novas rodovias desempenham um papel de destaque nas transformações que têm ocorrido na região. A demanda por uma estrada pavimentada que conectasse o município de Barreirinhas ao restante do Nordeste brasileiro por via litoral era uma reivindicação antiga. Em 15 de janeiro de 2019, essa demanda foi finalmente atendida com a inauguração oficial da rodovia estadual MA-315. Embora seja um trecho relativamente curto, com apenas 38 km, essa rodovia desempenha um papel significativo ao proporcionar aos visitantes uma alternativa muito mais eficiente e acessível. Anteriormente, os visitantes precisavam percorrer uma distância de aproximadamente 500 km em estradas não pavimentadas para evitar as áreas de dunas e lagoas, o que representava uma jornada mais demorada e desafiadora.

A pavimentação da MA-315, não apenas facilitou o acesso à região dos Lençóis Maranhenses, como também teve impactos substanciais na indústria do turismo local. O acesso mais fácil e rápido atraiu um número crescente de turistas, impulsionando a economia local através do aumento das atividades turísticas, como hospedagem, restaurantes e serviços relacionados ao turismo. Além disso, a melhoria na infraestrutura viária é uma parte fundamental do desenvolvimento regional, conectando comunidades e facilitando o escoamento de produtos agrícolas e outros recursos. No entanto, é importante monitorar os impactos ambientais e sociais da pavimentação de estradas e garantir práticas sustentáveis de desenvolvimento em consonância com a preservação do ecossistema frágil dos Lençóis Maranhenses (Figuras 23 e 24).

Figura 23: Foto de *drone* da MA 315, trecho Barreirinhas – Paulino Neves–MA.



Fonte: Registro da pesquisa, em 02/12/2020.

Figura 24: Foto de *drone* da MA 315, trecho próximo a Lagoa da Taboa.



Fonte: Registro da pesquisa, em 02/12/2020.

Outro município que experimentou avanços significativos em termos de infraestrutura viária na região dos Lençóis Maranhenses foi Santo Amaro do Maranhão. A construção da rodovia MA-320 em 2018, estabeleceu uma conexão importante entre o povoado Sangue, na BR-402, e a sede do município, totalizando 47 km de extensão. Anteriormente, esse trecho era percorrido apenas por veículos traçados devido às condições adversas da estrada. A presença de rios e lagoas na região exigiu investimentos adicionais em pontes e sistemas de drenagem (Figura 25 e 26).

O investimento total em infraestrutura na região, de acordo com dados da SINFRA (Secretaria Estadual de Infraestrutura), foi estimado em aproximadamente 80 milhões de reais. Esses investimentos foram realizados por meio de uma parceria entre o Governo do Estado e empresas privadas, como a Ômega Engenharia, que detém os direitos de exploração da energia eólica na região. Essa iniciativa não apenas melhorou a

acessibilidade para os residentes locais, mas também contribuiu para o desenvolvimento econômico ao facilitar o transporte de recursos e produtos agrícolas. Além disso, a infraestrutura viária fortaleceu o potencial turístico da região, atraindo visitantes e promovendo o crescimento da indústria do turismo. No entanto, é fundamental adotar práticas sustentáveis de construção e infraestrutura para preservar o ambiente frágil dos Lençóis Maranhenses e garantir benefícios de longo prazo para a comunidade local.

Figura 25: Trecho da rodovia estadual MA-320 ligando BR – 402 a Santo Amaro.



Fonte: Registro da pesquisa, em 05/07/2018

Figura 26: Ponte sobre Rio Alegre no Povoado Alegre na rodovia estadual MA-320.



Fonte: Registro da pesquisa, em 05/07/2018.

Essas iniciativas têm como objetivo principal integrar a região dos Lençóis Maranhenses à chamada "Rota das Emoções", um circuito turístico que tem por meta e discurso fomentar o turismo nos estados do Maranhão, Piauí e Ceará. Já é perceptível um aumento na circulação de pessoas e mercadorias pela área, o que tem implicações significativas nas dinâmicas locais e no desenvolvimento econômico, social e ambiental. Portanto, é necessário realizar estudos que analisem de forma abrangente os impactos e os benefícios dessas transformações, levando em consideração tanto os aspectos positivos quanto os desafios que podem surgir no processo de desenvolvimento da região dos Lençóis Maranhenses.

Os municípios que abrigam alguma porção do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses (PARNA) apresentam um potencial considerável para o desenvolvimento do ecoturismo. Entretanto, atualmente, há notáveis disparidades em suas infraestruturas turísticas. Barreirinhas se destaca como uma localidade que oferece uma maior disponibilidade de pousadas e restaurantes, consolidando sua posição como um polo turístico bem estabelecido na região. Por outro lado, municípios como Santo Amaro e Primeira Cruz, apesar de também possuírem áreas do parque nacional em seus territórios, têm se empenhado mais recentemente no estímulo ao empreendedorismo voltado para atender a demanda turística.

A diferença na infraestrutura turística entre esses municípios reflete as distintas trajetórias de desenvolvimento do turismo na região. Barreirinhas, em particular, se beneficiou de investimentos mais antigos e da maior visibilidade como ponto de partida tradicional para explorar os Lençóis Maranhenses. No entanto, o potencial de ecoturismo em áreas menos desenvolvidas, como Santo Amaro e Primeira Cruz, oferece oportunidades significativas para o crescimento econômico local e a distribuição mais equitativa dos benefícios do turismo. Com a construção do trecho da MA – 320 que liga Santo Amaro à

Primeira Cruz, algumas iniciativas de incentivo, controle e gestão do Turismo começam a ser implementadas (Figura 27). À medida que esses municípios continuam a desenvolver suas infraestruturas e promover iniciativas de empreendedorismo, é possível que eles atraiam um número crescente de visitantes, contribuindo assim para o fortalecimento da economia regional. No entanto, é importante gerenciar esse crescimento de forma sustentável, considerando o impacto ambiental e social, e garantir que as comunidades locais também se beneficiem desse desenvolvimento.

Figura 27: Foto de *drone* do trecho da MA 320– que liga Santo Amaro a Primeira Cruz.



Fonte: Registro da pesquisa, em 13/12/2021.

A construção dos trechos das rodovias estaduais MA 315 que liga Paulino Neves a Barreirinhas e MA 320 que liga o povoado Sangue na BR – 402 ao Município de Santo Amaro impulsionaram as transformações socioespaciais na área de estudo. Desde o ano de 2021 iniciaram as obras de construção de uma ponte sobre o Rio Preguiças que ligará a sede municipal as localidades da área rural facilitando o acesso ao Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses (Figura 28).

Figura 28: Foto da Construção da Ponte sobre o Rio Preguiças – Barreirinhas-MA.



Fonte: Registro da pesquisa, em 14/05/2023.

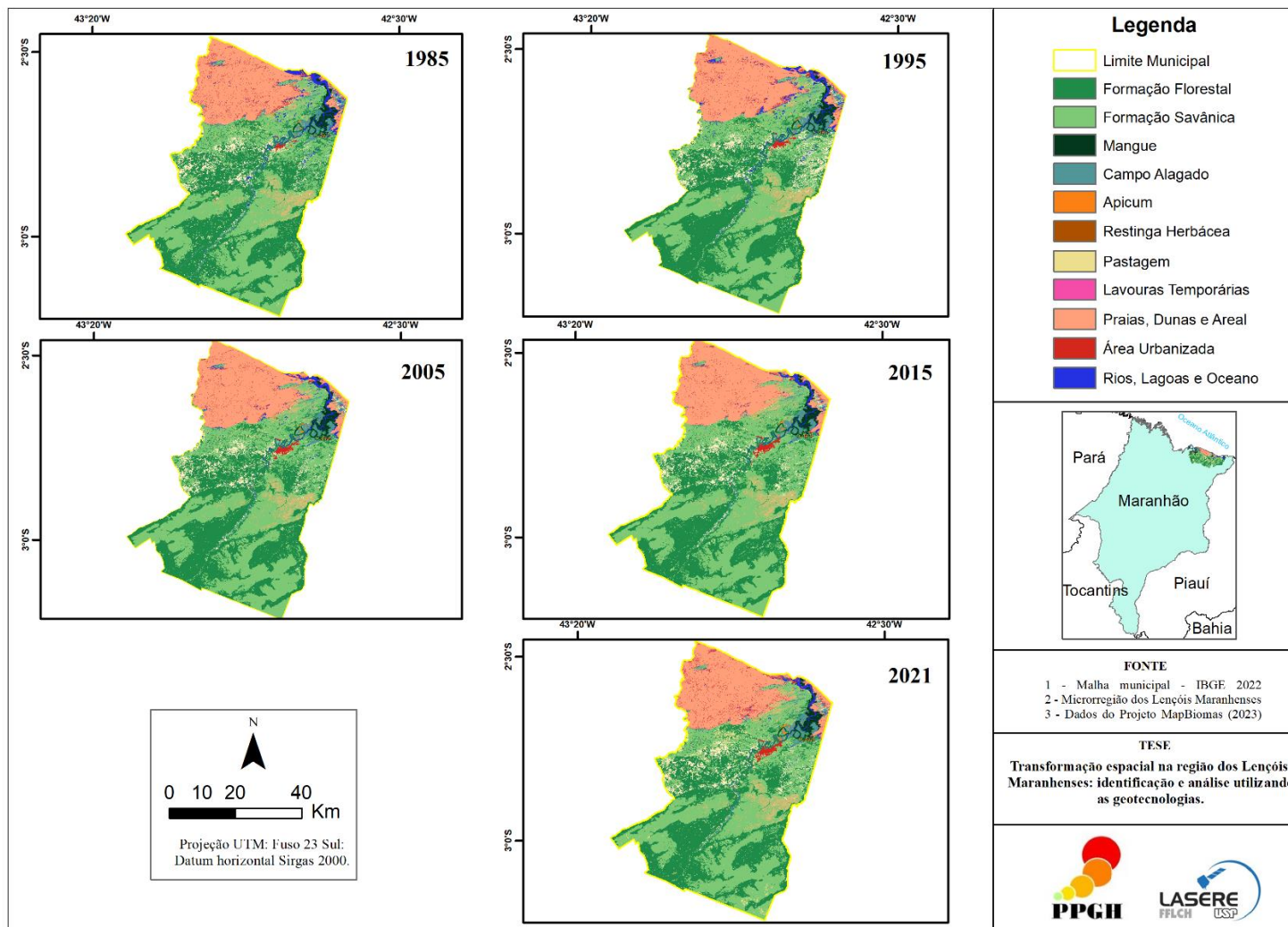
A partir dos dados levantados e das análises em curso, pode se inferir que ocorre uma expansão dos núcleos urbanos na região dos Lençóis Maranhenses (Tabela 2). Destaca-se a cidade de Barreirinhas, que teve considerável aumento de sua área periférica e de áreas de loteamento ao longo do trecho do curso do Rio Preguiças (Figuras 29 a 32).

Tabela 2: Quantitativo de área das principais classes mapeadas no município de Barreirinhas-MA

Classe/Ano	1985	1995	2005	2015	2021
Formação Florestal	97.531	98.276	97.876	92.688	95.277
Formação Savânica	108.361	106.371	111.160	116.600	108.865
Mangue	3.757	3.781	3.777	3.695	3.690
Pastagem	994	799	666	687	4.692
Praia, Duna e Areal	50.080	51.607	53.811	53.937	50.484
Área Urbanizada	508	947	1.287	1.469	1.544
Rio, Lagoa e Oceano	5.824	6.224	3.833	2.809	2.626

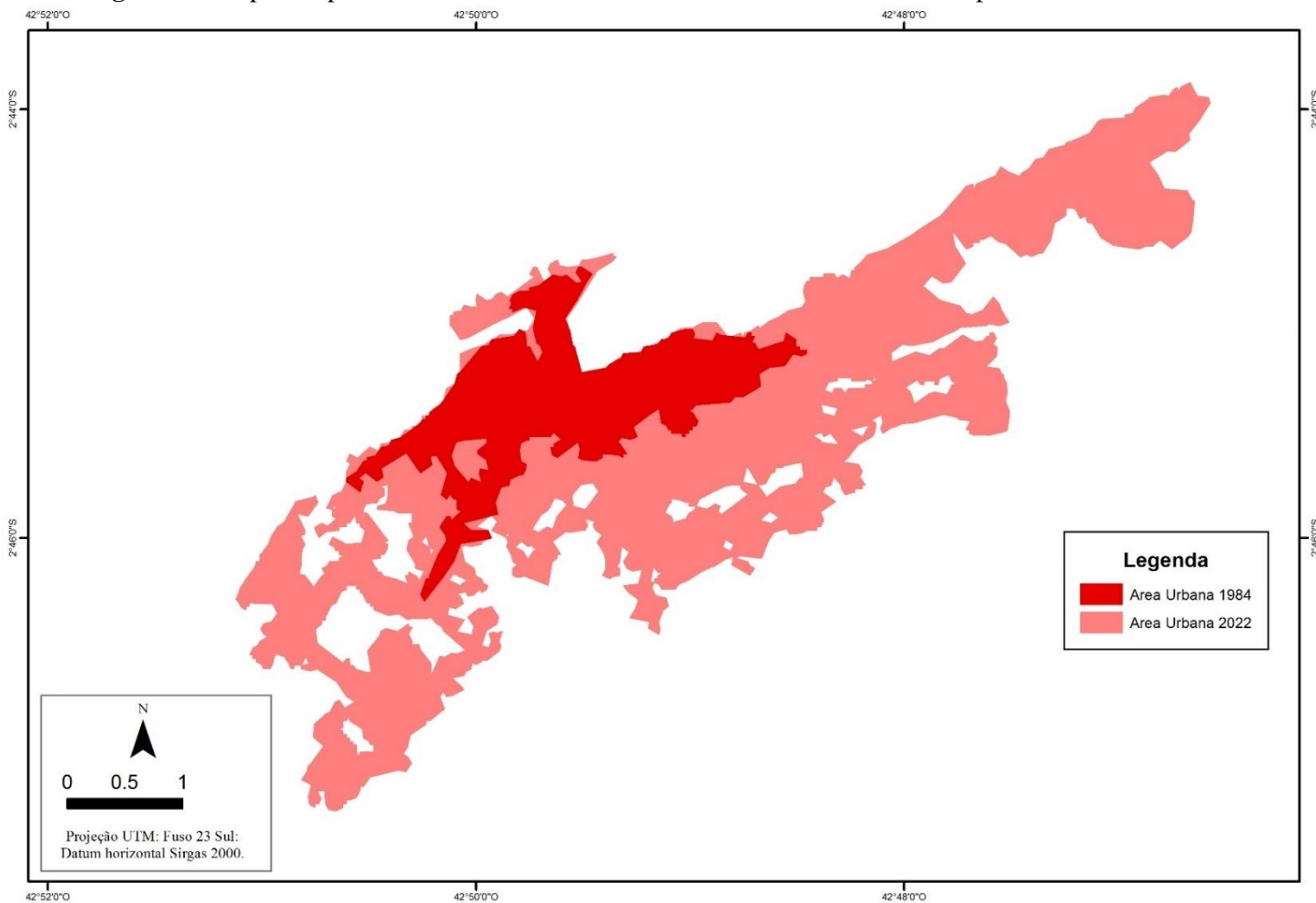
Fonte: Mapbiomas

Figura 29: Evolução do uso e da cobertura da terra de 1985 a 2021, no município de Barreirinhas-MA.



