



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO
AMBIENTE
MESTRADO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE

VLADIANA LIMA DA SILVEIRA

ANÁLISE TEMPO-ESPACIAL DA COBERTURA VEGETAL DOS SISTEMAS
AMBIENTAIS DO MUNICÍPIO DE MORADA NOVA, ATRAVÉS DO USO DOS
ÍNDICES ESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO (2014–2024)

FORTALEZA

2026

VLADIANA LIMA DA SILVEIRA

ANÁLISE TEMPO-ESPACIAL DA COBERTURA VEGETAL DOS SISTEMAS
AMBIENTAIS DO MUNICÍPIO DE MORADA NOVA, ATRAVÉS DO USO DOS ÍNDICES
ESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO (2014–2024)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de concentração: Análise Ambiental de ambientes semi-áridos.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Vlândia Pinto Vidal de Oliveira.

FORTALEZA

2026

VLADIANA LIMA DA SILVEIRA

ANÁLISE TEMPO-ESPACIAL DA COBERTURA VEGETAL DOS SISTEMAS
AMBIENTAIS DO MUNICÍPIO DE MORADA NOVA, ATRAVÉS DO USO DOS
ÍNDICES ESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO (2014–2024)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de concentração: Análise Ambiental de ambientes semi-áridos.

Aprovada em: 30/01/2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Vlândia Pinto Vidal de Oliveira (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Tasso Ivo de Oliveira Neto
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Dr^ª. Érika Gomes Brito da Silva
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

A Deus.

Aos meus pais, Valéria e Francisco e a minha
irmã Ana Clara.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pois sem Ele eu nada teria ou seria, e por me mostrar que mesmo cansada ou perdida, posso ir além do que eu imaginava.

Sou grata aos meus pais, Valéria Cristina e Francisco de Assis, por todo o suporte ao longo da minha existência. A minha família, meus avós Liduina e Roberto, meus irmãos, e aos outros não citados, mas que são uma parte importante da minha vida. Agradeço por tudo e por sempre acreditarem que eu iria conquistar meus sonhos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Expresso minha gratidão a Universidade Federal do Ceará e ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), por ter contribuído para a minha formação intelectual e humana, e estar fazendo parte na construção da minha carreira acadêmica e profissional.

A Prof^ª. Dr^ª. Vlândia Pinto Vidal de Oliveira, por todos os conselhos e as sábias palavras compartilhadas ao longo das orientações, e sobretudo por ter me ajudado a encontrar o ponto chave da minha pesquisa. E ainda por ser uma das pessoas mais genuinamente simples e ao mesmo tempo elegantes que tive a honra de conhecer.

Aos meus companheiros de mestrado da turma de 2024 que me acompanharam nessa jornada e me proporcionaram momentos memoráveis. Em especial a Antonia Everlania Félix por ser uma pessoa leve e que sempre esteve presente em diversos momentos importantes na minha jornada no mestrado.

Ao Laboratório de Pedologia, Análise Ambiental e Desertificação (LAPED) por todas as vivências e saberes compartilhados ao longo do tempo na qual estive presente. Com destaque para Maria Danielle Bessa, por ter me ajudado e incentivado a produzir mais e ser mais presente no laboratório, ao Leonardo Silva por sempre me incentivar a ser melhor e aos demais membros desta grande família, que sempre me proporcionaram momentos leves e cheios de conhecimento.

Aos professores participantes da banca examinadora, o professor Tasso Ivo de Oliveira Neto e a professora Érika Gomes Brito da Silva pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

E a todos que de algum modo foram essenciais na minha jornada de autoconhecimento ao longo dos semestres e que fizeram parte da elaboração desta dissertação.

“Na natureza nada acontece isoladamente. Cada fenômeno afeta o outro e é, por sua vez, influenciado por ele; e geralmente é o esquecimento desse movimento e dessa interação universal que impede nossos naturalistas de perceber claramente as coisas mais simples” (Engels, 1876, p. 6)

RESUMO

A presente dissertação tem como objetivo realizar uma análise geoambiental do município de Morada Nova, no estado do Ceará, a partir da avaliação dos índices espectrais de vegetação no período de 2014 a 2024. A investigação fundamenta-se na compreensão da dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal e de suas inter relações com fatores ambientais e socioeconômicos, especialmente em um contexto semiárido suscetível à degradação ambiental. Os objetivos específicos consistem em analisar a evolução temporal dos índices espectrais de vegetação, identificar padrões e tendências ao longo da série histórica e estabelecer correlações entre os índices e as condições da cobertura vegetal. A metodologia adotada caracteriza-se por uma abordagem quali-quantitativa, aplicada à análise geoespacial por meio de técnicas de sensoriamento remoto, com o uso do software QGIS 3.34.12. Foram empregados os índices NDVI e SAVI, calculados a partir de imagens dos satélites Landsat 8 e 9 (OLI/TIRS), permitindo uma análise temporal detalhada do município ao longo da década investigada. Os resultados evidenciam alterações significativas na estrutura geoambiental, indicando processos de degradação que intensificam a vulnerabilidade do município à desertificação. Inserido na região do Baixo Jaguaribe e com forte dependência das atividades agropecuárias, Morada Nova apresenta uma dinâmica territorial diretamente influenciada pelas ações antrópicas, o que reforça a relevância do monitoramento da vegetação como instrumento essencial para o planejamento ambiental e a gestão sustentável do território.

Palavras-chave: estudo integrado; sensoriamento remoto; áreas susceptíveis à desertificação; vulnerabilidade socioambiental; semiárido.

ABSTRACT

This dissertation aims to conduct a geoenvironmental analysis of the municipality of Morada Nova, in the state of Ceará, based on the evaluation of spectral vegetation indices from 2014 to 2024. The study is grounded in understanding the spatiotemporal dynamics of vegetation cover and its interrelations with environmental and socioeconomic factors, especially within a semiarid context susceptible to environmental degradation. The specific objectives are to analyze the temporal evolution of vegetation spectral indices, identify patterns and trends throughout the historical series, and establish correlations between the indices and vegetation cover conditions. The adopted methodology is characterized by a qualitative-quantitative approach applied to geospatial analysis using remote sensing techniques, with the support of Quantum GIS 3.34.12 software. The NDVI and SAVI indices were employed, calculated from Landsat 8 and 9 (OLI/TIRS) satellite imagery, enabling a detailed temporal analysis of the municipality over the investigated decade. The results reveal significant changes in the geoenvironmental structure, indicating degradation processes that intensify the municipality's vulnerability to desertification. Located in the Baixo Jaguaribe region and strongly dependent on agricultural and livestock activities, Morada Nova exhibits a territorial dynamic directly influenced by anthropogenic actions, which reinforces the relevance of vegetation monitoring as an essential tool for environmental planning and sustainable territorial management.

Keywords: integrated stud; remote sensing; areas susceptible to desertification; socio-environmental vulnerability; semi-arid.

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 – Núcleo de ocorrência com os municípios Suscetíveis a Desertificação no Estado do Ceará	36
Mapa 2 – Localização do Município de Morada Nova no estado do Ceará	47
Mapa 3 – Geologia e Unidade Litoestratigráficas Município de Morada Nova no estado do Ceará	54
Mapa 4 – Geomorfologia do Município de Morada Nova no estado do Ceará	56
Mapa 5 – Hipsometria do Município de Morada Nova no estado do Ceará	57
Mapa 6 – Hidrografia do Município de Morada Nova no estado do Ceará	66
Mapa 7 – Volume e estado trófico dos Açudes inseridos no Município de Morada Nova no estado do Ceará	69
Mapa 8 – Análise Pedológica do Município de Morada Nova no estado do Ceará	73
Mapa 9 – Cobertura vegetal do Município de Morada Nova no estado do Ceará	81
Mapa 10 – Sistemas Ambientais do Município de Morada Nova no estado do Ceará	89
Mapa 11 – Análise temporal do NDVI no primeiro semestre no Município Morada Nova (2014 - 2024)	97
Mapa 12 – Análise temporal do NDVI no primeiro semestre no Município Morada Nova relacionados aos sistemas ambientais	101
Mapa 13 – Análise temporal do NDVI no segundo semestre no Município Morada Nova (2014 - 2024)	103
Mapa 14 – Análise temporal do NDVI no segundo semestre no Município Morada Nova relacionados aos sistemas ambientais	106
Mapa 15 – Análise temporal do SAVI no primeiro semestre no Município Morada Nova (2014 - 2024)	107
Mapa 16 – Análise temporal do SAVI no primeiro semestre no Município Morada Nova relacionados aos sistemas ambientais	109
Mapa 17 – Análise temporal do SAVI no segundo semestre no Município Morada Nova (2014 - 2024)	111
Mapa 18 – Análise temporal do NDVI no primeiro semestre no Município Morada Nova relacionados aos sistemas ambientais	113
Mapa 19 – Uso da terra no Município de Morada Nova no estado do Ceará	106

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Modelo teórico da representação do Geossistema	22
Figura 2	– Modelo teórico da representação do Sistema GTP	24
Figura 3	– Esquema simplificado dos principais componentes presentes em um sistema de Sensoriamento Remoto envolvendo fonte de energia, meio de propagação de radiação eletromagnética e características do alvo e do sensor	39
Figura 4	– Procedimentos metodológicos	45
Figura 5	– Série Histórica de Precipitação do município de Morada Nova (1994 - 2024)	74
Figura 6	– Perfil de Argissolo Vermelho	74
Figura 7	– Perfil de Argissolo Vermelho-Amarelo	75
Figura 8	– Perfil de Neossolo Flúvico	76
Figura 9	– Perfil de Neossolo Litólico	77
Figura 10	– Perfil de Planossolo Háptico	78
Figura 11	– Savana-Estépica Arbustiva com presença de pecuária	82
Figura 12	– Savana-Estépica Florestada	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Definições selecionadas de desertificação das últimas décadas	28
Tabela 2 – Informações sobre o Satélite Landsat 8-9 OLI/TIRS	49
Tabela 3 – População do município de Morada Nova nos anos de 1991, 2000 e 2010 .	84
Tabela 4 – Evolução do PIB do município de Morada Nova/CE	85
Tabela 5 – Distribuição de Empregos formais em Morada Nova/CE por setor e atividade econômica	86
Tabela 6 – Valores dos principais Índices de Desenvolvimento no município de Morada Nova	88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADECE	Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ASD	Áreas Susceptíveis à Desertificação
BDIA	Banco de Dados e Informações Ambientais
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDH-M	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IDS	Índice de Desenvolvimento Social
IET	Índice de Estado Trófico
IEV	Índices Espectrais de Vegetação
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
LiDAR	Light Detection and Ranging (Detecção e alcance de luz)
MMA	Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
NASA	National Aeronautics and Space Administration (Administração Nacional da Aeronáutica e do Espaço)
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OLI	Operational Land Imager (Imagem Operacional da Terra)
PAE-CE	Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca
PAN-BR	Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca
PIB	Produto Interno Bruto

PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
QGis	Quantum Gis
SAVI	Soil and Atmosphere Adjusted Vegetation Index (Índice de Vegetação Ajustado ao Solo e Atmosfera)
SEMA-CE	Secretária do Meio Ambiente do Estado do Ceará
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission (Missão de Topografia Radar do Ônibus Espacial)
TIRS	Thermal Infrared Sensor (Sensor Infravermelho Térmico)
UNCCD	United Nations Convention to Combat Desertification (Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação)
UNEP	United Nations Environment Programme
USGS	United States Geological Survey (Serviço de Levantamento Geológico Americano)
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Conceito de Sistemas Ambientais	17
2.2	O Mito da Desertificação: seria apenas um efeito da natureza?	24
2.3	Áreas Suscetíveis à Desertificação no Estado do Ceará - ASD's	32
2.4	Sensoriamento remoto e sua importância na Análise geoambiental	35
2.4.1	<i>Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)</i>	39
2.4.2	<i>Índice de Vegetação Ajustado ao Solo e Atmosfera (SAVI)</i>	40
3	MATERIAIS E MÉTODOS	42
3.1	Localização e caracterização da área de estudo	43
3.2	Coleta e análise de dados	45
3.3	Aquisição de Imagens de Satélite	46
3.4	3.4 Análise temporal dos Índices Espectrais de Vegetação (IEV)	47
4	ANÁLISE SEMI-INTEGRADA DOS COMPONENTES GEOAMBIENTAIS	50
4.1	Geologia e Geomorfologia	50
4.1.1	<i>Aspectos geológicos</i>	50
4.1.2	<i>Aspectos geomorfológicos</i>	53
4.2	Clima e recursos hídricos	58
4.2.1	<i>Aspectos climáticos</i>	58
4.2.2	<i>Aspectos hidrográficos</i>	61
4.3	Pedologia e cobertura vegetal	69
4.3.1	<i>Aspectos pedológicos</i>	69
4.3.2	<i>Aspectos fitogeográficos</i>	76
4.4	Aspectos socioeconômicos	81
5	CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS AMBIENTAIS E SUA CORRELAÇÃO COM OS ÍNDICES ESPECTRAIS	89
5.1	Sistemas Ambientais de Morada Nova	89
5.2	Evolução Temporal dos Índices Espectrais e os sistemas ambientais	96
5.3	Relação entre Índices e Cobertura Vegetal	113
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	119
	REFERÊNCIAS	121

1 INTRODUÇÃO

A desertificação pode ser conceituada como a degradação ambiental e socioambiental que ocorre em particular nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, que resulta de diversos fatores e vetores, incluindo as variações climáticas e atividades humanas (Barreto; Cezário; Oliveira, 2019).

A gênese do processo causador da desertificação pode ser então resumida como a soma das atividades humanas e das condições naturais do meio. Além disso, a desertificação está associada a ecossistemas com condições climáticas irregulares e adversas, agravadas pelo tipo de uso e ocupação dos solos. Portanto, deve-se notar que, embora o ambiente natural seja muito sensível a este processo de degradação, ele não é o fator decisivo (Pinheiro; Gomes Neto; Guerra, 2009).

Através da análise dos Índices Espectrais de Vegetação, é possível identificar os principais impactos que geram o processo de degradação pela ação antrópica na cobertura vegetal de um ambiente natural. Visto que estes índices fornecem informações valiosas sobre a saúde e distribuição da vegetação, facilitando a avaliação das mudanças ambientais e suas implicações para a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos.

Ao examinar as variações temporais nesses índices, esta pesquisa visa elucidar padrões de crescimento e declínio da vegetação, bem como os fatores que impulsionam essas tendências. Em última análise, a compreensão abrangente da dinâmica da cobertura vegetal pode informar a conservação de estratégias e práticas de gestão sustentável do território pertencente ao município de Morada Nova, no estado do Ceará.

Com base no que foi exposto, buscou-se nortear a pesquisa nos seguintes questionamentos-chave: 1) Como os índices espectrais de vegetação refletem a saúde ambiental do município de Morada Nova na última década? 2) Existem padrões significativos nos índices espectrais de vegetação de Morada Nova/CE ao longo de 2014 a 2024? 3) Quais são os principais fatores que têm impactado o processo de desertificação em Morada Nova/CE nos anos analisados?

Evidenciando como problemática central a correlação da cobertura vegetal de Morada Nova, um dos municípios que compõem o núcleo III que representa as Áreas Suscetíveis à Desertificação no Ceará (ASD), com os aspectos socioeconômicos relacionados ao uso e ocupação, através da análise temporal dos Índices Espectrais de vegetação. Buscou-se trabalhar, além dos aspectos já citados, a caracterização e apresentação dos Sistemas Ambientais encontrados no município. À medida que se pretende analisar o estado da

cobertura vegetal ao longo do tempo, é preciso entender os processos pedológicos, geomorfológicos, climáticos e socioeconômicos que compõem os Sistemas Ambientais para um diagnóstico holístico do objeto de estudo.

Ademais, trabalhar a sustentabilidade do atual sistema econômico, mediante uma análise ambiental integrando as unidades elementares do sistema ambiental que a estrutura representa, abordar uma problemática que se expande para além do objeto de estudo trabalhado. Em decorrência disso, discussões sobre como o processo de desertificação tem transformado cada vez mais a composição do ambiente natural se tornaram mais recorrentes. Essas discussões partem da premissa principal em que grande parte das terras cujas características naturais são áridas e semiáridas no mundo sofre com a degradação dos recursos naturais, seja por intermédio do ressecamento dos solos ou pela degradação da cobertura vegetal (Sousa; Oliveira, 2011).

O estudo dos índices espectrais de vegetação, em áreas que já apresentam uma predisposição natural aos processos degradativos, desempenha um papel crucial nos estudos ambientais, permitindo que haja a avaliação das características da saúde vegetal, biomassa e cobertura da terra de forma eficiente. Dentre os vários índices, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo e Atmosfera (SAVI) foram utilizados para realizar a análise temporal da cobertura vegetal no município de Morada Nova. Essa escolha ocorreu devido à sua eficácia na avaliação da densidade da vegetação e no monitoramento das mudanças ao longo do tempo.

Os índices são derivados de dados de sensoriamento remoto, aprimorando a compreensão das condições ecológicas em áreas susceptíveis à desertificação ou fortemente degradadas, decorrentes das pressões antrópicas. Usando as imagens de satélite, busca-se demonstrar a correlação entre os atributos da vegetação, apoiando-se nos esforços que possam resultar em propostas referentes à conservação ambiental e informações sobre as possíveis políticas públicas. A integração dos estudos aplicados à análise dos sistemas é vital para um monitoramento e avaliação ambiental eficazes.

Com base no que foi exposto, objetiva-se realizar o diagnóstico geoambiental do município de Morada Nova, por meio da análise dos índices espectrais de vegetação durante o período de 2014 a 2024. Além disso, como objetivos específicos, busca-se analisar os componentes geoambientais do município de Morada Nova; delimitar os Sistemas Ambientais apontando as suas potencialidades e limitações e verificar o avanço da desertificação/degradação do município de Morada Nova através da análise dos índices espectrais, nos anos de 2014 a 2024, por meio da identificação de padrões e tendências;

Tendo como propósito principal dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) a promoção de um desenvolvimento inclusivo, equitativo e sustentável, considere-se que haja o uso dos recursos a fim de suprir as necessidades presentes sem comprometer as gerações futuras. Ressaltando que a seguinte pesquisa está fomentada ainda pelo objetivo 15 dos ODS'S que diz respeito à Vida Terrestre - Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade. Com ênfase neste objetivo correlato, buscou trabalhar aspectos relevantes não só para a compreensão da dinâmica socioambiental, mas também das possíveis medidas mitigadoras na área de estudo.

Ademais, por meio dos resultados obtidos, busca-se contribuir para o conhecimento da dinâmica e distribuição da vegetação, visando fornecer subsídios para a conservação, recuperação e uso sustentável dos recursos naturais. É também objetivo com esse estudo proporcionar dados que auxiliem no desenvolvimento de políticas e práticas que promovam a preservação do ambiente e o bem-estar da população.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão abordados os principais conceitos pertinentes a presente dissertação, através da apresentação da temática por meio da discussão de relevantes autores de cada área de conhecimento. Serão abordados os conceitos de Sistemas Ambientais sob as diversas perspectivas que o tema o abrange, além de uma análise da evolução do conceito ao longo dos anos, mostrando como cada autor delimita o tema, utilizando nomenclaturas distintas mas que em suma caracteriza e contribuem para a discussão.

Outro relevante conceito, o de desertificação, será discutido mostrando além dos principais conceitos, os fatores que fazem com que haja uma crescente e emergente preocupação com esse fenômeno nos dias atuais. Com a delimitação da temática anterior visando abordar a região de interesse do seguinte estudo, foram apresentados os núcleos de ocorrência desse evento, as Áreas Susceptíveis à Desertificação no estado do Ceará.

Trazendo uma perspectiva mais ampla, foi discutido ainda o conceito de Sensoriamento remoto e suas diversas aplicações nas análises geoambientais, mostrando como esse processo tem contribuído para o avanço dos estudos integrados. Com enfoque voltado para o presente estudo, foram discutidos os conceitos dos índices espectrais como o NDVI e o SAVI, assim como suas características e limitações para o estudo geoambiental.

Por fim, este capítulo busca trazer um panorama teórico dos principais temas discutidos ao longo do estudo, evidenciando cada aspecto pertinente à discussão e alcance dos objetivos definidos anteriormente.

2.1 Conceito de Sistemas Ambientais

O conceito de Sistemas Ambientais abrange diversas abordagens teóricas e práticas que se interconectam para compreender as complexas interações entre os sistemas sociais e os ecológicos. Estes sistemas não apenas abrangem a relação entre ecossistemas e atividades antrópicas, mas, exigem uma análise interdisciplinar que inclui aspectos econômicos, sociais e ambientais.

Além disso, a avaliação do ciclo de vida emerge como uma ferramenta essencial para avaliar impactos ambientais de maneira sistemática, permitindo uma compreensão mais profunda das consequências das atividades humanas sobre o meio ambiente (Haselbach et al.). Portanto, o estudo dos principais conceitos que delimitam os Sistemas Ambientais é imprescindível para formar uma base sólida que guie discussões sobre sustentabilidade e conservação dos recursos naturais.

Para compreender a definição do termo Sistema Ambiental, será preciso analisar de forma individual a simbologia que o compõe. Um sistema pode ser definido como uma entidade que possui a capacidade de se manter em um nível de organização em relação às mudanças internas e externas, compondo assim um conjunto de elementos que interagem entre si objetivando algo em comum (Von Bertalanffy, 1975).

Segundo Huggett (1980), um sistema pode ser definido como um “arranjo não randômico de matéria e energia numa região do espaço e tempo físicos, a qual é organizada não-aleatoriamente em subsistemas coatuantes e inter-relacionados”.

O sistema, enquanto um conjunto organizado, pode ser classificado de diversas maneiras, sendo uma das distinções mais relevantes entre sistema aberto e fechado. Um sistema aberto à interação ocorre com o ambiente externo, trocando potenciais entrada e saída de recursos, o que permite que haja a adaptação de variáveis externas. Em contrapartida, um sistema fechado limita essas interações, operando de acordo com condições internas pré-estabelecidas (Feil; Schreiber; Tundisi, 2015). Essa classificação é crucial para a compreensão do funcionamento de um sistema em um sentido amplo, visto que define a flexibilidade e a capacidade de resposta do sistema às mudanças ambientais.

Já o ambiente pode ser definido como um conjunto de condições que unem e sustentam os seres bióticos na biosfera, como um todo ou em parte, pois abrange elementos do clima, solo, água e organismos. (Art, 1998)

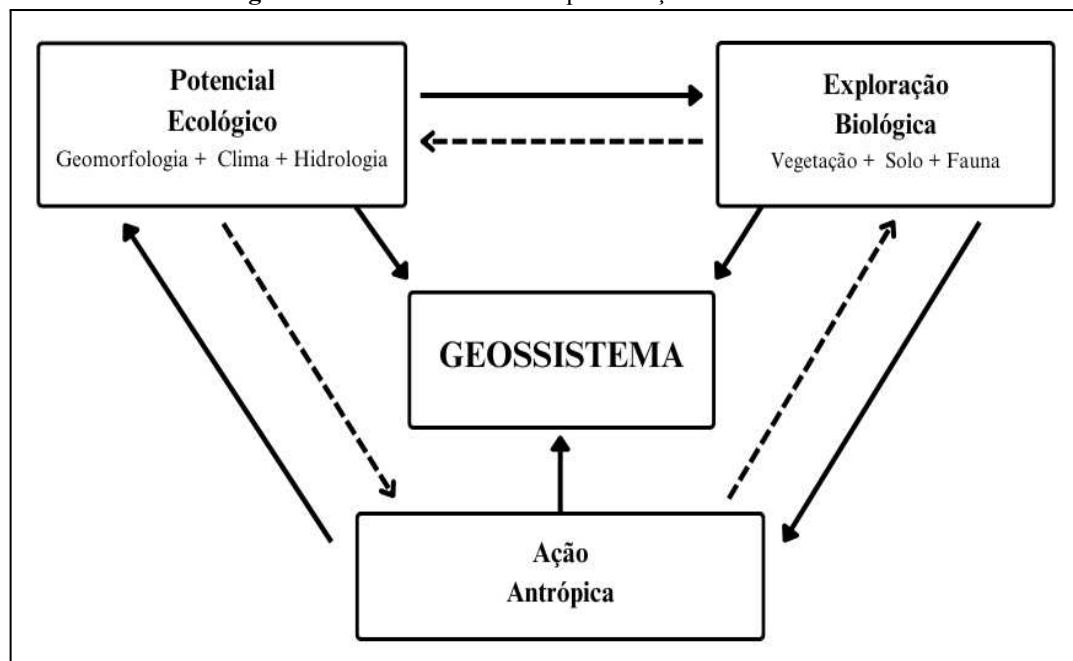
Em termos gerais, o ambiente pode ser definido como o conjunto de fatores, condições e elementos que rodeiam um sistema específico, proporcionando o contexto no qual este opera (Feil; Schreiber; Tundisi, 2015).

O ambiente, por sua vez, compreende todos os fatores externos que influenciam e interagem com um sistema. Essa relação é dinâmica e multifacetada, uma vez que as mudanças no ambiente podem exigir adaptações significativas nos Sistemas Ambientais, promovendo sua evolução ou, em alguns casos, sua obsolescência (Odum, 2006).

Os termos apresentados anteriormente, quando unidos, formam os ditos Sistemas Ambientais, que podem ser definidos como uma estrutura organizada na superfície terrestre, que inclui os subsistemas físico/natural (Geossistema), além de suas inter-relações. O Subsistema físico-natural abrange elementos e processos associados aos elementos morfoclimáticos e organismos vivos. Por outro lado, o subsistema antrópico envolve aspectos relacionados à população, urbanização, indústria, agricultura e mineração, entre outras atividades e expressões oriundas da sociedade humana. (Amorim, 2012).

A figura 1 expressa em suma o conceito de Geossistemas, onde percebe-se a interação dos sistemas, visto que são conjuntos de elementos naturais e antrópicos que interagem entre si, formando uma unidade complexa e dinâmica. O conceito de Geossistema, de acordo com Bertrand (1971), é esquematizado abaixo, é o resultado da dinâmica entre o potencial ecológico (geomorfologia, clima, hidrologia), a exploração biológica (vegetação, solo, fauna) e a ação antrópica.

Figura 1 - Modelo teórico da representação do Geossistema



Fonte: Bertrand, 1972.

Trazendo uma análise da concepção de Geossistemas proposta por Sotchava (1977), pode-se concluir que as ações do Homem em sociedade não impactam de modo direto os Geossistemas. Para entender a interferência antrópica nos Geossistemas, é necessário compreender a interação e os processos responsáveis pela configuração dos sistemas ambientais. No entanto, divergindo de um dos conceitos mencionados anteriormente, onde são apresentados os Sistemas Ambientais como a formação de dois elementos que interagem entre si, criando fluxos de matéria e energia: os Geossistemas e os Sistemas Antrópicos.

As interpretações de Geossistema de Sotchava (1977) e Bertrand (1971) apresentam diferenças em sua conceituação e delimitação. Sotchava (1977) define os Geossistemas como o foco de estudo da Geografia Física, compostos por elementos do ambiente natural que podem ser afetados pela ação humana, resultando em mudanças em sua funcionalidade,

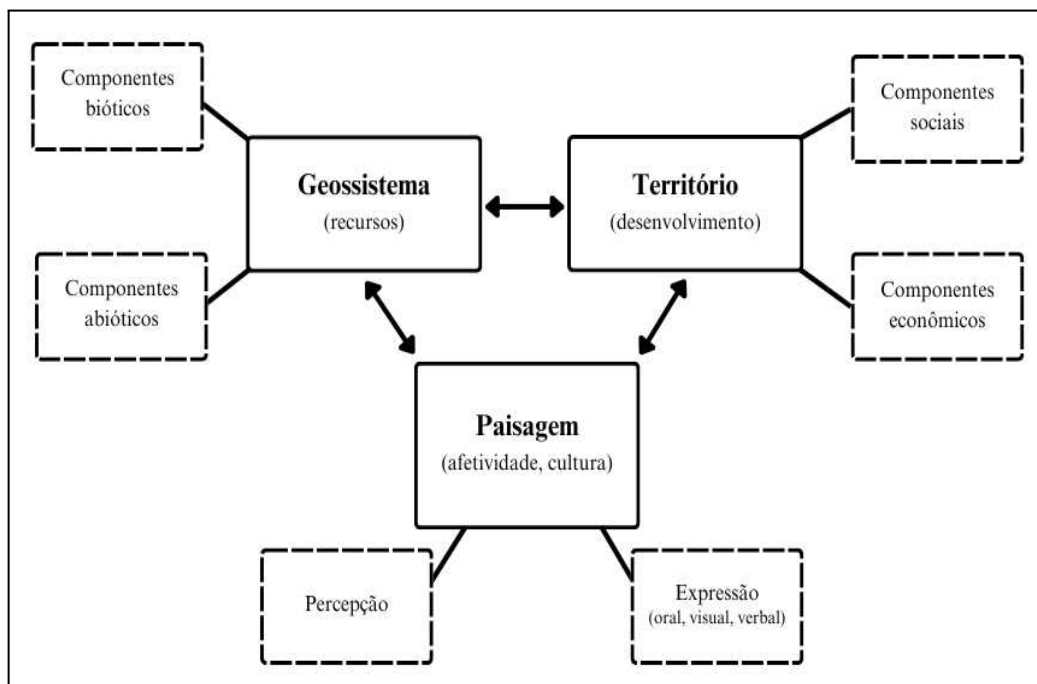
estrutura e organização. Por outro lado, Bertrand (1971) inclui a ação humana como parte integrante dos Geossistemas.

Esse último recebe críticas à sua conceituação de Geossistema, onde questiona-se a ideia de incluir o homem como parte desse sistema. De acordo com Sotchava (1977), a inserção de novos elementos e a alteração de fluxos de matéria ou energia nos Sistemas Ambientais pelos Sistemas Antrópicos não significa necessariamente que o homem deva ser considerado um componente dos Geossistemas.

Outro modo abordado de representação das interconexões existentes entre os sistemas foi realizado por Georges Bertrand e Claude Bertrand (2007), onde há associação entre a paisagem e o território aos Geossistemas, formando o Sistema GTP (figura 2). O Sistema GTP é expresso pelo Geossistema (componentes bióticos e componentes abióticos), Território (componentes sociais e componentes econômicos), Paisagem (percepção e expressão), traz uma nova perspectiva à dinâmica sociedade/natureza e trabalha elementos ignorados anteriormente. Portanto,

O sistema GTP (geossistema, território, paisagem) é um sistema geográfico de exploração da interface sociedade/natureza. Ele pode se tornar rapidamente operacional. Ao mesmo tempo disciplinar e engajado na transdisciplinaridade, ele é um “misto” em busca de espaço de liberdade. Um conhecimento híbrido é sempre um conhecimento que avança muito (Bertrand, G; Bertrand, C, 2007, p.10).

Figura 2 - Modelo teórico da representação do Sistema GTP



Fonte: Bertrand, G; Bertrand, C, 2007.

Porém, o objetivo do sistema GTP não é substituir, mas sim revitalizar a pesquisa ambiental em várias áreas, levando em consideração diferentes dimensões de tempo e espaço. Isso pode ocorrer tanto dentro de áreas específicas de estudo quanto no âmbito da interdisciplinaridade. O principal propósito do sistema é incentivar uma análise aprofundada de questões epistemológicas e conceituais e, sempre que viável, promover propostas metodológicas concretas (Bertrand, G.; Bertrand, C., 2007).

Apresentando um elevado hermetismo, os Sistemas Ambientais são em razão de copiosas proporções e capacidades dos fenômenos naturais e provocados pelo homem. Isso requer um nível mais elevado de abstração, pois essa análise implica em garantir a coerência entre o que é observado e o que é praticado. Cada escala utilizada apenas aponta para o contexto de referência no qual um fenômeno é relevante (Amorim, 2012).

Podendo-se representar os Sistemas Ambientais como estruturas espaciais terrestres em suas complexas interações que, em muitas ocasiões, são invisíveis, mas exercem um impacto profundo sobre a biodiversidade. Sendo assim, os Sistemas Ambientais podem ser conceituados como,

Os Sistemas Ambientais possuem uma estrutura e expressividade espacial na superfície terrestre. Considerando critérios em bases conceituais (definições) e de operacionalização (procedimentos técnicos) pode-se estabelecer suas fronteiras e delimitar a territorialidade ocupada pelo sistema, como unidade discreta. Sob a perspectiva ecossistêmica, a organização estrutural e o funcionamento dos processos operam na integração vertical do habitat e dos organismos componentes da entidade. Sob a perspectiva geossistêmica, a organização estrutural e a relevância funcional dos processos realizam-se predominantemente na integração espacial entre os componentes do sistema (Christofolletti, 1999, p. 53).

Desde os primeiros estudos, como o de Rambo (1983), que introduziu o modelo de Sistemas Ambientais como uma alternativa ao modelo de ecologia cultural, enfatizando a importância das interações entre sistemas sociais e ecológicos, até as discussões contemporâneas sobre sistemas socioecológicos, a literatura revela uma evolução significativa no entendimento das dinâmicas ambientais e humanas.

Em 2006, Abbott expande essa discussão ao abordar a ideia de "sistemas de sistemas", ressaltando que cada sistema é influenciado por seu ambiente e que as interações entre componentes podem levar a consequências inesperadas. Essa perspectiva é crucial para a construção de sistemas que não apenas existam, mas que também se adaptem e evoluam dentro de seu contexto ambiental.