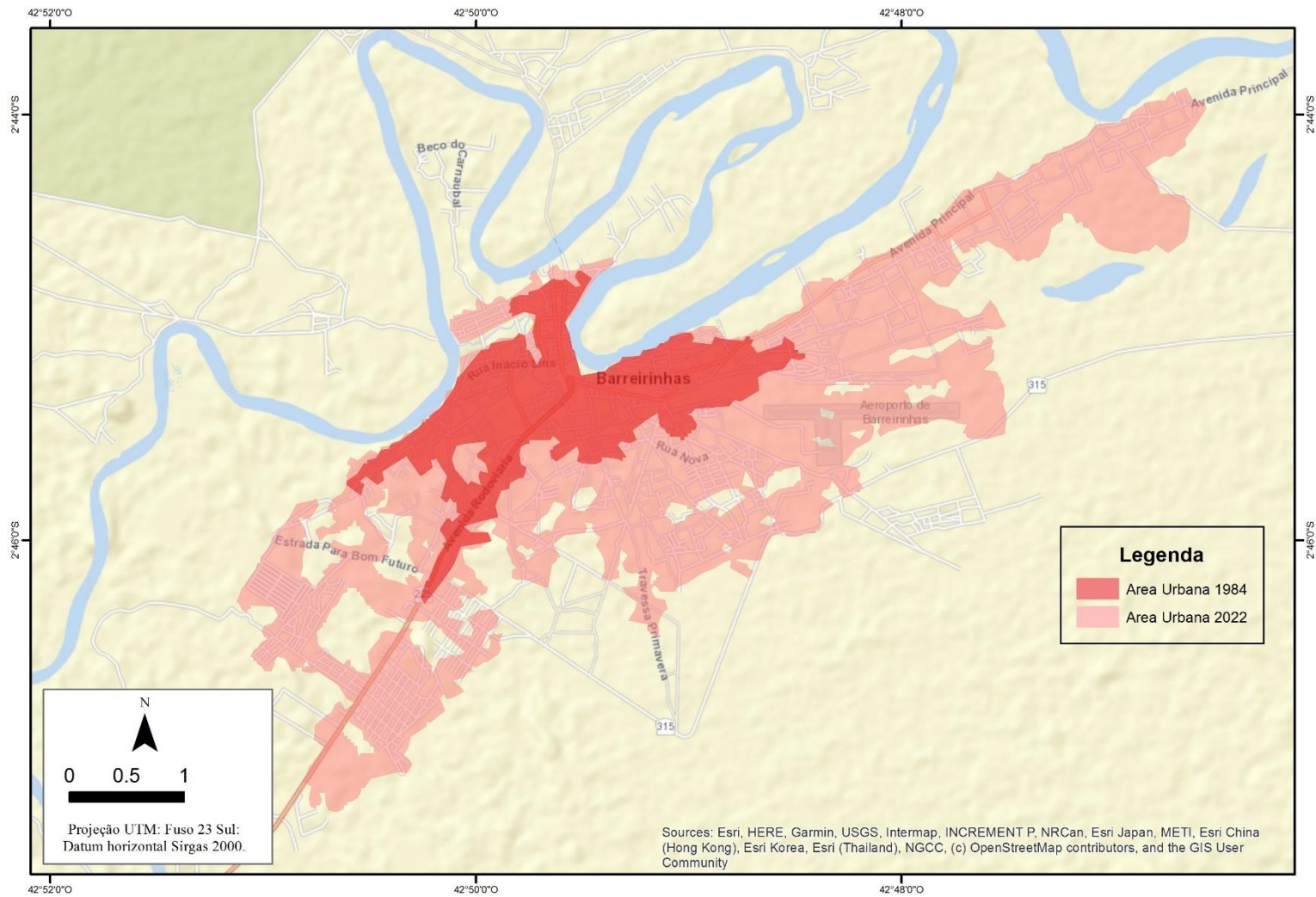
Fonte: Registro da pesquisa

Figura 30: Mapa comparativo da área urbana entre 1985 a 2021 na sede do município de Barreirinhas-MA.



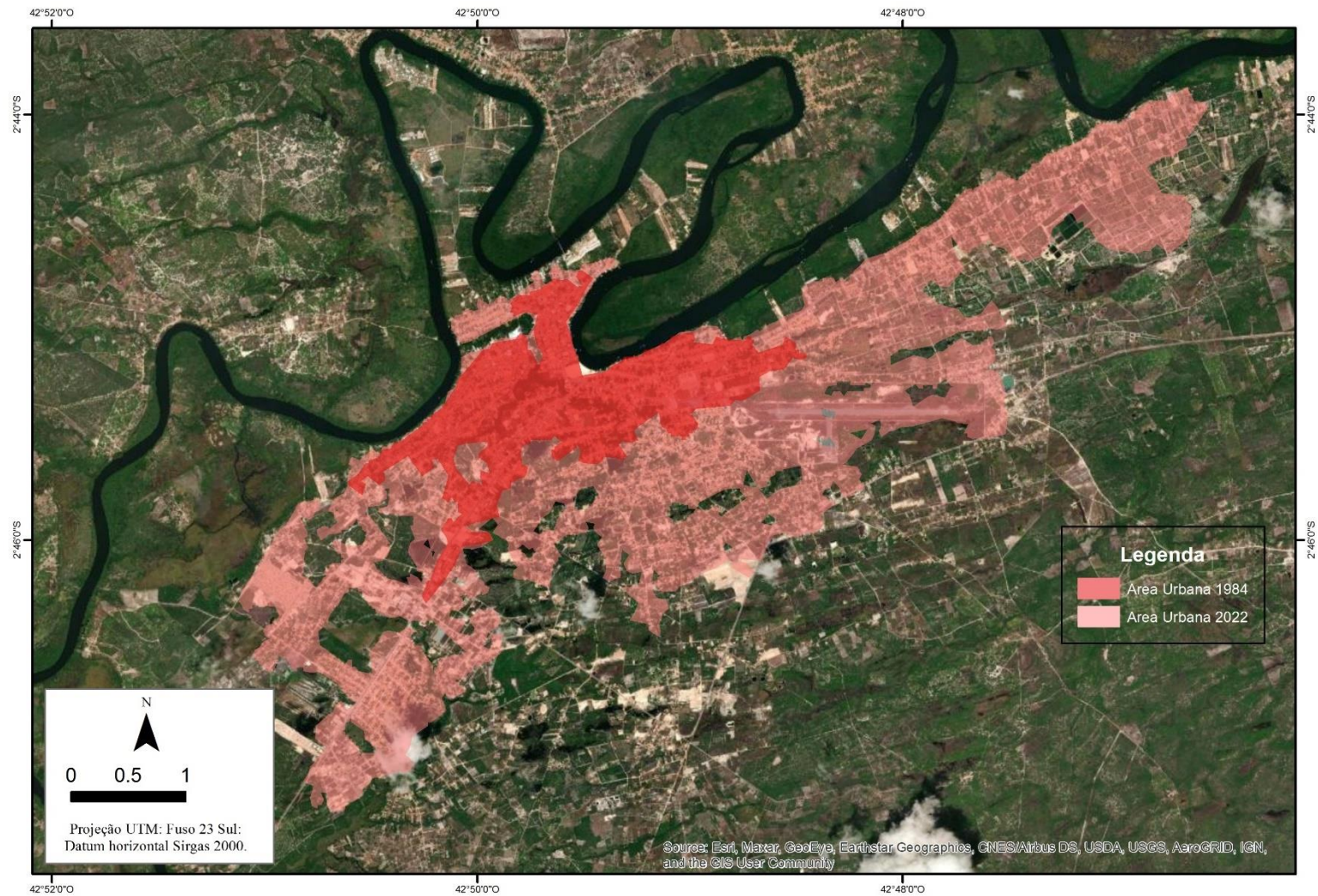
Fonte: Registro da pesquisa

Figura 31: Mapa comparativo da área urbana entre 1985 a 2021 em relação ao Rio Preguiças na sede do município de Barreirinhas-MA.



Fonte: Registro da pesquisa

Figura 32: Comparativo da área urbana entre 1985 a 2021 sobreposta a imagem de satélite, município de Barreirinhas-MA.



Fonte: Registro da pesquisa

Na evolução do uso e da cobertura no município de Santo Amaro do Maranhão a classe de pastagem foi a que mais cresceu, seguida pela classe área urbana (Tabela 3). Já a classe dunas quantitativamente até diminuiu na área do município como um todo, porém tornou-se perceptível seu avanço do campo de dunas móveis dos Lençóis Maranhenses em direção a área urbana da sede. A ponte construída sobre o Rio Alegre, em 2021, facilitou ao acesso ao centro da cidade e também ao Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses (Figura 33).

Figura 33: Foto de drone da Ponte sobre o Rio Alegre, com destaque para o avanço do campo de dunas móveis ao fundo na sede do Município de Santo Amaro do Maranhão-MA.



Fonte: Registro da pesquisa, em 14/12/2021.

Tabela 3: Quantitativo de área das principais classes mapeadas no município de Santo Amaro do Maranhão.

Classe/Ano	1985	1995	2005	2015	2021
Formação Florestal	35.022	37.145	39.602	36.559	38.852
Formação Savânica	57.721	57.334	54.650	58.447	54.223
Mangue	1.002	999	973	935	936
Pastagem	410	278	262	282	1.692
Praia, Duna e Areal	35.860	37.127	38.454	39.179	35.894
Área Urbanizada	100	186	206	266	280
Rio, Lagoa e Oceano	7.642	11.239	9.157	6.554	6.539

Fonte: Mapbiomas

Após espacializarmos e evolução do uso e da cobertura do Município de Santo Amaro do Maranhão identificamos que algumas áreas que aparecem como áreas urbanas estão em franca expansão, com destaque para o bairro Olho d'água que corresponde por cerca de 32% do aumento da área urbana do município (Figuras 34 a 39).

Figura 34: Foto de drone de uma area de 30.000m² aberta para edificação de uma mansão em Santo Amaro do Maranhão-MA.



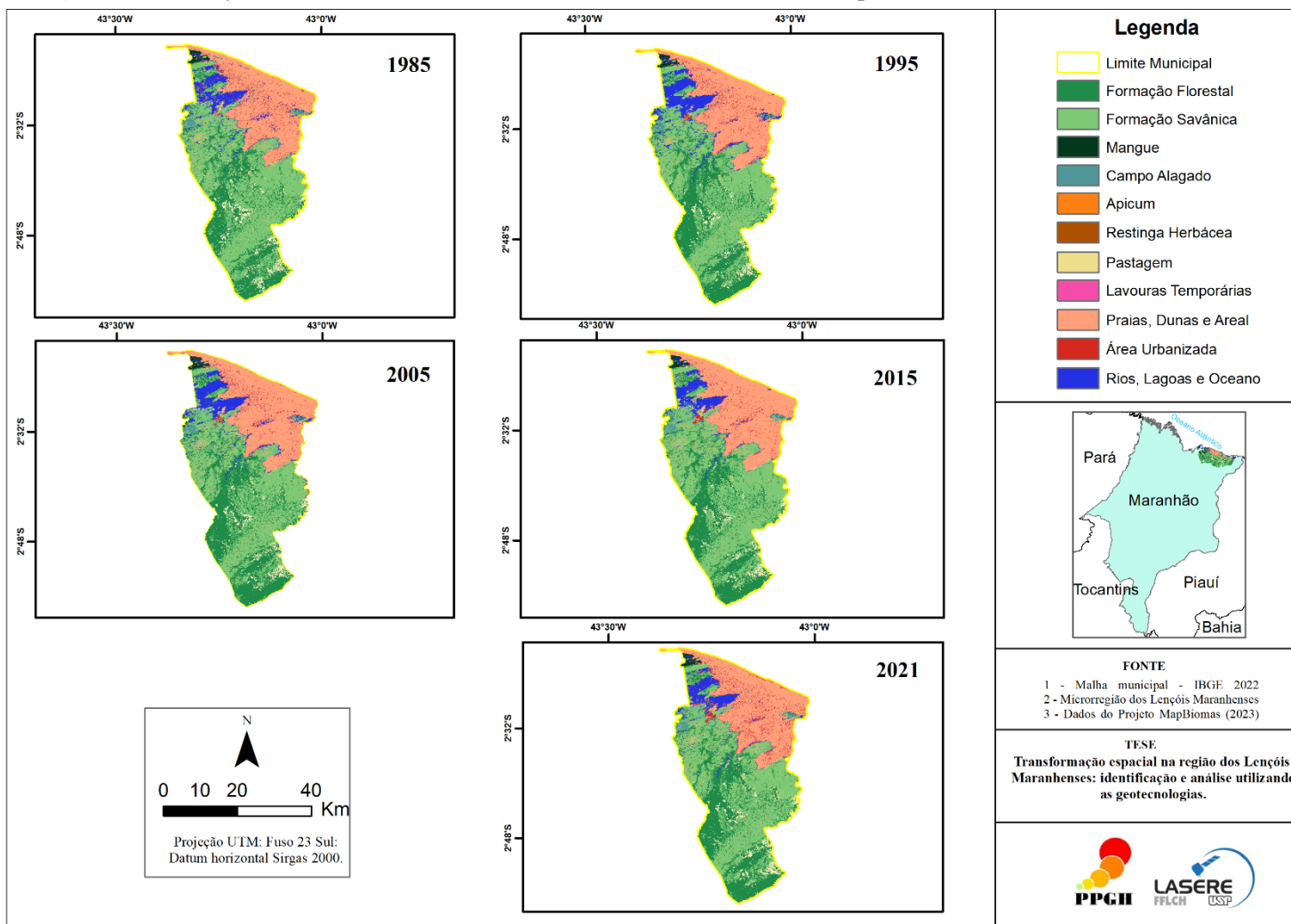
Fonte: Registro da pesquisa, em 04/12/2020.

Figura 35: Foto externa da propriedade com area de 30.000m² e no detalhe, a rua ao lado aberta, após o desmatamento da área.



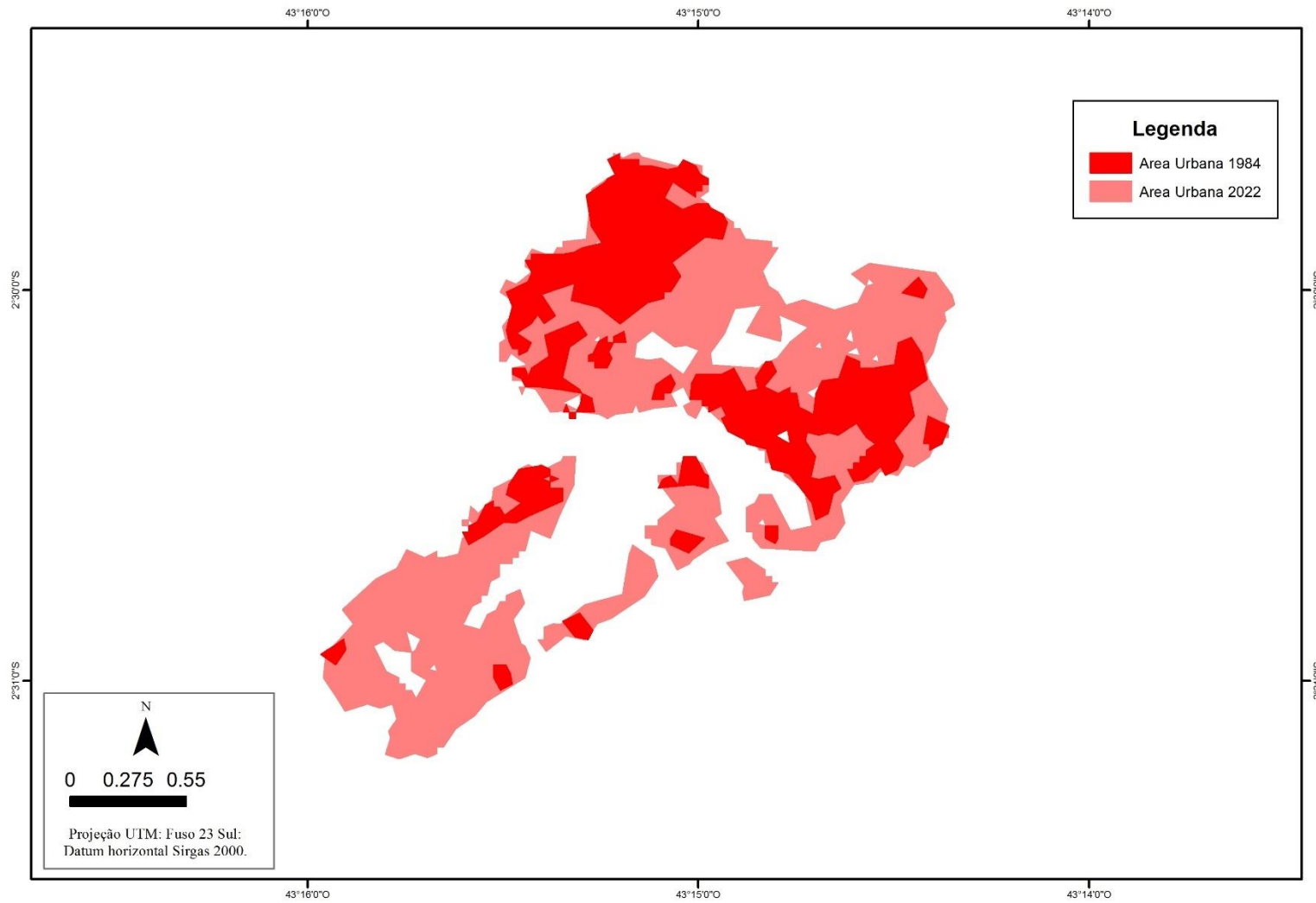
Fonte: Registro da pesquisa, em 04/12/2020.

Figura 36: Evolução do uso e da cobertura da terra de 1985 a 2021, no município de Santo Amaro do Maranhão-MA.



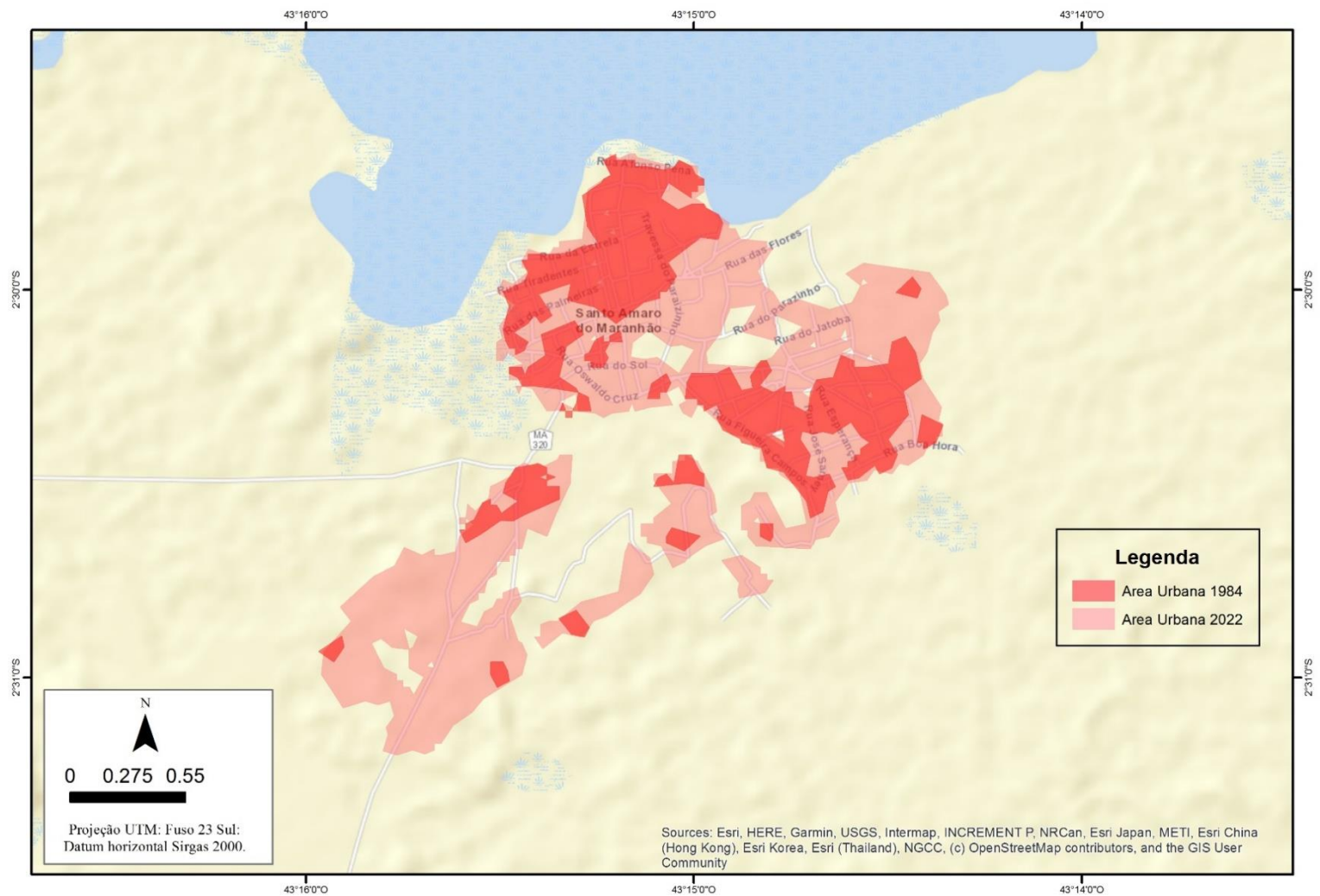
Fonte: Mapbiomas

Figura 37: Mapa comparativo da área urbana entre 1985 a 2021 na sede do município de Santo Amaro do Maranhão-MA.



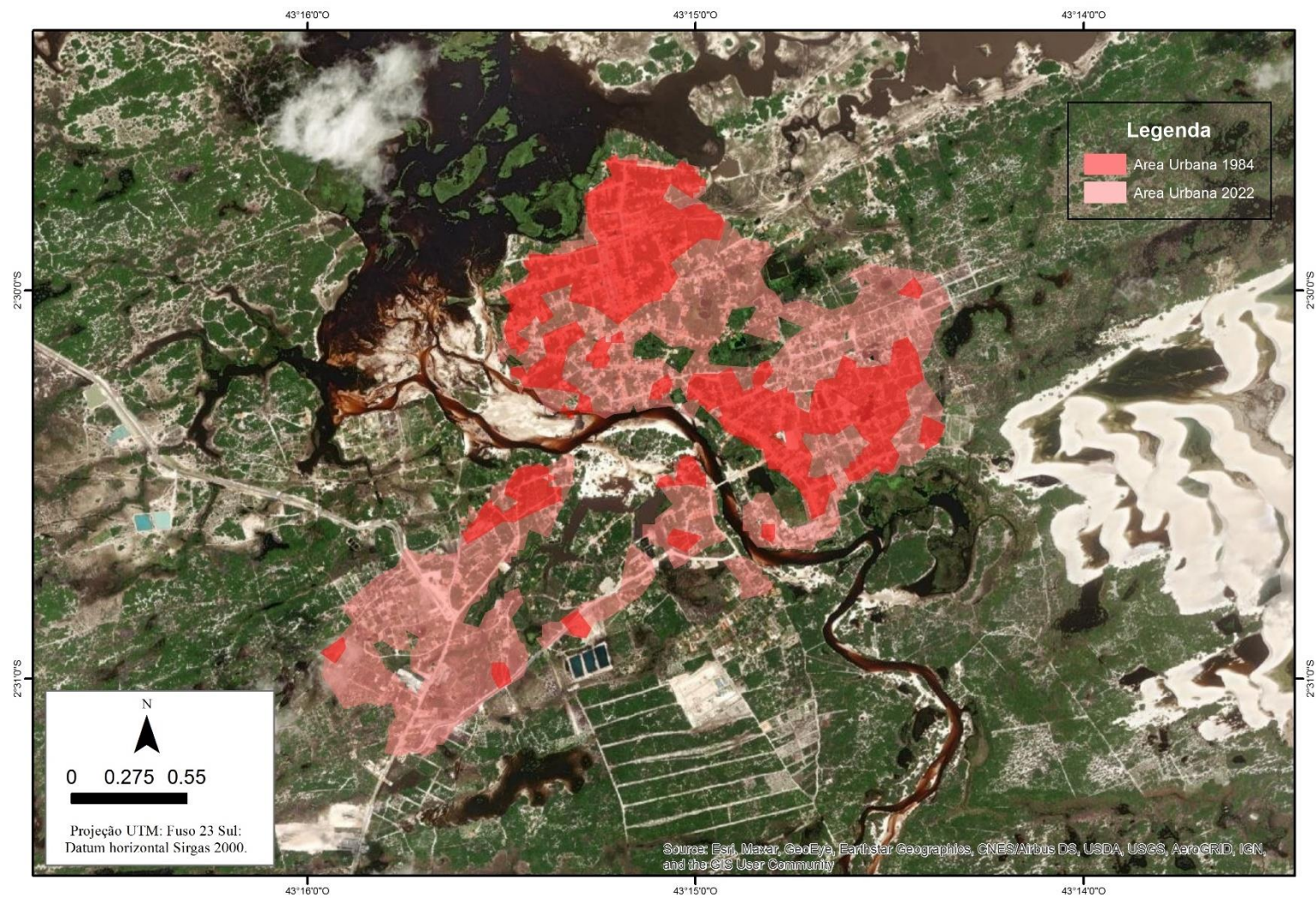
Fonte: Registro da pesquisa

Figura 38: Mapa comparativo da área urbana entre 1985 a 2021 em relação ao Rio Preguiças na sede do município de Barreirinhas-MA.



Fonte: Registro da pesquisa

Figura 39: Comparativo da área urbana entre 1985 a 2021 sobreposta a imagem de satélite, município de Santo Amaro do Maranhão-MA.



Fonte: Registro da pesquisa

Os Lençóis Maranhenses são um dos mais raros fenômenos geológicos do mundo. Localizado no setor da planície costeira maranhense é o maior registro de dunas costeiras do Brasil desenvolvidas ao longo do Quaternário⁵ (GONÇALVES *et al.*, 2003), compreendendo “dunas livres, campos de dunas fixas e áreas de grandes superfícies de truncamento associadas” (GONÇALVES, CASTRO E LEHEUGER, 1998a E 1998b). As dunas móveis, chamadas localmente de “*morrarias*”, avançam continuamente sobre a vegetação, em direção ao continente, sentido predominante de nordeste-sudoeste, tendo alcançado a distância de aproximadamente 27,5 de distância do litoral.

A dinâmica geoambiental da área em estudo é caracterizada principalmente pela disponibilidade de sedimentos, pela ação dos agentes oceanográficos (ondas e correntes de maré e correntes litorâneas), do vento e da pluviosidade. O entendimento da dinâmica geoambiental das áreas costeiras são importantes como indicativos de possíveis mudanças climáticas, a partir de fatores ambientais relacionados ao aporte de sedimentos e a remobilização das areias pelo vento (MEIRELES, 1991).

Luna *et al.* (2011) e Luna *et al.* (2012) simularam com base em um modelo físico a gênese das dunas costeiras da região dos Lençóis. Para os pesquisadores “as lagoas temporárias entre as cadeias de dunas são as responsáveis por suavizar e alongar as curvas das barcanóides, criando a forma encontrada nos Lençóis. A água também limita o crescimento das barcanas a uma altura de 20 metros. Sem as lagoas, as dunas tenderiam a crescer indefinidamente à medida que avançam para o interior”.

O avanço das dunas é provocado pela ação do vento, sendo mais intenso durante o período seco (sem chuvas), quando há deficiência hídrica local e as lagoas perdem parte

⁵ O *quaternário* é o período geológico marcado por fortes oscilações climáticas e pelo surgimento do homem, que passou a ser um agente importante na modificação do ambiente natural. As mudanças impostas pelo clima e pelo homem resultaram em profundas alterações ambientais, que ficaram gravadas na história do planeta. A zona costeira atual é um retrato fidedigno da intensidade de alterações do período quaternário, com a intensa dinâmica costeira, das marés, das ondas e dos ventos (SOUZA *et al.* 2005).

de sua massa líquida pela evaporação e percolação e o ar se mantém mais seco. As lagoas, e os cursos d'água presentes na área de dunas fixas dependem quase que exclusivamente das chuvas, ocorrendo, em certos locais o afloramento do nível freático. As lagoas perenes e mais próximas das cadeias dunares são cristalinas, mais visitadas e por tanto possuem maior possibilidade de terem seu entorno ocupado.

Santos (2008) conseguiu determinar, a partir do uso de fotografias aéreas, piquetes (balizas) e GPS topográfico (de precisão), taxas de migração (valores máximos e mínimos) das principais frentes de avanço das dunas, informação importante para a compreensão de alguns relatos feitos pelos moradores visitados pela pesquisa. Estes, afirmam que a *morraria* cada vez chega mais perto de seus povoados. Em alguns destes (Mocambo, Lagoa da Esperança e Buriti Amarelo) esse avanço é mais rápido e frequente.

Estudos do IMESC (2013) relatam que o desmatamento, tomando como referência imagens de satélite, registram a diminuição da vegetação e o aumento da área ocupada em determinados setores da região dos Lençóis Maranhenses, ameaçando a fauna e a flora local. Em um levantamento realizado a partir do uso de imagens de diferentes datas ICMBio (2013) aponta para o crescimento das áreas urbanas dos municípios da região dos Lençóis a partir de 2004 e uma supressão de mata as margens do Rio Preguiças.

A linha base da década de 1980 para o estudo das transformações justifica-se pela instituição do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, também foi nesse período posterior a prospecção de Petróleo e gás pela Petrobrás que ocorreu no final da década de 1970 que levou a uma maior interesse econômico e a divulgação das belezas e dos atrativos dos Lençóis Maranhenses.

A sazonalidade é marcante em toda a microrregião dos Lençóis Maranhenses, no período chuvoso, cursos d'água temporários recebem um volume considerável de água e alimentam, rios perenes e lagos. As lagoas, localizadas, nas planícies interdunares ficam

cheias e dependendo do quantitativo de precipitação do período de tão cheias, podem romper e retroalimentar o sistema de drenagem da região. As cadeias barcanóides de dunas intercaladas por lagoas definem um aspecto paradisíaco ao local. Mesmo na sede do município de Santo Amaro do Maranhão o Rio Alegre desenha uma das belas paisagens registradas na pesquisa ao desaguar no Lago de Santo Amaro (Figura 40).