A integração de uma visão ambiental na engenharia de sistemas é uma proposta que se alinha com a necessidade de um pensamento crítico sobre as interações entre os componentes de um sistema (Abbott, 2006). Entre esses componentes, destacam-se os fatores biológicos, físicos e sociais que, juntos, moldam a estrutura e o funcionamento dos Sistemas Ambientais.

Reynolds (2010) trouxe uma nova dimensão ao debate, ao sugerir que a política é intrínseca à ciência, e que a compreensão das questões ambientais deve ser mediada por um diálogo entre diferentes culturas do conhecimento. A alienação do ambiente, conforme discutido, é um obstáculo significativo para a formulação de políticas informadas e eficazes. O reconhecimento da interdependência entre os mundos social e natural é essencial para promover a sustentabilidade.

Também é apresentada uma definição de sustentabilidade ambiental que enfatiza a necessidade de um ambiente limpo e produtivo como base para sistemas socioeconômicos responsáveis (Morelli, 2013).

A interconexão entre meio ambiente, economia e sociedade é reiterada, destacando que um ambiente sustentável é um pré-requisito para a sustentabilidade social e econômica. Sendo abordada a complexidade das interações entre sistemas ambientais e humanos, sublinhando a importância da coevolução e da preservação dos subsistemas para a viabilidade da sustentabilidade (André Feil et al., 2015).

Por outro lado, temas emergentes na literatura sobre sustentabilidade estão alinhados aos Sistemas Ambientais, como segurança hídrica e gestão de recursos hídricos, ressaltando a tensão entre imperativos de desenvolvimento e sustentabilidade. Essa análise é vital, pois revela como a segurança hídrica pode ser um ponto de interseção entre a entrega de serviços e a sustentabilidade ambiental (Carrard; Willetts, 2017).

Explorar as tensões conceituais em torno dos desafios da sustentabilidade atual dos Sistemas Ambientais e Antrópicos é enfatizar a necessidade de uma abordagem que harmonize divergências e busque soluções mutuamente benéficas. A identificação de categorias de "o que deve ser sustentado" e "o que deve ser desenvolvido" fornece uma estrutura útil para entender as prioridades em pesquisa e prática (Savaget et al., 2019).

Desse modo, é possível identificar e classificar os Sistemas Ambientais com base na interação entre seus componentes geoambientais, suas dimensões e suas características de origem e evolução. Ao considerar a variedade interna desses sistemas, é estabelecida a delimitação das unidades básicas presentes em um sistema de relações específico, que define os subsistemas espacialmente (Costa; Oliveira, 2019).

Com o avanço e contexto atual frente à insustentabilidade do atual Sistema Antrópico, o conceito de Sistemas Ambientais incorporou elementos ligados à sustentabilidade ambiental. Visto que,

As propriedades sistêmicas da paisagem (estrutura, funcionamento, dinâmica e evolução) representam em si os mecanismos e as vias mediante as quais se forma, origina e se sustenta a eficiência ecológica do sistema. Não é possível calcular os valores, benefícios e custos ambientais, se não se conhecem as características e funções das paisagens (geossistemas), vistas como Sistemas Ambientais que constituem a base geoecológica espaço-temporal dos sistemas nos quais se pretende incorporar a sustentabilidade ambiental (Rodríguez; Silva; Cavalcanti, 2022. p. 206).

Com essa nova perspectiva, Zehui (2023) e E. Currie et al., (2023) passaram a focar em comportamentos proambientais e na pesquisa de sistemas socioecológicos, respectivamente. Zehui (2023) destacou a importância de entender as forças que impulsionam comportamentos proambientais, enquanto E. Currie et al., (2023) enfatizaram a natureza complexa e adaptativa dos sistemas socioecológicos, propondo que a pesquisa deve ser orientada para a ação e adaptabilidade em face das incertezas.

A análise do futuro dos Sistemas Ambientais revela a complexidade das interações entre os componentes sociais, ambientais e econômicos que moldam o atual modelo econômico (Brasil, 2020). No contexto atual, a busca por práticas sustentáveis deve levar em conta não apenas a rentabilidade, contudo, a resiliência e a capacidade adaptativa dos Sistemas Ambientais frente a choques e incertezas decorrentes da degradação gerada pelo uso indiscriminado dos recursos naturais (Sandoval-Escobar; Ortiz-Ramírez, 2025).

A interação entre Sistemas Ambientais e Sistemas Antrópicos deve incluir aspectos de sustentabilidade, refletindo a importância de responder aos riscos (Lien; Hardaker; Flaten, 2007). Este dinamismo exige uma abordagem integrativa que considere a complexidade das interações entre os diferentes sistemas produtivos e a necessidade de políticas mais direcionadas e eficazes, principalmente em regiões que apresentam como características naturais o processo de desertificação.

2.2 O Mito da Desertificação: seria apenas um efeito da natureza?

O conceito referente aos Sistemas Ambientais, como visto anteriormente, expressa o envolvimento de interações complexas entre componentes biológicos, físico-químicos e sociais. Sendo o termo essencial a análise das causas e consequências da desertificação, uma vez que os Sistemas Ambientais são constituídos por uma rede de elementos interconectados que interagem mutuamente.

Neste contexto, a desertificação não pode ser examinada apenas como um fenômeno isolado, contrariamente, deve ser abordada através de uma perspectiva holística que considere as dinâmicas ecológicas, as ações antrópicas e as políticas de gestão e conservação ambiental. Essa abordagem, interdisciplinar, é vital para o desenvolvimento de estratégias eficazes que visem à prevenção e recuperação de áreas afetadas (Leite, 2025).

A desertificação, frequentemente, é considerada um fenômeno ambiental complexo e tem gerado um intenso debate acadêmico e político ao longo das últimas décadas. A literatura sobre o tema revela uma variedade de perspectivas que desafiam a visão simplista de que a desertificação é apenas um efeito da natureza, sem a influência das atividades humanas.

Os estudos em território nacional tiveram sua primeira tentativa de formulação pelo professor João Vasconcelos Sobrinho, que na busca de determinar indicadores que ocasionam a desertificação defendia que “a desertificação é um fenômeno de sistemas no qual intervém o clima, os solos, a fauna e o homem”. Sendo decorrente da fragilidade dos ecossistemas frente à pressão exacerbada proveniente das populações humanas ou pela fauna autóctone, perdendo sua capacidade produtiva e sua capacidade adaptativa (Vasconcelos Sobrinho, 1974).

Outro relevante estudioso da temática, o professor Aziz Ab’Saber, realizou sua análise a partir de núcleos da compartimentação em locais cujo processo de degradação já estava em estado avançado, identificando assim em território nacional não apenas a degradação acentuada no bioma Caatinga. Identificando manchas de desertificação em biomas que naturalmente não apresentam tais problemáticas, como o cerrado, fica notória a intervenção humana no processo de desertificação no Brasil (Ab’Saber, 1977).

Com base no que foi exposto acima, a desertificação pode ser conceituada como a degradação da terra em áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de uma combinação de fatores climáticos e das atividades humanas (UNCCD, 1994; Brasil, 2004). Esse processo é caracterizado pela redução da biodiversidade, perda de solo fértil, diminuição da produtividade agrícola e escassez de recursos hídricos, levando a um ciclo vicioso de degradação que pode afetar negativamente a qualidade de vida das populações locais.

Vale salientar que a degradação da terra não é um fenômeno exclusivo do século XX, sendo que a história já demonstrou o impacto negativo da degradação da terra na agricultura, especialmente após a Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação em 1977 (Barreto; Cezário; Oliveira, 2019). Com base nisso, a tabela 1 apresenta a evolução do conceito de desertificação ao longo das décadas, com a definição, conceito central e enfoque de cada período.

Tabela 1 - Definições selecionadas de desertificação das últimas décadas.

Período	Definições	Conceito central	Enfoque principal	Referências
Década de 1940	“A desertificação é um processo pelo qual áreas originalmente férteis passam a exibir características desérticas, não por causas naturais exclusivas, mas principalmente por ação antrópica, ou seja, pela intervenção humana inadequada no uso do solo e dos recursos naturais.”	Degradação induzida pelo homem em áreas tropicais.	Ação antrópica	(Aubreville, 1949)
	“A propagação de condições semelhantes às desérticas em áreas áridas ou semiáridas devido à ação do homem ou às mudanças climáticas”			(Rapp, 1974)
	“O processo de degradação progressiva dos ecossistemas das regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante da combinação entre oscilações climáticas naturais (especialmente a seca) e atividades humanas desordenadas, como o sobrepastoreio, o desmatamento e o cultivo intensivo.”			(Rapp, 1976)
Década de 1970	“A desertificação é um processo de desequilíbrio ecológico provocado por práticas humanas insustentáveis em meio a condições climáticas adversas, levando à degradação do solo e à perda da produtividade dos ecossistemas”	Degradação em regiões áridas agravadas pela seca.	Fatores naturais + humanos	(Schnell, 1976)
	“Empobrecimento dos ecossistemas áridos, semiáridos e alguns subúmidos secos pelo impacto combinado das atividades humanas e da seca”			(Dregne, 1977)
	“Processo de degradação dos ecossistemas das regiões secas, particularmente das caatingas, associado ao uso intensivo dos recursos naturais e à fragilidade ecológica dos sertões.”			(Ab’Sáber, 1977)
	“A desertificação é o empobrecimento de ecossistemas áridos, semiáridos e alguns			(Gadú Fio, 1977)

Período	Definições	Conceito central	Enfoque principal	Referências
	<p>subúmidos pelo impacto das atividades do homem”</p> <p>“A desertificação é a diminuição ou destruição do potencial biológico da terra e pode levar, em última análise, a condições semelhantes às de um deserto”</p> <p>“A transformação progressiva de áreas semiáridas em desertos verdadeiros, pela ação conjugada de fatores naturais e, principalmente, da ação humana, sobretudo o desmatamento e o uso irracional do solo.”</p>			<p>(Nações Unidas, 1978)</p> <p>(Vasconcelos-Sobrinho, 1978)</p>
Década de 1980	<p>“A desertificação é o resultado de uma secagem progressiva do clima da África, uma tendência que começou há 5000 anos”</p> <p>“A desertificação é um fenômeno global induzido pelo homem que não respeita as zonas climáticas”</p> <p>“Desertificação é o nome dado aos processos pelos quais esses ecossistemas perdem essa capacidade de se reviver ou de se reparar”</p> <p>“A desertificação é um processo de degradação ambiental que se manifesta nas regiões semiáridas, resultante da ação antrópica associada a eventos climáticos adversos, levando à perda da capacidade produtiva da terra.”</p> <p>“O processo de degradação das terras áridas, semiáridas e subúmidas secas, causado pela combinação de fatores naturais — como a variabilidade climática e a escassez hídrica — e pelas atividades humanas, especialmente o uso inadequado dos recursos naturais, que resulta na perda da produtividade do solo e da capacidade de sustentar a vegetação nativa.”</p>	Degradação de diversas regiões do globo em decorrência da ação do homem.	Ação antrópica + fatores naturais	<p>(E1-Baz, F., 1983)</p> <p>(Dregne, 1984)</p> <p>(Lebre, 1985)</p> <p>(Conti, 1986)</p> <p>(Nimer, 1988)</p>
Década de 1990	<p>“A expansão de condições e paisagens desérticas para áreas onde não deveriam ocorrer climaticamente”</p> <p>“Desertificação é a degradação do solo em áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, incluindo variações climáticas e atividades humanas”</p> <p>“A desertificação é um processo de degradação sustentada da terra (solo e vegetação) em áreas áridas,</p>	Degradação ambiental em zonas secas (definição da UNCCD)	Multicausalidade (humana + climática)	<p>(Graetz, 1991)</p> <p>(CNUCD, 1994)</p> <p>(Mainguet, 1994)</p>

Período	Definições	Conceito central	Enfoque principal	Referências
	<p>semiáridas e subúmidas secas, causada pelo menos em parte pelo homem”</p> <p>“O processo de degradação da terra em áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas, causado pela combinação de fatores naturais, principalmente a variabilidade climática e a seca, e de fatores antrópicos, sobretudo o uso inadequado do solo e a exploração excessiva dos recursos naturais, que resulta na perda da capacidade produtiva do solo e na diminuição da cobertura vegetal.”</p>			(Ferreira et al., 1994)
	<p>“O processo de degradação da terra em áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante da combinação de fatores climáticos, especialmente a seca, e das atividades humanas inadequadas, que levam à perda da capacidade produtiva dos solos e à redução da biodiversidade.”</p> <p>“Um processo complexo de degradação ambiental que ocorre em regiões semiáridas e que deve ser compreendido a partir da interação entre os fatores naturais e antrópicos, especialmente o uso inadequado dos recursos naturais, a pressão demográfica e as condições sociais e econômicas das populações envolvidas.”</p>			(Lemos, 2000)
Anos 2000	<p>“A desertificação é o resultado emergente de um conjunto de fatores causais sociais e biofísicos, com caminhos de mudança que são específicos no tempo e no lugar”</p> <p>“A desertificação inclui qualquer forma de degradação em terras áridas (cuja forma deve ser especificada em qualquer contexto dado), onde a degradação se refere a uma redução persistente no conjunto de serviços fornecidos aos humanos pelo ecossistema em consideração, abrangendo assim considerações sociais e biofísicas”</p> <p>“A desertificação, definida como a degradação o terra nas terras áridas, é expressa por uma redução persistente da produtividade biológica nas terras áridas (em relação à produtividade natural típica de cada um desses tipos de terras áridas)”</p>	Problema socioambiental global	Sustentabilidade e políticas públicas	(Reynolds et al, 2007)
				(Verstraete et al., 2009)
				(Safriel, 2009)
Década de 2010	“A degradação do solo induzida pelo homem, que é como a desertificação é definida, é causada	Ligação com as mudanças climáticas	Mitigação, adaptação e segurança alimentar	(Imeson, 2012)

Período	Definições	Conceito central	Enfoque principal	Referências
	<p>pelas ações das pessoas que têm um impacto negativo no 'funcionamento' do ambiente, tal como é vivenciado eco-culturalmente e no que diz respeito ao seu valor como um recurso natural”</p> <p>“Um processo que transforma a dinâmica ambiental e pode levar à conformação fisionômica de áreas desérticas, mas não precisamente um deserto. Por ser um processo, resulta de duas variáveis: as mudanças climáticas determinadas por causas naturais e a pressão humana sobre o ecossistema... é resultado do conjunto complexo das condições climáticas, ambientais e socioeconômicas, advertindo sobre a natureza complexa, controversa e de difícil concepção do termo.”</p>			(Oliveira, 2016)
	<p>“A desertificação é definida como a degradação do solo e a redução da capacidade biológica do solo, especialmente em regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, sob a influência de fatores naturais ou antropogênicos”</p> <p>“A desertificação é a degradação da terra em zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas induzida por vários fatores, incluindo variações climáticas e atividades humanas”</p>			(Khash Tabe et al., 2020)
Década de 2020	<p>O processo de desertificação pode ser entendido como um ciclo vicioso, com consequências progressivas e muitas vezes irreversíveis, que se torna mais visível ao longo de várias gerações. Inicialmente, o homem ocupa uma área, derruba a vegetação nativa e utiliza o solo para atividades agrícolas ou pecuárias. Com o uso excessivo e sem cuidados adequados, o solo começa a perder sua fertilidade, ficando exposto ao vento e à água da chuva, que levam embora o material fértil, empobrecendo ainda mais a área.</p>	Enfoque nos ODS e neutralidade na degradação do solo	Soluções integradas e preventivas	(Perez-Marin, 2025)

Fonte: Elaborada pela autora.

Supõe-se, portanto, que o processo de desertificação é o resultado da combinação de um número considerável de fatores climáticos, geográficos, topográficos, hidrológicos, edáficos, bióticos que interagem negativamente com as atividades humanas sobre o meio ambiente em diferentes escalas. Esse processo é um problema ambiental de primeira

magnitude que se acentua e se agrava nas áreas semiáridas (Boludo; Carrasco; Oliveira, 2005).

Pode-se enfatizar a necessidade de definições claras para os termos "desertificação" e "degradação da terra". As confusões terminológicas muitas vezes refletem mudanças na percepção da relação entre humanos e o meio ambiente, em vez de mudanças nas condições ambientais em si (Imeson, 2006). A definição adotada pela UNEP em 1992, que associa desertificação à degradação da terra resultante de variações climáticas e atividades humanas, é um ponto central para entender a complexidade do fenômeno (Novaes, 1992).

A desertificação pode ser caracterizada como um evento gerado pela ação humana aliada às condições naturais, por meio de práticas inadequadas de uso da terra, desflorestamento, pastoreio excessivo e técnicas agrícolas insustentáveis, que exacerbam a vulnerabilidade dos ecossistemas e propiciam um ambiente propenso ao avanço desse fenômeno. Sendo assim,

A desertificação pode ser entendida, preliminarmente, como um conjunto de fenômenos que conduz determinadas áreas a se transformarem em desertos ou a eles se assemelham. Pode, portanto, resultar de mudanças climáticas determinadas por causas naturais ou pela pressão das atividades humanas sobre ecossistemas frágeis, sendo, neste caso, as periferias dos desertos (ou áreas transicionais) as de maior risco de degradação generalizada em virtude de seu precário equilíbrio ambiental (Conti, 2008, p. 44).

Ressalta-se a importância das variações climáticas e das atividades humanas no processo de desertificação, destacando que a definição de desertificação ainda carece de precisão universal. A degradação da terra é um problema comum nas regiões áridas, onde a perda de produtividade biológica e a alteração da diversidade de fauna e flora são manifestações frequentes. Essa abordagem crítica revela a necessidade de uma definição mais operacional que considere as manifestações da desertificação para facilitar sua identificação e gestão (Pachêco; Freire; Borges, 2006).

No entanto, segundo Conti (1986), “a mudança climática, da qual a desertificação é apenas uma das modalidades, tanto pode ser resultante de causas naturais (macro e mesoescalas), como desencadeada pela ação antrópica (microescala), ou ainda decorrente de uma combinação de duas forças”.

Esta modalidade de deterioração se manifesta em ecossistemas sujeitos a condições climáticas variáveis e desfavoráveis. Depois do período de seca, a utilização do solo para a produção tende a crescer, sem que sejam tomadas as ações necessárias para recuperar o meio

ambiente (Leite, 2025). No entanto, mesmo que ocorra por causa das precipitações, existem indícios de deterioração ambiental em certas regiões. É importante destacar que, mesmo em um ambiente natural da região que possui características que o tornem extremamente suscetível a este processo de degradação, ele não é o elemento determinante (Pinheiro; Neto; Guerra, 2009).

O estudo de Zelnik et al. (2017) mostra uma nova visão ao discorrer sobre o modo de crescimento vegetal em lugares secos, que se interconectam de forma dinâmica em resposta a mudanças climáticas. Esse modo indica que a perda da cobertura vegetal e o aumento no processo de desertificação estão conectados à mudança de um estado fértil para um infértil, reforçando a ideia de que tanto os elementos naturais quanto os humanos têm papéis importantes nesse processo.

Desafiar narrativas tradicionais sobre a desertificação ocasiona o questionamento de suposições simplistas e enfatiza a necessidade de uma compreensão mais profunda das dinâmicas de seca e desertificação/degradação (Behnke; Mortimore, 2016).

Ao abordar o papel das atividades humanas na aceleração da desertificação, observa-se o destaque no uso de práticas inadequadas de uso de recursos naturais que contribuem para o desgaste do solo. A restauração do solo é essencial para mitigar os impactos da desertificação, reforçando a interdependência entre ações humanas e mudanças climáticas, por meio de técnicas de manejo e recuperação de áreas em estado avançado de degradação (SÁ, 2010).

De acordo com Barbosa e Oliveira (2022, p. 3), discorrem que

Para o entendimento da dinâmica da desertificação e mitigação desse processo é importante conhecer as características ambientais, destacando assim os pontos fortes, as oportunidades, os pontos fracos e as ameaças. Conhecendo o ambiente é possível elaborar um plano de manejo sustentável de acordo com a capacidade de uso de cada área, reduzindo assim os riscos de degradação, bem como de desertificação das terras.

Além disso, a desertificação é um fenômeno que afeta as comunidades vegetais e animais da Caatinga. É fundamental realizar mais investigações nessas regiões para identificar quais espécies estão sendo extintas e quais conseguem se adaptar ou não às áreas que sofreram desertificação (Silva; Castro; Cruz Junior, 2024).

A dinâmica atmosférica na região do semiárido brasileiro é resultante da irregularidade das chuvas e de secas constantes e duradouras. Essa situação contribui para o avanço da desertificação, que é influenciada por aspectos naturais e socioculturais. Esse fenômeno é uma

das principais preocupações ambientais e sociais no Brasil, especialmente no Nordeste e nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo (Albuquerque et al., 2020).

A desertificação representa um desafio complexo, o combate a esse fenômeno requer uma abordagem holística que inclua o enfrentamento da pobreza e a implementação de políticas adequadas ao manuseio da terra. Além disso, é crucial valorizar o saber das comunidades locais, que possuem experiência em lidar com as adversidades do ambiente climático seco. A pobreza e a falta de políticas adequadas de manejo da terra agravam o problema, tornando as populações locais vulneráveis e afetando sua capacidade adaptativa e desenvolvimento sustentável das comunidades (Lemos, 2020).

Historicamente, as terras secas foram consideradas marginais à exploração econômica, o que resultou em escasso financiamento e apoio para o seu desenvolvimento. O reconhecimento dessas áreas como potenciais para produção é essencial para promover um desenvolvimento sustentável (Lima; Magalhães, 2024). É necessário desapegar-se da visão marginalizada dos núcleos desertificados, sendo imprescindível que instituições governamentais, por meio de políticas públicas, implementem políticas que incentivem o desenvolvimento sustentável nessas áreas.

Investir em pesquisa e tecnologia, promover a educação e capacitação dos agricultores e garantir o acesso a mercados são passos cruciais para transformar essas terras em verdadeiros polos de produção agrícola. As implicações dessa transformação não se restringem apenas à melhoria econômica local, mas também ao fortalecimento da segurança alimentar global e à resiliência ambiental (Feil; Schreiber, 2017).

Por fim, a desertificação representa um desafio significativo para as nações em desenvolvimento como o Brasil, particularmente nas Áreas Susceptíveis à Desertificação, na região Semiárida. Enfatiza-se a necessidade de compreender a sensibilidade da terra e os padrões de degradação para desenvolver medidas de manejo e conservação adequadas. A integração de modelos científicos, investigações de campo e conhecimento especializado é fundamental para abordar a desertificação de forma eficaz (Perez-Marin et al., 2012).

2.3 Apresentação das Áreas Suscetíveis à Desertificação no Estado do Ceará - ASD's

A desertificação, contextualizada anteriormente, é um fenômeno que atinge áreas caracterizadas pelos climas áridos, semiáridos e subúmidos secos e que é ocasionada devido à relação pré-existente de características climáticas desfavoráveis e à ação antrópica. A problemática envolvendo a desertificação é uma adversidade presente em diversas regiões do globo terrestre, e o estado do Ceará não é uma exceção.

Visto que, o uso extensivo da terra, seja para a uso agrícola, urbanização ou para as demais atividades econômicas, exerce um grande impacto nos ecossistemas naturais do território cearense. O histórico de ocupação da terra no Ceará, que remonta à colonização, contribuiu para um padrão de exploração insustentável, resultando em um impacto negativo na qualidade de vida dos habitantes e na saúde dos ecossistemas (Leite et al., 2025).

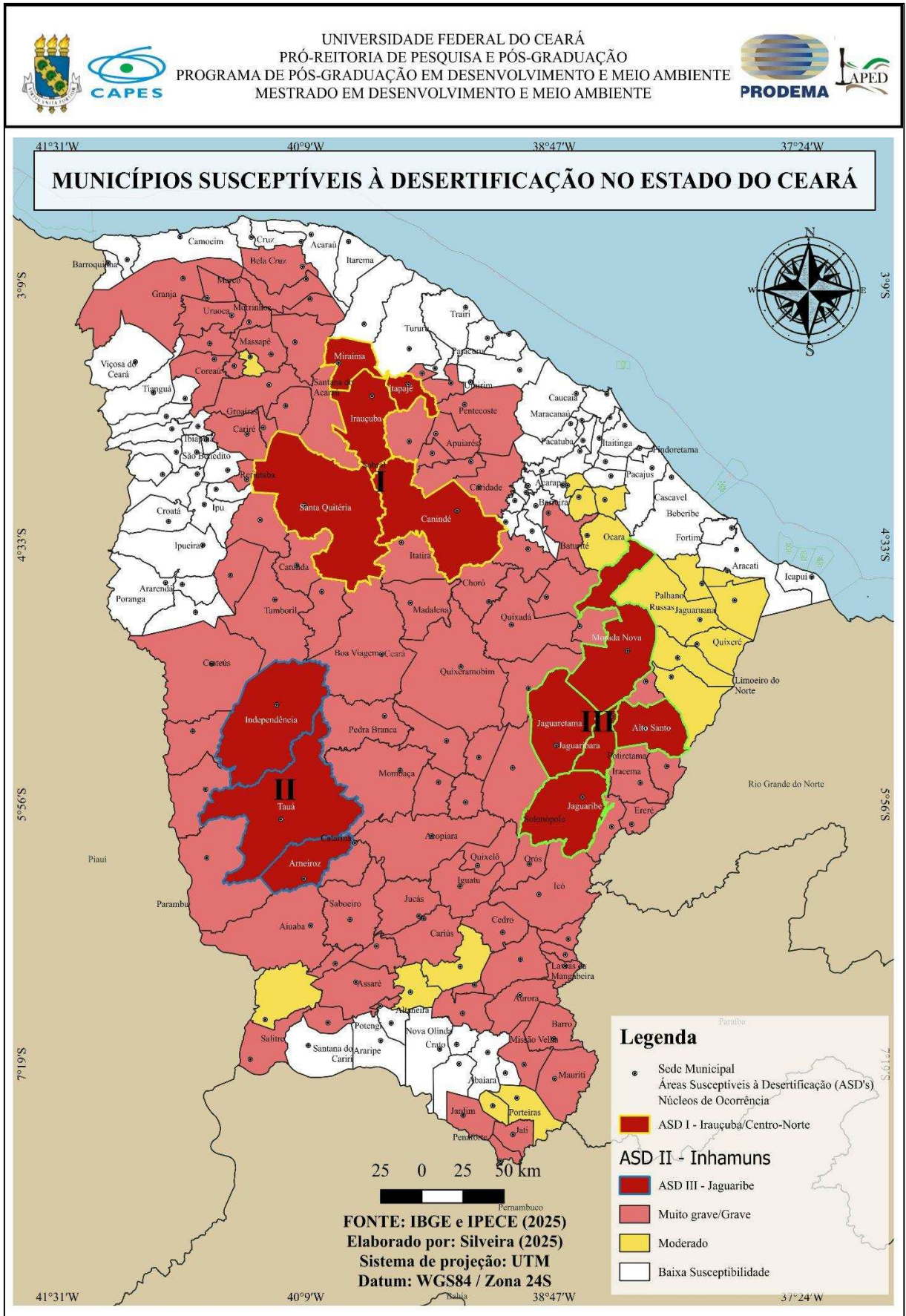
O estado tem aproximadamente 92% da sua extensão territorial sujeita a intervenção gerada pela semiaridez, um dos condicionantes naturais para a caracterização de uma área ao processo de desertificação. A partir de uma óptica geoambiental, observa-se que, para além das vulnerabilidades impostas pela irregularidade pluviométrica do semiárido, uma parte considerável da sua estrutura pedológica se encontra degradada (PAE-CE, 2010).

Com a observação dessa degradação, gerada pela ação do homem, foram estabelecidos núcleos de desertificação no Semiárido Brasileiro. Nessas regiões foi observado um processo de desertificação em estágio avançado ou irreversível, o que gera não só a improdutividade do solo, mas, gera diversos danos socioambientais (Vasconcelos Sobrinho, 1971).

Com base na delimitação de territórios que apresentavam algum tipo de degradação, os núcleos definidos no estado do Ceará a partir das áreas semiáridas e no diagnóstico ambiental, sendo apresentadas como áreas com susceptibilidade à desertificação são: os Sertões do Médio Jaguaribe, os Sertões do Baixo Jaguaribe e mais 90 municípios (Silva; Oliveira, 2017).

As áreas com susceptibilidade à desertificação foram definidas a partir do seu nível de susceptibilidade e foram classificadas como baixa, moderada, e grave/muito grave. Contudo, as áreas que apresentam uma susceptibilidade muito grave foram classificadas como núcleos de ocorrência. O estado apresenta 3 núcleos (mapa 1), que são compostos por 13 municípios, localizados nos Sertões dos Inhamuns (Independência, Tauá, Arneiroz), de Irauçuba (Canindé, Irauçuba, Itapajé, Santa Quitéria e Miraíma), e do Médio Jaguaribe (Alto Santo, Jaguaratama, Jaguaribara, Jaguaribe e Morada Nova) (PAE-CE, 2010).

Mapa 1 - Núcleo de ocorrência com os municípios Suscetíveis a Desertificação no Estado do Ceará



Fonte: IBGE; IPECE, 2025.

Os núcleos de ocorrência juntos compõem as Áreas Suscetíveis à Desertificação no Estado do Ceará (ASD's), o que corresponde a uma área de 23% do território total do estado. Sua classificação e delimitação foi realizada em áreas em processo de desertificação baseado em critérios ambientais e socioeconômicos (PAE-CE, 2010).

Com base nisso, mostra-se um cenário pessimista acerca dos impactos negativos em grande parte dos indicadores ligados aos aspectos econômicos e sociais no Ceará. Sendo prevista uma queda de 79,6% na quantidade de terras com potencial para o uso da pecuária e a da lavoura (com destaque a produção para subsistência). Tal queda no potencial produtivo do estado gerará consequências como a inibição do crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) em até 16,4%, a diminuição da renda per capita, a elevação da taxa de migração e a diminuição na qualidade de vida (PAE-CE, 2010).

Nas ASD's, a inconstância e volatilidade das precipitações e períodos de estiagem no espaço e no tempo acentuam a pouca disponibilidade hídrica, o que compromete as condições socioeconômicas dos habitantes das zonas rurais (Silva; Oliveira, 2018). O que torna a desertificação, portanto, não apenas um desafio ambiental, mas também um problema social e econômico, que afeta diretamente a vida de milhares de pessoas que dependem da agropecuária para sua sobrevivência (Silva; Oliveira, 2017).

O que torna o desafio de adaptar-se e sobreviver a esse tipo de adversidade ainda mais árduo, pois a forma como ocorre a gestão do território na região semiárida e nas ASD's é mal estruturada e com uma deficiente e precária articulação intersetorial de infraestrutura (PAE-CE, 2010).

Além disso, a amplificação das áreas semiáridas alinhada a degradação dos solos terá como consequência o aumento na susceptibilidade à desertificação, o que gerará a redução da já escassa disponibilidade hídrica e o provável aumento em mais conflitos pelo uso dos recursos hídricos (Moraes; Wanderley; Delgado, 2024).

A superexploração dos recursos naturais e o uso inadequado da terra, sem cogitar as suas forças e potencialidades e as suas limitações e fraquezas, são fatores que agravam a degradação ambiental nas ASD's no Ceará e no Brasil. Onde observa-se que, na realidade, somamos os efeitos da variabilidade e das mudanças climáticas também tornam essas regiões mais vulneráveis (Oliveira et al., 2017).

Conhecer e apresentar as condições ambientais por meio do uso do Sensoriamento Remoto, tem dado suporte tecnológico para o manejo e monitoramento das ASD's no Semiárido cearense, o que torna a análise geoambiental integrada uma importante aliada na preservação dos ecossistemas (Holanda, 2025).

2.4 Sensoriamento remoto e sua importância na análise geoambiental

Exercendo um relevante papel para a observação das ASD's, o sensoriamento remoto fornece uma ferramenta útil para observar e examinar de forma profícua e ao longo prazo grandes áreas ao redor do globo terrestre. Observando-se, a partir dessa ferramenta, processos naturais como a desertificação, que pode ser compreendida como o processo de degradação do solo que afeta grandes espaços, o que prejudica a produção agrícola, a biodiversidade e a qualidade de vida das populações (Silva; Oliveira, 2017).

Como uma importante ferramenta na compreensão dos processos naturais e provocados pelo homem, o sensoriamento remoto é definido como a aquisição de informações sobre um objeto ou fenômeno à distância, sem que haja contato físico direto. Para tanto, utiliza-se sensores que captam radiação eletromagnética refletida ou emitida pelos alvos de interesse (Anderson et al., 1976).