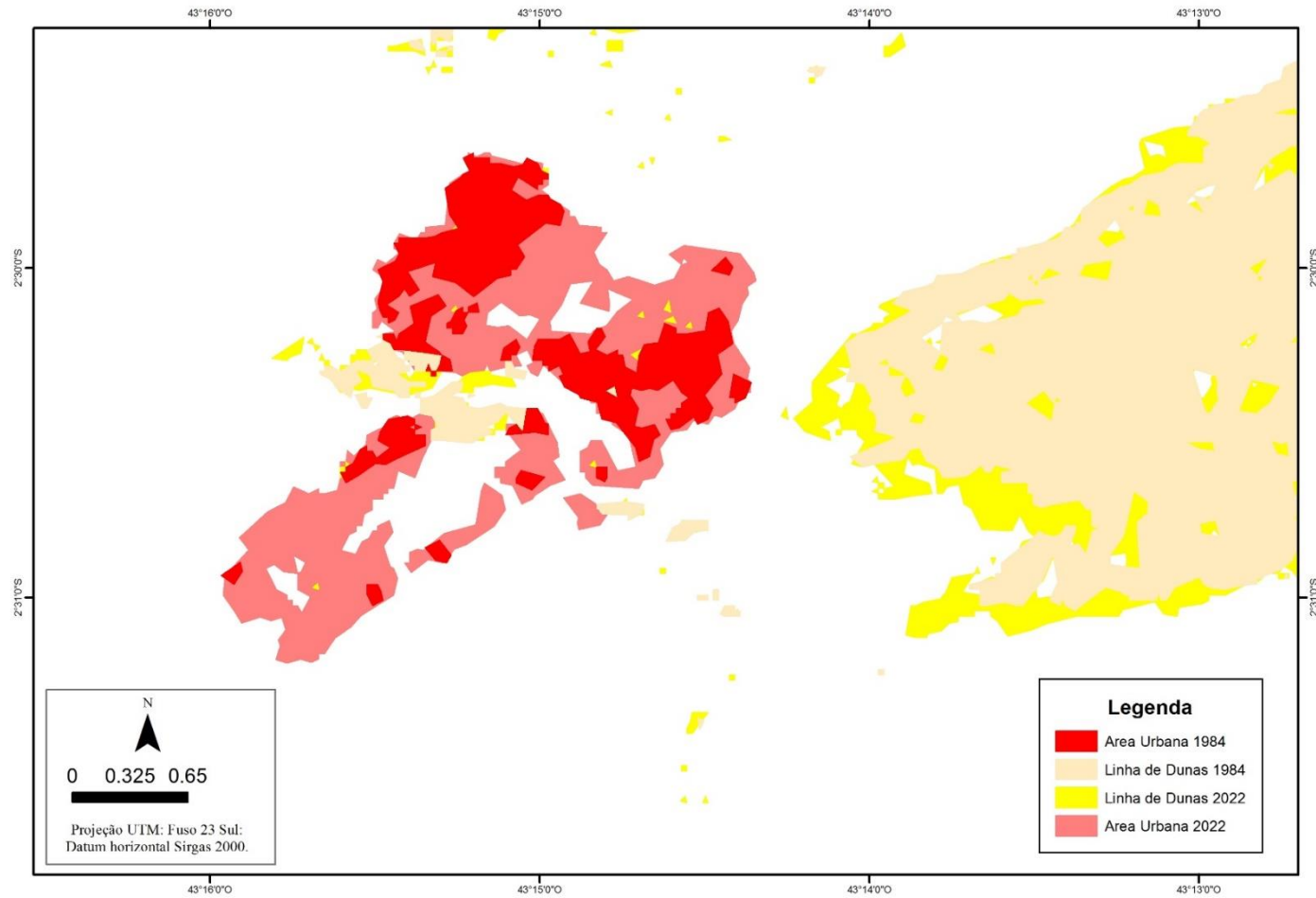
Figura 40: Foto de drone do Rio Alegre desaguardo no Lago de Santo Amaro na sede do Município de Santo Amaro do Maranhão-MA.



Fonte: Registro da pesquisa, em 04/12/20201.

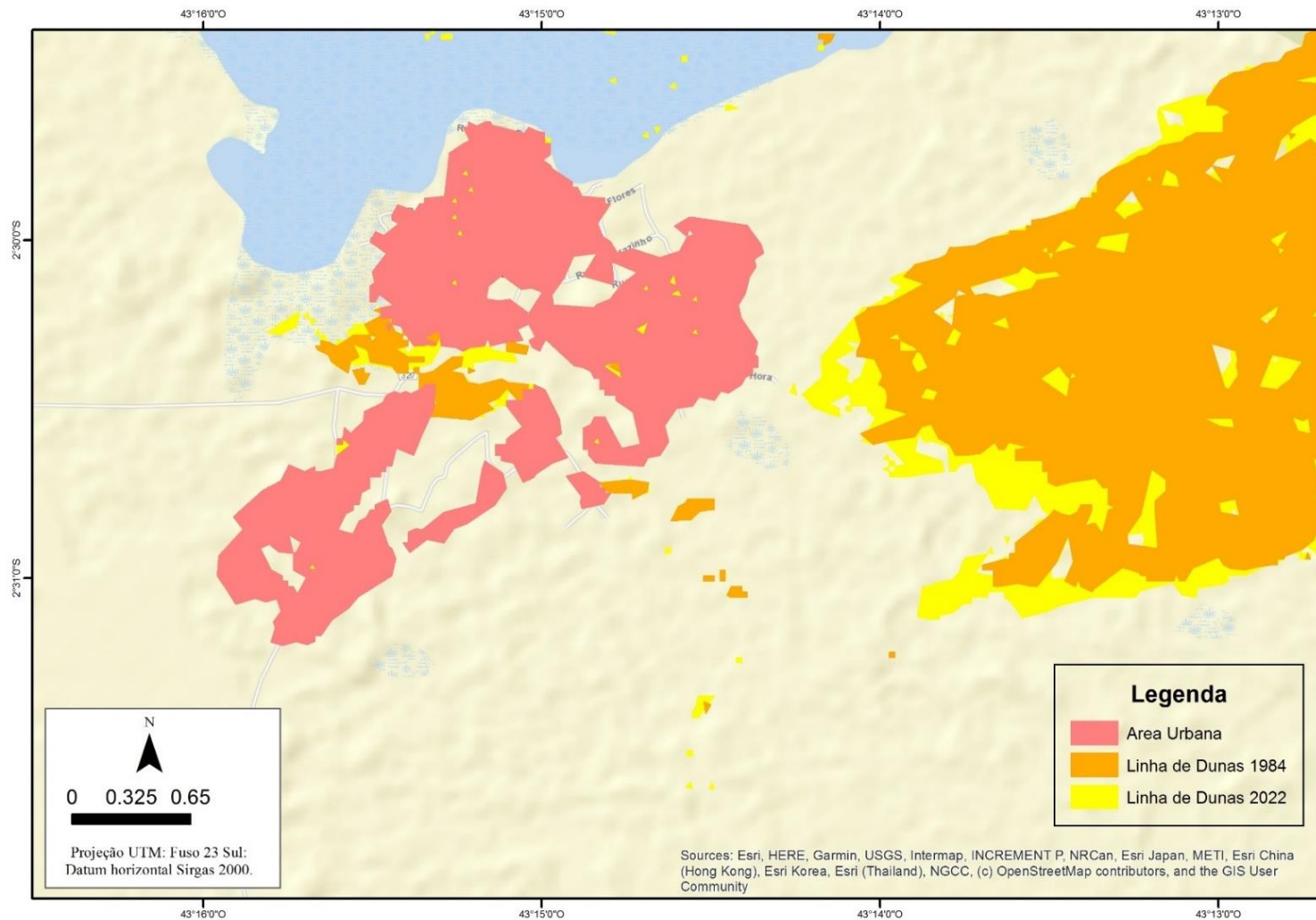
Os dados da pesquisa permitiram articular a evolução da classe de dunas ao longo dos últimos trinta e seis anos com o mapeamento atual realizado com drone e pontos controle. Espacializamos os dados para a sede do município de Santo Amaro do Maranhão comparando o avanço das dunas e a classe de áreas urbana (Figuras 41 a 43).

Figura 41: Comparativo avanço de dunas e área urbana na sede do Município de Santo Amaro do Maranhão-MA.



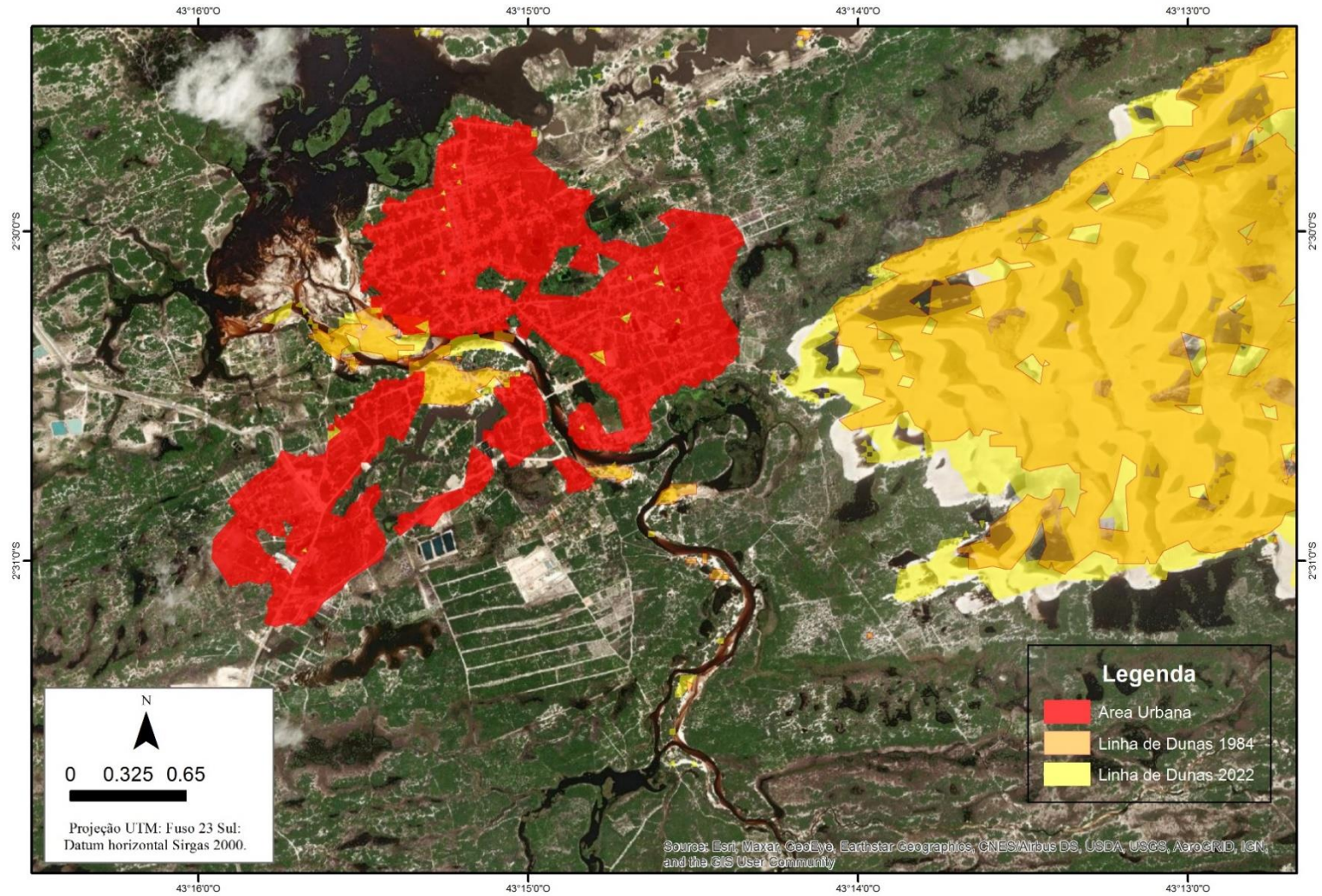
Fonte: Mapbiomas/Registros da pesquisa

Figura 42: Comparativo avanço de dunas, Lago de Santo Amaro e área urbana na sede do Município de Santo Amaro do Maranhão-MA.



Fonte: Mapbiomas/Registros da pesquisa

Figura 43: Comparativo avanço de dunas e área urbana sobre a imagem de satélite na sede do Município de Santo Amaro do Maranhão-MA.



Fonte: Mapbiomas/Registros da pesquisa

Avaliando os dados, percebeu-se que uma importante área-teste para espacializar os dados e ampliar a análise seria a localidade de Atins, na Foz do Rio Preguiças, parte do território da comunidade se encontra dentro do Limite do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses e outra parte fora dos limites, na chamada zona de amortecimento. Constantemente, Atins é palco de conflitos entre visitantes (kitesurfistas, turistas) e moradores locais, em sua grande maioria pescadores, devido a invasão de seus locais de pesca para a prática esportiva.

Atins e seu entorno estão bem no início da zona de formação do campo de dunas compreende-se que, nas imediações do povoado Canto do Atins, a faixa de praia constitui o primeiro subsistema encontrado na direção norte-sul, a partir da linha da costa, sendo delimitada pela presença de dunas móveis, nas proximidades do povoado Ponta do Mangue. Possui cerca de 2 km de largura na sua faixa de estirâncio, com estágio morfodinâmico do tipo dissipativo por sua topografia plana, salientando-se a intensa atividade das ondas, marés e correntes litorâneas no conjunto dos processos geomórficos recorrentes ao longo de toda a extensão das praias da região (SOUZA, 2007).

Nesta porção do litoral, a presença de barras arenosas é de considerável largura e a zona de arrebatção das ondas favorece o aporte de sedimentos arenosos para a praia, que ficam à disposição da ação eólica que, com rajadas intermitentes, de intensidades variáveis, selecionarão os grãos e os depositarão em áreas próximas, formando dunas móveis. O transporte de sedimentos ao longo da praia sofre interferência da umidade presente na areia durante o período chuvoso, mantendo quase toda a faixa praias úmida, aglutinando as partículas e impedindo que, mesmo com a ação da insolação e da evaporação, as partículas possam ser novamente movimentadas pelos ventos.

Para melhor compreensão sobre a atual modelagem do ambiente na área geoambiental litorânea consultar Santos *et al.*, (2005). Estes autores explicam como a dinâmica sedimentar, com a formação das dunas móveis e lagoas associadas e reconfiguração da linha da costa até o nível atual, alterou o deslocamento da foz do rio Preguiças lenta e progressivamente em direção a oeste, numa extensão aproximada de 15 km. No mapeamento realizado em campo identificamos áreas de erosão costeira, locais onde o mar avança sobre a localidade de Atins (Figura 44).

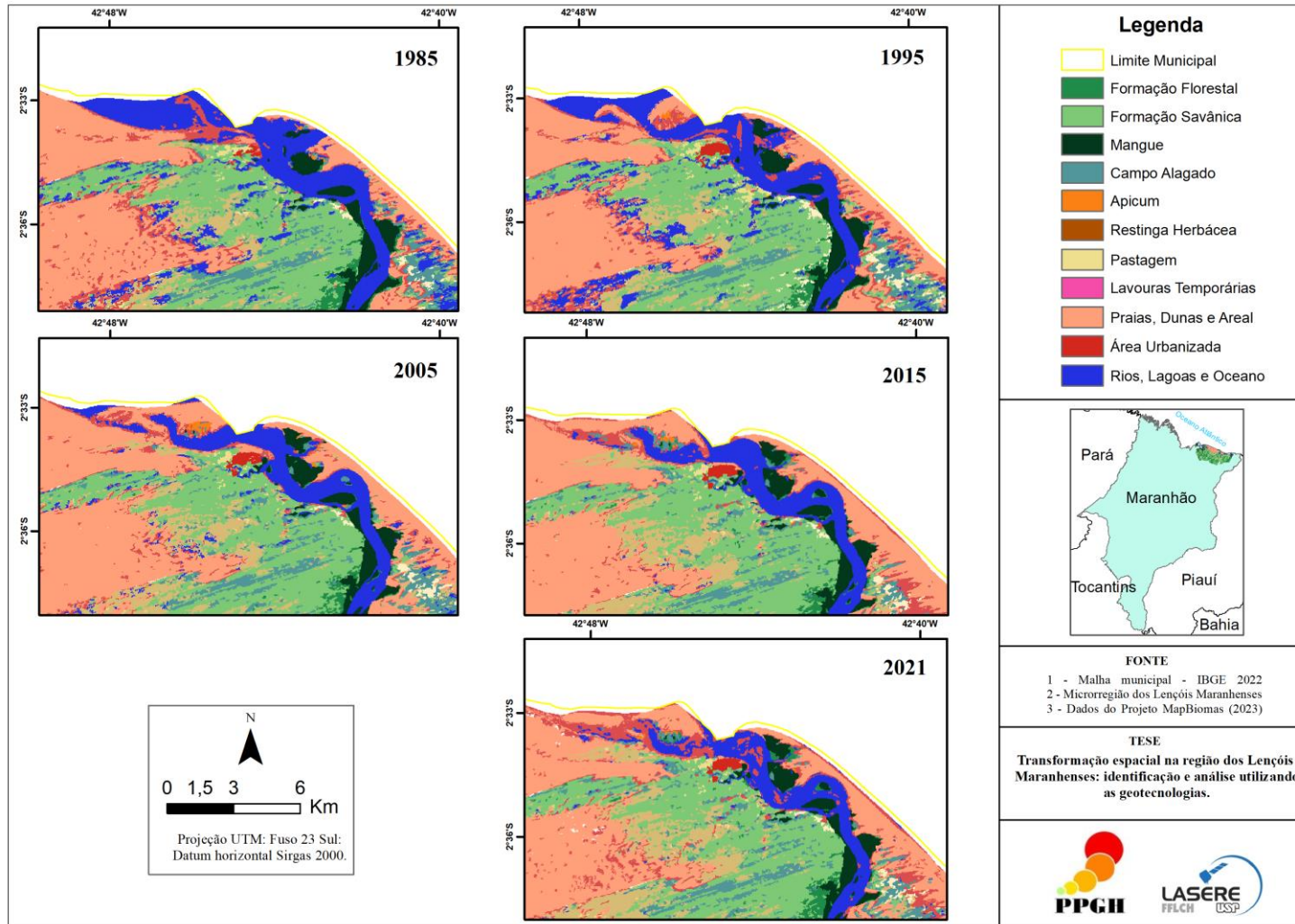
Figura 44: Foto de drone da erosão costeira em Atins.