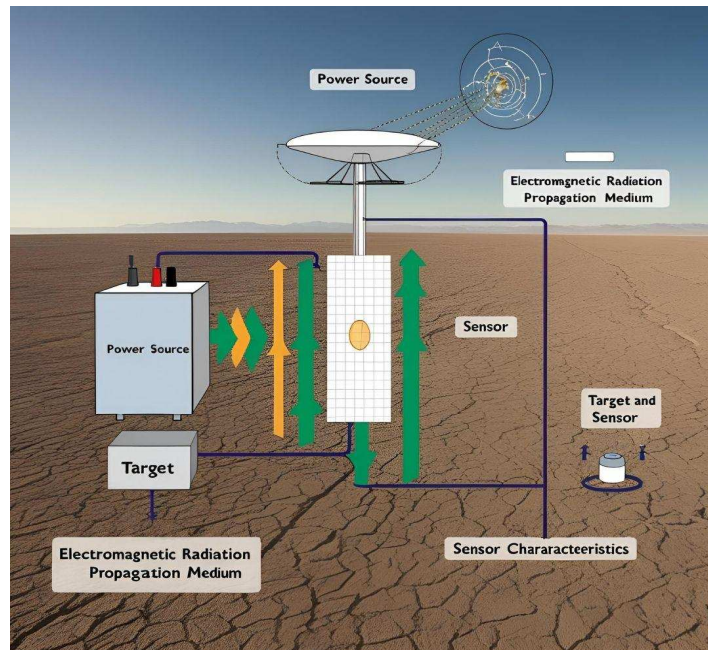
O sensoriamento remoto pode ser caracterizado como uma técnica essencial na coleta de dados sobre a superfície terrestre sem a necessidade de estar presente no local de análise (Moraes, 2002). Com o uso de instrumentos aéreos e espaciais, como satélites e drones, o sensoriamento remoto permite que haja a obtenção de informações precisas e abrangentes em escalas variáveis, desde uma escala a nível local até a global (Holanda, 2025).

Durante sua análise e como um das suas premissas, o sensoriamento remoto utiliza diferentes sensores, sendo que os principais tipos são os sensores passivos e ativos. Os sensores passivos, sendo os mais comuns câmeras e espectrômetros, captam a radiação solar refletida pela superfície terrestre. Enquanto que os sensores ativos são emissores de radiação, como no caso dos radares e LiDAR (Light Detection and Ranging ou Detecção e alcance de luz), que ajudam a mapear a topografia e características físicas da superfície (Gonzales; Wintz, 1987).

Permitindo que haja a utilização por profissionais das mais variadas áreas de atuação, proporcionando que ocorra a integração em suas pesquisas e práticas, como a geografia, meteorologia e ciências ambientais, devido a sua diversidade e complexidade tecnológica. Para a interpretação das imagens obtidas é necessário que envolva-se técnicas de processamentos de dados. Estando inclusos a fotointerpretação e a análise de séries temporais entre outras que possibilitem um diagnóstico holístico das modificações ocasionados ao meio ambiente (Rogan; Chen, 2004).

A tecnologia subjacente a este campo abrange a captura de radiação eletromagnética refletida ou emitida por objetos e superfícies (figura 3), sendo processada para gerar imagens e mapas detalhados que possibilitam a compreensão da dinâmica da Terra.

Figura 3 - Esquema simplificado dos principais componentes presentes em um sistema de Sensoriamento Remoto envolvendo fonte de energia, meio de propagação de radiação eletromagnética e características do alvo e do sensor.



Fonte: Elaborada pela autora através da ferramenta digital Canva.

Esta abordagem não apenas possibilita a análise de características físicas, como cobertura do solo, uso da terra, e ambientes urbanos, no entanto, também abre portas para o monitoramento ambiental em tempo real, o monitoramento de mudanças na cobertura da Terra, a análise de vegetação e agricultura, o estudo de áreas de risco e desastres ambientais, o monitoramento de hidrografia e qualidade da água, e a cartografia e planejamento territorial (Merchant, 2000).

No monitoramento de mudanças na cobertura da terra, o sensoriamento remoto é uma ferramenta poderosa para detectar alterações sofridas ao longo do tempo, como desmatamento, expansão urbana e alterações em corpos d'água. Através da análise de séries temporais de imagens, é possível identificar tendências de mudança no uso da terra e suas implicações ambientais (Liu, 2015).

Já o seu uso para a análise de vegetação e agricultura, como o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), permite o monitoramento da saúde da flora e a análise de áreas agrícolas (Rouse Jr et al., 1973).

Ademais, agindo na detecção e no monitoramento de áreas de risco, como áreas propensas a deslizamentos de terra, enchentes e incêndios florestais, é possível com a utilização de imagens de satélite e sensores específicos. Essas informações são cruciais para a gestão de desastres e para o planejamento de ações preventivas ou corretivas (Rogan; Chen, 2004).

O sensoriamento remoto também pode ser aplicado no monitoramento de corpos d'água, permitindo a análise de características como a temperatura da superfície do mar, turbidez e concentração de clorofila. Essas informações são essenciais para o estudo de ecossistemas aquáticos e para o manejo de recursos hídricos (Lopes et al., 2014).

Portanto, o sensoriamento remoto para a análise geoambiental nada mais é do que informações reais obtidas por meio de sistemas computacionais, que fornecem um panorama preliminar da condição de tudo que vive no ambiente, como os animais, o ser humano, às plantas e tudo o mais que possa influenciar o meio urbano ou rural (Nascimento, 2024).

Esses dados são fundamentais para identificar áreas de risco, monitorar mudanças ao longo do tempo e fornecer informações precisas para o planejamento de políticas públicas e ações de restauração ambiental (Leite; Bezerra; Santos, 2025).

A agilidade e a escala na qual são proporcionadas pelo uso de tecnologias são imprescindíveis para a tomada de decisões informadas, o que permite uma resposta rápida para os desafios ambientais pertinentes à sociedade contemporânea. Entender o contexto relacionado ao sensoriamento remoto permite uma abertura de perspectivas para assimilar a inter-relação entre o sistema antrópico e o sistema ambiental. Além disso, ressalta a relevância do uso consciente e sustentável dos recursos naturais em um mundo em constante transformação (Mascarenhas; Ferreira M.; Ferreira L., 2009)

Além disso, o sensoriamento remoto facilita a detecção de processos de desertificação, permitindo a implementação de medidas preventivas e minimizando os impactos socioeconômicos e ecológicos associados à degradação do solo (Martins et al., 2025).

Possuindo diversos benefícios com relação a sua aplicação, o sensoriamento remoto apresenta uma vantagem com relação aos métodos comumente utilizados. A primeira é a eficiência e custo que permite a realização de coleta de dados em grande escala, abrangendo áreas extensas com custos relativamente baixos, especialmente quando comparado a métodos tradicionais, como levantamentos de campo (Schowengerdt, 2006).

Outro aspecto benéfico, o monitoramento em tempo real, tem proporcionado com a evolução da tecnologia, a obtenção de imagens quase em tempo real, o que é fundamental para o monitoramento de mudanças ambientais rápidas, como desastres naturais ou alterações

no uso da terra (Pereira Filho, 2014). O último aspecto observado, a sustentabilidade e gestão de recursos naturais, atua como uma ferramenta estratégica para a sustentabilidade, permitindo a gestão eficaz de recursos naturais e auxiliando em decisões que impactam diretamente o meio ambiente. Tal tecnologia oferece um potencial analítico preciso e contínuo de monitorar a qualidade do ambiente e os efeitos das atividades humanas (Bolfe, 2006).

Apesar de suas diversas aplicações e seus benefícios, o seu uso enfrenta uma série de desafios e limitações, o que gera impactos quanto a sua eficácia na análise geoambiental. O principal obstáculo observado durante os estudos está relacionado à qualidade dos dados obtidos, que muitas vezes estão comprometidos por fatores atmosféricos, como nuvem, neblina e poluição. Resultando em dados imprecisos e incompletos, estes aspectos, além de interferirem na clareza das imagens, geram distorções na análise geoambiental. No que tange a resolução espacial dos sensores, ocorre a limitação da capacidade de detectar mudanças em escalas menores, o que torna difícil o monitoramento de fenômenos localizados (Paiva; Ruhoff, 2017).

Para uma análise eficiente de fenômenos em menor escala seria necessário a integração entre dados do sensoriamento remoto com informações de campo. No entanto, uma das limitações para a integração desses dados, apesar de fundamental, está na complexidade e necessidade de harmonização de escalas temporais e espaciais. Essa sinergia é primordial, com destaque para estudos cuja análise será ao longo prazo e discorre sobre mudanças climáticas ou degradação ambiental, visto que as decisões informadas dependem da precisão e confiabilidade dos dados (Lorenzzetti, 2015).

Para além disso, o uso das geotecnologias, em especial o sensoriamento remoto, tem se apresentado como uma alternativa essencial para a análise geoambiental, oferecendo dados valiosos para o monitoramento e gestão dos recursos naturais, prevenção de desastres, e a análise das mudanças no meio ambiente (Merchant, 2000). Seu uso contínuo e a evolução das tecnologias de captura e processamento de dados contribuem para a tomada de decisões mais informadas, fundamentais para a sustentabilidade e preservação ambiental (Leite; Bezerra; Santos, 2025).

Por fim, constata-se que a evolução contínua das tecnologias ligadas ao sensoriamento remoto, em conjunto com o desenvolvimento de protocolos padronizados de interpretação e análise, demonstra-se necessária para superar limitações preexistentes (Bolfe, 2006). Essa evolução tem garantido que as ferramentas de sensoriamento remoto possam cumprir seu papel crucial na gestão e conservação ambiental, através de índices, como o NDVI e o SAVI, que buscam uma análise integrada do ambiente. Além disso, a utilização dos índices de

vegetação no monitoramento ambiental tem sido amplamente empregado nos estudos ecossistêmicos, destacando o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação Ajustado a Atmosfera e o Solo (SAVI) (Huete, 1988).

2.4.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é uma geotecnologia que é amplamente utilizada no sensoriamento remoto, pois permite uma análise integrada do ambiente através da avaliação da densidade e a saúde da vegetação da área de estudo pretendida. Seu cálculo é expresso pela diferença entre as reflectâncias nas bandas do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (Red), normalizada pela soma dessas reflectâncias (Rouse Jr, 1974).

Fundamentando sua base teórica nas propriedades espectrais da vegetação, o NDVI pode ser conceituado como “um indicador gráfico que pode ser usado para analisar medições de sensoriamento remoto, geralmente a partir de uma plataforma espacial, avaliando se o alvo observado contém ou não vegetação verde viva” (Mantovan; Lelis, 2023, p. 5).

Ademais, as plantas absorvem com grande intensidade a luz que corresponde ao vermelho do espectro eletromagnético devido à presença de clorofila, sendo refletido significativamente na região do infravermelho próximo devido à estrutura celular das folhas. Esse comportamento espectral permite realizar a distinção entre áreas vegetadas e outras superfícies como solo exposto ou corpos hídricos, que apresentam padrões de reflectância distintos (Rouse Jr, 1974).

NDVI tem como variabilidade valores entre -1 a +1, onde valores próximos a +1 são indicativos de uma alta densidade de vegetação sadia, entretanto, valores próximos a zero ou negativos são indicativos de áreas com pouca ou nenhuma vegetação, como corpos d'água, áreas urbanas ou solo exposto (Deering, 1978). Esse aspecto é uma das principais características do monitoramento ambiental através do NDVI, o que o tornou um eficaz ferramenta no estudo temporal de mudanças causadas na cobertura vegetal.

Atualmente, uma gama de estudos tem demonstrado a aplicabilidade do NDVI nas análises geoambientais, tornando o seu uso um elemento que traz uma complexidade e integra uma visão holística sobre os sistemas ambientais. A sua principal finalidade é o uso do NDVI para avaliar a degradação ambiental em áreas que possuem influência direta de corpos hídricos, como bacias, açudes e lagoas. Onde, por meio da análise das imagens de satélite, são identificadas variações na cobertura vegetal em torno da influência desse corpo hídrico, o que

fornece um importante panorama sobre o estado ambiental da região (Albuquerque; Ribeiro; Sales, 2019; Araújo; Duarte; Araújo, 2023).

Já em uma perspectiva para a análise geoambiental da degradação ambiental em zonas costeiras, o uso atual é um importante recurso na análise da modificação causada pelo homem em áreas que possuem um forte apelo turístico. Observou-se que ao analisar as transformações geradas aos ecossistemas costeiros por meio do sensoriamento remoto, acentua-se os impactos das atividades antrópicas na paisagem (Silva Neto et al., 2020).

Empregado em modelos de distribuição de espécies, estudos demonstraram que a incorporação do índice em modelos de distribuição traz melhorias quanto à previsão da ocorrência de uma espécie específica na região de interesse. Evidenciando a relevância do NDVI para compreender as dinâmicas ecológicas através da conservação da biodiversidade (Amaral; Costa; Rennó, 2007).

Os estudos descritos acima, em suma, demonstram como o NDVI é uma ferramenta elementar no uso das geotecnologias, possibilitando um uso amplo no monitoramento e análise da vegetação e no dinamismo socioambiental que a envolve. A simplicidade do seu método, aliada a sua eficácia na detecção de alterações na cobertura vegetal, torna o índice indispensável em estudos ambientais, agrícolas e de conservação (Cai et al., 2025).

2.4.2 Índice de Vegetação Ajustado ao Solo e Atmosfera (SAVI)

Possuindo de forma preliminar um objetivo bem próximo ao NDVI, que é a do monitoramento geoambiental, o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo e Atmosfera (SAVI) se destaca pelo seu método que agrega um importante aspecto a sua análise geoambiental. Com a criação do SAVI objetivou-se corrigir a influência do solo exposto na medição de índices espectrais. Com uma boa adaptação para regiões semi áridas e áridas, o índice atua como um instrumento eficaz na detecção de solo descoberto, o que afetam significativamente outros índices (Rahman et al., 2018).

Derivando da relação entre as bandas do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (RED), o SAVI se diferencia do NDVI com a adição do fator de ajuste (L), que possui uma variação de acordo com a cobertura vegetal da área de estudo (Huete et al., 2002). O fator de ajuste (L), age na correção da influência do solo e é ajustado de acordo com a densidade da vegetação, onde para vegetação densa usa-se $L = 0$, para coberturas intermediárias usa-se $L = 0,5$ e para o solo exposto usa-se $L = 1$ (Huete, 1988). Logo, o SAVI mostra-se ineficaz em áreas com uma expressiva vegetação, pois seus resultados são os mesmos obtidos do NDVI,

visto que o fator de ajuste seria 0.

O índice mostra-se mais adequado e adaptado para regiões onde há um forte interferência do solo, o que comparado ao índice anterior torna sua análise mais precisa (Ruiz et al., 2017). Visto que demonstra, através de estudos ambientais, se houver melhora quanto ao quantitativo expresso e estimado de biomassa e produtividade da vegetação, em especial em regiões semiáridas (Huete et al., 2002). Entretanto, a análise da vegetação e escolha do fator L impacta diretamente na precisão dos resultados, o que torna imprescindível sua calibração para distintos aspectos ambientais (Galvan et al., 2020).

Assim como o NDVI, estudos mostram uma variabilidade na aplicação do SAVI, devido aos fatores ligados como uma maior adaptação ao tipo de ecossistema estudado. Amplamente utilizado para o monitoramento de mudanças na cobertura da vegetação, o índice mostra ser o mais adequado para ecossistemas sensíveis à degradação, como o bioma Caatinga (Machado et al., 2019). Pois quando usado em análises comparativas, o SAVI demonstrou maior eficácia do que o NDVI na detecção de vegetação escassa, predominante em regiões semiáridas (Almeida Teixeira; Oliveira; Oliveira Teixeira, 2021).

Atuando no Estudo de Impactos Ambientais, o índice demonstra indicadores que auxiliam a quantificar as alterações na cobertura vegetal devido ao despejo de rejeitos de minério em regiões onde há o rompimento de represas (Costa et al., 2022). Uma vez que, as imagens do satélite tem permitido uma análise temporal da degradação ambiental e da recuperação da vegetação ao longo dos anos (Santos et al., 2020).

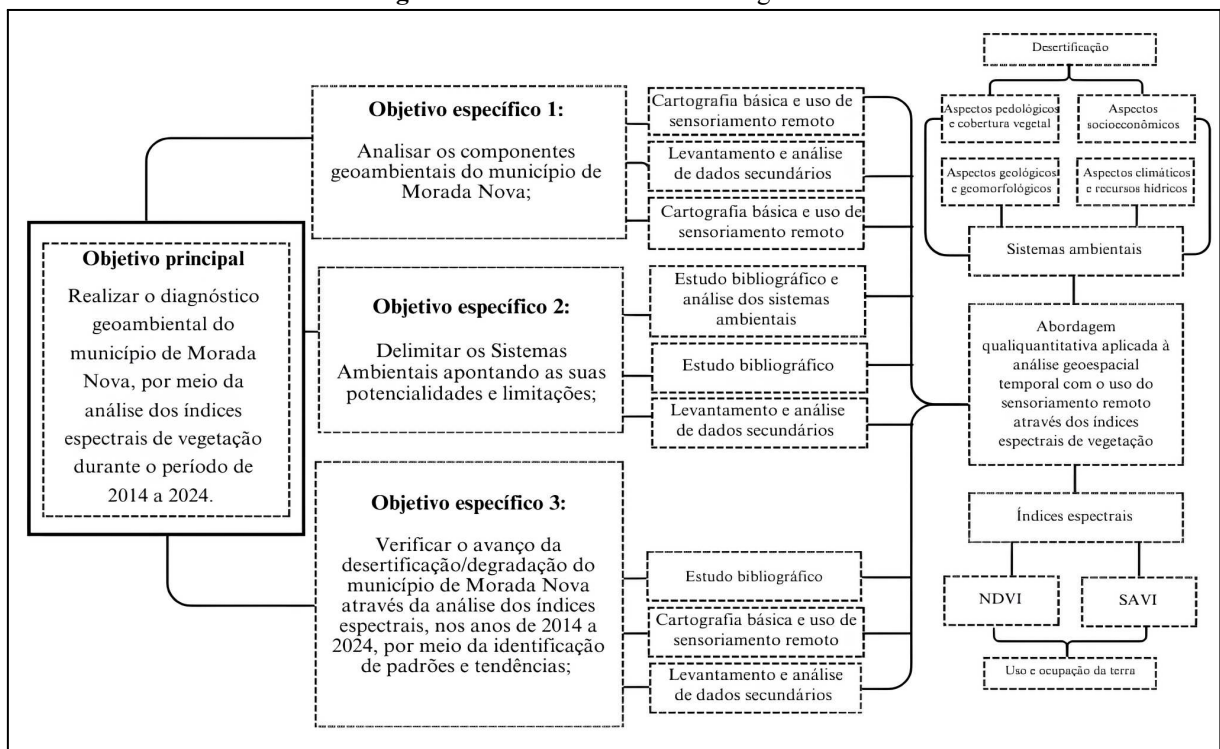
Quando utilizado no setor agrícola e na gestão de recursos hídricos, o SAVI quando utilizado no monitoramento do estresse hídrico em cultivos provocados pelas mudanças no período chuvoso (Ferreira et al., 2018). Além disso, o índice traz bons indicadores na identificação de áreas propensas à desertificação, por meio de estudos na região semiárida, o que contribui para o manejo sustentável dos recursos naturais (Souza et al., 2021).

Pode-se concluir que o SAVI tem se destacado como um importante instrumento no sensoriamento remoto com finalidade na análise da cobertura vegetal em regiões onde observa-se a predominância de solo exposto, devido a esse fator gerar distorções na medição de índices espectrais. Alinhado aos demais índices espectrais e a uma análise geoambiental, o índice proporciona um diagnóstico aplicado a um panorama mais amplo na percepção ambiental e assim ações que ajudem a mitigar os efeitos negativos das atividades antrópicas na região estudada (Silva Neto et al., 2020).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para o seguinte estudo tem como principal abordagem a pesquisa quali-quantitativa aplicada à análise geoespacial da área de estudo com o uso do sensoriamento remoto através índices espectrais de vegetação. Sendo processados mediante a utilização do software Quantum Gis 3.34.12. Prizren, analisando os seguintes índices: o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo e Atmosfera (SAVI). Utilizando-se de procedimentos baseados na pesquisa bibliográfica, no levantamento e processamento de dados, e no uso de cartografia básica e sensoriamento remoto (figura 4).

Figura 4 - Procedimentos metodológicos



Fonte: Elaborada pela autora.

A pesquisa bibliográfica, foi realizada a partir da análise dos principais teóricos e pesquisadores, servindo como base para o referencial teórico e a elaboração e construção da escrita do seguinte estudo. Foram analisados aspectos ambientais, sociais e econômicos pertinentes ao estudo, através da análise do discurso desses autores.

O levantamento de dados ocorreu por meio da análise de dados edafoclimáticos e geomorfológicos dos principais órgãos de fomento da área de estudo, assim caracterizando e possibilitando uma análise integrada. Serão utilizadas diversas fontes de pesquisa dentre as principais plataformas online, observando elementos como geologia, solo, clima e os

demais que caracterizam os sistemas bióticos e abióticos.

A cartografia básica e o sensoriamento remoto serão apresentadas por meio da elaboração de mapas com o auxílio do Software QGis. A partir do geoprocessamento de dados vetoriais e matriciais, delimitando e analisando aspectos essenciais para o alcance dos objetivos propostos por esse estudo.

Portanto, tendo em vista os procedimentos expostos acima, foram selecionados para a pesquisa bibliográfica inicial artigos, livros e trabalhos acadêmicos. Já para os dados que precisavam passar por algum tipo de processamento e compactação de dados, foram agrupados de acordo com o local e período analisados. Assim, as seguintes etapas foram necessárias:

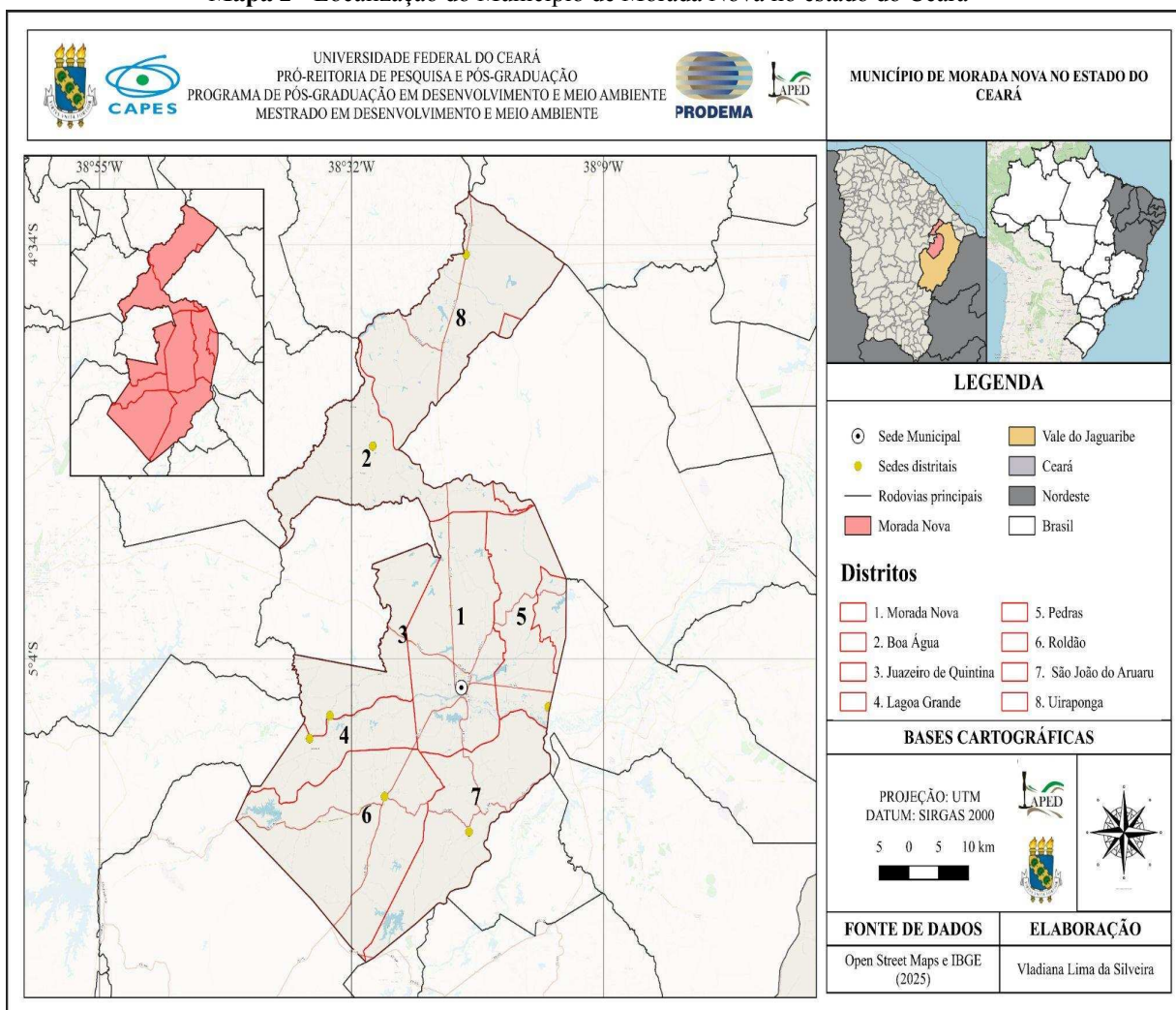
- a) escolha da base de dados, para a pesquisa bibliográfica e seleção de órgãos relevantes para o estudo geoambiental no município.
- b) elaboração de fichamentos com as principais informações referentes a coleta de dados baseado no referencial teórico proposto e para uso na construção do material escrito;
- c) seleção de arquivos vetoriais e matriciais referentes ao campo a ser investigado. No caso específico da análise geoambiental, foram selecionados arquivos que delimitam a região, no entanto quando não foi possível, houve a necessidade de realizar o recorte;
- d) leitura dos artigos, livros e trabalhos acadêmicos selecionados para certificar se atendem aos critérios de inclusão na pesquisa;
- e) análise e interpretação dos resultados obtidos objetivando-se à análise geoambiental e das teorias que fundamentam a pesquisa.

3.1 Localização e caracterização da área de estudo

De acordo com dados do IPECE (2017), o município de Morada Nova-CE está localizado na região Centro-oeste do estado do Ceará (mapa 2), tendo como coordenadas geográficas 5° 06' 24" de Latitude (S) e 38° 22' 21" de Longitude (WGr); ao norte faz divisa com os municípios de Russas-CE, Beberibe-CE, Cascavel-CE, Ocara-CE, ao sul com Jaguaratama-CE, Jaguaribara-CE, Alto Santo-CE, São João do Jaguaribe-CE, ao leste com São João do Jaguaribe-CE, Tabuleiro do Norte-CE, Limoeiro do Norte-CE, Russas-CE e a oeste com Ocara-CE, Ibaretama-CE, Quixadá-CE, Ibicuitinga-CE, Banabuiú-CE; possui 2779,2 km² de área absoluta, o que expressa uma área relativa de 1,87% do território cearense; apresenta altitude de 89,0 m e está a uma distância aproximada de 152 km da capital Fortaleza; quanto a divisão territorial, o município de Morada Nova-CE é dividido em oito

distritos, sendo os seguintes: Morada Nova, Aruaru, Boa Água, Juazeiro de baixo, Lagoa Grande, Pedra, Roldão e Uiraponga; quanto a regionalização, Morada Nova-CE pertence a região de planejamento Vale do Jaguaribe, Mesorregião do Jaguaribe e Microrregião do Baixo Jaguaribe.

Mapa 2 - Localização do Município de Morada Nova no estado do Ceará



Fonte: IBGE; Open Street Maps, adaptado pela autora.

Anteriormente integrava território de Russas-CE, no entanto no ano de 1876, sob a Lei nº 1.719, houve a separação e criação do município de Morada Nova. Seu nome se origina na toponímia que tem como significado a denominação da fazenda que deu origem ao município (IPECE, 2017).

O município apresenta uma população atual de 61.443 habitantes e a densidade demográfica de 22,23 habitantes por quilômetro quadrado, cuja composição é constituída por 38.909 (63,32%) localizados na zona urbana e 22.534 (36,68%) na zona rural (IBGE, 2022).

O município está inserido no núcleo III nas áreas caracterizadas como Suscetíveis a

Desertificação no estado do Ceará e apresenta uma grande potencialidade para aumento dessa degradação devido a sua matriz econômica (Lima et al., 2008). Representando uma grande ameaça para conservação e manutenção dos serviços ecossistêmicos, o processo de desertificação do município mostra o desequilíbrio entre os sistemas ambientais e antrópicos.

3.2 Coleta e análise de dados

Foram explorados através da transformação e análise dos dados coletados de modo secundário, por meio de uma vasta busca considerando aspectos relevantes para o estudo. Os dados quantitativos serão analisados através da compactação das informações obtidas por meio de mapas temáticos, gráficos e tabelas, e analisados para fomentar a base teórica e comprovar o objetivo principal do seguinte estudo.

Para produção de mapas, utilizando o Software Quantum GIS na versão 3.34.12 Prizren, foram delimitados a área de estudo, os principais sistemas ambientais e seus aspectos, além da análise temporal dos Índices Espectrais. O QGIS é um importante representante da recente safra de softwares livres de Sistema de Informação Geográfica (SIG), sendo um dos mais utilizados na atualidade. Editar arquivos vetoriais e matriciais no QGIS é muito útil para a geração de diversos mapas temáticos em geografia física, a exemplo de mapas de solos, mapas geomorfológicos, geológicos e de vegetação, por exemplo (Câmara; Monteiro, 2001).

Na elaboração dos mapas, foram consideradas a descrição e análise dos seguintes aspectos ambientais do município de Morada Nova: localização geográfica, condições climáticas, solos, uso e ocupação do solo e dados socioeconômicos. Já para a produção de tabelas, gráficos e figuras ilustrativas serão utilizados os Excel e Canva, assim foram trabalhados elementos para a apresentação e compilação dos dados obtidos.

Os dados edafoclimáticos e geomorfológicos referentes à área de estudo foram coletados e processados a partir de bases secundárias oficiais, provenientes de diferentes instituições públicas de referência. As informações climáticas, hidrológicas e meteorológicas foram obtidas junto à Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), permitindo a caracterização do regime pluviométrico, das variáveis atmosféricas e da dinâmica hídrica regional.

Os dados geomorfológicos, pedológicos e de uso e cobertura da terra foram adquiridos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), possibilitando a análise das unidades de relevo, dos

tipos de solos e de suas relações com os sistemas ambientais locais. Informações socioeconômicas e territoriais complementares foram obtidas junto ao Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) e à Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará (ADECE), contribuindo para a contextualização espacial e funcional da área de estudo.

Adicionalmente, dados ambientais e normativos foram coletados junto à Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE), auxiliando na identificação de áreas legalmente protegidas, restrições ambientais e diretrizes de gestão territorial. Após a coleta, os dados foram organizados, padronizados e integrados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), permitindo o cruzamento das variáveis edafoclimáticas, geomorfológicas e antrópicas, bem como a elaboração de mapas temáticos e análises espaciais que subsidiaram a interpretação dos sistemas e subsistemas ambientais da área estudada.

3.3 Aquisição de Imagens de Satélite

O processo de aquisição de imagens de Satélite deu início com a aquisição de imagens orbitais digitais gratuitas do satélite Landsat 8-9 utilizando o Serviço de Levantamento Geológico Americano (USGS). Os sensores responsáveis pela instrumentação dos dados são o sensor Operational Land Imager (OLI) e o sensor Thermal Infrared Sensor (TIRS). Abaixo observa-se a tabela 2 com as principais informações referentes ao satélite Landsat 8-9.

Tabela 2 - Informações sobre o Satélite Landsat 8-9

Informações sobre o Satélite Landsat 8-9	
Instrumento/Sensor	OLI/TIRS
Instituição Responsável	NASA (National Aeronautics and Space Administration)
País	Estados Unidos da América (EUA)
Situação Atual	Ativo
Lançamento	02/11/2013
Altitude (Km)	705 Km
Inclinação (Grau)	98,2°
Órbita	Circular, Polar, Heliossíncrona
Faixa Imageada (Km)	185 Km
Tempo de Duração da Órbita	99 min
Horário da Passagem	10h/12h
Período de Revisita	16 dias
Resolução Espacial (m)	Pancromático: 15 m Multiespectral: 30 m Termal: 100 m reamostrada para 30 m

Fonte: NASA (2013), e adaptada pela autora.

O processo ocorreu de modo sistemático, onde foram separadas as imagens desejadas de acordo com a área de estudo e o período desejado, descrito abaixo:

- a) A princípio iniciou-se com o acesso ao site do USGS, disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>;
- b) Com a área de estudo definida, o município de Morada Nova, foi preciso selecionar o período da análise. Como o período analisado teve início do ano de 2014 e finaliza no ano de 2024, foi necessária a aquisição de imagens dentro da margem de tempo desejada sendo para o período chuvoso os meses de Fevereiro a Maio e o período seco de setembro a novembro. Observando-se a qualidade e a presença do percentual menor de 10% de nuvens na banda adquirida;
- c) Após a delimitação do local e período, foi preciso ir em Data sets, selecionar Landsat Collection 2 Level-2, por fim, Landsat 8-9 OLI/TIRS e clicar em resultados;
- d) Com os resultados obtidos da seleção feita, foram realizados os downloads das imagens de satélite referentes a área de estudo dentro do período de análise.

Após a aquisição das imagens, os dados obtidos foram transferidos para o Software QGis onde passaram por uma série de processos até chegarem aos resultados esperados para a realização da análise temporal dos Índices Espectrais de Vegetação (IEV).

3.4 Análise temporal dos Índices Espectrais de Vegetação (IEV)

Sendo algo crucial na avaliação da dinâmica dos ecossistemas, a análise temporal dos Índices Espectrais de Vegetação é extremamente relevante nos estudos que integram os sistemas ambientais e antrópicos. Através da aplicação de métodos que permitem o monitoramento de variações e transformações da vegetação ao longo do tempo, são gerados dados importantes sobre a saúde, produtividade e estresse das plantas.

Diversos são os métodos que podem ser atribuídos para uma análise temporal, desde o uso de técnicas estatísticas até o uso de técnicas de processamento digitais. O método temporal realizado para o presente estudo, foi através do uso do Sensoriamento Remoto, onde foram realizadas análises no município de Morada Nova baseado no resultado obtido.

Para uma análise efetiva das alterações sofridas ao longo dos anos de 2014 a 2024, por intermédio do Sensoriamento Remoto e uso dos Índices Espectrais de Vegetação, foram considerados dados de cada ano dentro do período. Com isso, foram analisadas imagens de satélite referentes ao período chuvoso (primeiro semestre) e ao período seco (segundo semestre), mostrando como a vegetação reage em períodos climáticos distintos. Mantendo-as

no mesmo período de análise, para assim manter a precisão e regularidade dos dados, foram usadas imagens com um intervalo de 15 dias entre cada ano analisado nos períodos definidos.

Após a aquisição de imagens, discutida no tópico anterior, iniciou-se o processo de correção atmosférica nas bandas Banda 4 (vermelho) e Banda 5 (infravermelho), que foram utilizadas para os cálculos do NDVI e do SAVI. A correção atmosférica foi realizada através do cálculo do valor de Reflectância, e remoção das falhas existentes nas bandas. Para calcular a reflectância usa-se a seguinte equação:

$$\text{Reflectance} = \text{RMB} * \text{ND BAND} + \text{RAB}$$

Representando:

RMB = o valor da reflectância multi banda

ND BAND = a banda 4 e/ou 5 (sendo realizado o cálculo individual usando cada banda)

RAB = o valor da reflectância add banda

Com as bandas devidamente corrigidas, foram realizados os cálculos referentes a cada Índice analisado. O cálculo que representa o NDVI, é simbolizado diante da diferença entre a reflectância no infravermelho próximo (NIR) e a reflectância no vermelho (Red) (Rouse et al., 1973). Expresso pela fórmula abaixo:

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{Red})}{(\text{NIR} + \text{Red})}$$

Sendo que:

NIR = reflectância na banda referente ao infravermelho próximo;

Red = reflectância na banda referente ao vermelho;

A partir da classificação realizada da análise dos dados, e assim se tornou possível estabelecer um padrão nos resultados, o NDVI foi categorizado em cinco intervalos proporcionais (Huete, 1988):

- Maiores de -0,4 a -0,2: Muito baixo - Sem vegetação;
- -0,2 a 0,0: Baixo - Vegetação baixa;
- 0,0 a 0,2: Médio - Vegetação média;
- 0,2 a 0,4: Bom - Vegetação boa;
- 0,4 a maior que 0,6: Muito bom - Vegetação muito boa.

Já o cálculo correspondente ao SAVI, considera mais elementos a sua formulação e é simbolizado pela constante 1 mais variável relacionada ao fator de correção para o solo, cuja variação ocorre entre 0 e 1 (Huete, 1988). Sendo expressa do seguinte modo:

$$SAVI = \frac{(1 + L) * (NIR - Red)}{(1 + NIR + Red)}$$

Onde:

NIR = reflectância na banda referente ao infravermelho próximo;

Red = reflectância na banda referente ao vermelho;

L = fator de correção para o solo.

Diferente da análise anterior, a análise do SAVI obteve resultados mais expressivos e por conta disso foram categorizados em seis classes distintas para uma melhor visualização dos dados obtidos (Huete, 1988):

- Maior do -0,4 a -0,2: Corpos hídricos;
- -0,2 a 0,0: Sem vegetação;
- 0,0 a 0,2: Solo exposto;
- 0,2 a 0,4: Vegetação escassa;
- 0,4 a 0,6: Vegetação moderada;
- 0,6 a maior do 0,8: Vegetação densa.

Ambos os índices possuem uma variação entre -1 e +1, permitindo que haja a identificação de áreas de vegetação densa, que tendem a ter valores elevados próximos a +1, em contraste com solos expostos ou áreas sem vegetação, que apresentam valores próximos a 0 ou negativos. Em ambientes onde há a presença de uma vegetação escassa ou as condições ambientais são adversas, é necessário considerar ajustes para que ocorra a interpretação sem que haja distorções. Um desses ajustes é observado através da correção atmosférica, permitindo uma precisão maior dos dados analisados.

Apesar de grande similaridade entre os índices e na forma de representá-los, o SAVI, por sua vez, aprimora a sensibilidade em regiões de baixa biomassa e considera a influência da atmosfera e do solo, sendo especialmente útil em áreas tropicais pouco densas, como na vegetação do Bioma Caatinga (Demarchi; Piroli; Zimback, 2011).

Por fim, na execução dos cálculos referentes aos IEV, é imprescindível não apenas a determinação de fórmulas corretas, contudo, também a compreensão sobre o contexto ecológico e das limitações em cada medição. A precisão dos dados coletados, assim como a escolha dos sensores e interpretação coerente dos resultados, são pontos cruciais que impactam na confiabilidade das análises subsequentes e garantem inovações no monitoramento ambiental e gestão sustentável (Formigoni; Xavier; Lima, 2011).

4 ANÁLISE SEMI-INTEGRADA DOS COMPONENTES GEOAMBIENTAIS

4.1 Geologia e Geomorfologia

4.1.1 Aspectos geológicos

De acordo com dados obtidos no Banco de Dados e Informações Ambientais (BDIA), o município de Morada Nova, a área de estudo da seguinte dissertação, está inserida sobre as Compartimentações Tectônicas da Província Borborema, de Cobertura Cenozóica e da Costeira e Margem Continental.

Situada entre o Cráton São Francisco ao sul e o Cráton São Luís-West África ao norte, a província da Borborema representa uma das principais províncias geotectônicas encontradas em território nacional. Quando analisada a área de estudo, a Borborema representa a formação geológica mais expressiva de Morada Nova, ocupando uma área de aproximadamente 65% da área total do município.

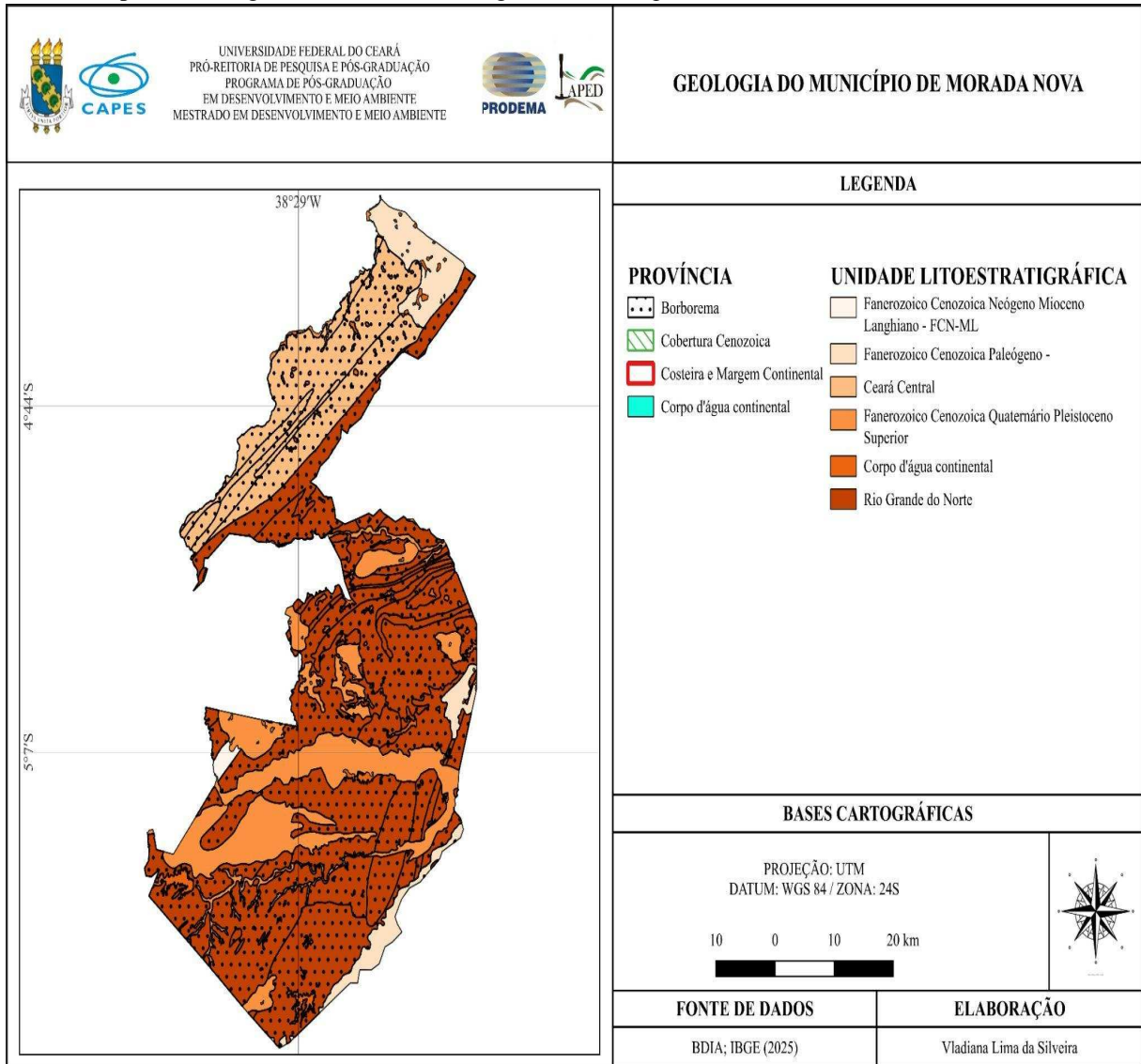
A província possui como idade cronológica predominantemente no período Pré-Cambriano, com rochas que remontam ao Neoproterozóico. Com sua composição física delimitada pela dominância de terrenos de alto grau metamórfico, onde predominam os gnaisses, migmatitos, quartzitos e granitos. As principais estruturas são caracterizadas por falhas transcorrentes, dobras e zonas de cisalhamento de escala crustal, possuindo um grande potencial para a formação de minérios como ouro, estanho, tungstênio e fosfatos (Almeida, 1977; Almeida et al., 1981).

As relações das microtexturas da Borborema expressam uma evolução metamórfica complexa de três estágios. Um primeiro estágio, refletindo as condições eclogíticas, é indicado pela falta de plagioclásio primário em relíquias de piroxenita granada, com intercrescimentos simpléticos de piroxênios e/ou anfibólios e plagioclásio secundário substituindo granadas e piroxênio primário, ostensivamente onfacita. Um segundo evento em condições granulocíticas é expresso pela paragênese da granada-clinopiroxênio-plagioclásio. As texturas de equilíbrio entre hornblenda-plagioclásio são típicas para o terceiro estágio em condições de fácies anfíbolitos (Almeida et al., 1997)

Além disso, o município de Morada Nova apresenta em seu território as seguintes unidades litoestratigráficas (mapa 3), representadas a seguir de acordo com sua expressão territorial: Fanerozóico Cenozóica Neógeno Mioceno Langhiano (4%); Barreiras (7%); Cobertura Detrito-Laterítica Neo-Pleistocênica (8%); Fanerozóico Cenozóica Quaternário Pleistoceno Superior (6%); Depósitos Aluvionares Holocênicos (3%); Faceira (5%);

Itaporanga (6%); Jaguaretama (9%); Orós-Jaguaribe (12%); São José de Macaoca - Ortognaisse (18%); Serra do Deserto (10%); Umarizal (7%) e a Unidade Canindé (5%).

Mapa 3 - Geologia e Unidade Litoestratigráficas Município de Morada Nova no estado do Ceará



Fonte: BDIA; IBGE, e elaborado pela autora.

As unidades litoestratigráficas com maior destaque no município de Morada Nova são: Orós-Jaguaribe (12%); São José de Macaoca - Ortognaisse (18%); Serra do Deserto (10%). Apesar das demais expressarem valores relativos próximos às citadas, as unidades destacadas demonstram uma grande complexidade e relevância para a área de estudo.

A unidade correspondente a São José de Macaoca - Ortognaisse, tem como tempo geológico inicial e final de formação o período Proterozóico Paleoproterozóica Riacciano. Sua estrutura pode ser descrita e constituída por ortognaises migmatíticos cinzentos, tonalíticos e granodioríticos, frequentemente com enclaves máficos magmáticos e diques sin-plutônicos de

composição diorítica/tonalítica. São ortognaisses com hornblenda e biotita como minerais máficos. Os leucossomas quartzo-feldspáticos são de cor branca (raramente rosa) e geralmente com hornblenda neoformada (peritética). Localmente encontram-se seções com migmatitos paraderivados e anfibolitos. Os ortognaisses são rochas subalcalinas com afinidade para série cálcio-alcalina de médio-K (Tavares Júnior, 1992).

No entanto, a unidade Orós-Jaguaribe foi melhor abordada nos estudos de Sá (1991) e Cavalcante (1999), que subdividiram-no em: uma seção inferior formada por metavulcânicas ácidas a básicas, intercaladas com metassedimentos clásticos; e uma parte superior, caracterizada pela predominância de metapelitos, metassedimentos de origem química e metabasitos. O metamorfismo destes litótipos varia da fácies xisto-verde com granada e biotita, na região oeste da seqüência, até a fácies anfibolito com estauroлита, andaluzita e diopsídio, na região central (Pereira, 1991). Os principais litotipos são: Granada-biotita gnaiss, quartzito, metavulcânicas (ácida e básica), calcário cristalino, hornblenda biotita xisto, rocha calcissilicática e anfibolito.

Os litotipos observados na unidade da Serra do Deserto são constituídos essencialmente por anfibólito-biotita augen gnaisses de composição granítica a granodiorítica, com porfiroclastos de feldspato atingindo cerca de 4 cm de comprimento. Entretanto, alguns termos com textura granoblástica média a grossa (incluindo metassienitos) também foram observados nesta unidade (Cavalcante, 1999).

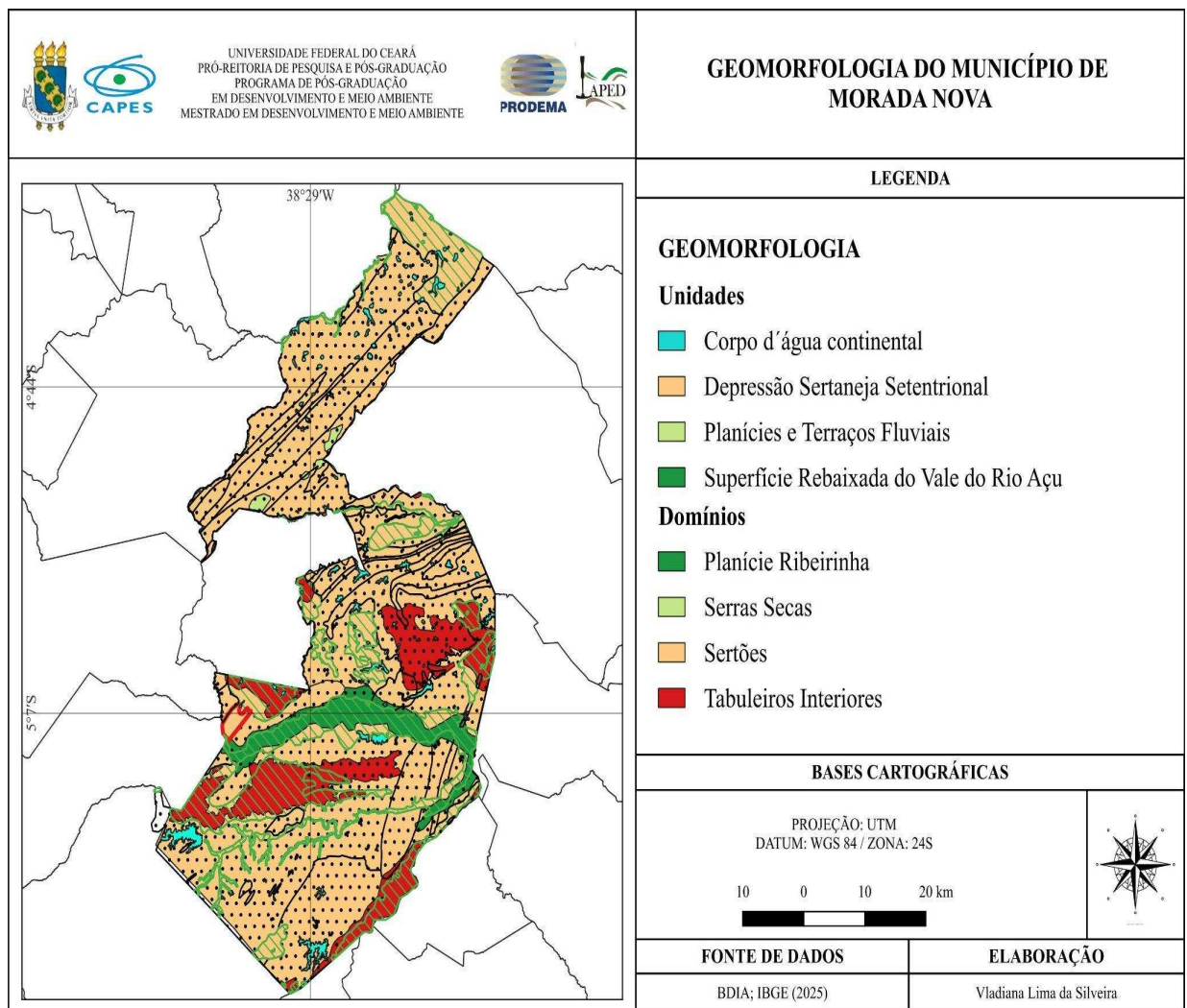
Esta suíte foi designada por Cavalcante (1999), no intuito de formalizar os augen gnaisses estudados por Sá (1991) na porção leste da Faixa Orós. Sá (1991), Sá et al. (1995) e Cavalcante (1999) consideraram esta suíte como de tendência alcalina e de ambiente intraplaca (anorogênico), correlacionando-a com o vulcanismo félsico da Formação Campo Alegre (Grupo Orós). A partir de quatro frações de zircão deste augen gnaiss, Sá (1991) obteve uma idade UPb de 1673 ± 23 Ma (MSWD = 1,87), indicando uma idade Estateriana para esta suíte. Em litotipos similares localizados na região de Jaguaribe (CE), Sá et al. (1997) obtiveram uma idade U-Pb de 1774 ± 24 Ma, onde aqueles autores sugerem tratar-se de uma suíte distinta.

4.1.2 Aspectos geomorfológicos

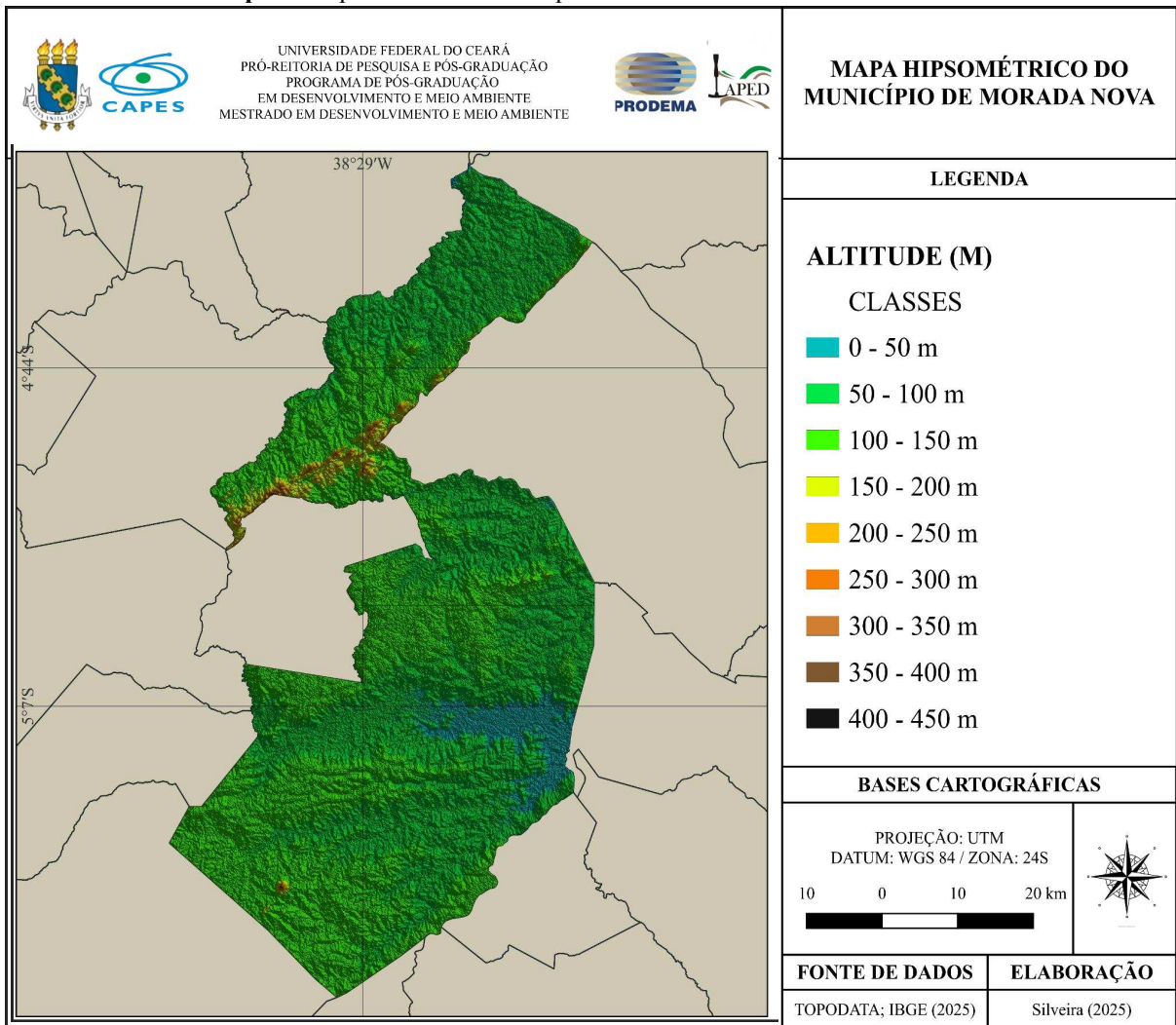
As unidades geomorfológicas do município de Morada Nova podem ser mapeadas observando os processos morfogenéticos e morfodinâmicos descritos no mapa 4. O município apresenta em seu território três unidades geomorfológicas: a Depressão Sertaneja Setentrional (75%), as Planícies e Terraços Fluviais (10%), a Superfície Rebaixada do Vale do Rio Açu (13%).

Na geografia natural e física do Estado do Ceará, a superfície plana da Depressão Sertaneja em baixa altitude apresenta uma grande vantagem espacial, resultado de um longo processo de erosão e estratificação, que ajudou a suavizar o terreno. No entanto, tais características geomorfológicas ocorreram principalmente no período pré-cambriano metamórfico ígneo (FUNCEME, 2009).

Mapa 4 - Geomorfologia do Município de Morada Nova no estado do Ceará



Fonte: BDIA; IBGE, e elaborado pela autora (2025)

Mapa 5 - Hipsometria do Município de Morada Nova no estado do Ceará

Fonte: TOPODATA; IBGE, adaptado pela autora (2025)

De acordo com Brandão e Freitas (2014), a unidade é caracterizada por uma série de superfícies quebradas que cortam e erodem a complexa e diversa série de rochas ígneas metamórficas que estão sempre cobertas pelo Bioma Caatinga. A área é formada por uma ampla superfície de pés, inicialmente cortada por uma rede de drenagem de baixa densidade, e extensas empenas localizadas no sopé das montanhas ou nas bordas de encostas e encostas de planaltos. Esses planos de pedal são geralmente pontilhados de montanhas e montanhas insulares (muitas das quais são sustentadas por rochas de granito acidentado), e todas se destacam.

Identificada como planície pelo levantamento inicial realizado por Crandall (1910), para Ab'Saber (1953) seria resultado do processo de desnudação marginal no interior do Nordeste Oriental, com reentalhamento pronunciado do assoalho cristalino Pré-Série Araripe, acompanhado de um rejuvenescimento e rebaixamento parcial dos níveis antigos. G. O. Andrade (1958) considerou toda essa área aplainada com altimetria entre 50 e 280m como

residual formado no pliocênico, através do desgaste dos bordos da Borborema e recuo das escarpas.

Ab'Saber (1969) propõe denominar esta unidade como Superfície Sertaneja, proposição seguida por Moreira e Gatto (1981). A coalescência entre a Depressão Sertaneja Setentrional e o Piemonte Oriental da Borborema, no Rio Grande do Norte, segundo Feio (1954) foi resultado da fase erosiva após o último soerguimento de porções do Planalto da Borborema, gerando deposições nas bacias superiores do rio Piranhas ou Açu, Apodi e Jaguaribe.

Posicionando-se entre os compartimentos mais elevados do relevo ou se estendendo a partir das bases escarpadas dos planaltos, esta grande unidade caracteriza-se por apresentar uma topografia predominantemente plana (interflúvios tabulares) com pequenos setores apresentando uma dissecação incipiente traduzidos por colinas e cristas. Observa-se ainda restos de aplanamentos conservados nos arredores da serra do Baturité e no alto curso do rio Piranhas/Açu, junto ao conjunto da Serra do Pereiro. Esta unidade é elaborada em rochas do embasamento cristalino tais como migmatitos, metassedimentos, núcleos granitóides, etc., por ação destacada dos processos de intemperismo físico, e remoção dos detritos por escoamento difuso e concentrado (Ab'Saber, 1969).

Há o revestimento generalizado de caatinga, com mudanças eventuais de fisionomia e de flora em consequência de mudanças locais de clima e solos. Observa-se o efeito da erosão seletiva configurado por relevos residuais (inselbergs) distribuídos isoladamente ou formando grupamentos a exemplo dos Maciços Residuais Sertanejos. Disseminados na Depressão Setentrional Sertaneja, os inselbergs são elementos definidores da paisagem. As cristas, constituídas principalmente de quartzitos, chegam a ser, às vezes, seccionadas pelos rios, o que enseja a formação de boqueirões, pontos preferenciais para a construção de barragens, como a de Orós (Santos et al., 2019).

Vale salientar ainda que, a Depressão Sertaneja Setentrional é a unidade geomorfológica presente em quatro das seis núcleos de ocorrência de desertificação na região Nordeste do Brasil. Visto que nessa unidade, as condições de semi-aridez tendem a assumir maior expressividade, o que se evidencia pela espessura mínima das alterações e pelo recobrimento generalizado da superfície por material pedregoso (Moura; França, 2014).

Outro ponto, é que os solos, em geral, são pouco espessos, desenvolvidos a partir da alteração de rochas do embasamento cristalino. Predominam Solos Litólicos de textura arenosa e média, Luvisolos, textura média/argilosa, Planossolos Solódicos, argila de atividade alta e baixa e textura arenosa/média e Podzólicos Vermelho-Amarelos, argila de

atividade baixa textura média/argilosa (Araripe et al., 2020). Há ainda a presença de afloramentos dispersos ao longo de toda a área. Nas proximidades da cidade de Jaguaribe (CE) e nas áreas de confluência entre o rio Jaguaribe e Salgado, ocorrem cascalheiras com aproximadamente 2 metros de espessura, constituídas por seixos de calibre pequeno e médio.

Já a unidade formada pelas Planícies e Terraços Fluviais inclui várzeas e terraços aluviais elaborados em depósitos sedimentares holocênicos. Ocorrem principalmente ao longo dos principais rios, onde se apresentam como trechos descontínuos de planície fluvial (Apf). Há setores em que os terraços coalescem com as planícies, não permitindo legenda diferenciada (Aptf). Na Amazônia, os rios que cortam rochas cristalinas geram principalmente estreitos terraços fluviais, por vezes associados a planícies recentes. No interior da sinéclise do Amazonas, a drenagem encaixa-se nos sedimentos, apresentando vales com bordas bem definidas, confinando com os terraços e planícies (Assis et al., 2024).

A construção de planícies e terraços apresenta evidências de ajustes à neotectônica e é acelerada por processos de evolução de meandro. A colmatagem processa-se através de sedimentos em suspensão, arrastamento e saltação de material grosseiro; transporte em suspensão de colóides e deposição de sedimentos ao longo de trechos das margens. Por vezes o material acha-se pedogeneizado (Aderaldo; Pérez Filho, 2020).

Na folha SB.23, planícies e terraços fluviais foram mapeados ao longo dos rios Itapecuru, Mearim, Pindaré, Turiaçu, Maracaçumé, Gurupi e Tocantins, bem como no rio Parnaíba e afluentes principais. Ocorrem feições como diques arenosos, lagos de barramento, bacias de decantação, canais anastomosados e trechos de talvegues retilinizados por fatores estruturais (RADAMBrasil, 1987). Os leitos dos rios são balizados por cordões arenosos e, na época de seca, formam barrancos íngremes (Dias; Pérez Filho, 2016). Trechos de planícies podem ter o aspecto de veredas com bordas arenosas e substrato turfoso, assinaladas por renque arbustivo incluindo palmeiras.

Nas folhas SC.24 e SD.24, estreitos setores de planícies e terraços fluviais ocorrem ao longo dos principais rios que compõem a malha hidrográfica dessas áreas (rios Macururé, Moxotó, Itapicuru e Inhambupe, na primeira; rios Paraguaçu, de Contas, Pardo, Jequitinhonha, na segunda), além do grande número de rios de médio e pequeno portes que desembocam diretamente no oceano. Esses modelos de acumulação muitas vezes coalescem com as rampas coluviais que suavizam as encostas dos tabuleiros e modelados de dissecação ou os planos pedimentados componentes do piso das depressões interplanálticas (Aderaldo; Pérez Filho, 2020).

Além disso, a unidade apresenta níveis de argilas, siltes e areias muito finas a

grosseiras, estratificadas, são localmente intercaladas por concreções ferruginosas e concentrações orgânicas, resultando em Neossolos Flúvicos e Gleissolos. A alteração de rochas cristalinas gerou solos Podzólicos Vermelho-Amarelos, por vezes plínticos, associados a Plintossolos álicos, nos terraços; e Latossolos, por vezes plínticos, associados a Gleissolos, nos terraços com planícies. Também ocorrem Solos Hidromórficos Gleizados associados a Solos Aluviais (Storani; Pérez Filho, 2012).

A unidade geomorfológica da Superfície Rebaixada do Vale do Rio Açu, é constituída por arenitos da Formação Açu, que afloram junto à Chapada do Apodi na direção do interior, formam um patamar dissecado em interflúvios tabulares ao pé da cornija que se prolonga com pequenas interrupções desde a localidade de São José, no Ceará, até próximo à cidade de Açu (Ross et al., 2019).

A cornija possui desnível com média de 6m, estando apenas esboçada em alguns locais. Na direção sudeste, o arenito Açu provoca uma forma plana, limitada por um pequeno desnível voltado para a Depressão Sertaneja. As encostas são marcadas por uma dissecação mais acentuada, sendo observados alguns desmoronamentos, ravinas incipientes e sulcos mais acentuados, em função do escoamento das águas superficiais (Albuquerque; Xavier; Suertegaray, 2024).

A origem dos sedimentos que formam esta unidade foram depósitos fluviais (formação Açu) que ocorreram durante o processo cretácico de separação dos continentes. Aos arenitos da formação Açu, predominante nesta unidade, corresponde solos Podzólicos Vermelho-Amarelos distróficos, argila de atividade baixa, textura arenosa a média, em relevo plano e suave ondulado. Em derivados de calcários da Formação Jandaíra, em relevo plano, ocorre Vertissolos (Santos; Pinheiro, 2002).

4.2 Clima e Hidrografia

4.2.1 Aspectos climáticos

O clima desempenha um papel fundamental na configuração social e econômica dos municípios situados no semiárido nordestino, seja por sua complexidade como pelo modo que influencia diretamente no cotidiano das comunidades inseridas nesse contexto. Morada Nova, município que tem seu território na região semiárida cearense, enfrenta desafios recorrentes na região na qual se encontra, tornando seu território propenso a uma baixa disponibilidade hídrica (Pinheiro, 2019).

O município encontra-se situado na Zona Tropical Equatorial, representando uma das principais zonas térmicas do planeta, localizada entre os paralelos de 5°N e 5°S aproximadamente, abrangendo regiões próximas à linha do Equador. Essa zona é caracterizada por altas temperaturas médias anuais, baixa amplitude térmica anual e diária, o que faz com que haja um período seco (sete meses) e um período chuvoso bem delimitado (quatro meses) ocasionando uma alta variabilidade nos índices pluviométricos (Mendonça; Danni-Oliveira, 2007).

Apresentando uma regularidade solar, o que a torna uma das principais razões para a constância térmica da região, observa-se um padrão médio de temperaturas ao longo do ano. A radiação solar incide quase perpendicularmente durante todo o ano, o que contribui para o aquecimento contínuo da superfície terrestre e da atmosfera. Além disso, a baixa umidade relativa do ar promove intensa evapotranspiração e formação de nuvens, portanto, resultando em uma alta variabilidade e inconstância pluviométrica (Souza; Gomes, 2012).