Fonte: Registro da pesquisa, em 11-12-2020.

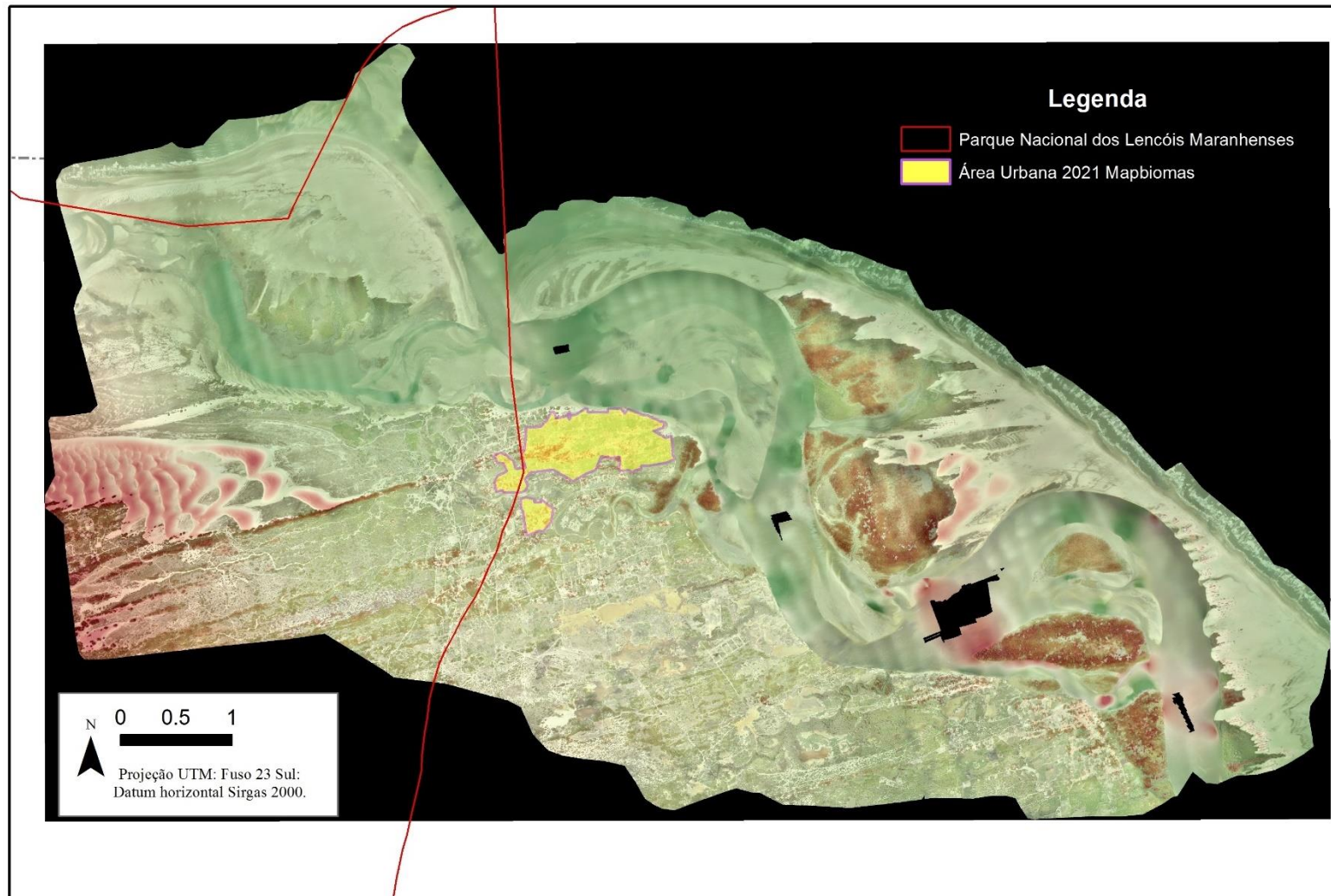
A intensa dinâmica geomorfológica que age sobre as dunas dos Lençóis Maranhenses, antes atua nesta faixa do litoral, no estudo da evolução da dinâmica de uso e cobertura da terra em Atins, se percebe as alterações na faixa de areia ao longo dos últimos trinta e seis anos, as barras arenosas têm sua morfologia alterada e Foz do Rio Preguiças vai sendo remodelada ao longo dos anos (Figuras 45 a 48).

Figura 45: Evolução da dinâmica de uso e cobertura em Atins de 1985 a 2021.



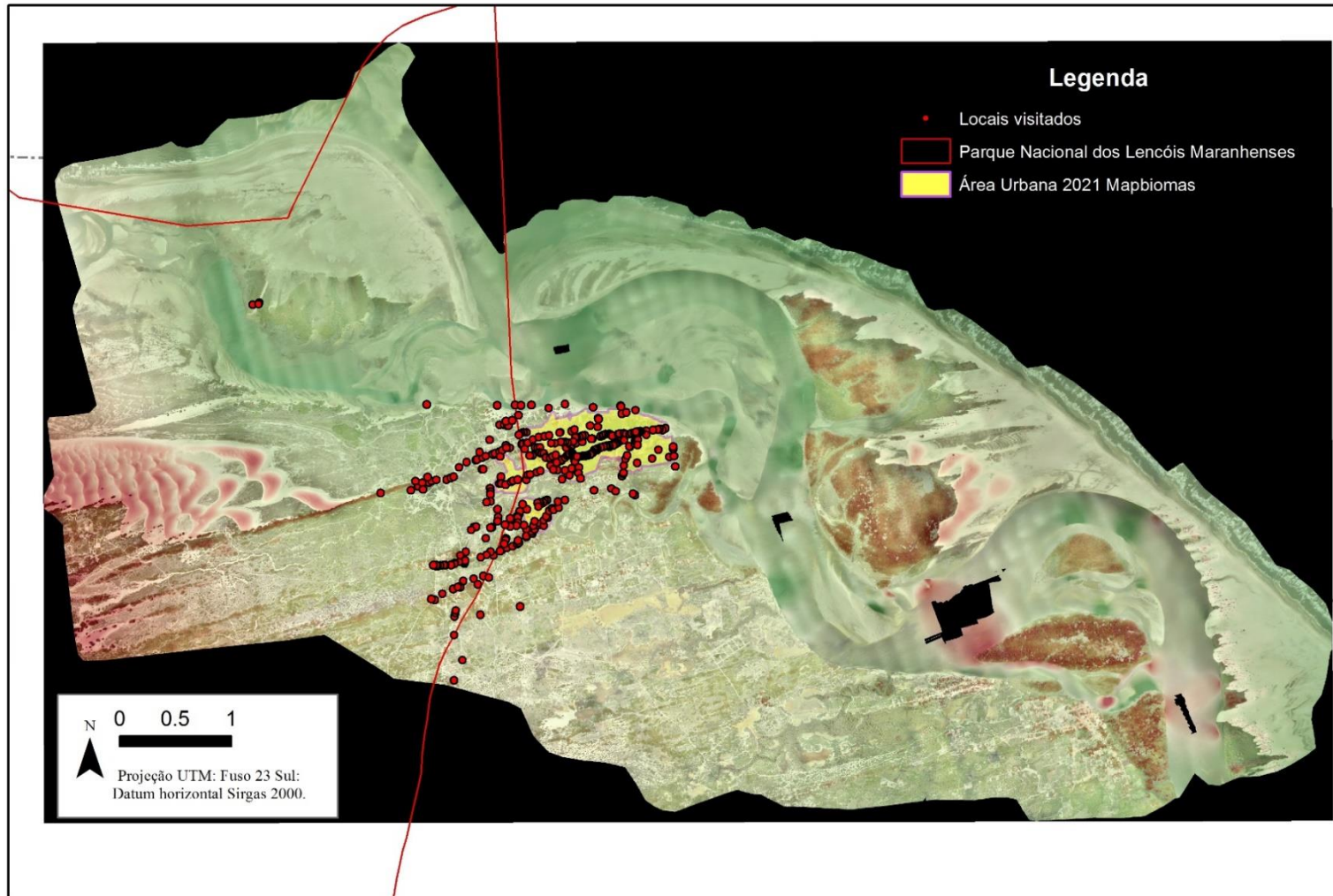
Fonte: Registro da pesquisa

Figura 46: Área urbana sobreposta ao Modelo Digital de Superfície – MDS de Atins gerado pelo levantamento com drone.



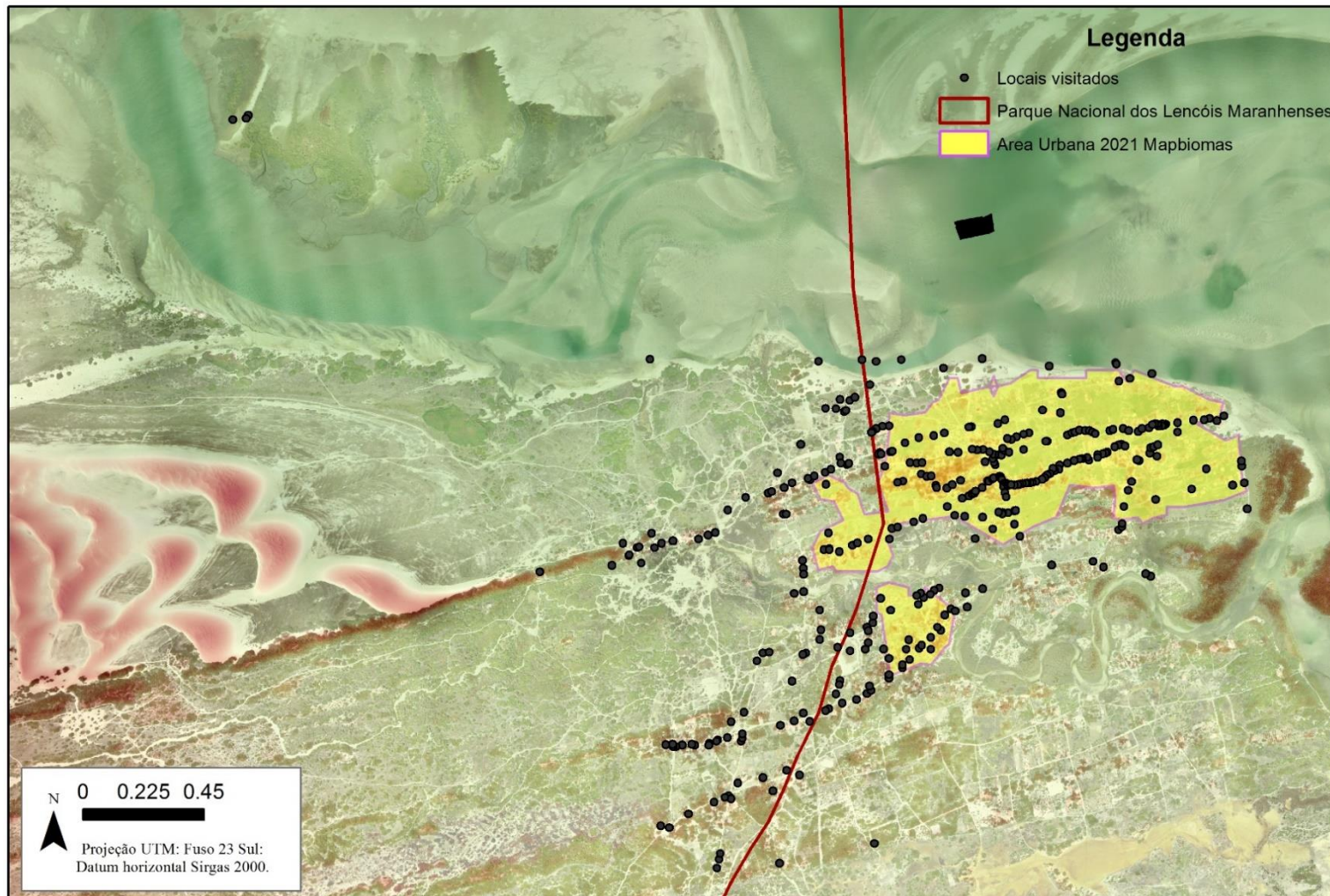
Fonte: Registro da pesquisa

Figura 47: Locais Visitados em campo / Modelo Digital de Superfície – MDS de Atins e limite do PNLM.



Fonte: Registro da pesquisa

Figura 48: Aproximação com destaque para os locais visitados em campo / Modelo Digital de Superfície – MDS de Atins e limite do PNLM.



Fonte: Registro da pesquisa

Capítulo 5: Considerações Finais

Ao avaliar trinta e seis anos de dados de uso e cobertura da terra, complementados pelo levantamento de campo e pelo conhecimento das comunidades locais, torna-se evidente que a transformação espacial na microrregião dos Lençóis Maranhenses foi um processo complexo e contínuo, influenciado por diversos agentes e fatores indutores. Isso resulta em acentuada desigualdade social, aumentando os custos de vida, especialmente para os habitantes de Barreirinhas e Santo Amaro do Maranhão.

Nos últimos anos, o desenvolvimento do turismo trouxe um grande influxo de visitantes, especialmente ao município de Santo Amaro, impulsionado pela melhoria das estradas estaduais. No entanto, essa transformação não se traduziu necessariamente em uma melhoria significativa na qualidade de vida para a maioria da população local, pois a infraestrutura e o comércio estabelecidos concentram-se principalmente em agências de turismo.

A disponibilidade de dados geoespaciais acessíveis, plataformas cartográficas digitais customizáveis e produtos de sensoriamento remoto em larga escala tem sido um recurso fundamental para estudos de uso e cobertura da terra. Esses recursos permitem que os pesquisadores integrem informações e abordem problemas de forma abrangente, analisando áreas de relevante transformação espacial em diferentes escalas e períodos de tempo.

O tratamento espacial dos dados, com a integração de diferentes tipos de informações geoespaciais em diferentes formatos, facilita a tomada de decisões por parte de gestores, técnicos e planejadores, bem como a divulgação das particularidades dessa região marcada por beleza natural e desafios socioambientais.

Do ponto de vista tecnológico, o uso de técnicas de processamento digital em nuvem e representação de dados geoespaciais é uma abordagem eficaz, permitindo o processamento online e o download dos resultados finais, gráficos e mapas. O acesso a repositórios de aplicações diversas, como os índices espectrais NDVI e NDWI, facilitou o mapeamento e a comparação das condições da vegetação e das áreas alagáveis na microrregião dos Lençóis Maranhenses.

As ferramentas de geoprocessamento e análise de imagens de satélite têm se mostrado altamente eficazes para avaliar as transformações espaciais. Elas possibilitam o entendimento da dinâmica da ocupação da área ao longo dos anos, incluindo suas formas de apropriação do território, manejo e mobilidade. Essas abordagens são fundamentais para a compreensão e o planejamento adequado do desenvolvimento sustentável na região.

A análise das transformações espaciais na microrregião dos Lençóis Maranhenses destaca a complexidade desse processo, influenciado por múltiplos fatores, incluindo o desenvolvimento turístico, a expansão urbana e as mudanças climáticas. Os resultados obtidos a partir de dados geoespaciais e do conhecimento das comunidades locais foram fundamentais para entender as dinâmicas de ocupação do território ao longo das últimas décadas. No entanto, também se evidencia a necessidade de uma abordagem integrada que considere não apenas o aspecto quantitativo das transformações, mas também os impactos sociais e ambientais.