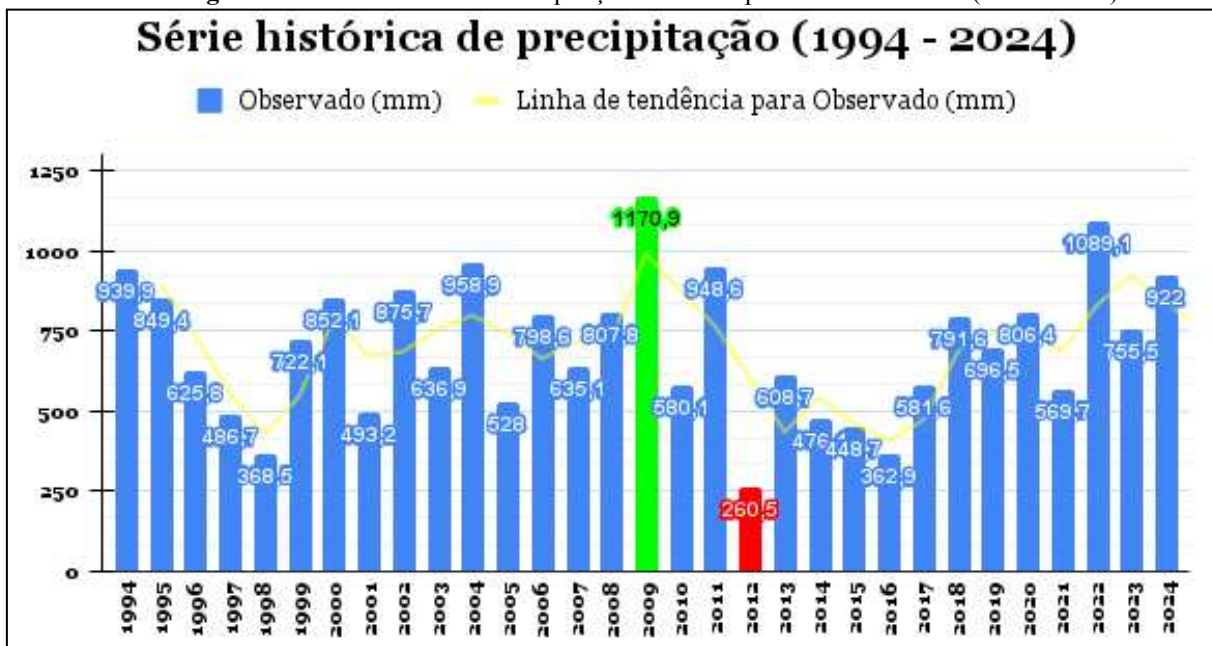
Visto que, o município de Morada Nova tem como característica climática o tipo Tropical Quente Semi-Árido (BSh), tal classificação foi delimitada por Köppen-Geiger. O clima do município, caracteriza-se por altas temperaturas médias anuais, entre 26 °C e 28 °C, chuvas mal distribuídas ao longo do ano e prolongados períodos de estiagem quando analisados de modo temporal (Köppen, 1936).

A variabilidade pluviométrica pode ser definida como um dos fatores determinantes no estudo de dados climáticos e na compreensão do funcionamento dos ecossistemas e sua integração com a sociedade. Sobretudo, quando observadas em regiões de clima semiárido, como Morada Nova, onde a irregularidade das chuvas impõe desafios à agricultura e à gestão de recursos hídricos (Souza; Ribeiro, 2021). A análise de séries históricas de precipitação permite compreender padrões de variabilidade e identificar tendências associadas

a fenômenos climáticos regionais e globais, visto que permite a observação de padrões de acordo com a variação observada.

O Figura 5 representa uma série histórica da precipitação ocorrida no município de Morada Nova e traz os dados referentes aos últimos trinta anos. Tal análise por meio de uma série histórica, permite a identificação dos anos de maior e menor precipitação, bem como ciclos pluviais (anos consecutivos com chuvas acima ou abaixo da média).

Figura 5 - Série Histórica de Precipitação do município de Morada Nova (1994 - 2024).



Fonte: FUNCEME, adaptado pela autora.

Ademais, permite uma interpretação que considere ainda possíveis causas meteorológicas associadas aos fenômenos ENOS (El Niño e La Niña) e à atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) observados anteriormente na região (Zanella, 2007). Vale salientar ainda que,

A ZCIT configura um divisor entre as circulações atmosféricas celulares que se localizam nas proximidades do Equador, sejam as células norte ou sul de Hadley. Ela é móvel, uma vez que se desloca durante o ano [...] Tal fato é observado quando se considera que o pico de precipitação sobre o Nordeste ocorre exatamente na época em que a ZCIT atinge suas posições mais ao sul, tornando-se o sistema meteorológico mais importante na determinação de quão abundante ou deficiente serão as chuvas no setor norte do Nordeste do Brasil (Silva; Galvêncio; Oliveira, 2017, p. 111).

Com destaque para o ano de 2012, com a pior média pluviométrica da série histórica (260,5 mm), observa-se uma tendência negativa a partir desse ano até o período de 2016, destacando um dos anos mais secos registrados no semiárido cearense, com severas

implicações para agricultura e segurança hídrica. Em contrapartida a isso, e apenas 3 anos antes observou-se uma média acima do esperado, expressando a maior média no período de análise, com a precipitação anual em 2009 de 1170,9 mm. Essa média expressivamente positiva pode estar relacionada ao deslocamento mais ao sul da ZCIT e à atuação de vórtices ciclônicos, gerando assim um impacto expressivo na média anual do município em 2009.

Tal variabilidade, constatada nas últimas décadas, é característica do clima semiárido nordestino, especialmente sob a influência de fenômenos de escala global como o El Niño–Oscilação Sul, que tende a reduzir a precipitação na região durante os anos de sua atuação positiva na região afetada. Nesse contexto, pode-se afirmar que nos anos de 1997 a 1998 e 2015 a 2016, marcados por episódios de El Niño, foram observados valores médios abaixo de 400 mm anuais no semiárido cearense (Marengo et al., 2018). Com destaque para os anos de 2012 (260,5 mm), 2013 (608,7 mm), 2014 (476,1 mm), 2015 (448,7 mm) e 2016 (362,9 mm), considerada uma das piores estiagens desde o ano de 2010, cujo a média no município ficou abaixo de 500 mm.

Já os anos mais chuvosos (com médias acima de 850 mm) coincidem com períodos associados à atuação do fenômeno La Niña, que favorece o deslocamento mais ao sul da ZCIT, resultando em maior volume de chuvas sobre a região Nordeste, conforme apontam Nobre et al. (2016), Xavier et al. (2025) e a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2022). Com destaque para os anos de 1994 (939 mm), 1995 (849 mm), 2001 (875,2 mm), 2009 (1170,9 mm), 2011 (948,8 mm), 2023 (1089,4 mm) e 2024 (922 mm).

Morada Nova é um município caracterizado por uma precipitação anual inferior a 800 mm, com distribuição espacial e temporal irregular, concentrada principalmente entre os meses de fevereiro e maio. A dependência das chuvas para a agropecuária torna a população local altamente vulnerável às secas, conforme demonstrado por estudos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023) e da FUNCEME.

A série histórica mostra uma tendência geral de estabilidade, no entanto, com maior frequência de eventos extremos nas últimas décadas como observado entre o período de 2012 a 2016. Essa característica é uma consequência decorrente aos impactos ambientais ocasionados pelas mudanças climáticas, que contribuem para a intensificação de padrões climáticos já existentes, como as secas prolongadas e chuvas concentradas em curtos períodos no semiárido brasileiro (IPCC, 2021).

Tendo em vista os resultados observados, os dados da série histórica de Morada Nova evidenciam a necessidade de adoção de estratégias de gestão hídrica adaptativa, com políticas públicas voltadas à resiliência climática, considerando o aumento da variabilidade e dos

extremos hidrometeorológicos na região. Além disso,

Tal situação pode levar à uma adaptação em um estado indesejado (maladaptation), com efeitos nocivos em outras escalas espaciais e temporais, minando assim a sustentabilidade no próprio nível local, como os efeitos das mudanças climáticas e das escolhas políticas e econômicas do modelo de desenvolvimento adotados por um país. Por outro lado, esses estudos podem contribuir para encontrar mecanismos de incentivo à adoção de estratégias adaptativas por parte de indivíduos (Ambrósio et al., 2024, p. 4563)

Por fim, as condições climatológicas apresentadas do município de Morada foram caracterizadas a partir do levantamento dos dados pluviométricos administrados pela FUNCEME, e delimitados de acordo com a área de interesse do seguinte projeto. Onde observou-se impactos significativos na média pluviométrica de Morada Nova ao longo dos anos, que foram ocasionados tanto por fenômenos de escala global como pela intervenção antrópica sobre o meio ambiente.

4.2.2 Recursos Hídricos

O semiárido tem como principal característica um regime pluviométrico irregular e escasso, aliado a uma elevada taxa de evapotranspiração, o que torna a gestão e monitoramento dos recursos hídricos um desafio para o desenvolvimento regional dos municípios inseridos na região nordeste brasileira. Sua formação hidrográfica é predominante constituída de rios intermitentes e a pouca expressividade de fontes hídricas permanentes impõem o uso de águas subterrâneas, com destaque para os perímetros irrigados, que surgem como uma alternativa para suprir as demandas hídricas (Magalhães, 2021).

Hidrografia de uma região é constituída de seus principais recursos hídricos, através da análise da espacialização desses recursos no território, o que torna evidente a relevância da água em diversos aspectos naturais ou não. Os aspectos naturais evidenciam a relevância de políticas públicas que contemplem a necessidade de uso versus a oferta hídrica, visto que a gestão adequada promove a segurança dos recursos hídricos e a resiliência dos moradores das comunidades locais diante das variações climáticas (Loftus; Sousa, 2021).

Marcado por sua maioria por importantes recursos hídricos superficiais e subterrâneos, o município de Morada Nova tem como a base e sustento da sua economia agrícola regional o uso de seus recursos hídricos para o abastecimento das comunidades, além do uso para a irrigação e agropecuária. Entre os corpos hídricos inseridos no município, o rio Banabuiú é o

principal, e influencia significativamente a dinâmica hidrogeológica do município (Vasconcelos et al., 2010).

Diretamente associados às aluviões do rio Banabuiú, a região do município é constituída principalmente por aquíferos do tipo poroso, que apresentam como características principais a recarga limitada e a alta vulnerabilidade à contaminação (Lima; Barros, 1998). Essas características tornam necessários monitoramentos constantes locais, em especial nas regiões onde há um intenso uso para fins agrícolas, um exemplo é o Perímetro Irrigado de Morada Nova, um dos mais relevantes no estado do Ceará.

Com a intensificação do uso do solo para fins agrícolas, é imprescindível pensar-se em estratégias para um manejo eficaz das águas subterrâneas. Ademais, em função da sazonalidade pluviométrica e da intensidade da exploração dos recursos hídricos, houve um expressivo impacto nos níveis estáticos dos poços tubulares da região, o que gera mais um desafio à segurança hídrica de Morada Nova (Teixeira et al., 2008). Dado que, é primordial o monitoramento constante desses níveis, o que garante a sustentabilidade hídrica em todo o semiárido.

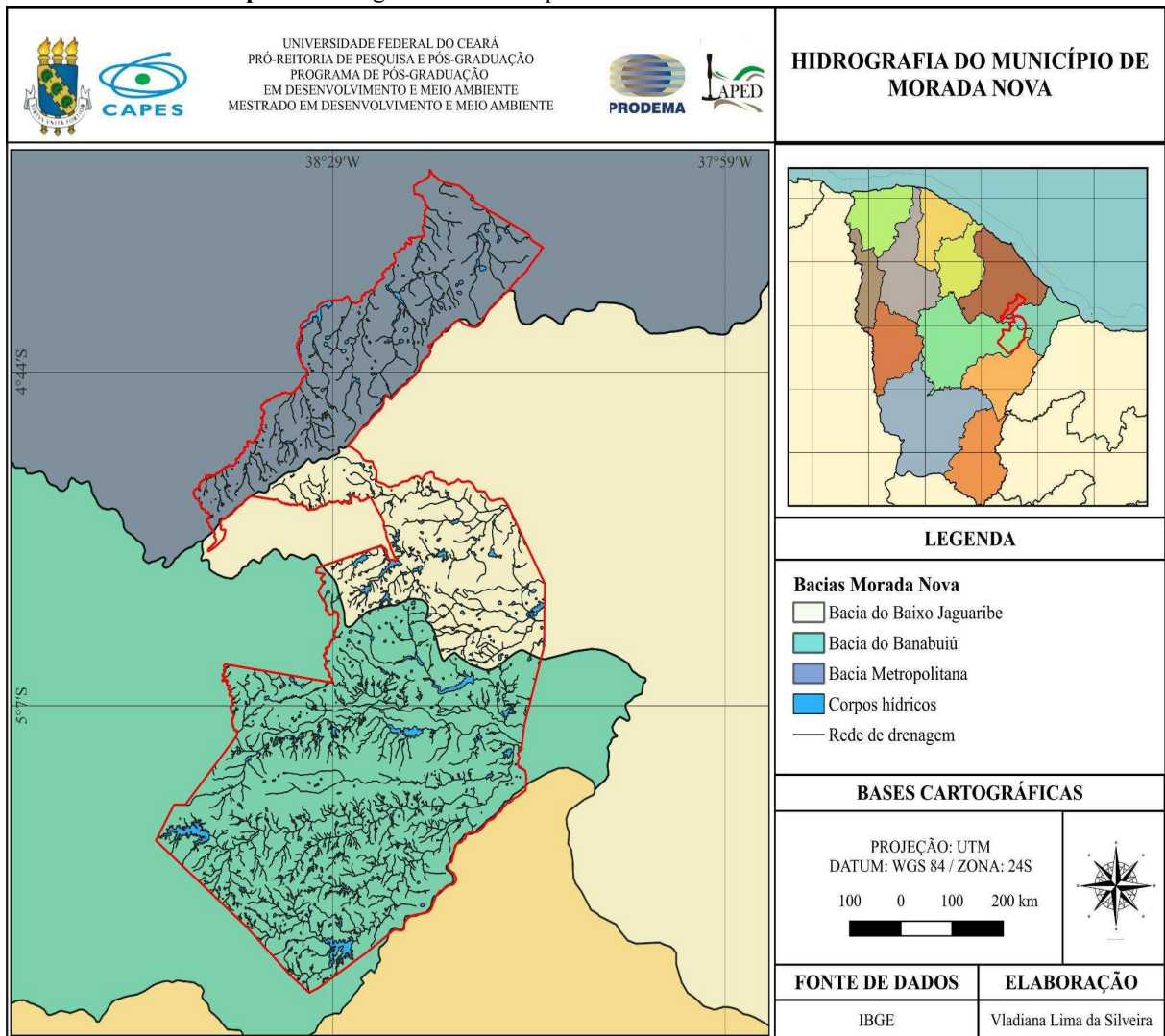
Salienta-se outro relevante aspecto, o acompanhamento do lençol freático inserido no município, cuja profundidade pode apresentar uma grande variabilidade ao longo do ano. Estudos referentes à temática nas últimas décadas expressam que, todavia haja uma renovação hídrica em períodos chuvosos, a exploração contínua gera uma tendência ao rebaixamento do lençol em áreas superexploradas (Teixeira; Souza; Albuquerque, 2013).

Nesse cenário, a hidrografia do município de Morada Nova é um inestimável componente estratégico para o desenvolvimento socioeconômico local. Portanto, uma gestão racional dos recursos hídricos, aliada ao conhecimento científico sobre o comportamento hidrogeológico da região, é essencial para garantir o equilíbrio entre preservação ambiental e produtividade agrícola (Paiva, 2019).

Diante do que foi exposto, para uma análise adequada dos recursos hídricos de Morada foram descritos os seguintes aspectos essenciais para compreender a dinâmica hídrica na região, sendo apresentada as bacias hidrográficas, os principais reservatórios, e os corpos hídricos presentes no território do município.

Conforme pode ser observado no mapa 6, a região hidrográfica do município de Morada Nova tem seu território inserido sob três Bacias Hidrográficas, sendo elas: a Bacia do Baixo Jaguaribe, a Bacia do Banabuiú, e a Bacia Metropolitana.

Mapa 6 - Hidrografia do Município de Morada Nova no estado do Ceará



Fonte: Elaborado pela autora.

A Bacia do Baixo Jaguaribe é a principal bacia hidrográfica de Morada Nova, pois ocupa uma extensa parte do seu território. Como rio principal, o Jaguaribe representa um dos maiores rios intermitentes do mundo e desempenha um relevante papel para o abastecimento das comunidades, para a irrigação e para fins agropecuários no Ceará (Silva, 2009).

Visto que a Bacia do Baixo Jaguaribe, com uma extensão territorial de 8.893km², apesar de não ser a mais extensa do estado é a mais dinâmica quanto se leva em consideração fatores econômicos, mesmo com relação a outras bacias inseridas em solo cearense (COGERH, 1997). Isso se deve a fatores como a irrigação, o turismo, e o mais recorrente uso recente, a carcinicultura, o que tornam a bacia mais dinâmica com relação às demais (Silva, 2009). Atualmente com uma capacidade de até 25,1 hectometros cúbicos (hm³), a bacia expressa um volume de 17,5 hm³, o que representa 69,97% do total volumétrico (COGERH, 2025).

A Bacia do Baixo Jaguaribe tem como principais características a formação por rios intermitentes, leitos largos, uma baixa declividade e um regime fluvial baseado na sazonalidade pluviométrica (Andrade; Maia, 2019). Vale salientar que a Bacia do Jaguaribe é um dos pilares para a segurança hídrica do Ceará, principalmente pela presença do Castanhão, o maior açude em extensão do estado, localizado a montante do município de Morada Nova (Tucci, 2001).

Contudo, devido o intensivo uso dessa bacia para a irrigação e piscicultura, é perceptível os impactos ambientais significativos na integridade biológica desse ecossistema, em especial nos anos de estiagem severa (Lima; Silva, 2018). A Bacia do Baixo Jaguaribe traz prosperidade ao sertão cearense, porém é preciso o uso desse recurso de modo sustentável e adequado às condições morfoclimáticas locais.

Já a Bacia do Banabuiú, que está situada na região sudoeste do município de Morada Nova, é alimentada pelo rio Banabuiú, um dos mais importantes afluentes do rio Jaguaribe. A bacia do rio Banabuiú possui uma extensão territorial de drenagem de 19.647 km², o que representa uma área relativa de 13,37% do território cearense (COGERH, 1997). A Bacia possui uma capacidade de armazenamento de até 2.675,9 hm³ e encontra-se atualmente com 963,40 hm³, o que expressa o percentual de aproximadamente 36,38% sua da sua capacidade (COGERH, 2025).

A Bacia do Banabuiú, por estar inserida em uma região semiárida, enfrenta uma limitação hídrica devido aos fatores climáticos e morfoclimáticos predominantes em seu território. Ressaltando-se que,

A bacia possui notável déficit hídrico atmosférico para todos os municípios nela inseridos. Isso se deve às elevadas temperaturas e altas taxas de evaporação potencial, aliadas às fracas pluviosidades, desta forma, o escoamento na rede de drenagem natural fica praticamente restrito aos períodos chuvosos (Abreu, 2021, p.3).

Sua notoriedade é destacada pela presença do Açude Banabuiú, um dos maiores reservatórios hídricos do Ceará. Assim como os demais açudes do estado, sua instalação tem como finalidade múltiplos usos, sendo os mais expressivos o abastecimento local, irrigação e dessedentação animal (Lima; Silva, 2018). Todavia, o uso ao longo prazo e de modo inadequado pode causar danos irreversíveis ao ecossistema dessa bacia, sendo os apontados como mais prováveis o assoreamento e a poluição por escoamento agrícola (Souza; Cirilo, 2006). Visto que,

A bacia hidrográfica do rio Banabuiú atualmente encontra-se em avançado processo de degradação ambiental, devido à presença de despejo de esgotos domésticos e efluentes industriais, à poluição dos mananciais pelos rebanhos e principalmente devido ao mau uso do solo da área de drenagem. O desmatamento realizado pelas atividades agropecuárias é um dos fatores que associam mais riscos à bacia, pois diminuem a proteção dos corpos hídricos, tornando-os suscetíveis ao assoreamento e à poluição por carregamento de material. E diante desse cenário de degradação ambiental é imprescindível o adequado planejamento e gestão dos recursos ambientais da bacia (Lima; Silva, 2018, P.1443).

Por fim, a Bacia Metropolitana é a menos expressiva no município, ocupando uma pequena faixa ao norte de Morada Nova. Possui uma área total de drenagem de 15.085 km², e sua capacidade é de 1.459,8 hm³, estando atual com 1.185,7 hm³, o que dá um percentual de 81,22% de volume disponível (COGERH, 2025).

Apesar de sua extensa expressão territorial, essa é a bacia menos significativa em termos de volume hídrico no território de Morada Nova, no entanto, sua relevância estende-se para o uso regional, visto que sua função é abastecer principalmente a Região Metropolitana de Fortaleza (FUNCEME, 2012).

Além disso, a Bacia Metropolitana tem como características principais a presença de corpos hídricos predominantemente intermitentes, porém, devido ao uso antrópico e a à infraestrutura de transposição hídrica instalada ganham uma importância funcional para a região (FUNCEME, 2012).

Direcionada para o abastecimento humano nas comunidades, a Bacia Metropolitana integra um sistema que interliga diversos açudes e corpos hídricos, fazendo com que haja a distribuição adequada mesmo em localidades mais afastadas dos centros urbanos. Sendo interligada hidráulicamente por obras, onde o mais conhecido é o Eixão das Águas, que faz a redistribuição de águas oriundas de grandes reservatórios para os centros urbanos da RMF (Silva; Souza Filho; Aquino, 2015).

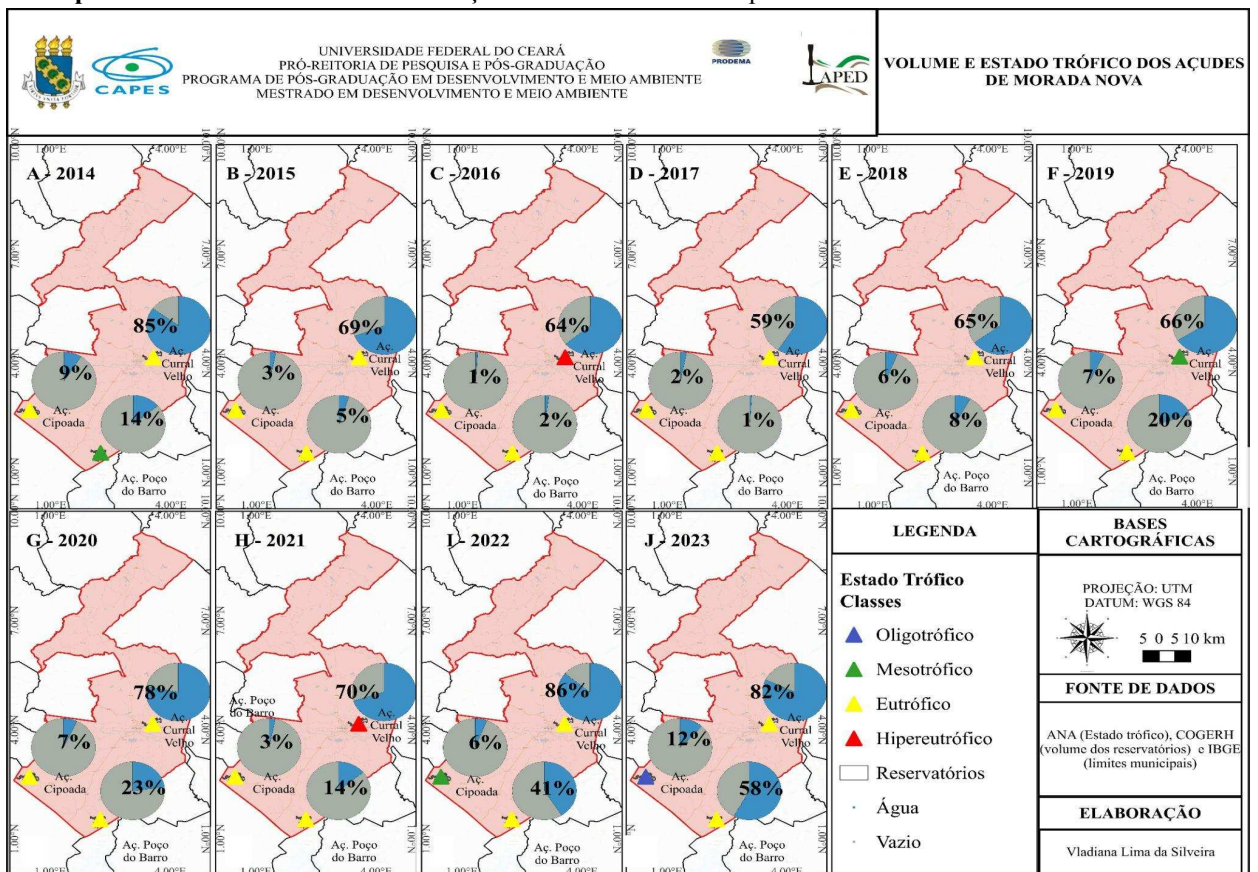
Devido a sua utilidade, os principais desafios impostos à Bacia Metropolitana incluem aspectos relacionados a ações antrópicas como o risco de contaminação devido ao despejo de efluentes domésticos e agrícolas e os possíveis conflitos pelo uso dos recursos hídricos em tempos de escassez. Além disso, pontua-se a necessidade de uma integração intermunicipal na gestão desse recurso, de acordo com o que é estabelecido pela Política Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 1997).

Com relação aos reservatórios presentes no município de Morada Nova, denota-se a importância desse tipo armazenamento para o abastecimento e segurança hídrica de uma região, pois uma boa gestão visa manter esse recurso de modo que atenda às necessidades

locais e supra às demandas econômicas. O município de Morada Nova possui três açudes em sua superfície, sendo eles: o Açude Cipoada, o Açude Curral Velho e o Açude Poço do Barro.

Abaixo observa-se (mapa 7) a localização de cada açude no município, assim como o seu volume disponível e seu estado eutrófico durante os anos de 2014 a 2023.

Mapa 7 - Volume e estado trófico dos Açudes inseridos no Município de Morada Nova no estado do Ceará



Fonte: Elaborado pela autora.

Ao longo dos anos observou-se uma redução expressiva nos reservatórios principalmente nos anos de 2014 a 2017, isso se deve ao período de estiagem enfrentado em todo o estado do Ceará, como destacado anteriormente nos aspectos climáticos. Esse evento causou impactos nas reservas hídricas do estado, que passou a ter que desenvolver estratégias de mitigação visando reduzir os conflitos causados pela falta de água.

Mesmo pertencentes ao mesmo município, cada açude foi impactado de modo distinto neste período destacado nesse estudo, devido ao uso e capacidade de armazenamento de cada um, os efeitos da seca foram observados de forma complexa em cada reservatório. Dado que o Açude Cipoada foi o mais impactado neste período, mantendo níveis baixos durante todo os anos destacados, variando entre 1% e 12%, o que pode ser um indicador de uma baixa capacidade de acumulação ou maior perda por evaporação/infiltração.

No entanto, o Açude Curral Velho obteve bons volumes ao longo do período, registrando médias acima de 60% em quase todos os anos, com picos em 2022 (86%) e mínimas em 2017 (59%). Em contrapartida a isso, o Açude Poço de Barro apresentou uma forte variabilidade, tendo como destaque para um crescimento expressivo durante os anos de 2022 (41%) e 2023 (58%). Essa melhora pode estar associada à recuperação hídrica que pode estar interligada ao aumento de precipitações ou ações de gestão local.

Mesmo apresentando uma certa variabilidade, houveram quedas expressivas em diversos anos em todos os açudes inseridos no município. Essa dinâmica constatado nos reservatórios de Morada Nova esteve em consonância os ciclos de seca prolongada e eventos climáticos extremos que atingiram o Semiárido nordestino entre 2012 e 2018, conforme descrito por Marengo et al. (2018), o que comprometeu a regularidade dos aportes hídricos.

A avaliação da qualidade dos corpos hídricos através do Índice de Estado Trófico (IET), se mostra um importante instrumento no monitoramento da qualidade das, pois

O uso dessa ferramenta na análise do estado qualitativo das águas, bem como na elaboração de diagnósticos acertados sobre a real condição qualitativa ao qual se encontra um determinado reservatório é de fundamental importância para gerenciar os recursos hídricos de maneira adequada (Barros, 2013, p.32).

Para a análise dos resultados referentes aos níveis eutróficos dos açudes do município foram classificados de acordo com a Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA). A classificação pré-determina 4 níveis de estado tróficos, que variam de acordo com o grau de qualidade na qual se encontra determinado corpo hídrico.

O nível Oligotrófico é constituído por águas limpas e que possuem baixa produtividade de matéria orgânica, e não apresentam restrições quanto ao seu uso por não terem a presença excessiva de nutrientes. O Mesotrófico já apresenta um grau de produtividade intermediária, no entanto, a qualidade dessa água possui implicações que só a tornam aceitável de acordo com a destinação do uso. Já os corpos hídricos com o nível trófico Eutrófico apresentam uma alta produtividade e águas com elevada turbidez. Essas características estão associadas às ações antrópicas, que além de causarem alterações significativas na qualidade da água, limitam o seu uso devido ao nível de contaminação. Por fim, no nível Hipereutrófico as águas apresentam elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes. Assim como o nível anterior, a água apresenta uma elevada turbidez, o que também compromete seu uso, e gera nos corpos hídricos episódios de florações de algas que limita a entrada de luz natural provocando a mortandade de peixes (ANA, 2019).

Com relação ao estado trófico dos reservatórios, pode-se observar uma regularidade na qualidade nos açudes ao longo do período analisado. O Açude Cipoada é o que mais frequentemente apresenta com estado o nível Eutrófico, estando nesse nível em 8 dos 10 anos analisados. Esse resultado evidencia um certo comprometimento da qualidade da água do açude, o que pode estar diretamente relacionado ao uso do solo no entorno, escoamento agrícola ou ausência de mata ciliar (Abreu, 2021). Embora entre os anos de 2022 e 2023 observou-se uma melhora quanto ao nível trófico do açude, que fechou a análise em um nível Oligotrófico.

Também, apresentando um nível majoritariamente Eutrófico, o Açude Curral Velho sofreu variações quanto à qualidade de suas águas ao longo da série histórica, estando quase sempre em um estado preocupante e atingindo em 2016 e 2021 o nível Hipereutrófico. O Açude Poço de Barro iniciou a análise apresentando um nível Mesotrófico, no entanto nos anos subsequentes teve uma tendência à Eutrófico, sugerindo aumento de cargas orgânicas e possível eutrofização por fontes antrópicas.

Com base no mapa 7, pode-se constatar além da variabilidade hídrica, um agravamento do estado trófico em açudes estratégicos como Poço do Barro. Isso reforça a importância do monitoramento contínuo da qualidade da água e da adoção de práticas de gestão integrada dos recursos hídricos a fim de manter a segurança hídrica, conforme recomenda a ANA (2021). Visto que,

A segurança hídrica é condicionada pela oferta e demanda de água, sendo totalmente dependente da dinâmica climática e da gestão dos recursos disponíveis. É nesse sentido que os desafios à segurança hídrica se evidenciam e demonstram a suscetibilidade dos sistemas hídricos aos extremos climáticos de seca na região semiárida brasileira, demonstrando a necessidade de uma gestão de recursos hídricos cada vez mais robusta para que todas as pessoas tenham acesso à água potável suficiente, a um custo acessível e que garanta sua produção. No contexto das mudanças climáticas em curso, os velhos desafios ganham novos agravantes e a gestão dos recursos hídricos torna-se cada vez mais complexa em um cenário de profundas incertezas (Dias; Pessoa; Teixeira, 2022, p.4).

Tornando-se essencial a preservação da qualidade hídrica em açudes do semiárido, uma vez que esses sistemas atravessam grandes períodos de escassez hídrica, simultaneamente, são utilizados para o abastecimento humano, animal e agrícola. A contaminação e perda da qualidade da água, em especial pelo processo de eutrofização, pode comprometer o abastecimento e gerar problemas sanitários, exigindo investimentos em tratamento mais intensivo (Brasil, 1997).

4.3 Pedolgia e cobertura vegetal

4.3.1 Aspectos pedol3gicos

O estudo da Pedologia pode ser definido com o ramo da ci4ncia do solo, que analisa sua forma3o, morfologia e distribu3o em uma determinada regi3o de acordo com os processos pedog4nicos que o constituem (Santos et al., 2018). Em um contexto de uma regi3o semi3rida como o do estado do Cear3, os aspectos pedol3gicos desempenham um papel crucial para a compreens3o do uso e manejo do solo, especialmente em atividades agropecu3rias e de conserva3o ambiental. Desse modo, 4 not3ria a relev4ncia da Pedologia de uma regi3o para assim estabelecer um panorama amplo das potencialidades agr3colas, do uso e manejo do solo, da conserva3o ambiental e do planejamento territorial.

Os solos s3o formados a partir do processo gerado pela intera3o de diversos fatores, sendo eles o material de origem, o clima, o relevo, os organismos e o tempo. Essa din4mica tem como resultado a forma3o de uma pluralidade de solos com caracter3sticas f3sicas, qu3micas e biol3gicas distintas. Entender essas diferen3as 4 crucial para determinar as necessidades de cada tipo de solo, assim, quando necess3rio, o conhecimento pedol3gico auxilia na defini3o de pr3ticas agr3colas sustent3veis, na conserva3o do solo e no combate 3 eros3o (Resende et al., 2014).

Outro aspecto relevante, 4 que atrav4s da an3lise pedol3gica ocorre contribui3o para identificar 3reas que apresentam uma alta vulnerabilidade ao processo de degrada3o/desertifica3o, sendo assim torna-se poss3vel propor pol3ticas p3blicas de uso da terra. No semi3rido, a presen3a de solos rasos e pedregosos s3o o exemplo disso, pois s3o caracter3sticas que exigem um manejo espec3fico, o que evita com que haja a processo de degrada3o/desertifica3o irrevers3vel (Silva; Moura, 2010).