Além disso, a disponibilidade de tecnologias geoespaciais avançadas, como o processamento em nuvem e a análise de imagens de satélite, tem proporcionado novas oportunidades para o estudo e monitoramento dessas transformações. Essas ferramentas permitem uma análise mais detalhada e abrangente das mudanças espaciais, facilitando a tomada de decisões informadas por parte dos gestores e autoridades locais.

No entanto, é importante destacar que, apesar do potencial dessas tecnologias, a região dos Lençóis Maranhenses enfrenta desafios significativos, como a desigualdade social e a necessidade de políticas públicas eficazes para promover o desenvolvimento sustentável. Portanto, as análises geoespaciais devem ser complementadas por esforços colaborativos que envolvam as comunidades locais, os gestores públicos e a sociedade civil na busca por soluções que promovam um equilíbrio entre o crescimento econômico e a preservação ambiental, visando garantir um futuro sustentável para essa região única e preciosa.

Disponibilidade dos mapas, figuras e materiais complementares da Tese em melhor definição e resolução

Os mapas, figuras e materiais complementares da tese estão disponíveis para consulta através do link: https://drive.google.com/drive/folders/1_59qcp2XUj3ZZVJMYJO7z8xHgDViA3G2?usp=sharing

Limitações do trabalho

No contexto de análise do trabalho apresentado, algumas limitações devem ser apontadas:

1. *Limitação dos dados:* Dependência de dados disponíveis: O trabalho depende da disponibilidade e qualidade dos dados geoespaciais utilizados para análise. Limitações na precisão ou na atualização desses dados podem afetar a qualidade das conclusões.
2. *Sazonalidade das imagens:* As imagens de satélite usadas para mapear o uso da terra podem variar de acordo com as condições climáticas e a sazonalidade, o que pode limitar a precisão das análises em determinados períodos do ano.

3. *Validação em campo:* Embora o estudo tenha realizado validações em campo, o tamanho da área em questão torna difícil a validação completa de todas as mudanças observadas nos mapas.
4. *Complexidade das mudanças:* As mudanças no uso da terra muitas vezes têm causas variadas e podem ser influenciadas por fatores econômicos, sociais e políticos.
5. *Limitações de escalas:* A análise de uso da terra é realizada em uma escala regional, e a interpretação de padrões em locais específicos. Algumas mudanças ou impactos podem ser mais evidentes em escalas maiores.

Observação: É importante reconhecer essas limitações para interpretar os resultados do estudo de maneira adequada e contextualizada, e também para orientar futuras pesquisas e análises mais abrangentes.

Recomendações para trabalhos futuros

1. Atualizar a base de dados e realizar um estudo comparativo, utilizando os dados censitários completos que serão divulgados para o ano de 2022, a fim de analisar e comparar com os censos anteriores;
2. Avaliar o desempenho de ferramentas de *machine learning*, random forest e aprendizado profundo aplicadas ao campo de geoprocessamento, visando aprimorar as técnicas de mapeamento utilizadas;
3. Promover a implementação de estações climatológicas móveis com o objetivo de coletar micro dados climáticos, os quais desempenham um papel fundamental na melhoria e a precisão da avaliação do grau de risco às mudanças climáticas na microrregião sob estudo;

4. Expandir a pesquisa, envolvendo ativamente os residentes locais para que possam contribuir com suas percepções sobre os impactos das transformações espaciais em suas vidas. Isso deverá envolver a incorporação das experiências e do conhecimento oral acumulado ao longo das últimas décadas, permitindo que os participantes relatem suas observações sobre mudanças no regime de chuvas, na expansão urbana, na dinâmica das dunas, das lagoas e dos cursos de água.
5. Recomendar a criação de produtos cartográficos digitais com o objetivo de serem utilizados para fins educacionais e como recursos técnicos de apoio para os gestores e planejadores locais.

Referências Bibliográficas

AB´SABER, A. N. **Contribuição à geomorfologia do Estado do Maranhão. Notícia Geomorfológica.** Campinas: Departamento de Geografia da Unicamp 3(5): 35-45, abr. 1960.

AGUIAR, Tereza Coni. **Planejamento Ambiental: o desafio da interação sociedade/natureza.** 1. ed. Rio de Janeiro: Consequência, 2016.

ALBUQUERQUE, Maria Flávia Coelho., VASCONCELOS, Fábio Perdigão. A relação sociedade X natureza e a desconfiguração da Paisagem Litorânea. *In:* CORIOLANO, Luzia Neide M. T.; VASCONCELOS, Fábio Perdigão. **O Turismo e a Relação Sociedade-Natureza: realidades, conflitos e resistências.** 2.ed. Fortaleza: EdUECE, 2014.

ANAZAWA, Tathiane Mayumi. **Vulnerabilidade e Território no Litoral Norte de São Paulo: Indicadores, Perfis de Ativos e Trajetórias.** São José dos Campos: INPE, 2012. Dissertação de mestrado. Disponível em: <http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2012/07.23.17.40/doc/publicacao.pdf>

ARAÚJO, T. D.; FONSECA, E. L. da. **Análise multitemporal dos Lençóis Maranhenses entre 1984 a 2014 utilizando sensoriamento remoto orbital.** Revista Brasileira de Geografia Física. Disponível em: <http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/download/1456/915>. Acesso em janeiro de 2017.

BAILEY, T.; GATTREL A. **Spatial Data Analysis by Example.** London: Longman, 1995.

BARBOSA, Getúlio Vargas; PINTO, Maria Novaes. Geomorfologia da folha AS-23 São Luís e parte da folha AS-24 Fortaleza. *In:* Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto RADAM BRASIL.** Rio de Janeiro: 1973. v.3. p. 1-32.

BEZERRA, Denilson da Silva. **Modelagem da dinâmica do Manguezal frente as alterações do nível do mar.** Tese de doutorado do curso de Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre. INPE. São José dos Campos, 2014.

BRASIL. **Plano de Manejo do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses**. Ministério do Meio Ambiente, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis. São Luís, MA. 2003.

BRASIL. Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art.225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 19 jul. 2000. Disponível em: http://planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm. Acesso em: 18 ago. 2016.

BRASIL. **Decreto Federal nº 86.060, de 02 de junho de 1981**. Disponível em www.ibama.gov.br. Acesso em 02 de janeiro de 2017.

BRASIL. **Decreto de nº 11.899 de 11 de junho de 1991**. Cria no Estado do Maranhão, a Área de Proteção Ambiental da foz do rio Preguiças – Pequenos Lençóis – Região Lagunar Adjacente com os limites que especifica e dá outras providências.

BRASIL. **Decreto de nº 12.428 de 05 de junho de 1992**. Cria no Estado do Maranhão, a área de Proteção Upaon-Açu/Miritiba/Alto Preguiças com os limites que especifica e dá outras providências.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Plano de Manejo do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses**. Brasília: IBAMA/LABOHIDRO – UFMA, 2003 c.

BURSZTYN, Marcel.; BURSZTYN, Maria Augusta. **Fundamentos de política e gestão ambiental: os caminhos do desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2012.

CABRAL, N. R. A. J.; ROHM, S. A.; SOUZA, M. P. Políticas públicas de áreas protegidas: contribuição para sua implementação e manutenção da biodiversidade. *In*: WENDLAND, E.; SCHALCH, V. **Pesquisas em meio ambiente**: subsídios para a gestão de políticas públicas. São Carlos: RiMa, 2003.

CASTRO, J. W. A. **Geomorfologia do Sistema Sedimentar Eólico de Paracuru – Ceará**. Rio de Janeiro, 200 p. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Geografia. UFRJ, 2001.

CASTRO, Claudio Eduardo de. **A Política Nacional de Proteção da Natureza e seus Desdobramentos no Território do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses**. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Geografia da faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP Presidente Prudente. 2012.

CORRÊA, Roberto Lobato. Espaço: um conceito-chave da Geografia. *In*: CASTRO, Iná Elias de; GOMES, Paulo Cesar da Costa; CORRÊA, Roberto Lobato. (Orgs.). **Geografia: conceitos e temas**. 2 ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2000.

CORRÊA, Roberto Lobato. **Redes Geográficas: Reflexões sobre um tema persistente**. Rio de Janeiro: Revista Cidades, 2012. v. 9, nº 16. 199 – 216 p.

CARVALHO, A. E. F. B. **Estudo florístico e fitossociológico em uma ilha de vegetação no Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses**. Monografia de conclusão de curso de Ciências Biológicas. UFMA, 1993. 85 p.

CHANG, K. Introduction to geographic information systems. 8th ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2018. 429 p.

COSTA, Carlos Rerisson Rocha da. **O litoral do Maranhão, entre segredos e descobertos: a fronteira de expansão do turismo litorâneo na periferia do Brasil**. Tese de Doutorado. PPGH. São Paulo, 2015. 264f.

D'ANTONA, Álvaro de Oliveira **O Verão, o inverno e o inverso: Lençóis Maranhenses, imagens**. Brasília: Edições IBAMA, 2002.

D'EVREUX, Yves. Viagem ao norte do Brasil : Feita nos anos de 1613 a 1614. São Paulo : Editora Siciliano. 2002 [1615].

DIEGUES, A. C. S. **Ecologia Humana e planejamento em áreas costeiras**. São Paulo: NAPAUB-USP, 1995.

DINIZ, Cesar Guerreiro. **Três décadas de mudanças na planície costeira brasileira: o status dos manguezais, da aquicultura e salicultura a partir de séries temporais Landsat e técnicas de aprendizado de máquina**. Orientador: Pedro Walfir Martins e Souza Filho. 2021. 92 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2021.

DONG, Jinwei; Xiao, Xiangming; Menarguez, Michael A; Zhang, Geli; Qin, Yuanwei; Thau, David; Biradar, Chandrashekhar; Moore, Berrien. Mapping paddy rice planting area in northeastern Asia with Landsat 8 images, phenology-based algorithm and Google Earth Engine. **Remote sensing of environment**, v. 185, p. 142-154, 2016.

DRUCK, S.; Carvalho, M.S.; Câmara, G.; Monteiro, A.V.M. (eds.) **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004.

FEITOSA, Antonio Cordeiro. TROVÃO, José Ribamar. **Atlas Escolar do Maranhão: Espaço Geo-histórico e Cultural**. João Pessoa, PB: Editora Grafset, 2006.

FEITOSA, Antonio Cordeiro. Morfodinâmica da área costeira a nordeste da ilha do Maranhão. *In: Anais do VII Simpósio de Quantificação em Geociências*, 1997, Rio Claro. Rio Claro: UNESP, v. 1: 45-47. 1997.

FEITOSA, Antonio Cordeiro. **Lençóis Maranhenses: Paisagem exótica – Deserto na Mídia**. *In: Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, 2005, São Paulo, 2005.

FEITOSA, Antonio Cordeiro (Org.). **Lençóis Maranhenses: Relação Homem-Ambiente na Comunidade Ponta do Mangue, Barreirinhas – Maranhão**. São Luís: EDUFMA, 2015. 198 p.

FEITOSA, A.C. & CHRISTOFOLETTI, A. C. F. E. A. Caracterização geomorfológica das praias do litoral norte do município de São Luís Ma. *In: V Simpósio de Geografia Física Aplicada, São Paulo. V Simpósio de Geografia Física Aplicada - Anais*. São Paulo: USP, 1993. v. 1: 231-236. 1993.

FEITOSA, A. C.; SOUZA, U. D. V. Evolução Geomorfológica da Paisagem Costeira do Leste Maranhense. *In: FEITOSA, Antonio Cordeiro (Org.). Lençóis Maranhenses: Relação Homem-Ambiente na Comunidade Ponta do Mangue, Barreirinhas – Maranhão*. São Luís: EDUFMA, 2015. 198 p.

FERREIRA, Marcos César. Considerações Teórico-Methodológicas sobre as origens e a inserção do Sistema de Informação Geográfica na Geografia. *In: VITTE, Antonio Carlos. Contribuições à História e à Epistemologia da Geografia*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

FERREIRA, Marcos César. **Iniciação à análise geoespacial: Teoria, técnicas e exemplos para geoprocessamento**. 1. ed. São Paulo: Editora Unesp, 2014.

GALVÃO, Maria do Carmo Corrêa. **Percursos Geográficos**. Rio de Janeiro: Lamparina PPGG/UFRJ, 2009.

GARDNER, D.E. **Beach-sand heavy-mineral deposits of Eastern Austrália**. BMR Bull., n. 28, 1955.

GOMES, Paulo Cesar da Costa. O conceito de região e sua discussão. *In*: CASTRO, Iná Elias de; GOMES, Paulo Cesar da Costa; CORRÊA, Roberto Lobato. (Orgs.). **Geografia: conceitos e temas**. 2. ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2000.

GONÇALVES, R. A. **Contribuição ao Mapeamento Geológico e Geomorfológico dos Depósitos eólicos da Planície Costeira do Maranhão: Região de Barreirinhas e Rio Novo – Lençóis Maranhenses – MA – Brasil**. Porto Alegre, 235 p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS, 1997.

GONÇALVES, R.A.; LEHUGEUR, L.G.O.; CASTRO, J.W.A.; PEDROTO, A.E.S. **Classificação das Feições Eólicas dos Lençóis Maranhenses – Maranhão – Brasil**. Mercator. 3: 99-113. 2003.

GOODCHILD, MICHAEL F. **Geographical information science**, International Journal of Geographical Information Systems, 6:1, 31-45, DOI: 10.1080/02693799208901893. 1992.

GOODCHILD, MICHAEL F. **The state of GIS for environmental problem solving**. *In*: Environmental Modeling With GIS. M.F., Goodchild, B.O., Parks and L.T., Steyaert (Eds). New York: Oxford University Press. 1993.

GORELICK, N. *et al.* Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote sensing of Environment, v. 202, p. 18-27, 2017

GRAÇA, Irlene Menezes. **Barreirinhas em tempo de mudança: reconstrução de identidades nas rotas do turismo**. Tese de Doutorado. Departamento de Línguas e Culturas. Universidade de Aveiro. Aveiro, 2010.

ICMBio. **Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC)**. Brasília, 2018.
Disponível em: <http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Atlas do Maranhão**. Rio de Janeiro: IBGE. 1984.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Avaliação da qualidade de dados geoespaciais**. Coordenação de Cartografia. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Diretoria de Geociências - Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra Estatísticas desagregadas por Unidades da Federação**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

IMESC. **Situação Ambiental da Região dos Lençóis Maranhenses**. Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. São Luís: IMESC, 2013. 98p.
Disponível em: www.imesc.ma.gov.br> Acesso em janeiro de 2019.

IPEA. IMESC. **Economias baseadas em Biomas**: Estudos das cadeias de Comercializações de produtos florestais não madeireiros na Região do Lençóis Maranhenses na região de planejamento dos Lençóis Maranhenses. Relatório de Pesquisa. Rio de Janeiro: 2016.

HAESBAERT, Rogério. **Regional-Global**. 2ª ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2014.

HAGGETT, Peter. **Geography: A Modern Synthesis**. New York: Harper & Row. 1972.

HARVEY, D. **Social Justice and the City**. London, Edward Arnold. 1973.

HARVEY, David. **Condição Pós-Moderna**. 13 ed. São Paulo: Edições Loyola, 2004.

HOGAN, D. J. A relação entre população e ambiente: desafios para a demografia. *In*: TORRES, H.; COSTA, H. (Org.). **População e Meio Ambiente, debates e desafios**, São Paulo: Editora Senac. 2000. p. 21-49.

HOGAN, D. J.; TOMALSQUIN, M. T. (Org.). **Human dimensions of global environmental change: Brazilian perspectives**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências (ABC), 2001.

JOKAR ARSANJANI, Jamal *et al.* Toward mapping land-use patterns from volunteered geographic information. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 27, n. 12, p. 2264-2278, 2013. DOI:10.1080/13658816.2013.800871. 2013.