Em Morada Nova, o uso do solo para fins agr3colas est3 historicamente associado a pecu3ria extensiva e a produ3o de culturas, sendo as principais o milho e o feij3o. Essas pr3ticas demandam aten3o e um cuidado especial devido 3s caracter3sticas f3sicas e qu3micas dos solos do munic3pio, sendo necess3rias pr3ticas que evitem a degrada3o ambiental (Oliveira et al., 2014). A escassez h3drica e irregularidade pluviom4trica quando aliadas 3s pr3ticas conservacionistas de produ3o agropecu3ria s3o fatores que favorecem processos como a desertifica3o e a saliniza3o dos solos (Ara3jo et al., 2017).

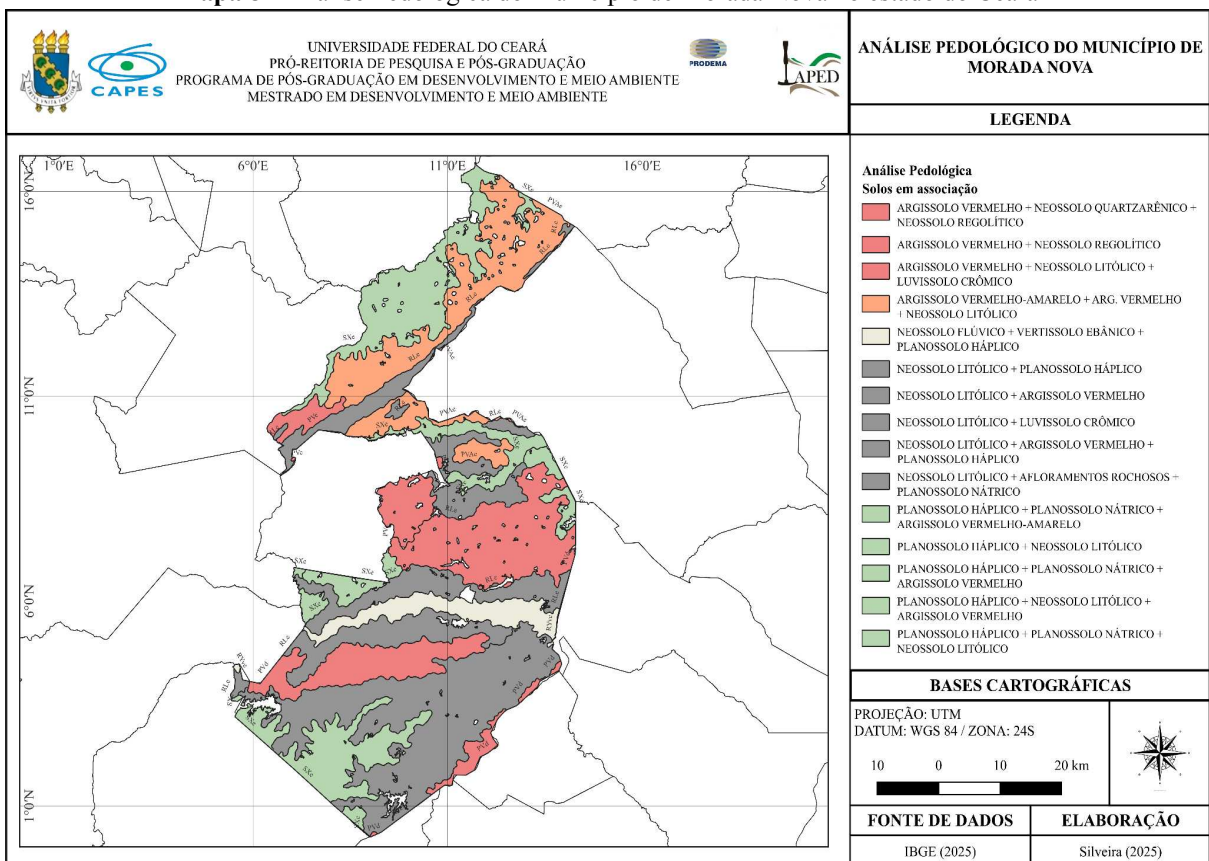
Nesse 3mbito, assimilar os aspectos pedol3gicos locais 4 primordial para um planejamento do uso sustent3vel dos recursos naturais de um territ3rio, garantir a produ3o de bens agr3colas, e manter os ecossistemas em equil3brio. Ao analisar detalhadamente a

estrutura pedológica de Morada Nova, objetiva-se contribuir não apenas para a ciência do solo, entretanto, também visa-se a gestão territorial e a formulação de políticas públicas voltadas ao semiárido nordestino.

Em decorrência dos longos períodos de seca alternados com escassos e curtos períodos chuvosos, os solos encontrados em Morada Nova possuem uma espessura do manto de intemperismo que pode variar de alguns metros até regiões onde este é praticamente ausente. As características comuns às diversas classes de solos são: a pequena espessura, quase sempre inferior a 1,00 m; a textura arenosa dos horizontes superficiais e areno-argilosa ou argilosa nos horizontes sotopostos; a ocorrência eventual de stone lines ou fragmentos de rochas; e, a baixa saturação de bases trocáveis (RADAMBrasil, 1987).

De acordo com o Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará, elaborado pela EMBRAPA (1973), os principais tipos de solo e como maior expressão encontrados em Morada Nova são os Neossolos Litólicos, os Planossolos Háplicos e os Argissolos Vermelhos. Abaixo observa-se o mapa 8 que traz a análise pedológica do município de Morada Nova, cuja classificação de cores usado foi estabelecida pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS).

Mapa 8 - Análise Pedológica do Município de Morada Nova no estado do Ceará



Fonte: Elaborado pela autora.

Argissolo Vermelho

O Argissolo Vermelho (PV) de um modo geral, é um solo constituído por material mineral, que apresentam como características que os distinguem a presença de um horizonte B textural de argila de baixa atividade ou atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixas ou com caráter alumínico. Além disso, é perceptível a presença do horizonte B textural (Bt) imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico, sem apresentar, contudo, os requisitos estabelecidos para ser enquadrado nas classes dos Luvisolos, Planossolos, Plintossolos ou Gleissolos (Santos et al, 2018).

Além disso, são solos com matiz 2,5YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B (inclusive BA). Todavia, os Argissolos Vermelhos apresentam as cores vermelhas características devido a teores mais altos e à natureza dos óxidos de ferro presentes no material originário, em ambientes bem drenados. Apresenta uma alta fertilidade natural em função da diversidade de materiais de origem (Zaroni, 2021).

Segundo descrito pelo SiBCS, o Argissolo Vermelho é identificado com base em atributos morfológicos, físicos e químicos. Além disso, esses solos geralmente ocorrem em relevo suave ondulado a ondulado, com drenagem boa a moderada, e podem apresentar alta acidez, exigindo correção para uso agrícola (Santos et al, 2018). A nomenclatura Argissolo Vermelho inclui classes de 3º ordem como Argissolo Vermelho Distrófico, Argissolo Vermelho Eutrófico, entre outros, dependendo da saturação por bases e outros critérios.

Figura 6 - Perfil de Argissolo Vermelho



Fonte: EMBRAPA, 2018

Argissolo Vermelho-Amarelo

O Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) é uma subordem do Argissolo, e devido a sua interpolaridade apresenta características intermediárias entre os Argissolos Vermelhos e os Amarelos, sendo refletido com a presença de óxidos de ferro, no seu grau de intemperismo e na drenagem (Santos et al, 2018).

Entretanto, o Argissolo Vermelho-Amarelo caracteriza-se com um solo mineral que possui horizonte B textural, ou seja, há um acentuado aumento de argila em relação ao horizonte superior (A ou E). Sua coloração varia entre vermelho e amarelo, sendo um indicativo da mescla de minerais de ferro como hematita (vermelho) e goethita (amarelo) (Santos et al, 2018).

Esse tipo de solo pode estar presente em diversos ambientes, desde áreas planas a encostas. Quando utilizado de modo adequado e com um manejo eficaz, o seu uso pode se estender para culturas como milho, soja, cana-de-açúcar, e fruticultura. No entanto, devido a sua baixa fertilidade e a tendência a processos erosivos, o Argissolo Vermelho-Amarelo exige práticas de conservação do solo.

Figura 7 - Perfil de Argissolo Vermelho-Amarelo



Fonte: EMBRAPA, 2018

Neossolo Flúvico

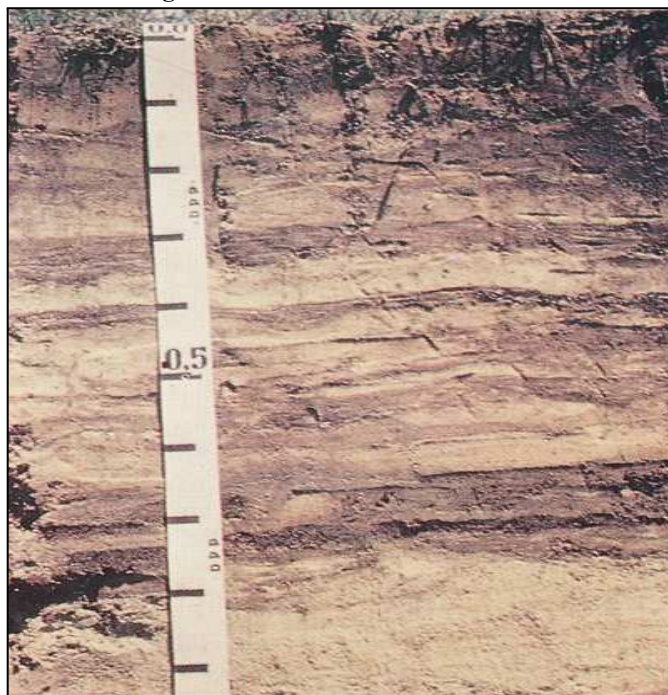
Sendo descrito como uma subordem de solo jovem e pouco desenvolvido, o Neossolo Flúvico (RYk) está associado a regiões de depósito de partículas recentes, como às presentes em margens de rios, várzeas e planícies aluviais. De acordo com o SiBCS, esses solos são caracterizados pela pouca ou nenhuma distinção de horizontes diagnósticos, sendo um reflexo da sua formação fluvial e o pelo seu pouco tempo de amadurecimento (Santos et al, 2018).

Sua formação ocorre a partir do transporte de sedimentos pelos cursos d'água, o que o caracteriza por uma estrutura estratificada, ou seja, pela presença de camadas que se sobrepõem indicando diferentes eventos de deposição (Santos et al., 2022).

Ademais, apresenta cor e textura bem variáveis, devido a estar interligada a sua diversidade no material de origem, onde sua fertilidade natural tende a ser moderada a alta, sobretudo estar em constante renovação de sedimentos (Resende et al., 2022). Por outro lado, são solos geralmente conectados a lençóis freáticos rasos, afetando sua drenagem e limitando seu uso para fins agrícolas em períodos específicos do ano.

Visando o uso para fins agrícolas, esse tipo de solo é amplamente utilizado para o cultivo de culturas irrigadas, como o arroz, hortaliças e frutíferas, porém demanda um manejo adequado para a correção da sua drenagem (Ker et al., 2012). O uso intensivo sem o devido manejo pode gerar o risco de compactação e erosão, exigindo práticas conservacionistas.

Figura 8 - Perfil de Neossolo Flúvico



Fonte: EMBRAPA, 2018

Neossolo Litólico

Caracterizado pela presença de um horizonte A pouco espesso e diretamente sobre a rocha ou sobre material intemperizado (saprolito), o Neossolo Litólico (RL) pode ser caracterizado como um solo raso, mineral, jovem e com baixo grau de desenvolvimento pedogenético. Tipicamente associado a ambientes montanhosos, serras e chapadas, devido ao processo erosivo superar o acúmulo de material pedogenético (Santos et al, 2018).

Desenvolvido a partir do intemperismo físico e químico de rochas ígneas, metamórficas ou sedimentares, o solo é comumente encontrado em regiões de clima semiárido/tropical, com declividades acentuadas. Apresenta uma espessura raramente ultrapassa 50 cm em todos os seus horizontes, o que limita sua capacidade de retenção de água e nutrientes, tornando-o de baixa fertilidade natural (Ker et al., 2012; Santos et al., 2022). Visto que, estes fatores limitam o crescimento radicular, o uso de máquinas e elevam o risco de erosão. Sua fertilidade está condicionada à soma de bases e à presença de alumínio, sendo maior nos eutróficos e mais limitada nos distróficos e álicos (Santos et al, 2021).

Por conta da presença de seu material de origem e uma inclinação do seu terreno, o Neossolo Litólico tem uma alta propensão à erodibilidade, especialmente após a retirada da cobertura vegetal pelo desmatamento ou pelo uso agrícola sem uma devida prática conservacionistas. Em virtude deste aspecto, são solos mais indicados para uso em pastagem nativa, cobertura florestal ou atividades de conservação ambiental (Resende et al., 2022).

Figura 9 - Perfil de Neossolo Litólico



Fonte: EMBRAPA, 2018

Planossolo Háptico

O Planossolo Háptico (SX) é um solo mineral que apresenta horizonte A sobre um horizonte B textural abrupto, com mudança súbita de textura, normalmente de uma camada arenosa ou média para outra muito mais argilosa, em profundidade relativamente rasa (Santos et al, 2018). Esse contraste limita a percolação da água, levando à acumulação temporária de umidade no horizonte superior, o que causa problemas de drenagem interna deficiente.

São solos comuns em áreas planas ou suavemente onduladas, especialmente em regiões de clima tropical subúmido a semiárido, onde predominam regimes hídricos com excesso hídrico temporário (Santos et al., 2022). A cor do horizonte B costuma ser acinzentada ou com manchas de redução, devido à presença prolongada de água e à atividade de microrganismos redutores de ferro (Ker et al., 2012). Não obstante, sua fertilidade natural pode ser moderada, mas o uso agrícola está frequentemente condicionado a práticas que melhorem a drenagem e evitem a compactação da camada superficial.

Figura 10 - Perfil de Planossolo Háptico



Fonte: EMBRAPA, 2018

4.3.2 Aspectos fitogeográficos

Os aspectos fitogeográficos são características referentes à cobertura vegetal de uma determinada região, estando relacionada à sua distribuição geográfica, composição florística e adaptação às condições ambientais, como clima, solo e relevo. Enquanto ramo da geografia física e da botânica, a fitogeografia consiste no estudo dessas relações para compreender os padrões de vegetação no espaço terrestre (Coutinho, 2006).

Sendo fundamental para a classificação da vegetação brasileira, o domínio fitogeográfico permite a identificação de aspectos morfoclimáticos e a formação vegetal predominante, como a caatinga. Essa abordagem permite a análise tanto os fatores ecológicos quanto os históricos que moldaram as paisagens vegetais atuais (Velooso; Rangel Filho; Lima, 1991). Além disso, a fitogeografia oferece subsídios importantes para a análise ambiental, visto que a formação vegetal é um reflexo de condições ecológicas específicas e serve como um relevante indicador de equilíbrio ou degradação de um ecossistema (Meirelles, 2004).

A principal formação vegetal encontrada em um clima classificado como semiárido é a Caatinga, ou Savana-Estépica, cuja as características físicas foram sendo moldadas de acordo com os aspectos morfoclimáticos da região. O bioma Caatinga constitui o principal domínio morfoclimático e fitogeográfico da Região Nordeste do Brasil. Embora, haja sua importância e extensão reconhecida devido a ser um importante ecossistema brasileiro, que antes era pouco estudado, e pouco se sabia sobre sua biodiversidade e sobre os padrões estruturais das comunidades de Caatinga (Santos; Delabie; Resende, 1999).

Com sua formação vegetal constituída principalmente de espécies lenhosas e herbáceas, a Caatinga é formada em sua maior parte por espécies de pequeno porte dotadas de espinhos, sendo de modo geral majoritariamente caducifólias, com a perda de sua folhagem no início da estação seca e de cactáceas e bromeliáceas. Com relação aos aspectos fitossociológicos, sua densidade, a frequência e domínio por espécies são determinadas pelas variações topográficas, tipo de solo e pluviosidade (Drumond et al, 2000). A extensão e variedade dessas espécies ainda não é totalmente conhecida, pois

Não existe uma lista completa para as espécies da caatinga, encontradas nas suas mais diferentes situações edafoclimáticas (agreste, sertão, cariri, seridó, carrasco, entre outros). Em trabalhos qualitativos e quantitativos sobre a flora e vegetação da caatinga, foram registradas cerca de 596 espécies arbóreas e arbustivas, sendo 180 endêmicas. Possivelmente, o número de espécies da caatinga tende a aumentar se considerarmos as herbáceas. As famílias mais frequentes são Caesalpinaceae, Mimosaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae e Cactaceae, sendo os gêneros *Senna*, *Mimosa* e *Pithecellobium* os com maior número de espécies. A catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul.),

as juremas (*Mimosa* spp.) e os marmeleiros (*Croton* spp.) são as plantas mais abundantes na maioria dos trabalhos de levantamento realizados em área de caatinga (Drumond et al, 2000, p. 20)..

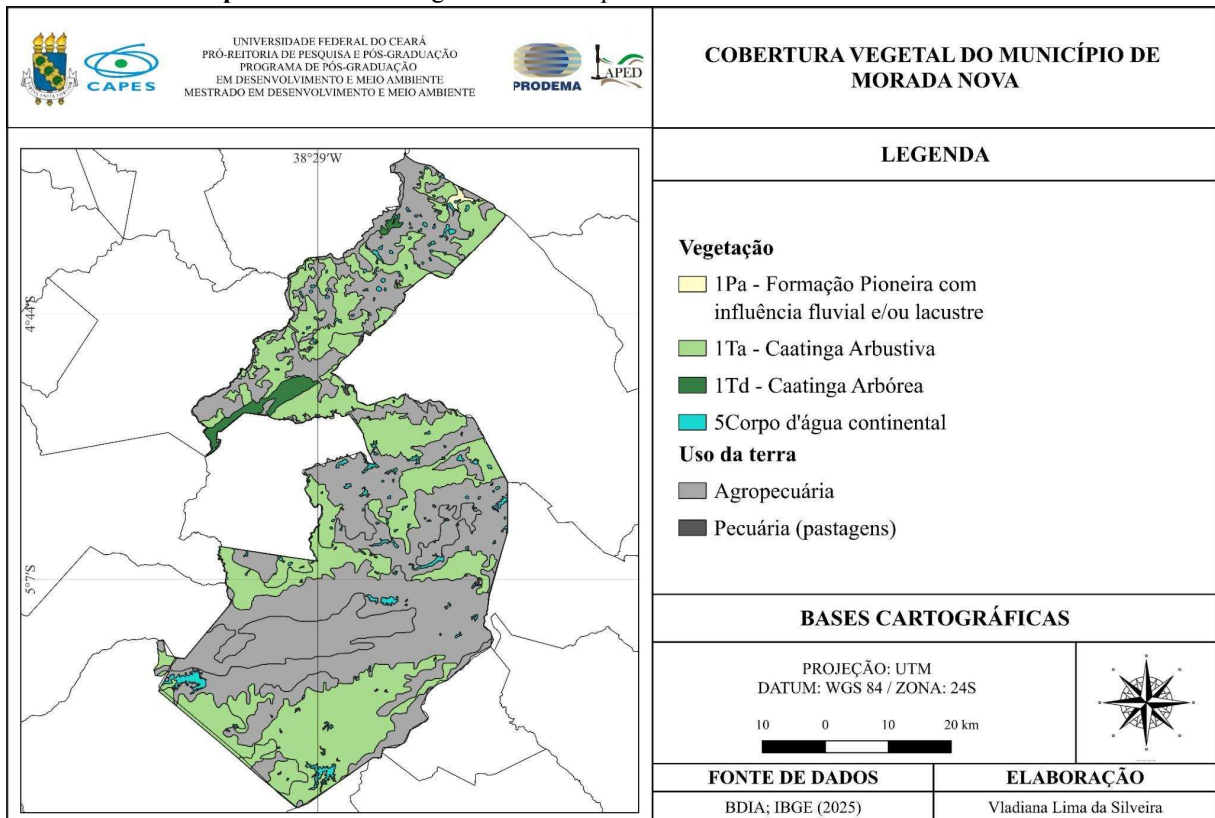
Durante análises da flora existentes no bioma, mostram que a Caatinga tem sua maior diversidade associada a maiores altitudes, principalmente em áreas rochosas. Essa condição permitiu a formação de uma zona com mais protegida, principalmente nos períodos Pleistoceno e Quaternário que foram marcados por oscilações climáticas. Visto que, estudos comprovam que durante os períodos mais úmidos, boa parte do nordeste brasileiro era constituído por uma diversidade de florestas, variando entre as perenifólias até caducifólias (Giulietti, 2004).

Vale ressaltar que a Caatinga representa um bioma exclusivo brasileiro, ocupando aproximadamente 11% da extensão territorial, predominante na região Nordeste, entretanto, presente em parte do Estado de Minas Gerais (IBGE, 2019). Caracterizando-se por apresentar uma vegetação adaptada às condições climáticas semiáridas, a Caatinga passa por longos períodos de estiagem, altas temperaturas e médias pluviométricas irregulares e períodos chuvosos mal distribuídos ao longo do ano (Rocha; Santos, 2025).

Mesmo apresentando uma aparência árida, o bioma abriga uma biodiversidade significativa e oferece serviços ambientais e recursos fundamentais para a subsistência das populações locais. Compreender suas características ecológicas torna-se essencial para orientar políticas públicas voltadas à conservação, ao uso sustentável e ao combate à desertificação. Reconhecer o valor da vegetação da Caatinga é um passo necessário para assegurar sua preservação frente às pressões ambientais crescentes (Oliveira; Costa, 2025).

Apesar de sua relevância para os âmbitos ecológico e socioeconômico, a Caatinga enfrenta intensos processos de degradação ambiental, como desmatamento, queimadas e desertificação, muitas vezes impulsionados por práticas agrícolas inadequadas e o sobrepastoreio (MMA, 2022). A conservação do bioma depende de políticas públicas eficazes, ações de reflorestamento com espécies nativas e uso sustentável dos recursos naturais.

No município de Morada Nova predomina o bioma Caatinga em quase todo o seu território, com exceção para a um pequena extensão formada a partir da influência fluvial. O mapa 9 mostra os principais aspectos fitogeográficos do município, destacando os principais tipos de vegetação da região relacionados ao uso da terra.

Mapa 9 - Cobertura vegetal do Município de Morada Nova no estado do Ceará

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se um domínio da vegetação no município representada pela Savana-Estépica, ou Caatinga, essa vegetação apresenta variações quanto a sua composição arbórea. Em uma vegetação com a presença de árvores de pequeno porte, recebe a denominação de Arborizada, já com a presença de árvores de maior porte, é caracterizada como Florestada. O município apresenta ambas em quase sua totalidade territorial, com exceção de uma pequena parte ao norte do município, que é representada por sua formação pioneira com influência fluvial.

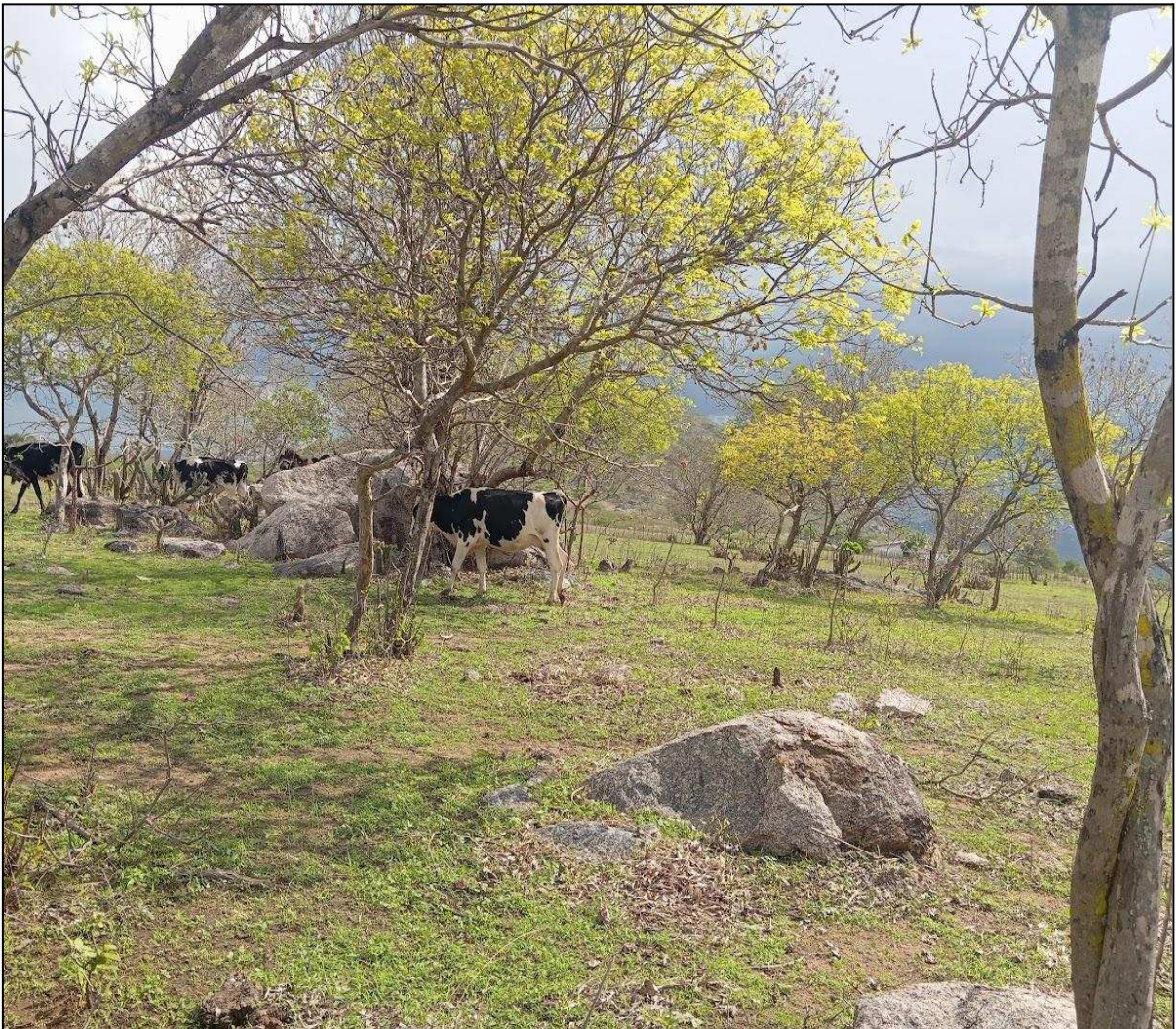
Representando a maior parte do município, a Savana-Estépica Arborizada (Caatinga Arbustiva) é um subgrupo de formação da Savana-Estépica, sendo caracterizado ou constituído por nanofanerófitos (até 5 metros de altura) de distribuição espaçada ou aberta (figura 11). Geralmente, apresentam-se com esgalhamento e muita ramificação, sendo providos de espinhos ou acúleos (IBGE, 2012).

Caracterizando-se por uma vegetação composta predominantemente por gramíneas, herbáceas, arbustos e árvores esparsas, a Caatinga Arbustiva é uma formação vegetal de transição entre as savanas abertas e as estepes. Essa fitofisionomia é comum em regiões com estação seca bem definida, baixa pluviosidade e solos geralmente rasos ou com baixa fertilidade, características predominantes do município de Morada Nova (IBGE, 2012).

Esse subgrupo de formação de vegetação é recorrente no Brasil, especialmente na região semiárida nordestina, em áreas de transição entre o Cerrado e a Caatinga. Ela reflete a adaptação das espécies vegetais a condições climáticas adversas, como a escassez de chuvas e as altas temperaturas. A presença de árvores com características xeromórficas, como folhas pequenas, cutícula espessa e raízes profundas, demonstra a resiliência ecológica dessas formações (Veloso; Rangel-Filho; Lima, 1991).

Sob uma ótica ecológica, a Caatinga Arbustiva desempenha um papel indispensável para a conservação da biodiversidade, o sequestro de carbono e a proteção dos solos contra processos erosivos e desertificação. No entanto, essas áreas vêm sendo intensamente pressionadas por práticas de uso inadequado da terra, como o desmatamento, a expansão agropecuária e o superpastejo, fatores que contribuem para a degradação dos ecossistemas (Leal; Tabarelli; Silva, 2003).

Figura 11 - Savana-Estépica Arbustiva com presença de pecuária.



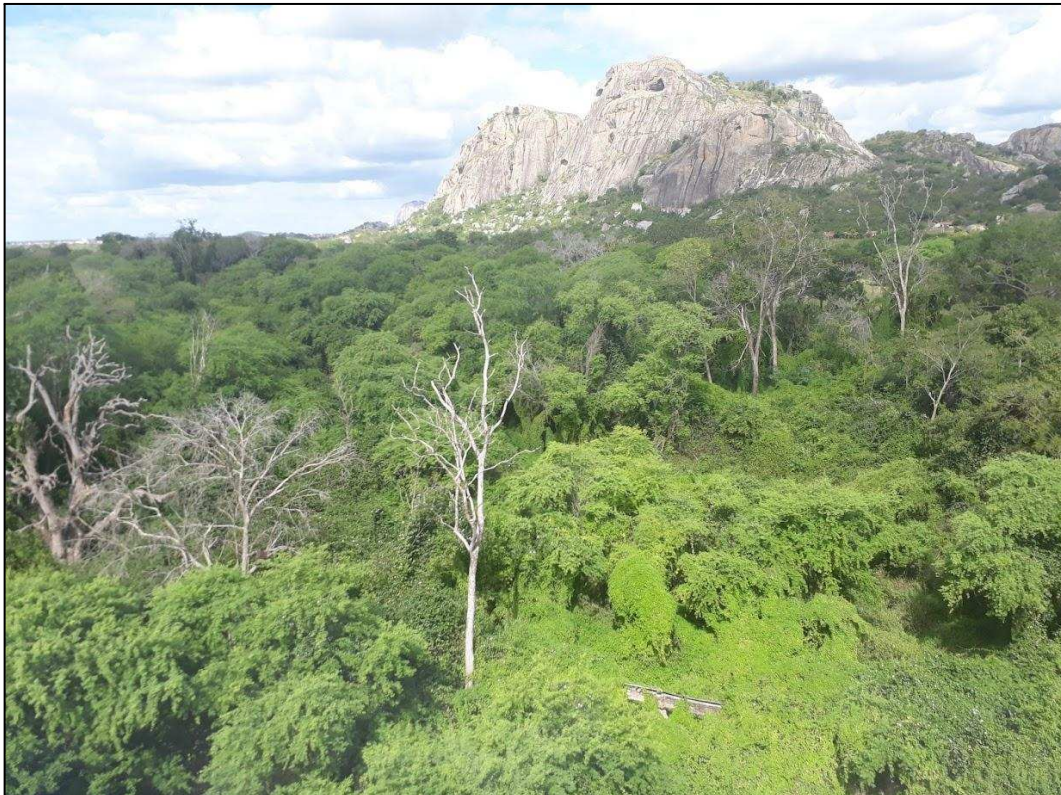
Fonte: Acervo próprio (2025)

A Savana-Estépica Florestada (Caatinga Arbórea) é caracterizada por uma formação vegetal que representa uma transição ecológica entre a vegetação campestre e as florestas mais densas. Caracteriza-se ainda por apresentar um estrato arbóreo mais desenvolvido em relação às savanas tradicionais, com maior cobertura vegetal, ainda que as árvores sejam geralmente espaçadas e de médio porte, variando entre 5 a 7 metros (figura 12). Além disso, mantém uma significativa presença de estrato herbáceo-subarbustivo (Velooso; Rangel-Filho; Lima, 1991).

Essas formações têm sua ocorrência tipicamente em regiões de clima sazonal, com estação seca bem marcada e precipitação anual moderada, situando-se frequentemente entre domínios como o Cerrado e a Caatinga. Seus solos, apesar de melhor desenvolvidos do que os das estepes, ainda apresentam limitações quanto à fertilidade (de baixa a média) e à retenção de umidade (IBGE, 2012).

No quesito ecológico, a Caatinga Arbórea é de extrema relevância, pois abrigam espécies vegetais e animais adaptadas a condições intermediárias entre ambientes abertos e fechados. Atualmente, a maior problemática dessas áreas é em decorrência da expansão da agricultura, desmatamentos e uso predatório dos recursos naturais, o que compromete sua integridade ecológica (Silva; Leal, 2010).

Figura 12 - Savana-Estépica Florestada.



Fonte: Acervo próprio (2025)

4.4 Aspectos socioeconômicos

Os aspectos socioeconômicos são essenciais para compreender a dinâmica econômica de uma região, através da análise de fatores pertinentes à produção e modo de vida da população do local. Para esse estudo, buscou-se a análise de dados pertencentes ao município de Morada Nova-CE, através do levantamento de dados secundários obtidos das bases disponíveis de instituições censitárias, estatísticas e de planejamento.

Em Morada Nova, grande parte da população reside em áreas urbanas, expressando um total de 35.401 habitantes (57,04%) no ano de 2010, o que contrasta com o total que reside na zona rural com 26.664 habitantes (42,96%) (IBGE, 2010). Ao analisar o perfil dos habitantes (tabela 3) do município, observa-se uma tendência ao crescimento de habitantes em áreas urbanas, o que caracteriza a mudança de um perfil menos rural e a expansão de empreendimentos urbanos em Morada Nova.