KRAAK, M. J.; ORMELING, F. **Cartography: Visualization of Geospatial Data**. 4 ed. Boca Raton, United States: CRC Press. 2020.

LAM, N. S. N. Methodologies for Mapping Land Cover/Land Use and its Change. *In*: LIANG, S. (Ed.) **Advances in Land Remote Sensing**. Springer, Dordrecht, 2008.

LANG, Stefan.; BLASCHKE, Thomas. **Análise da Paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

LEFF, Enrique. **Aventuras da Epistemologia Ambiental: Da articulação das ciências ao diálogo de saberes**. São Paulo: Cortez, 2012.

LEFF, Enrique. **Discursos sustentáveis**. Tradução Silvana Cobucci Leite. São Paulo: Cortez, 2010.

LEFEBVRE, Henri. **La production de l'espace**. 4 ed. Paris: Anthropos, 2000.

LENCIONE, Sandra. **Região e Geografia**. 1 ed. São Paulo: EDUSP, 1999.

LONGLEY, P. A., GOODCHILD, M. F. MAGUIRE, D. J. RHIND, D. W. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. 3. ed. Porto Alegre: Bookiman, 2013.

KRAUSE, G.; BOCK, M. Mapping Land-Cover and Mangrove Structures with Remote Sensing Techniques: A Contribution to a Synoptic GIS in Support os Coastal Management in North Brazil. **Enviroment Management**. v. 34. n. 3, p. 429-440.

LONGLEY, P., GOODCHILD, M., MAGUIRE, D.; RHIND, D. **Geographical Information Systems and Science** 2 ed.. New York, NY: John Wiley & Sons. 2005.

GOODCHILD, M. F. The state of GIS for environmental problem-solving. *In:* GOODCHILD, M. F.; PARKS, B.O.; STEYAERT, L. (Eds.) **Environmental Modeling with GIS**, New York: Oxford University Press. 1993.

LUNA, M.C.M. *et al.* Model for the genesis of coastal dune fields with vegetation. **Geomorphology**. v. 129, p. 215-24. jun. 2011.

LUNA, M.C.M. *et al.* Model for a dune field with an exposed water table. **Geomorphology**. v. 159-60, p. 169-77. jul. 2012.

McFEETERS. S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, n. 7, 1996, p. 1425-1432, DOI: 10.1080/01431169608948714.

MACEACHREN, Alan M. Cartography and GIS: Facilitating Collaboration. **Progress in Human Geography**, v, 24, n. 3, set. 2000, p. 445-456. DOI: <https://doi.org/10.1191/030913200701540528>.

MARCONI, Marina de Andrade.; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas 2007.

MARANDOLA JUNIOR, Eduardo; D'ANTONA, Álvaro de Oliveira; OJIMA, Ricardo (Org.). **População, ambiente e desenvolvimento: mudanças climáticas e urbanização no Centro-Oeste**, Campinas: Núcleo de Estudos da População – NEPO, Brasília: UNFPA, 2011.

MARANHÃO. GEPLAN. **Atlas do Maranhão**. LABGEO/UEMA, São Luís: GEPLAN, 2002.

MARANHÃO. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais - SEMA. 2011. **Unidades de Conservação Estaduais do Maranhão**. São Luís – MA.

MARENGO, J A.; NUNES, L.; SOUZA, C.; HARARI, J.; HOZOKAWA, E.; TABUCHI, E. Vulnerability in brazilian coastal communities: na integrated framework to analyse local decision making and adaption to sea-level rise in Santos, Sao Paulo – Brazil. *In:* MARCHEZINI, V. *et al.* **Reduction of vulnerability to disasters: from knowledge to action**. São Carlos: RiMa Editora, 2017.

MATEO, J. **Apuntes de Geografía de los paisajes**. La Habana: Editorial ENPEs, 1984. 470 p.

MCNEILL, J. R. Population and the Natural Environment: Trends and Challenges. **Population and Development Review**, Vol. 32, 2006, p. 183-201.

MEIRELES, A.J.A. **Mapeamento geológico-geomorfológico da planície costeira de Icapuí, extremo Leste do Estado do Ceará**. Dissertação de Mestrado. Recife: Centro de Tecnologia, Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco, 1991, 178 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Proteção em Unidades de Conservação**. Série: Legislação ICMBio. Vol. 2. Brasília, 2013.

MINAYO, Maria Cecília de Souza (Org.) **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. Petrópolis: Vozes, 2009.

MORAES, Antonio Carlos Robert. **Meio Ambiente e Ciências Humanas**. 4ª Edição. São Paulo: Annablume, 2005. 162 p.

MORAES, Antonio Carlos Robert. **Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil: elementos para uma geografia do litoral brasileiro**. São Paulo: Annablume, 2007.

MORAN, Emílio F. Interações Homem-Ambiente em Ecossistemas Florestais: Uma Introdução. *In*: MORAN, Emilio. F.; e OSTROM, Elinor; tradução de Diógenes S. Alves e Mateus Batistella – **Ecossistemas Florestais: Interação Homem-Ambiente**. São Paulo: Editora Senac: Edusp, 2009.

MORATO, Rúbia G. **Análise Espacial e Desigualdade Ambiental no município de São Paulo**. Teses de Doutorado. Pós-Graduação em Geografia Humana. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. 2008.

MORENO, Diogo de Campos. **Jornada do Maranhão por ordem de sua feita no ano de 1614**. Brasília: Senado Federal, Conselho Editorial, 2011. Edições do Senado Federal, volume 161.

MORIN, E. **Introdução ao Pensamento Complexo**. 2.ed. São Paulo: Editora Instituto Piaget, 1990.

MUEHE, Dieter (Organizador). **Erosão e Progradação no litoral brasileiro**. Brasília: MMA, 2006.

NUNES, Aurimar de Barros; LIMA, Rui Fernandes de F.; e B. FILHO, Cesar Negreiros. Geologia da Folha SA. 23 São Luís e parte da folha SA. 24 Fortaleza. *In: BRASIL, Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto Radam**. Rio de Janeiro: 1973. v.3, p. 1-117.*

OSEKI, Jorge Hajime., PELLEGRINO, Paulo Renato Mesquita. Paisagem, Sociedade e Ambiente. *In: PHILIPPI JUNIOR, Arlindo., ROMÉRO, Marcelo De Andrade, BRUNA, Gilda Collet (Orgs). **Curso de Gestão Ambiental**. Barueri, SP: Manole, 2004.*

PAESE, Adriana., UEZU, Alexandre., LORINI, Maria L., CUNHA, André (Orgs). **Conservação da biodiversidade com SIG**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

PAULA ANDRADE, Maristela De., FILHO, Benedito Souza., SIQUEIRA, Andrea Dalledone. Apresentação, transformações econômicas, socioambientais e territoriais no Brasil: Reflexões sobre governança e modalidades de intervenção estatal. *In: **Revista Pós Ciências Sociais**. Programa de Pós-graduação em Ciências Sociais, v.11, n.22, 2014. 282 p. São Luís: EDUFMA, 2014.*

PEREIRA, Júlio Cesar Rodrigues. **Análise de dados Qualitativos: Estratégias Metodológicas para as Ciências da Saúde, Humanas e Sociais**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004.

PÉREZ MACHADO, Reinaldo Paul. Os novos enfoques da Geografia com o apoio das tecnologias da informação geográfica. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, Volume Especial Cartogeo, 2014, p. 203-241.

PORTO-GONÇALVES, Carlos Walter. **O Desafio Ambiental**. 3. ed. Rio de Janeiro: Record, 2012.

PROST, Maria Thereza. MENDES, Amilcar Carvalho (Organizadores). **Ecosistemas Costeiros: Impactos e Gestão Ambiental**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2001.

REBELO-MOCHEL F. Manguezais do Maranhão: proteção e desenvolvimento. **Manguezais frontais da costa do Pará-Maranhão: razões da proteção integrada.** Anais da 47ª Reunião da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, São Luis, MA, Brasil, 1995. 1: 15-16.

RIBEIRO, Wagner Costa. Los problemas del mundo actual. Soluciones y alternativas desde la geografía y las ciencias sociales. *In: IX Coloquio Internacional de Geocrítica.* Porto Alegre, maio-jun. 2007. Disponível em: <http://www.ub.edu/geocrit/Wagner>.

RODRIGUES, J. M. M.; VICENTE DA SILVA, E.; CAVACALCANTI, A.P.B.; **Geocologia das Paisagens: Uma visão geossistêmica da análise ambiental.** Fortaleza: Edições UFC, 2013. 222 p.

ROGERSON, Peter. A Statistical Method for the Detection of Geographic Clustering. **Geographical Analysis.** v. 33. p. 215-227, 2010. DOI: 10.1111/j.1538-4632.2001.tb00445.x.

ROUGERIE, G. **La géographie des paysages.** C.N.R.S., Paris, 1969. 3544 p.

SACK, Robert David. **Human territoriality: its theory and history.** Cambridge: Cambridge University Press. 1986.

SANTOS, Milton. **Espaço e Método.** São Paulo: Nobel, 1985.

SANTOS, Milton. **A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção.** 4. ed. 2. reimp. São Paulo: Edusp, 2006. Coleção Milton Santos.

SANTOS, Milton. **Metamorfose do espaço habitado: fundamentos teóricos e metodológicos da geografia.** 3.ed. São Paulo: Hucitec, 1994.

SANTOS, Rozely Ferreira Dos. **Planejamento ambiental: teoria e prática.** São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SANTOS, Jorge H. S. dos. **Lençóis Maranhenses atuais e pretéritos: um tratamento espacial.** Tese (Doutorado em Geografia). Rio de Janeiro: PPGEU. UFRJ, 2008.

SANTOS, J. H. S. dos.; PEREIRA, E. D. Caracterização geológica e geomorfológica do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses. Maranhão, Brasil. *In: Anais do XI Simpósio*

Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2005. São Paulo: Departamento de Geografia FFLCH USP, 2005. v. 01.

SILVEIRA, João Dias da. Morfologia do litoral. *In*: AZEVEDO, AROLDO DE. **Brasil a Terra e o Homem: As Bases Físicas**. 2. ed., revista. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1968.

SOARES, Anna Karina Araújo. **Estudo Socioambiental da Reserva Extrativista da Baía de Tubarão**. CNPT/ICMBio. São Luís, 2017.

SOUZA, Marcelo José Lopes de. O Território: Sobre Espaço e Poder, Autonomia e Desenvolvimento. *In*: CASTRO, Iná Elias de; GOMES, Paulo Cesar da Costa; CORRÊA, Roberto Lobato. (Orgs.). **Geografia: conceitos e temas**. 2. ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2000.

SOUZA, U. D. V. **Dinâmica da paisagem da área do povoado de Ponta do Mangue, Município de Barreirinhas-MA**. São Luís, 2007. f.70.

SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes. Geografia e interdisciplinaridade. Espaço geográfico: interface natureza e sociedade. **Geosul, Florianópolis**, v.18, n.35, p.43-53, jan./jun; 2003.

TROPPEMAIR, H. **Biogeografia e Meio Ambiente**. Rio Claro, 1995.

TOBLER, Waldo. R. A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. **Economic Geography**, v. 46, 1970, p. 234-40. DOI: <https://doi.org/10.2307/143141>. Acesso em: 14 set. 2023.

TUAN, Y-F. Space and place: humanistic perspective. *In*: GALE, S; OLSSON, G. (orgs.). **Philosophy in Geography**. Dordrecht: Reidel, p. 387-427, 1979.

TUAN, Y-F. **Topofilia: um estudo da percepção, atitudes e valores do meio ambiente**. Tradução de Livia de Oliveira. Londrina, PR: Eduel, 2012, 342 p.

TUAN, Y-F. **Espaço e Lugar: a perspectiva da experiência**. Tradução de Livia de Oliveira. Londrina, PR: Eduel, 2013a, 248 p.

WEBER, Alfred; FRIEDRICH, Carl J. **Theory of the Location of Industries**. University of Chicago Press, 1929.

ZONEAMENTO ECOLÓGICO E ECONÔMICO DO MARANHÃO. Disponível em: <http://www.zee.ma.gov.br/subsidio/>. Acesso em: 14 set. 2023.

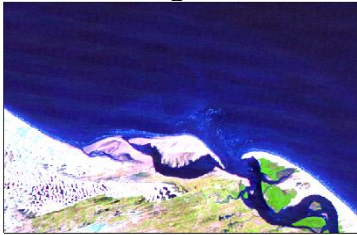
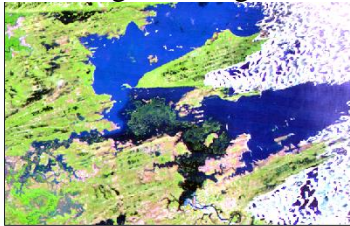
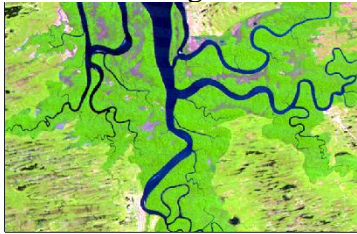
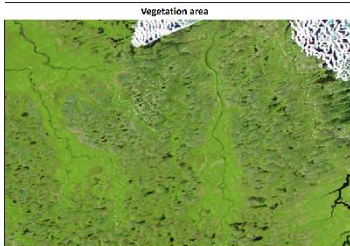
ANEXOS

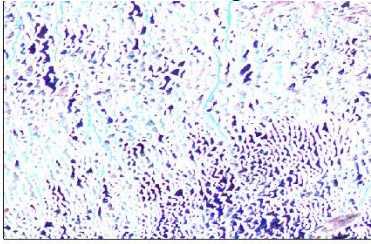

Anexos

ANEXO 01: Chave de interpretação para imagens Landsat

Para mapear as condições da cobertura vegetal e os níveis de drenagem para a área de estudo, foram elaboradas chaves de interpretação para diferentes classes de cobertura do solo (Tabela 01).

TABELA 01: Chaves de interpretação (alvos em recorte Imagem Landsat TM 5R 4G 3B).

Alvo	Características
<p>Água</p> 	<p>Cor: Azul Tonalidades: Clara (mais material em suspensão) a escura (menos material em suspensão) Textura: Lisa Forma: Mais larga em caso de água do mar e sinuosa para os cursos d'água, contínua próxima a foz do Rio Preguiças.</p>
<p>Lagoas e Lagos</p> 	<p>Cor: Azul Tonalidade: Escura Textura: Rugosa Forma: Irregular em seus limites intercaladas por dunas.</p>
<p>Mangue</p> 	<p>Cor: Verde Tonalidade: Escuro Textura: Rugosa Localização: Nas margens do canal de maré</p>
<p>Área de Vegetação</p> 	<p>Cor: Verde Tonalidade: Clara Textura: Lisa Localização: áreas largas e circundando o campo de dunas</p>

Alvo	Características
<p>Dunas e Lagoas</p> 	<p>Cor: Branca Forma: Faixa estreita, irregular e contínua Padrão: Definidas pela ação do vento, onduladas Forma: faixa estreita, irregular e contínua</p>
<p>Área de ocupação</p> 	<p>Cor: Magenta Tonalidade: Clara a escura dependendo da composição e do uso Textura: Lisa Forma: Regular (limites lineares) Padrões: Áreas para loteamento ou agricultura familiar (talhões)</p>

Os princípios de processamento de imagens de satélite executados pesquisa se baseiam em Crosta (1992), Richards (1995), Schowengerdt (1997), a teoria sobre o sensoriamento remoto em Jensen (2009) e a análise temporal de série de dados Landsat para áreas costeiras em Dengqiu *et al.* (2019).

CRÓSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto.** Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1992. 170 p.

DENGQIU, Li; DENGSHENG, Lu; NAN, Li; MING, Wu; XUEXIN; Shao. **Quantifying annual land-cover change and vegetation greenness variation in a coastal ecosystem using dense time-series Landsat data,** GIScience & Remote Sensing, 2019.

JENSEN, J. R. **Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective,** 2. ed., Pearson Education India, New Delhi, 2009. 613 p.