Tabela 3 - População do município de Morada Nova nos anos de 1991, 2000 e 2010.

Discriminação	População residente					
	1991		2000		2010	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Urbana	26.499	44,98	33.869	52,59	35.401	57,04
Rural	32.413	55,02	30.531	47,41	26.664	42,96
Total	58.912	100,00	64.400	100,00	62.065	100,00

Fonte: Adaptada de IPECE, 2017

Em 1991, a maior parte da população residia em zonas rurais (55,02%), expressando uma diferença de 10,04% entre a população rural e urbana. No entanto, nos anos 2000 a população urbana passou a ser a maioria (52,59%) enquanto a população rural decaiu em 7,61%, mostrando uma tendência que permanece nos dados mais atuais.

Mesmo expressando uma população em sua maioria residindo em áreas urbanas, é notória a importância das zonas rurais para o município, tendo em vista que grande parte da população tem suas atividades laborais em estabelecimentos agropecuários. A dependência dos habitantes dos sertões no setor Agropecuário é um cenário que predomina em diversas regiões do estado, mesmo com uma tímida mas considerável introdução desses trabalhadores em outros setores.

Ademais, constata-se um processo de urbanização que atinge não só o município, no entanto, expressa um fenômeno estrutural principalmente em áreas com um desenvolvimento crescente, o que pode ser mensurado pela velocidade do crescimento da população urbana. A população sai de áreas rurais buscando usufruir do conforto e praticidade que os centros

urbanos propiciam, o que traz um aumento na qualidade de vida e muitas vezes na busca por serviços existenciais básicos (Brito, 2006).

No setor econômico, o Produto Interno Bruto (PIB) é utilizado para mensurar o desempenho econômico de um país, região ou município. Além disso, trata-se de um indicador sintético que agrega o valor de todos os bens e serviços finais produzidos em determinado período, em geral de forma anual ou trimestral. Através dessa análise, permite que seja realizada uma avaliação do crescimento econômico, além de orientar políticas econômicas e comparar a evolução entre diferentes países e regiões (Mankiw, 2014).

Apesar de sua relevância, o PIB não é uma métrica perfeita, pois não permite que sejam consideradas questões como a distribuição de renda, a degradação ambiental ou o bem-estar da população. Ainda assim, sua centralidade na economia moderna permanece inquestionável, sendo utilizado por governos, investidores e organismos internacionais (Stiglitz; Sen; Fitoussi, 2010).

Os dados apresentados na tabela 4, expressam em números a série histórica de evolução do PIB do município de Morada Nova no período de 2010 a 2020, em intervalos regulares de dois anos.

Tabela 4 - Evolução do PIB do município de Morada Nova-CE.

Setor de produção	2010	2012	2014	2016	2018	2020
Agropecuária	18,00	17,63	11,03	13,08	9,61	17,58
Indústria	20,37	21,83	25,16	23,43	28,62	26,40
Serviços	29,52	30,21	35,44	36,36	36,28	32,72
Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social	32,11	30,33	28,37	27,14	25,50	23,30
PIB Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: Adaptada de IBGE, 2025

Ao analisar os dados obtidos pode-se concluir que em Morada Nova, o setor de Serviços destaca-se entre as demais atividades exercidas, expressando um aumento significativo entre os anos de 2012 e 2014 (5,23%), porém no ano de 2020, apresentou uma queda. Contribuindo para os dados anteriormente apresentados, este resultado corrobora para o fato da população está vivendo em áreas urbanas, demandando uma melhor infraestrutura e desempenho desse setor. Vale ressaltar ainda que, com valores que sofrem com constantes

quedas, tem-se às atividades do setor de Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social. Assim como o primeiro lugar, esse resultado expressa uma crescente necessidade no investimento da infraestrutura urbana devido ao aumento da população nessa região. Assim como o setor de Serviços, a Indústria expressa valores significativos mas que sofrem oscilações ao longo do período de análise, atingindo seu ápice em 2018 (28,62%). Por fim, tem-se a colaboração do setor agropecuário para o PIB municipal, os quais, ao longo da série histórica, revelam baixa contribuição geral quando comparado aos demais setores.

Esses dados, quando analisadas de modo isolado, podem sugerir uma baixa produção agropecuária na região, visto que há uma baixa expressão desse setor para o capital interno do município. No entanto, é preciso analisar mais a fundo e estabelecer mais elementos a esse resultado, uma vez que as atividades agropecuárias sofrem influência direta pela oferta de mão de obra dos residentes de zonas rurais, das tecnologias aplicadas, do regime de chuvas, dentre outros aspectos. Portanto, somente a partir da análise de indicadores econômicos, não é possível afirmar tendências de crescimento ou decaimento de um setor.

A tabela 5 traz um panorama geral do perfil de empregos formais no município de Morada Nova, através da distribuição por gênero e de acordo com o setor e a atividade desempenhada por cada colaborador.

Tabela 5 - Distribuição de Empregos formais em Morada Nova-CE por setor e atividade econômica.

Setor	Discriminação das atividades	Município		
		Total	Masculino	Feminino
Primário	Agropecuária	81	72	9
	Extração Mineral	0	0	0
Secundário	Indústria de Transformação	1989	1057	932
	Construção civil	53	48	5
Terciário	Comércio	846	463	383
	Serviços	475	242	233
	Administração pública	1960	618	1342
Total das Atividades		5.404	2.500	2.904

Fonte: Adaptado de IPECE, 2017

A Tabela 5 apresenta a distribuição do emprego formal no município de Morada Nova (CE), segundo os setores de atividade econômica e a participação por sexo. Observa-se que o total de vínculos formais soma 5.404 postos de trabalho, dos quais 2.500 correspondem ao sexo masculino e 2.904 ao sexo feminino, evidenciando predominância feminina no conjunto do mercado formal municipal.

No que se refere à estrutura setorial, verifica-se a expressiva hegemonia do setor terciário, responsável por 3.281 vínculos, o que corresponde a aproximadamente 60,7% do total. Esse resultado confirma a forte terciarização da economia local. Dentro desse setor, destaca-se a administração pública, com 1.960 empregos formais, constituindo-se como o principal segmento empregador do município. Ademais, esse ramo apresenta acentuada participação feminina (1.342 mulheres), fator que contribui decisivamente para a superioridade do contingente feminino no total geral.

O setor secundário ocupa a segunda posição em termos de geração de empregos, com 2.042 vínculos (cerca de 37,8%). A indústria de transformação é o segmento mais relevante desse grupo, com 1.989 postos de trabalho, indicando a existência de uma base industrial significativa no município. Observa-se, contudo, leve predominância masculina nesse setor, embora a participação feminina também seja expressiva, especialmente na indústria.

Por sua vez, o setor primário apresenta participação pouco significativa no emprego formal, totalizando apenas 81 vínculos (aproximadamente 1,5%), todos concentrados na agropecuária, uma vez que não há registros de empregos formais na extração mineral. Esse reduzido contingente pode indicar tanto a limitada formalização das atividades rurais quanto a menor importância relativa do setor primário na estrutura econômica formal do município.

Quanto à distribuição por sexo, nota-se que os homens predominam nas atividades tradicionalmente associadas ao trabalho físico, como agropecuária e construção civil, enquanto as mulheres apresentam maior inserção no setor terciário, especialmente na administração pública. Tal configuração revela uma divisão sexual do trabalho ainda presente, mas também evidencia a crescente participação feminina em atividades formais, sobretudo no setor de serviços públicos.

Diante do exposto, conclui-se que a economia formal de Morada Nova (CE) caracteriza-se por forte terciarização e elevada dependência da administração pública como principal empregadora, seguida por uma base industrial relevante e por um setor primário formal pouco expressivo. Essa estrutura sugere a necessidade de políticas voltadas à diversificação econômica e ao fortalecimento do setor produtivo privado, visando maior equilíbrio e dinamismo ao mercado de trabalho local.

Vale ressaltar que, os dados oriundos da atividade Agropecuária não podem ser um indicativo do total de trabalhadores reais dos estabelecimentos agropecuários, ou seja, não expressam de forma fidedigna a realidade laboral de Morada Nova. Visto que, a atividade é marcada pela informalidade de boa parte de sua mão de obra, que é empregada de acordo com a demanda produtiva e de forma sazonal devido aos regimes pluviométricos do município.

De acordo com dados obtidos a partir do Censo Demográfico realizado no ano de 2010, a população extremamente pobre (com rendimento domiciliar per capita mensal de até R\$ 70,00) residia, em sua maioria, em zonas rurais, correspondente ao percentual de 31,91% (8.509 habitantes), enquanto isso 17,41% residente em áreas urbanas (6.164 habitantes). É notório que em decorrência dos últimos anos houve um aumento considerável nas taxas de empobrecimento populacional, com destaque para as que a renda era baseada nos setores mais impactados pelo isolamento social gerado pela pandemia global. A COVID 19 foi uma emergência sanitária que trouxe perdas significativas para diversos setores, no entanto, em contrapartida a isso gerou uma maior oferta de benefícios a população mais carente. Foram criados no período benefícios de transferência de renda, como Bolsa Família/Auxílio Brasil, Benefício de Prestação Continuada (BPC), Vale Gás, dentre outros, que até os dias atuais representam um percentual importante da renda familiar de boa parte da população pobre.

Agindo com relevantes indicadores para mensurar o acesso e qualidade de bens e serviços pela população de um local, os Índices de Desenvolvimento mostram em números a realidade de um local de acordo com o aspecto salientado. O principal e mais utilizado, o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) traz um importante panorama sobre os aspectos socioeconômicos da população. O IDH é uma métrica composta elaborada pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) com o objetivo de mensurar o progresso dos países em relação ao desenvolvimento humano. Esse indicador foi proposto inicialmente pelo economista paquistanês Mahbub ul Haq, com o apoio do economista indiano Amartya Sen, na década de 1990. Sua proposta era ir além do Produto Interno Bruto (PIB) como medida exclusiva do bem-estar das nações (SEN, 2010). O IDH é composto por três dimensões fundamentais, sendo elas a Longevidade, a Educação e a Renda, cujo valores obtidos criam um índice que varia de 0 a 1, onde quanto mais próximo a 1 melhor desenvolvido o local se encontra.

Já o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) é uma adaptação da metodologia desenvolvida pelo PNUD aos municípios brasileiros. Assim como o IDH, mede três dimensões básicas do desenvolvimento humano e tem às mesmas três dimensões fundamentais. A análise do IDH-M permite compreender as condições sociais e econômicas locais, sendo uma ferramenta útil para o planejamento de políticas públicas.

O Índice de Desenvolvimento Social (IDS), utilizado pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (Ipece) para avaliar a inclusão e a qualidade de vida nos municípios. Ele é composto por dois subíndices sendo eles o IDS-Oferta que mede a

disponibilidade e oferta de serviços públicos e o IDS-Resultado que avalia os impactos desses serviços na vida da população, isto é, os resultados efetivos em educação, saúde e habitação.

A tabela 6 traz os resultados disponibilizados pelo IPECE dos três Índices de Desenvolvimento apresentados acima, mostrando o valor obtido pelo município de Morada Nova e sua posição no estado em comparação às demais localidades.

Tabela 6 - Valores dos principais Índices de Desenvolvimento no município de Morada Nova

Índices	Valor	Posição no ranking
IDH-M – 2016	32,79	43
IDH – 2010	0,610	98
IDS-O – 2015	0,752	105
IDS-R – 2015	0,572	90

Fonte: Adaptado de IPECE, 2017.

Analisando os resultados obtidos, destaca-se que com um IDH expressando a média de 0,610 Morada Nova apresenta um desempenho modesto, especialmente considerando que o índice não se atualiza com frequência (último cálculo em 2010). Apesar de ser um bom parâmetro para comparações históricas e estruturais, o desempenho do município está abaixo da média estadual e mostra falhas no desenvolvimento de Morada Nova.

O IDS-O, apesar de um valor razoável (acima de 0,70), o município está mal posicionado no ranking (105º lugar), o que indica que outros municípios oferecem mais ou melhores estruturas públicas. No entanto, o resultado obtido a partir do IDS-R (0,572) é baixo, o que mostra que mesmo havendo uma certa oferta proporcionada pelo IDS-O, os resultados não estão se convertendo em melhorias tangíveis para a população, sendo um indicativo para falhas de gestão, baixa qualidade dos serviços ou dificuldade de acesso.

Apesar dos resultados sociais limitados (IDS-R), o município ocupa a 43ª posição no ranking do IDM, o que indica desempenho mediano quando se considera o conjunto de fatores municipais, como os administrativos, econômicos e sociais. Isso pode refletir uma boa estrutura fiscal ou administrativa, mesmo com gargalos na transformação de oferta em resultado.

Os resultados acima fortalecem a importância de se analisar os Índices de Desenvolvimento, pois a análise integrada dos índices demonstra que Morada Nova enfrenta desafios importantes para converter sua infraestrutura e oferta de serviços em resultados concretos. O foco em políticas públicas voltadas à qualidade da educação, da saúde e da

gestão municipal é essencial para melhorar os indicadores de resultado e, por consequência, o desenvolvimento humano local (Cezário, 2019).

Ao analisar às atividades econômicas desenvolvidas no município de Morada Nova, destaca-se por sua economia fortemente ancorada nos setores primário e terciário. A dinâmica econômica do município reflete as condições geográficas e climáticas semiáridas, bem como os processos históricos de ocupação do território. Dentre as principais fontes econômicas do município, destacam-se as atividades agropecuárias, comerciais, industriais e de serviços que sustentam a base econômica local.

O setor agropecuário é a base da economia de Morada Nova, com a pecuária bovina representando a principal atividade produtiva, com destaque para a criação de gado de corte e leiteiro. O município é reconhecido nacionalmente por sua tradição na pecuária, sendo um dos maiores rebanhos bovinos do estado do Ceará (Ceará, 2022). A caprinovinocultura também se mostra significativa, adaptando-se bem às condições semiáridas da região, assim como a avicultura e a criação de suínos, ainda que em menor escala.

Em Morada Nova, o setor agrícola é voltado principalmente para o cultivo de subsistência, com destaque para culturas como milho, feijão, mandioca e hortaliças, sendo praticada em propriedades familiares que dependem fortemente das chuvas sazonais. Devido às limitações climáticas, a agricultura irrigada é praticada de forma localizada, sobretudo nas proximidades do Rio Banabuiú e de açudes públicos, como o Açude Cipoada.

Apesar de incipiente, o setor industrial representa uma certa relevância para a economia local, principalmente a agroindústria sendo representada por pequenas unidades de beneficiamento de leite e couro, além de indústrias de laticínios e de produtos derivados da carne. O município possui ainda algumas fábricas de confecção e calçados que contribuem para a geração de empregos urbanos, sobretudo voltados ao mercado regional (IPECE, 2022).

O setor terciário ocupa importante posição na economia de Morada Nova, destacando-se o comércio local e os serviços públicos. O comércio abastece a população urbana e rural com gêneros alimentícios, insumos agropecuários, vestuário e produtos de uso cotidiano. As feiras livres, especialmente a tradicional Feira Agropecuária, são eventos relevantes que movimentam a economia municipal e fortalecem as redes de comercialização.

Os serviços públicos, principalmente nas áreas de educação, saúde e administração municipal, são grandes empregadores formais e constituem importante fonte de renda para a população urbana. A crescente oferta de serviços privados, como clínicas, instituições de ensino e consultorias, também tem ganhado espaço, contribuindo para a diversificação da economia local (Ceará, 2022).

O município apresenta potencial para o aproveitamento de fontes renováveis de energia, como a energia eólica, especialmente em áreas de maior altitude. Embora os investimentos ainda estejam em fase de expansão, há projetos em estudo para a instalação de aerogeradores, o que poderá, no médio prazo, transformar essa fonte em um novo vetor econômico para a região (Ceará, 2021).

Nas margens do Rio Banabuiú e em açudes públicos e privados, a pesca artesanal e a piscicultura têm se desenvolvido como fontes alternativas de geração de renda. A criação de tilápia, principalmente em tanques-rede, representa uma atividade promissora diante da crescente demanda por pescado no mercado cearense (Brasil, 2023).

A economia de Morada Nova é predominantemente baseada na agropecuária, mas vem apresentando sinais de diversificação com o avanço de atividades industriais e de serviços. Apesar das limitações impostas pelo clima semiárido, o município demonstra potencial para ampliar suas fontes de renda por meio da agroindústria, da energia renovável e da piscicultura. O fortalecimento da economia local depende, contudo, de políticas públicas voltadas à infraestrutura, à irrigação e ao incentivo à inovação produtiva, especialmente para mitigar os efeitos da variabilidade climática sobre os setores mais vulneráveis.

5 CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS AMBIENTAIS E SUA CORRELAÇÃO COM OS ÍNDICES ESPECTRAIS

5.1 Sistemas ambientais de Morada Nova

O município de Morada Nova, objeto de estudo da seguinte dissertação, configura-se como uma unidade territorial marcada por expressiva diversidade geoambiental. Essa complexidade resulta da interação entre os elementos naturais, como o relevo, o clima, o solo, a vegetação e a hidrografia, e os fatores antrópicos que historicamente têm transformado a paisagem local. Tendo como base os princípios da abordagem sistêmica propostos por Bertrand (1971), que considera a paisagem como resultado da interação dinâmica e indissociável entre os diversos componentes naturais e sociais, propõe-se, nesta dissertação, a análise detalhada dos principais sistemas ambientais presentes no território de estudo.

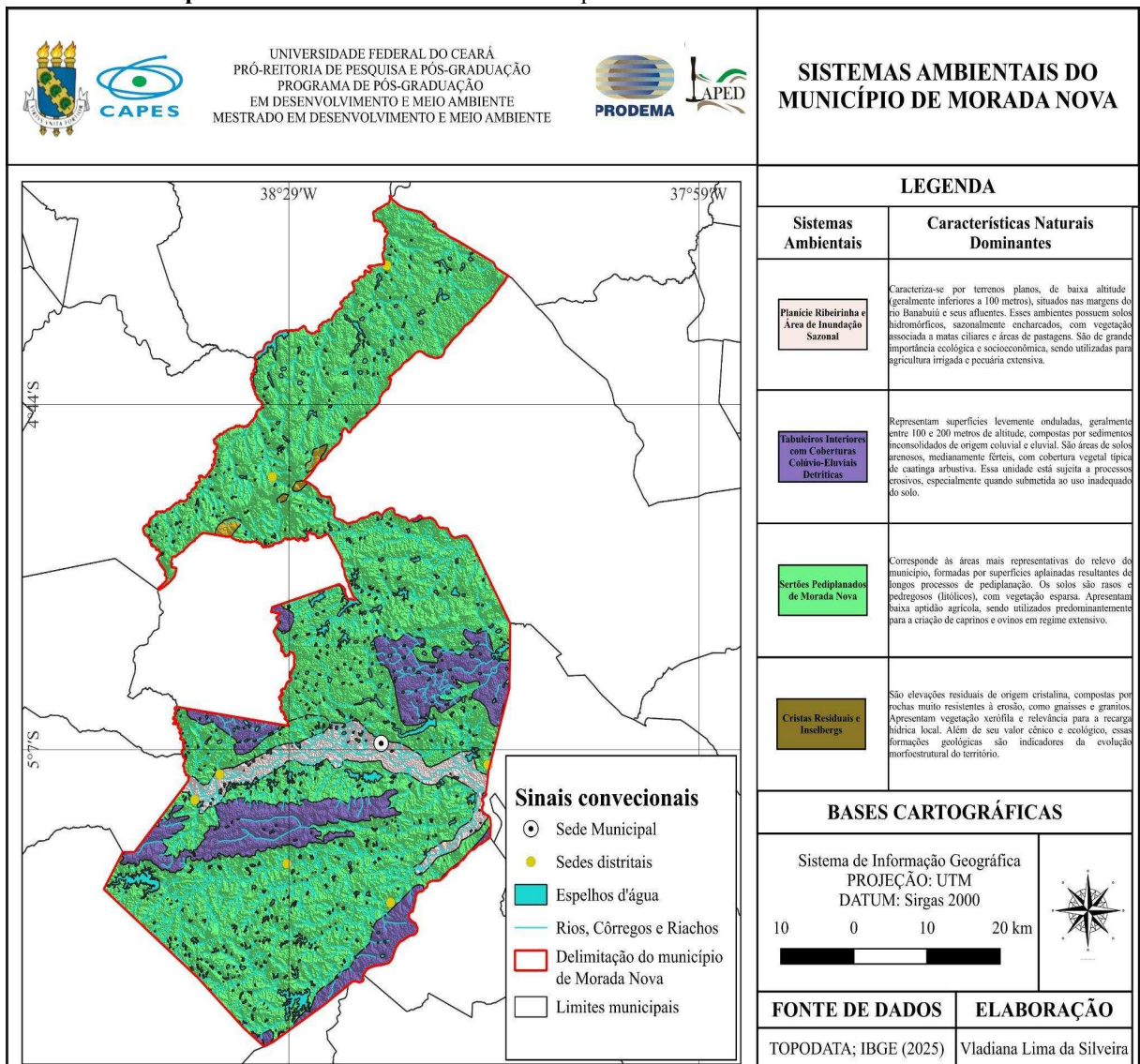
Nesse contexto, terá como base os elementos já descritos anteriormente e que compõem os subsistemas ambientais identificados em Morada Nova, com base em critérios morfopedológicos, altimétricos, climáticos e de uso da terra. A aplicação da metodologia sistêmica possibilita compreender a organização interna da paisagem por meio da análise integrada de seus elementos constitutivos (Oliveira, 2012). Assim, o relevo, a cobertura vegetal, os processos pedogenéticos e a ação humana são considerados simultaneamente, revelando as dinâmicas e fragilidades ambientais específicas de cada sistema. Os sistemas ambientais serão apresentados a seguir, evidenciando suas características geomorfológicas, padrões de ocupação, potencialidades e limitações, sempre articulando os dados obtidos ao referencial teórico utilizado.

A delimitação dos Sistemas Ambientais tem como base a análise geomorfológica, a qual fornece dados relevantes para a compreensão da organização do relevo e de seus condicionantes sobre os demais elementos da paisagem. Essa abordagem é articulada com os aspectos pedológicos, como a textura, a fertilidade, a profundidade e a distribuição dos solos, e com as características de uso e cobertura da terra, que evidenciam as transformações espaciais induzidas pelas ações antrópicas (Costa; Oliveira, 2019; Sousa; Santos; Oliveira, 2017).

Tal metodologia fundamenta-se na perspectiva da análise integrada da paisagem, conforme proposta por Bertrand (1968), para quem os sistemas ambientais devem ser compreendidos como totalidades dinâmicas, resultantes da interação entre os meios natural e social. Do mesmo modo, Ross (2006) destaca que a delimitação de unidades geoambientais deve considerar a homogeneidade relativa dos elementos físicos e o grau de intervenção

humana. Assim, a integração entre geomorfologia, pedologia e uso do solo possibilita a identificação de compartimentos ambientais, essenciais para o diagnóstico das potencialidades e vulnerabilidades do território, contribuindo para o planejamento ambiental e territorial sustentado (Tricart, 1977; Ross, 2006; Oliveira, 2011, 2012; Costa; Oliveira, 2019). O Mapa 10 apresenta uma síntese dos Sistemas Ambientais do município de Morada Nova.

Mapa 10 - Sistemas Ambientais do município de Morada Nova no estado do Ceará.



Fonte: Elaborado pela autora.

Obtendo-se como resultado a delimitação de quatro Sistemas Ambientais no município de Morada Nova: Planície ribeirinha e áreas de inundação sazonal; Tabuleiros interiores com coberturas colúvio-eluviais detríticas; Sertões pediplanados de Morada Nova e Cristas residuais e inselbergs. Os sistemas serão apresentados a partir dos próximos tópicos, salientando os aspectos já citados sob uma perspectiva integrada.

Planície ribeirinha e áreas de inundação sazonal

O Sistema composto pela Planície Ribeirinha e Áreas de Inundação Sazonal corresponde às porções do relevo localizadas em áreas adjacentes aos principais cursos d'água do município de Morada Nova, podendo ser percebida ao longo dos vales associados ao rio Banabuiú e seus afluentes. Trata-se de terrenos de baixa altitude e topografia predominantemente plana a suavemente ondulada, situados em cotas altimétricas inferiores a 50 metros em sua maior parte.

Geomorfologicamente, esse Sistema é marcado pela ocorrência de planícies fluviais recentes, compostas por sedimentos aluvionares mal consolidados, de origem predominantemente arenosa e argilosa. Tais formações são resultado da deposição de materiais transportados pelas cheias sazonais, o que caracteriza esses ambientes como áreas de transbordamento fluvial, frequentemente sujeitos a processos de inundação durante a estação chuvosa (fevereiro a maio) (Ab'Saber, 2003; Ross, 2008; Costa; Oliveira, 2019).

Do ponto de vista pedológico, predominam os Neossolos Flúvicos e os Planossolos Háplicos, que apresentam texturas variáveis, presença de horizontes pouco desenvolvidos, e, em muitos casos, sinais de hidromorfismo, como coloração acinzentada e acúmulo de matéria orgânica em superfície. Essas características conferem a esses solos alta fertilidade natural, porém com limitações quanto à drenagem, o que exige manejos agrícolas específicos para evitar a salinização e o encharcamento (Costa; Oliveira, 2019; Nimer, 1989; Pinto, 2018).

A cobertura da terra no Sistema revela uso intensivo para atividades agropecuárias, sobretudo nas áreas próximas à sede municipal e às comunidades distritais. A agricultura irrigada é uma prática comum, impulsionada pela proximidade com os corpos hídricos permanentes e a existência de infraestrutura hídrica, como canais e açudes. Culturas como milho, feijão, banana, melão e forrageiras são frequentemente observadas. Além disso, a pecuária extensiva de bovinos e caprinos é outra atividade relevante, aproveitando as pastagens naturais e os resquícios de vegetação ripária (Medeiros; Santos, 2017; Mertes, 2012)

Ecologicamente, essas áreas são estrategicamente importantes para a manutenção da biodiversidade local e para o equilíbrio hídrico do sistema fluvial. A vegetação ripária, embora bastante degradada em muitos trechos, exerce papel fundamental na proteção contra processos erosivos, no controle da salinidade dos solos e na filtragem de sedimentos e nutrientes antes do seu escoamento para os rios (IBGE, 2012).

Contudo, esse Sistema também está entre os mais vulneráveis aos processos de degradação ambiental, especialmente devido à ocupação desordenada, ao uso intensivo do solo e à supressão da vegetação ciliar. Tais fatores favorecem o aumento da sedimentação fluvial, a compactação do solo e a perda de biodiversidade, além de agravar os riscos de enchentes. Assim, o manejo sustentável desse Sistema exige políticas públicas voltadas à recuperação de matas ciliares, à implementação de boas práticas agrícolas, ao controle do uso de agroquímicos e à educação ambiental das comunidades locais (Medeiros; Santos, 2017; Mertes, 2012; Costa; Oliveira, 2019).

Tabuleiros interiores com coberturas colúvio-eluviais detríticas

O Sistema referente aos Tabuleiros Interiores com Coberturas Colúvio-Eluviais Detríticas caracteriza-se pela presença de superfícies planas a suavemente onduladas, localizadas entre os interflúvios mais elevados e as áreas de planícies fluviais. Essas formas de relevo são resultantes de processos de intemperismo e erosão diferencial, que culminam na formação de coberturas pedológicas heterogêneas, compostas por materiais de origem coluvial e eluvial com sedimentos detríticos.

Os fatores geológicos dos tabuleiros representam porções residuais de superfícies aplainadas, parcialmente rebaixadas por processos erosivos e recobertas por depósitos de materiais soltos, oriundos tanto da decomposição *in situ* das rochas (elúvio), quanto do transporte de fragmentos dos compartimentos mais elevados (colúvio). Esses sedimentos, de textura predominantemente média a grossa, formam mantos irregulares sobre a superfície topográfica, com espessuras que variam conforme o grau de declividade e o histórico de uso da terra (Costa; Oliveira, 2019)

Do ponto de vista pedológico, os solos mais comuns são os Argissolos Vermelho, Argissolos Vermelho-Amarelos e os Neossolos Litólicos, com ocorrência local de Cambissolos, dependendo da profundidade e maturidade dos perfis. Tais solos apresentam textura média a arenosa na superfície, com horizonte B argiloso, acúmulo de ferro e alumínio e tendência à acidez, o que exige correção química para uso agrícola. Em áreas com maior declividade, é comum a ocorrência de solos rasos e suscetíveis à erosão laminar (Ab'Saber, 1969; Bigarella, 1975; Costa; Oliveira, 2019)

Estes tabuleiros são utilizados predominantemente para a agricultura de sequeiro e para a pecuária extensiva, especialmente na forma de pastagens nativas e cultivadas. Culturas como milho, feijão, mandioca e algodão são frequentes, principalmente nas áreas próximas a

núcleos rurais. No entanto, a produtividade tende a ser instável devido à baixa capacidade de retenção hídrica dos solos, à variabilidade da pluviometria e à limitação de insumos técnicos (Souza; Oliveira; Granjeiro, 2002; Costa; Oliveira, 2019; Nunes, 2012).

Do ponto de vista ambiental, trata-se de um Sistema intermediário em termos de fragilidade. Embora não apresente a extrema vulnerabilidade das áreas ribeirinhas ou o grau de conservação das serras residuais, os tabuleiros estão sujeitos a processos de degradação ambiental, sobretudo pela compactação do solo, desmatamento, queimadas e práticas agrícolas inadequadas, que aceleram a erosão e a perda da fertilidade natural (Meis, 2012; Costa; Oliveira, 2019).

A vegetação nativa, que é majoritariamente composta por Caatinga arbustiva densa com trechos arbóreos, encontra-se bastante fragmentada, com elevados índices de substituição por cultivos temporários ou por pastagens. A perda da cobertura vegetal compromete o ciclo hidrológico local e aumenta o risco de desertificação, fenômeno especialmente crítico na região que já está dentre os núcleos de ocorrência no semiárido cearense (IBGE, 2012).

Para o manejo sustentável dessa unidade, recomenda-se a adoção de práticas conservacionistas, como curvas de nível, terraceamento, rotação de culturas e uso de espécies adaptadas ao semiárido. Ademais, a recuperação de áreas degradadas deve ser incentivada com base em diagnósticos técnico-participativos e em políticas públicas voltadas à agricultura familiar e ao uso racional dos recursos naturais (Souza; Oliveira; Granjeiro, 2002).

Sertões pediplanados de Morada Nova

O Sistema referente aos Sertões Pediplanados de Morada Nova representa uma das formas de relevo mais expressivas do município, tanto em termos de extensão territorial quanto pela relevância geoambiental que apresenta. Trata-se de áreas caracterizadas por superfícies amplas, suavemente onduladas a levemente dissecadas, resultantes da longa atuação de processos de pediplanação em regiões semiáridas (King, 1953; Tricart, 1977).

A geomorfologia da região, que é composta de áreas pediplanadas, caracteriza-se por relevos rebaixados e aplainados, formados a partir da erosão progressiva de escarpas, geralmente sobre litologias cristalinas (gnaisses, migmatitos e granitos), que predominam no embasamento geológico do Sertão Central do Ceará. O processo de pediplanação envolve tanto a degradação lateral quanto vertical das elevações residuais, originando uma paisagem dominada por vastas interfluviais com suave inclinação, entrecortadas por vales secos ou sazonalmente ativos (Moraes; Lima, 1996; Costa; Oliveira, 2019; Ross, 2008).

Do ponto de vista pedológico, os Argissolos Vermelho-Amarelos, Neossolos Litólicos e, em menor escala, Planossolos Háplicos são os solos dominantes desse Sistema. São geralmente solos moderadamente profundos a profundos, de textura média a argilosa, com boa drenagem natural, mas baixa fertilidade química, o que requer o uso de corretivos e adubação para fins agrícolas. A estrutura granular e a baixa saturação por bases limitam o desenvolvimento de práticas agrícolas intensivas, embora permitam a atividade pecuária extensiva, notadamente a criação de bovinos, caprinos e ovinos (Coelho et al, 2014; Sousa et al, 2024).

A cobertura vegetal predominante é a Caatinga arbustiva aberta, com trechos de vegetação secundária e algumas manchas de regeneração natural. A fragmentação da vegetação original é resultado de décadas de uso agropecuário pouco sustentável, que inclui desmatamento, uso do fogo, cultivo de sequeiro e sobrepastoreio. A pressão antrópica prolongada contribuiu para o surgimento de áreas com sinais avançados de degradação ambiental, como processos erosivos lineares, encostamento superficial e redução da capacidade de regeneração da vegetação (IBGE, 2012).

Em termos de uso e ocupação do solo, os Sertões Pediplanados são historicamente utilizados por comunidades rurais tradicionais, em regime de agricultura familiar de subsistência. As atividades incluem o plantio de culturas adaptadas à seca (milho, feijão, mandioca e palma forrageira), além da manutenção de rebanhos. A disponibilidade de água é restrita e sazonal, o que intensifica a vulnerabilidade dessas áreas à desertificação, especialmente nos anos de estiagem prolongada, fenômeno frequente no Semiárido (Lima, 2018; Costa; Oliveira, 2019).

Do ponto de vista ecológico e funcional, os sertões pediplanados desempenham papel relevante na reconexão das unidades mais conservadas (como as serras residuais) com as áreas ribeirinhas e de uso mais intensivo. Contudo, sua conservação depende da adoção de práticas sustentáveis, como manejo rotacionado de pastagens, técnicas de conservação do solo, reflorestamento com espécies nativas e uso de tecnologias sociais adaptadas ao semiárido, como cisternas e barragens subterrâneas.