RICHARDS, J.A. **Remote sensing digital image analysis: an introduction.** 2. ed. Berlin: Springer Verlag, 1995. 340 p.

SCHOWENGERDT, R.A. **Remote Sensing: model and methods for image processing.** 2. ed. San Diego: Academic, 1997. 522p

ANEXO 02: Códigos *Google Engine*

Código demonstrativo para especializar em mosaico o Landsat 8 Collection 2, Level 2

```
// QA_PIXEL band (CFMask) to mask unwanted pixels.
function maskL8sr(image) {
  // Bit 0 - Fill
  // Bit 1 - Dilated Cloud
  // Bit 2 - Cirrus
  // Bit 3 - Cloud
  // Bit 4 - Cloud Shadow
  var qaMask = image.select('QA_PIXEL').bitwiseAnd(parseInt('11111', 2)).eq(0);
  var saturationMask = image.select('QA_RADSAT').eq(0);

  // Apply the scaling factors to the appropriate bands.
  var opticalBands = image.select('SR_B.').multiply(0.0000275).add(-0.2);
  var thermalBands = image.select('ST_B.*').multiply(0.00341802).add(149.0);

  // Replace the original bands with the scaled ones and apply the masks.
  return image.addBands(opticalBands, null, true)
    .addBands(thermalBands, null, true)
    .updateMask(qaMask)
    .updateMask(saturationMask);
}

// Map the function over one year of data.
var collection = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C02/T1_L2')
  .filterDate('2020-01-01', '2021-01-01')
  .map(maskL8sr);

var composite = collection.median();

// Display the results.
Map.setCenter(-43.05,-2.55); // PNLM
Map.addLayer(composite, {bands: ['SR_B4', 'SR_B3', 'SR_B2'], min: 0, max: 0.3});
Map.addLayer(table);
```

Código demonstrativo para especializar com mosaico imagens Landsat 4, 5, 7 Collection 2

```
// Level 2 QA_PIXEL band (CFMask) to mask unwanted pixels.
function maskL457sr(image) {
  // Bit 0 - Fill
  // Bit 1 - Dilated Cloud
  // Bit 2 - Unused
  // Bit 3 - Cloud
  // Bit 4 - Cloud Shadow
```

```

var qaMask = image.select('QA_PIXEL').bitwiseAnd(parseInt('11111', 2)).eq(0);
var saturationMask = image.select('QA_RADSAT').eq(0);

// Apply the scaling factors to the appropriate bands.
var opticalBands = image.select('SR_B.').multiply(0.0000275).add(-0.2);
var thermalBand = image.select('ST_B6').multiply(0.00341802).add(149.0);

// Replace the original bands with the scaled ones and apply the masks.
return image.addBands(opticalBands, null, true)
    .addBands(thermalBand, null, true)
    .updateMask(qaMask)
    .updateMask(saturationMask);
}

// Map the function over one year of data.
var collection = ee.ImageCollection('LANDSAT/LT05/C02/T1_L2')
    .filterDate('1984-03-01', '1985-03-01')
    .map(maskL457sr);

var composite = collection.median();

// Display the results.
Map.setCenter(-43.05,-2.55); // PNLM
Map.addLayer(composite, {bands: ['SR_B3', 'SR_B2', 'SR_B1'], min: 0, max: 0.3});
Map.addLayer(table);

```

Código demonstrativo para especializar o NDVI com imagem Landsat 8

```

//Função removedora de núvens
var removerNuvens = function(image){
  var qaImage = image.select(['pixel_qa']);
  return image.mask(qaImage.eq(322).and(qaImage.eq(322)))
}

//Parâmetros de visualização do Mapa
var visual = {min:500, max: 2000, bands: ['B4', 'B3', 'B2']}

//Importação das Imagens Landsat e limites do Cerrado e Municípios do Brasil
var L8 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_SR')
var BR =
ee.FeatureCollection("users/charlestiarini/pa_br_municipios_250_2013_ibge")
var biomas = ee.FeatureCollection('users/charlestiarini/biomas/lm_biomas_250')

//A região de exportação pode ser um bioma, um estado ou algum municipio brasileiro
//caso seja bioma, deve-se informar o nome entre aspas.
//Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal, Amazônia, Caatinga
var nomeBioma = 'Cerrado'
var bioma = biomas.filterMetadata('Bioma', 'equals', nomeBioma)

```

```

//Caso seja um município, deve-se informar o código do IBGE entre aspas.
var codIBGE = '2101707'
var municipio = BR.filterMetadata('CD_GEOCMU', 'equals', codIBGE)

var UF = 'MA'
var estado = BR.filterMetadata('NM_UF', 'equals', UF)

var area = table

//ATENÇÃO: A região de Exportação deve ser informada nessa variável
//Podendo ser 'bioma', 'municipio' ou 'estado'. sem aspas.
var regioao = area

//Data de intervalo para calcular a mediana
var dataInicio = '2020-01-01'
var dataFim = '2021-01-01'

//Nome da pasta de exportação no Google Drive
var titulo = 'Mosaico_Landsat_8'
var pasta = 'Landsat_8_Mosaic_Export'

//Calcular mediana para o período na região escolhida, com filtragem de nuvens
var cena = L8.filterDate(dataInicio,dataFim)
    .map(removerNuvens)
    .median()
    .clip(regiao)

var ndvi = cena.normalizedDifference(['B5','B4'])

//Adicionar camadas no Mapa

Map.addLayer(ndvi, {min:-1, max:1, palette:['red', 'yellow', 'green']}, "NDVI", true)
Map.addLayer(cena, visual, "Cena Landsat 8", true)
Map.addLayer(table)
Map.centerObject(regiao, 9)
Map.setCenter(-43.05,-2.55);

//Exportação para o Drive
Export.image.toDrive({
  image: cena,
  description: titulo+'_Cena',
  folder: pasta,
  region: regioao.geometry().convexHull(),
  maxPixels: 1e13,
  fileFormat: 'GeoTIFF',
  scale: 30
})

Export.image.toDrive({
  image: ndvi,

```

```

description: titulo+'_NDVI',
folder: pasta,
region: regioao.geometry().convexHull(),
maxPixels: 1e13,
fileFormat: 'GeoTIFF',
scale: 30
})

```

Código demonstrativo para especializar o NDVI com imagem Landsat 5

```

//Função removedora de núvens
var removerNuvens = function(image) {
  var qa = image.select('BQA');
  var mask = qa.bitwiseAnd(1 << 4).eq(0);
  return image.updateMask(mask);
}

//Parâmetros de visualização do Mapa
var visual = {min:0.06, max: 0.18, bands: ['B3', 'B2', 'B1']}

//Importação das Imagens Landsat e limites do Cerrado e Municípios do Brasil
//var L7 = ee.ImageCollection("LANDSAT/LE07/C01/T2_SR")
var L5 = ee.ImageCollection("LANDSAT/LT05/C02/T1_TOA")
var BR =
ee.FeatureCollection("users/charlestiarini/pa_br_municipios_250_2013_ibge")
var biomas = ee.FeatureCollection('users/charlestiarini/biomas/lm_biomas_250')

//A região de exportação pode ser um bioma, um estado ou algum municipio brasileiro
//caso seja bioma, deve-se informar o nome entre aspas.
//Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal, Amazônia, Caatinga
var nomeBioma = 'Cerrado'
var bioma = biomas.filterMetadata('Bioma', 'equals', nomeBioma)

//Caso seja um município, deve-se informar o código do IBGE entre aspas.
var codIBGE = '5220207'
var municipio = BR.filterMetadata('CD_GEOCMU', 'equals', codIBGE)

var UF = 'GO'
var estado = BR.filterMetadata('NM_UF', 'equals', UF)

//ATENÇÃO: A região de Exportação deve ser informada nessa variável
//Podendo ser 'bioma', 'municipio' ou 'estado'. sem aspas.
var regioao = table

//Data de intervalo para calcular a mediana
var dataInicio = '1985-01-01'
var dataFim = '1985-12-30'

//Nome da pasta de exportação no Google Drive

```

```

var titulo = 'NDVI_2021'
var pasta = 'GEE'

//Calcular mediana para o período na região escolhida, com filtragem de nuvens

var cena = L5.filterDate(dataInicio,dataFim)
    .map(removerNuvens)
    .median()
    .clip(regiao)

var ndvi = cena.normalizedDifference(['B4','B3'])

//Adicionar camadas no Mapa
Map.addLayer(ndvi, {min:-1, max:1, palette:['red', 'yellow', 'green']}, "NDVI", true)
Map.addLayer(cena, visual, "Cena", true)

//Map.addLayer(regiao)
//Map.centerObject(regiao)

//Exportação para o Drive
Export.image.toDrive({
  image: ndvi,
  description: titulo,
  folder: pasta,
  region: regiao.geometry().convexHull(),
  maxPixels: 1e13,
  fileFormat: 'GeoTIFF',
  crs: 'EPSG:4326',
  scale: 30
})

```

Código demonstrativo para especializar o NDVI com imagem Landsat 8

```

//Função removedora de núvens
var removerNuvens = function(image){
  var qaImage = image.select(['pixel_qa']);
  return image.mask(qaImage.eq(322).and(qaImage.eq(322)))
}

//Parâmetros de visualização do Mapa
var visual = {min:500, max: 2000, bands: ['B4', 'B3', 'B2']}

//Importação das Imagens Landsat e limites do Cerrado e Municípios do Brasil
var L8 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_SR')
var BR =
ee.FeatureCollection("users/charlestiarini/pa_br_municipios_250_2013_ibge")
var biomas = ee.FeatureCollection('users/charlestiarini/biomas/lm_biomas_250')

//A região de exportação pode ser um bioma, um estado ou algum municipio brasileiro

```

```

//caso seja bioma, deve-se informar o nome entre aspas.
//Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal, Amazônia, Caatinga
var nomeBioma = 'Cerrado'
var bioma = biomas.filterMetadata('Bioma', 'equals', nomeBioma)

//Caso seja um município, deve-se informar o código do IBGE entre aspas.
var codIBGE = '2101707'
var municipio = BR.filterMetadata('CD_GEOCMU', 'equals', codIBGE)

var UF = 'MA'
var estado = BR.filterMetadata('NM_UF', 'equals', UF)

var area = table

//ATENÇÃO: A região de Exportação deve ser informada nessa variável
//Podendo ser 'bioma', 'municipio' ou 'estado'. sem aspas.
var regioao = area

//Data de intervalo para calcular a mediana
var dataInicio = '2021-01-01'
var dataFim = '2022-12-01'

//Nome da pasta de exportação no Google Drive
var titulo = 'Landsat_8_2021'
var pasta = 'GEE'

//Calcular mediana para o período na região escolhida, com filtragem de nuvens
var cena = L8.filterDate(dataInicio,dataFim)
    .map(removerNuvens)
    .median()
    .clip(regiao)

var ndvi = cena.normalizedDifference(['B5','B4'])

//Adicionar camadas no Mapa

Map.addLayer(ndvi, { min:-1, max:1, palette:['red', 'yellow', 'green']}, "NDVI", true)
Map.addLayer(cena, visual, "Cena Landsat 8", true)
Map.addLayer(table)
Map.centerObject(regiao, 9.5)
Map.setCenter(-43.05,-2.55);

//Exportação para o Drive
//Export.image.toDrive({
// image: cena,
// description: titulo+'_Cena',
// folder: pasta,
// region: regioao.geometry().convexHull(),
// maxPixels: 1e13,
// fileFormat: 'GeoTIFF',

```

```
// scale: 30
//})

Export.image.toDrive({
  image: ndvi,
  description: titulo+'_NDVI',
  folder: pasta,
  region: regioao.geometry().convexHull(),
  maxPixels: 1e13,
  fileFormat: 'GeoTIFF',
  crs: 'EPSG:4326',
  scale: 30
})
```

Código demonstrativo para calcular área das classes e exportar CSV

```
// Asset mapbiomas
//var asset = "projects/mapbiomas-
workspace/public/collection6/mapbiomas_collection60_integration_v1";
var asset = "projects/mapbiomas-
workspace/public/collection8/mapbiomas_collection80_integration_v1"

// Asset of regions for which you want to calculate statistics
var assetTerritories = table;

// Numeric attribute to index the shapefile
var attribute = "id_arp";

// A list of class ids you are interested
var classIds = [
  3, // Formação Florestal
  4, // Formação Savânica
  5, // Mangue
  49, // Restinga Florestal
  11, // Área Úmida Natural não Florestal
  12, // Formação Campestre
  32, // Apicum
  29, // Afloramento Rochoso
  13, // Outra Formação não Florestal
  18, // Agricultura
  39, // Soja
  20, // Cana
  40, // Arroz
  41, // Outras Lavouras Temporárias
  46, // Café
  47, // Citrus
  48, // Outras Lavouras Perenes
  9, // Silvicultura
  15, // Pastagem
```



```

21, // Mosaico de Agricultura ou Pastagem
22, // Área não Vegetada
23, // Praia e Duna
24, // Infraestrutura Urbana
30, // Mineração
25, // Outra Área não Vegetada
33, // Rio, Lago e Oceano
31 // 'Aquicultura
];

// Output csv name
var outputName = 'areas';

// Change the scale if you need.
var scale = 30;

// Define a list of years to export
var years = [
  '1985', '1986', '1987', '1988', '1989', '1990', '1991', '1992',
  '1993', '1994', '1995', '1996', '1997', '1998', '1999', '2000',
  '2001', '2002', '2003', '2004', '2005', '2006', '2007', '2008',
  '2009', '2010', '2011', '2012', '2013', '2014', '2015', '2016',
  '2017', '2018', '2019', '2020'
];

// Define a Google Drive output folder
var driverFolder = 'GEE';

/**
 *
 */
// Territory
var territory = ee.FeatureCollection(assetTerritories);

// LULC mapbiomas image
var mapbiomas = ee.Image(asset).selfMask();

// Image area in km2
var pixelArea = ee.Image.pixelArea().divide(1000000);

// Geometry to export
var geometry = mapbiomas.geometry();

/**
 * Convert a complex ob to feature collection
 * @param obj
 */
var convert2table = function (obj) {

  obj = ee.Dictionary(obj);

```

```

var territory = obj.get('territory');

var classesAndAreas = ee.List(obj.get('groups'));

var tableRows = classesAndAreas.map(
  function (classAndArea) {
    classAndArea = ee.Dictionary(classAndArea);

    var classId = classAndArea.get('class');
    var area = classAndArea.get('sum');

    var tableColumns = ee.Feature(null)
      .set(attribute, territory)
      .set('class', classId)
      .set('area', area);

    return tableColumns;
  }
);

return ee.FeatureCollection(ee.List(tableRows));
};

/**
 * Calculate area crossing a cover map (deforestation, mapbiomas)
 * and a region map (states, biomes, municipalites)
 */

var calculateArea = function (image, territory, geometry) {

  var reducer = ee.Reducer.sum().group(1, 'class').group(1, 'territory');

  var territoriesData = pixelArea.addBands(territory).addBands(image)
    .reduceRegion({
      reducer: reducer,
      geometry: geometry,
      scale: scale,
      maxPixels: 1e12
    });

  territoriesData = ee.List(territoriesData.get('groups'));

  var areas = territoriesData.map(convert2table);

  areas = ee.FeatureCollection(areas).flatten();

  return areas;
};

var areas = years.map(

```

```

function (year) {
  var image = mapbiomas.select('classification_' + year);

  var areas = territory.map(
    function (feature) {
      return calculateArea(
        image.remap(classIds, classIds, 0),
        ee.Image().int64().paint({
          'featureCollection': ee.FeatureCollection(feature),
          'color': attribute
        }),
        feature.geometry()
      );
    }
  );

  areas = areas.flatten();

  // set additional properties
  areas = areas.map(
    function (feature) {
      return feature.set('year', year);
    }
  );

  return areas;
};

areas = ee.FeatureCollection(areas).flatten();

Map.addLayer(territory);

Export.table.toDrive({
  collection: areas,
  description: outputName,
  folder: driverFolder,
  fileNamePrefix: outputName,
  fileFormat: 'CSV'
});

```