Cristas residuais e inselbergs

O Sistema definido pela Cristas Residuais e Inselbergs corresponde aos relevos de maior expressão vertical no município de Morada Nova, embora sua distribuição espacial seja pontual e descontínua. Esses elementos se destacam na paisagem semiárida por sua

morfologia abrupta, forte declividade e posição topográfica proeminente. São estruturas que resistiram aos processos de aplainamento que moldaram os sertões pediplanados e os tabuleiros interiores, permanecendo como testemunhos erosivos da antiga superfície geomorfológica.

Geomorfologicamente, tratam-se de formas de relevo originadas por processos de denudação diferencial, nas quais as rochas mais resistentes à intempérie e à erosão (granitos, gnaisses, migmatitos e quartzitos) se mantêm elevadas em meio a um entorno amplamente rebaixado. Cristas residuais são alongadas, geralmente orientadas segundo a estrutura geológica regional (falhas e fraturas), enquanto os inselbergs, do alemão “montanha ilha”, são blocos rochosos isolados, de forma maciça e domal, com encostas íngremes e cúpulas arredondadas, como os típicos “monólitos” do sertão nordestino (Partridge; Maud, 1990; Jesus et al, 2024; Souza, 2022).

Essas feições apresentam exposição direta da rocha matriz, com solos extremamente rasos ou ausentes (Neossolos Litólicos), e, por isso, praticamente inaptas à agricultura ou à pecuária. Em suas vertentes, onde há alguma acumulação de material intemperizado, podem desenvolver-se pequenos mantos de solo, que abrigam vegetação rupícola adaptada a ambientes com alta radiação solar, baixa retenção hídrica e grande amplitude térmica (Lima, 2018; Costa; Oliveira, 2019).

A vegetação, em geral, é composta por espécies xerófitas e endêmicas, como cactáceas, bromélias, arbustos de pequeno porte e, ocasionalmente, espécies lenhosas adaptadas a solos rasos. Algumas áreas podem manter microclimas locais, com vegetação mais densa nas encostas sombreadas, funcionando como refúgios ecológicos em meio à matriz mais degradada da Caatinga (IBGE, 2012).

Do ponto de vista ecológico e paisagístico, os inselbergs e cristas residuais têm grande importância funcional e simbólica. Funcionam como reservatórios de biodiversidade, oferecendo abrigo a espécies da fauna e flora que não sobrevivem nas áreas mais antropizadas. Também atuam como marcos visuais e culturais, sendo referência para comunidades locais, especialmente em contextos de religiosidade popular e territorialidade tradicional (Costa; Oliveira, 2019).

Em termos de uso antrópico, essas áreas são geralmente inexploradas economicamente, sendo utilizadas, em alguns casos, como fontes de extração mineral pontual (granito, saibro), ou ainda como locais de atividades religiosas, trilhas ecológicas e observação da paisagem. O risco de degradação ambiental é baixo no núcleo dessas estruturas, no entanto pode ocorrer nas áreas adjacentes, sobretudo por ações de

desmatamento para formação de pastagens e uso do fogo (Jesus et al, 2024; Costa; Oliveira, 2019).

Do ponto de vista da análise sistêmica da paisagem (Bertrand, 1968), as Cristas Residuais e os Inselbergs constituem núcleos de estabilidade morfodinâmica, com alta resistência às transformações induzidas pela ação humana, porém com baixa capacidade de regeneração quando perturbados. Sua preservação é estratégica para a manutenção dos serviços ecossistêmicos locais, como o refúgio de espécies, conservação da diversidade genética e proteção de recursos hídricos subterrâneos.

5.2 Evolução Temporal dos Índices Espectrais e correlação com os sistemas ambientais

A evolução temporal dos índices espectrais de vegetação mostra não só uma análise sobre a vegetação, entretanto, também traz um contexto sobre como o uso e ocupação por parte das comunidades tem alterado a dinâmica ecossocial. O município de Morada Nova, inserido em um contexto propício à degradação por meio natural, vem se agravando de forma preocupante devido a ações antrópicas.

A análise dos índices espectrais em Morada Nova revela implicações significativas para a compreensão da dinâmica ambiental e da evolução temporal na cobertura do solo no município. Os resultados obtidos demonstram variações significativas nos índices espectrais, que são diretamente impactados por fatores climáticos e atividades antrópicas. Notou-se uma tendência na degradação de áreas com a presença de vegetação natural, esse aspecto é refletido em índices espectrais, em particular nas regiões mais afetadas pela expansão agropecuária.

Essa degradação tem não apenas consequências ambientais, no entanto, também causa impactos nas áreas sociais e econômicas, visto que a qualidade do solo e a disponibilidade de recursos hídricos tornam-se mais restritos, afetando diretamente o modo de vida da comunidade. Além disso, o aumento da temperatura e a variação na precipitação evidenciam uma interação complexa entre condições meteorológicas e alterações na vegetação, visto que com a retirada da cobertura vegetal interfere diretamente na dinâmica ecossistêmica do local.

Índices Espectrais de Vegetação, como o NDVI e o SAVI, apresentaram flutuações marcantes que corresponderam a temporadas distintas que correspondem ao período seco e chuvoso, indicando assim a influência direta e consistente das condições climáticas sobre a biomassa terrestre que compõem a vegetação local. Observou-se um aumento gradual e contínuo nos índices nas áreas de cultivo durante os meses chuvosos do ano, refletindo um

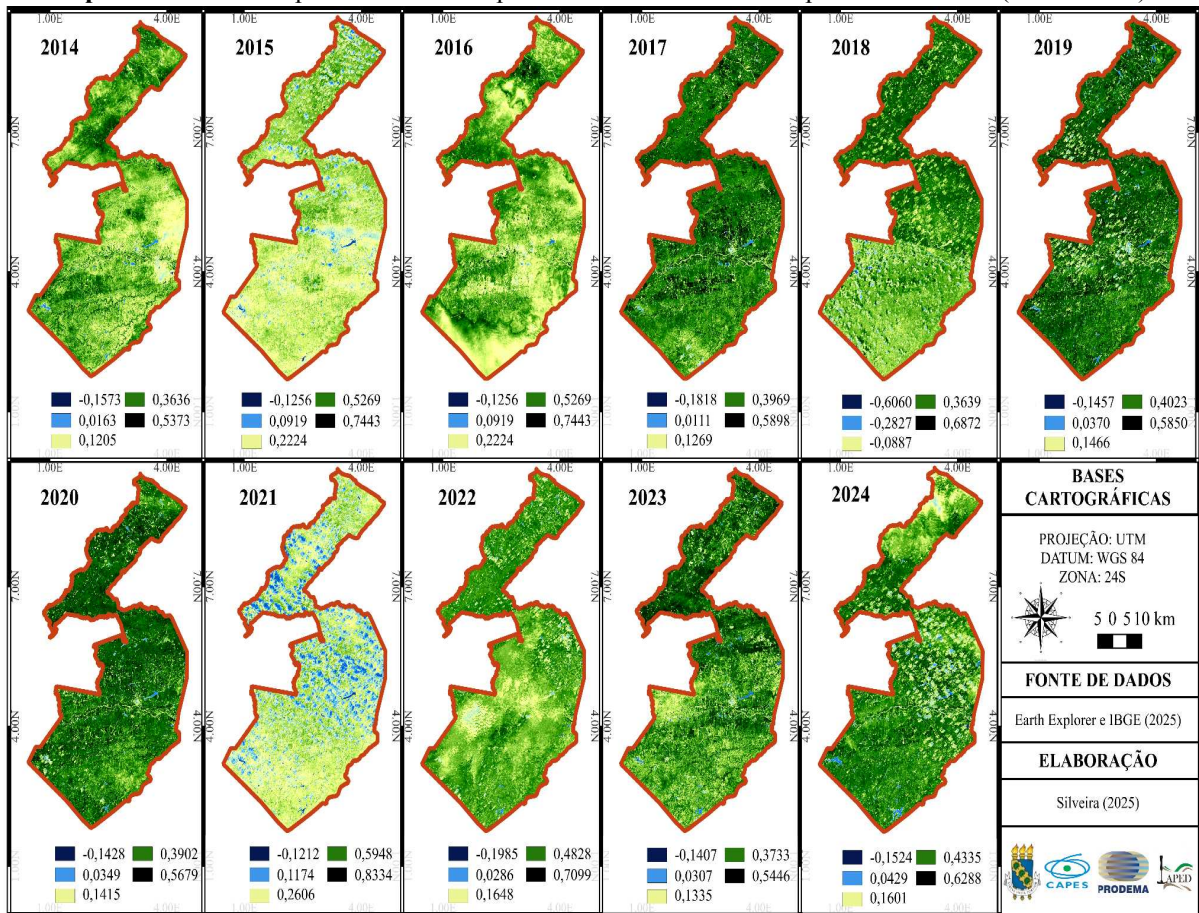
crescimento vegetativo robusto e saudável, enquanto os meses secos mostraram uma queda alarmante e preocupante nos índices, sugerindo um sério estresse hídrico na vegetação nativa e nas culturas que causam um déficit na produção agrícola.

A análise temporal permite analisar como as ações humanas e naturais afetam o ecossistema local. A interpretação dos resultados mostra a necessidade urgente de políticas de gestão do ambiente eficientes e práticas de manejo sustentável que auxiliem na recuperação das áreas degradadas e na proteção dos recursos naturais. Além disso, a mistura dos dados espectrais por do sensoriamento remoto resultou em uma melhor compreensão das dinâmicas ecológicas da região ao revelar a complexidade dos fatores interligados que afetam a cobertura do solo e a biodiversidade em Morada Nova

Esses achados em particular estabelecem uma base sólida e relevante para discussões sobre a eficácia das intervenções de conservação e a aplicação de práticas agrícolas mais resilientes, essenciais para mitigar os impactos adversos das mudanças climáticas em curso e garantir a prosperidade e o desenvolvimento sustentável das comunidades locais ao longo do tempo.

Para uma análise temporal dos índices, foram elaborados mapas temáticos, cujos resultados serão abordados através de uma análise dos valores obtidos em cada ano do recorte tempo-espço. Os mapas 11 e 12 trazem o NDVI, e os mapas 13 e 14 trazem o SAVI, que foram analisados e mostram resultados conflitantes referentes ao município, observou-se tendências interessantes ao longo do tempo de análise, principalmente em regiões com a presença predominante de atividades agrícolas.

O mapa 11 representa a análise temporal do NDVI no primeiro semestre dos anos de 2014 a 2024, com foco no município de Morada Nova.

Mapa 11 - Análise temporal do NDVI no primeiro semestre no Município Morada Nova (2014 - 2024)

Fonte: Elaborado pela autora.

A série temporal revelou padrões distintos de cobertura vegetal ao longo dos anos analisados, principalmente nos primeiros anos da análise em decorrência do período de estiagem enfrentado de 2012 a 2017 em todo o estado do Ceará. Nos anos de 2014 a 2017 destaca-se o predomínio de vegetação moderada a densa em algumas regiões do município, ressaltando a variação e a presença de valores negativos no centro de Morada Nova. Em 2016, observou-se uma redução na vegetação ao sul da área, deixando uma área considerável com valores de baixo a muito baixo. Entretanto, 2018 demonstrou ser um ano crítico, com valores de NDVI negativos expressivos (até -0,6060), refletindo uma provável estiagem prolongada, visto que esse comportamento está associado a períodos de seca severa (Brasil, 2017).

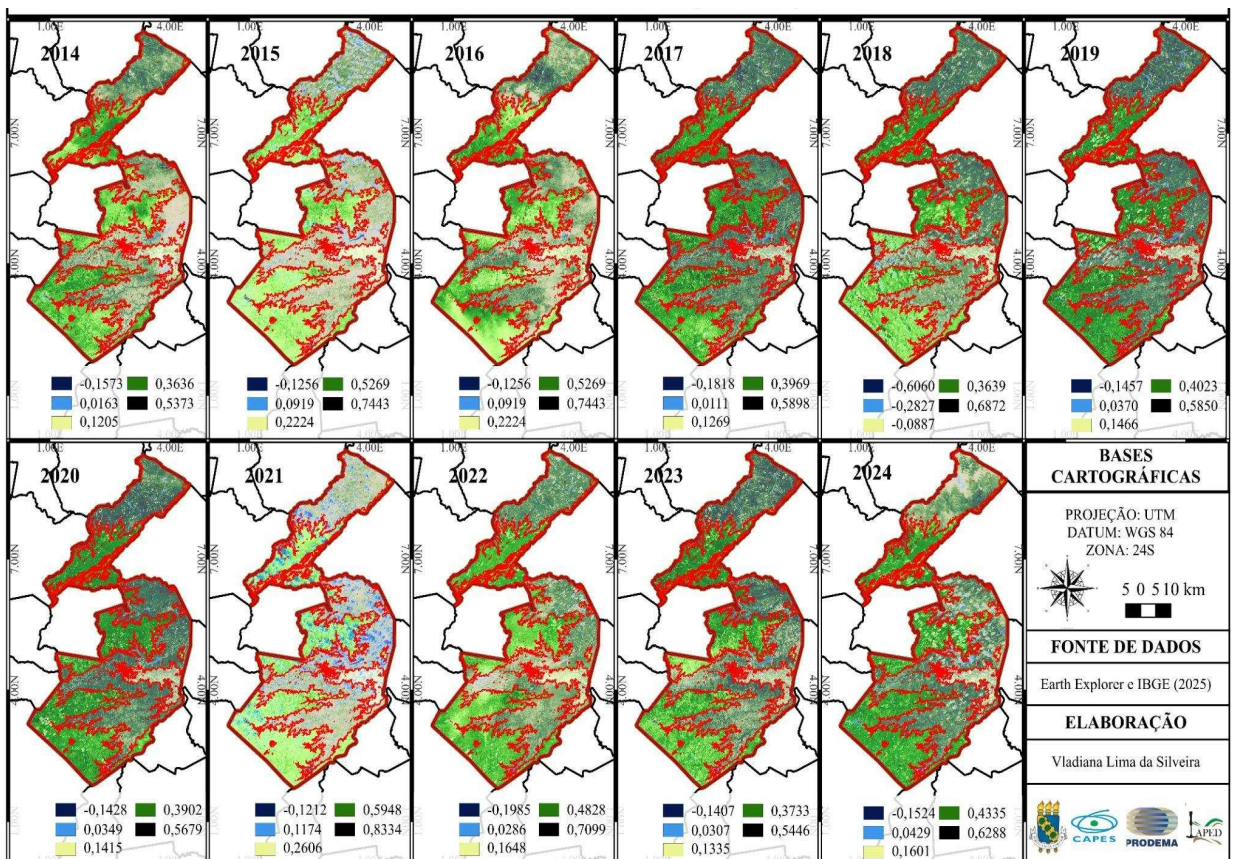
Os anos 2019 e 2020 mostraram uma recuperação da vegetação, com predomínio de tons verdes escuros. Em 2020, possivelmente influenciado pela redução das atividades antrópicas durante a pandemia, houve uma recuperação significativa demonstrando resultados positivos durante o período. Já em 2021 houve um resultado negativo, em virtude da queda do NDVI, com áreas extensas apresentando valores negativos ou próximos de zero, indicando

estresse hídrico e possível uso intensivo do solo. Os resultados dos anos de 2022 a 2024, expressam uma retomada da cobertura vegetal, com NDVI positivo e consistente.

O ano de 2024 apresentou os melhores indicadores da série, com ampla distribuição de valores entre 0,4 e 0,6. Essas oscilações refletem não apenas as condições climáticas anuais, no entanto, em uma análise mais profunda sobressaem-se o uso e ocupação do solo, manejo da terra e eficácia de políticas públicas ambientais. Vale ressaltar que, a variação do NDVI no semiárido é um reflexo direto da dinâmica climática e da vulnerabilidade ecológica da região (Bezerra et al., 2019).

Como observa-se no mapa 12, a comparação entre a análise temporal do NDVI (2014–2024) e os Sistemas Ambientais evidencia que a variabilidade espacial e temporal da vegetação não ocorre ao acaso. Ela reflete, de forma direta, a organização sistêmica do território, na qual fatores geomorfológicos, edáficos, hidrológicos e antrópicos condicionam o comportamento da cobertura vegetal. Cada sistema ambiental apresenta uma assinatura espectral própria, reconhecível ao longo de toda a série histórica do NDVI, confirmando a coerência interna desses sistemas.

Mapa 12 - Análise temporal do NDVI no primeiro semestre no Município Morada Nova relacionados aos sistemas ambientais



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Planície Ribeirinha e Áreas de Inundação Sazonal, associado aos vales fluviais e áreas de influência direta dos cursos d'água, apresenta de forma recorrente os maiores valores de NDVI em praticamente todos os anos analisados. Mesmo em períodos de seca regional (2014–2016), essas áreas mantêm valores moderados de NDVI. Onde nos anos mais favoráveis (especialmente 2017–2019 e 2021), destacam-se como núcleos de alta biomassa vegetal. Do ponto de vista sistêmico, trata-se de um ambiente com uma maior disponibilidade hídrica, solos hidromórficos ou aluviais mais férteis e elevada capacidade de resiliência ambiental. Essas áreas funcionam como zonas de estabilidade ecológica, amortecendo os efeitos da variabilidade climática sobre a vegetação (Costa; Oliveira, 2019).

Os tabuleiros interiores apresentam um comportamento intermediário no NDVI, com forte sensibilidade interanual. Em anos chuvosos, observa-se expansão significativa das classes de NDVI médio a alto, porém, em anos secos, ocorre retração rápida da cobertura vegetal, com aumento das áreas de NDVI baixo. Esse padrão indica sistemas ambientais com uma estruturalmente mais frágeis, dependentes do pulso pluviométrico do primeiro semestre e altamente influenciados pelo uso agropecuário. A instabilidade espectral observada ao longo da série revela baixa capacidade de autorregulação, tornando esses sistemas particularmente vulneráveis à degradação (Costa; Oliveira, 2019).

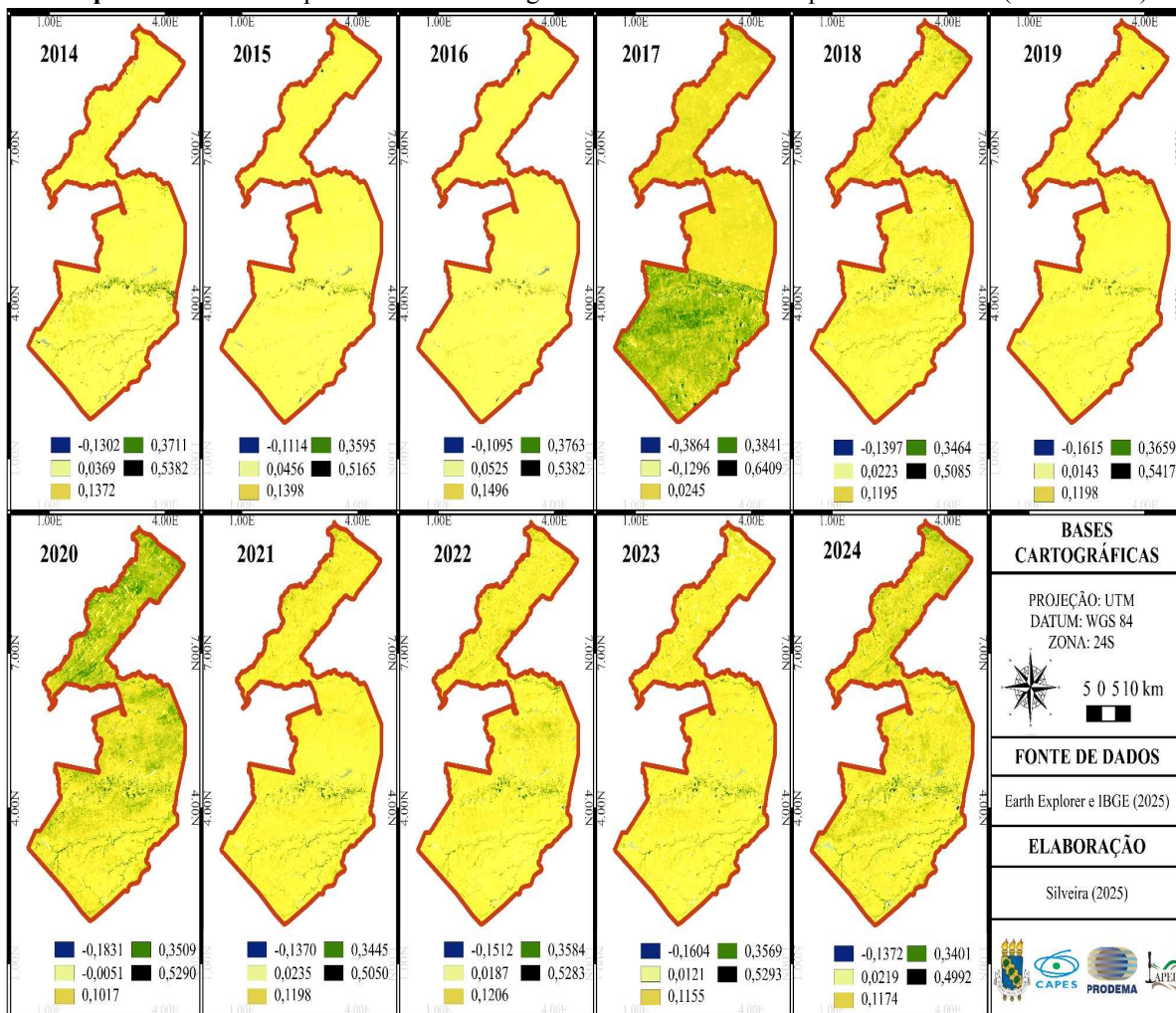
Os sertões pediplanados correspondem às áreas mais extensas do município e apresentam, de forma consistente, valores reduzidos de NDVI. Predominam tons associados a vegetação rala ou solo parcialmente exposto, com a resposta positiva da vegetação ocorrendo apenas em anos excepcionalmente favoráveis, como em 2021. Sob a ótica sistêmica, esses ambientes caracterizam-se por solos rasos e pedregosos, pela baixa retenção hídrica e uma vegetação adaptada ao estresse hídrico. A persistência de baixos valores de NDVI indica sistemas cronicamente frágeis, com elevada propensão à desertificação quando submetidos a pressões antrópicas contínuas (Costa; Oliveira, 2019).

As cristas residuais e inselbergs apresentam comportamento singular com valores baixos de NDVI predominantes, manchas descontínuas de vegetação associadas a encostas e fraturas e pouca variação temporal ao longo da série. Esses sistemas refletem limitações estruturais impostas pela litologia cristalina e pelo relevo acidentado. A vegetação possui papel mais ecológico e conservacionista do que o produtivo, atuando na proteção contra processos erosivos e na recarga hídrica local (Costa; Oliveira, 2019).

Como observou-se anteriormente, o primeiro semestre apresentou os maiores índices de NDVI, especialmente nos anos de 2014, 2017, 2020, 2023 e 2024. Tais resultados estão diretamente associados ao período chuvoso, o qual ocorre tipicamente entre janeiro e maio no

município de Morada Nova. Entretanto, a análise do segundo semestre (mapa 13) demonstra uma redução geral dos valores de NDVI em todos os anos, em relação ao primeiro semestre.

Mapa 13 - Análise temporal do NDVI no segundo semestre no Município Morada Nova (2014 - 2024)



Fonte: Elaborado pela autora

Essa diminuição é resultado direto da sazonalidade climática, com o período seco compreendendo de junho a dezembro. O mapa revela a predominância de valores amarelados (NDVI entre 0,1 e 0,3), indicando vegetação esparsa, pastagens ressecadas ou solo parcialmente exposto com a presença de uma vegetação rasteira. Anos como 2016, 2018, 2019, 2021 e 2023 mantiveram baixa cobertura vegetal durante o segundo semestre, mesmo em áreas que haviam registrado recuperação no primeiro semestre.

O ano de 2017 é uma exceção notável, pois apesar de apresentar boa vegetação no primeiro semestre, mostrou uma drástica queda nos valores de NDVI na parte sul da área estudada durante o segundo semestre, o que sugere forte perda de biomassa após o período

chuvoso. Já 2020 apresentou melhores resultados mesmo no segundo semestre, o que pode estar associado a um regime hídrico atípico ou ao menor impacto antrópico naquele período..

No período de 2014 a 2016, o mapa mostrou um predomínio de valores intermediários (amarelos), indicando cobertura vegetal caracterizada por uma vegetação escassa e rasteira, entretanto, pequenas faixas verdes surgem, sugerindo focos de vegetação mais preservada. Uma vez que em 2014 e 2015, não há registros expressivos de NDVI elevado, esse fato pode estar relacionado a anos com precipitação abaixo da média em decorrência da seca no estado do Ceará (Bezerra et al., 2019).

Em 2017, vale destacar o aumento expressivo de NDVI na metade sul do território analisado, com valores atingindo 0,6409. Essa concentração verde indica condições favoráveis à vegetação, possivelmente após eventos pluviométricos atípicos. Contudo, a metade norte se manteve com NDVI reduzido, sugerindo desigualdade na distribuição das chuvas ou no em medidas mitigadoras utilizadas em cada porção do município.

De 2018 a 2019, observa-se o retorno para um padrão de NDVI predominantemente baixo, com valores variando majoritariamente entre 0,1 e 0,34. Esse resultado representa a escassez de biomassa durante a estação seca. Ademais, os dados de precipitação histórica da região indicam que 2018 foi um ano de estiagem, o que corrobora a baixa resposta da vegetação (Brasil, 2017).

O ano de 2020 foi atípico em diversos aspectos com destaque para o NDVI, com resultados expressos no mapa mostram uma explosão de áreas verdes, especialmente no norte da área. O NDVI atingiu um valor máximo de 0,5290 no segundo semestre, algo incomum para o período seco. Esse resultado pode ser atribuído a fatores como a recorrência de chuvas tardias, a regeneração natural após manejo e a redução da pressão antrópica em anos pandêmicos (Almeida Teixeira; Oliveira; Oliveira Teixeira, 2021).

No período de 2021 a 2023 houve o retorno a padrões uniformemente amarelos, indicando NDVI baixo e estabilidade da vegetação em níveis médios a baixos. A ausência de variações marcantes aponta para um clima seco persistente, com poucos episódios de recuperação vegetativa. Contudo, o ano de 2024 apresentou um desempenho melhor do que os três anos anteriores, com recuperação parcial do NDVI (valores até 0,34), possivelmente indicando um retorno gradual da umidade e reativação do ciclo vegetativo.

Ao longo dos dez anos de análise, a variação entre os semestres se mostra coerente com o padrão climático do semiárido, visto que a região apresenta uma sazonalidade que caracteriza a quadra chuvosa e seca. A média do NDVI no primeiro semestre foi

consistentemente mais alta, refletindo a resposta da vegetação à pluviosidade sazonal. Já no segundo semestre, o NDVI tende à estabilidade em patamares mais baixos, sugerindo estresse hídrico e perda de biomassa vegetal. Esse padrão, encontrado através da análise dos resultados, reforça a importância de políticas públicas voltadas para a proteção do solo e da vegetação nativa, principalmente no segundo semestre, quando os ecossistemas se encontram mais vulneráveis à desertificação.

A análise comparativa do NDVI entre os dois semestres evidencia a forte influência da sazonalidade climática na dinâmica da vegetação do semiárido brasileiro. O primeiro semestre representa um período de renovação vegetal, enquanto o segundo semestre é caracterizado pela retração do verde, refletindo a seca natural do bioma. O uso de séries temporais de NDVI se mostra uma ferramenta essencial para o monitoramento da vegetação em regiões vulneráveis, permitindo a identificação de tendências, anomalias e impactos de intervenções humanas e climáticas.

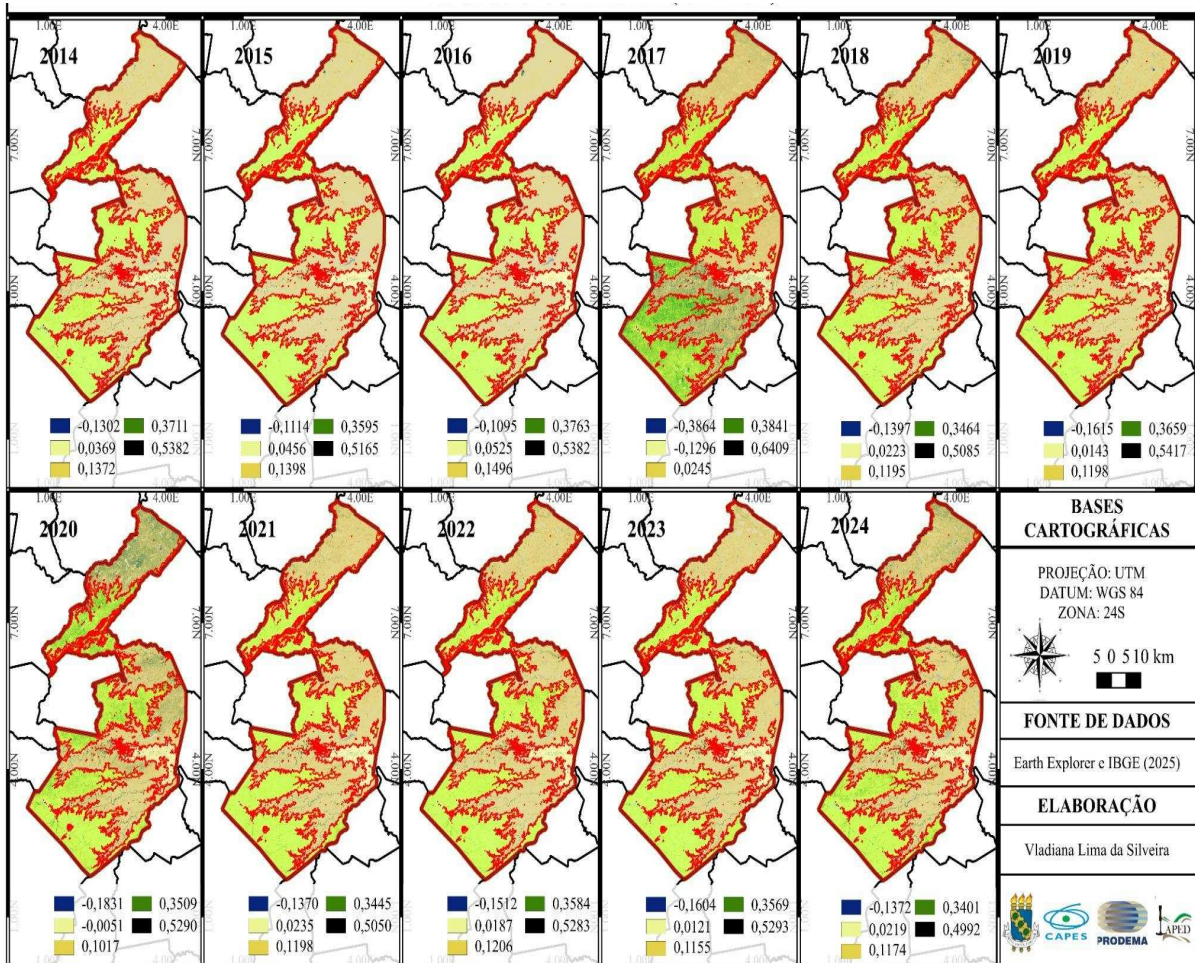
No semiárido cearense, no segundo semestre, o NDVI passa a expressar não apenas a variabilidade climática, mas a robustez estrutural dos sistemas ambientais (mapa 14). De forma geral, os mapas evidenciam a predominância de valores baixos de NDVI em todo o município, a redução significativa das manchas de vegetação densa e a homogeneização espacial do estresse vegetativo ao longo da série histórica. Esse padrão confirma que, no segundo semestre, os sistemas ambientais entram em um estado de funcionamento mínimo, no qual apenas os ambientes mais resilientes conseguem manter algum vigor vegetativo.

Mesmo no período seco, a planície ribeirinha destaca-se como o sistema ambiental com maior persistência de valores relativamente elevados de NDVI. Observa-se as faixas próximas aos rios e espelhos d'água mantêm manchas verdes residuais, notoriamente em anos específicos, como 2017 e 2020, observa-se maior continuidade da vegetação nessas áreas. Do ponto de vista sistêmico, isso indica um maior armazenamento hídrico nos solos aluviais, influência direta da drenagem superficial e subterrânea e o papel estratégico dessas áreas como refúgios ecológicos sazonais. No segundo semestre, essas planícies funcionam como núcleos de resistência ambiental, amortecendo os efeitos da estiagem sobre a vegetação.

Os tabuleiros interiores apresentam comportamento marcadamente instável no segundo semestre com a predominância de valores baixos de NDVI em praticamente todos os anos, a vegetação responde rapidamente à ausência de chuvas, entrando em senescência precoce e mesmo após anos chuvosos no primeiro semestre, a perda de vigor ocorre de forma acelerada. Esse padrão revela sistemas ambientais com uma baixa capacidade de retenção

hídrica, fortemente dependentes da sazonalidade climática e altamente impactados pelo uso agropecuário. No segundo semestre, esses sistemas evidenciam sua fragilidade estrutural, tornando-se áreas-chave para a intensificação de processos degradacionais.

Mapa 14 - Análise temporal do NDVI no segundo semestre no Município Morada Nova relacionados aos sistemas ambientais



Fonte: Elaborado pela autora.

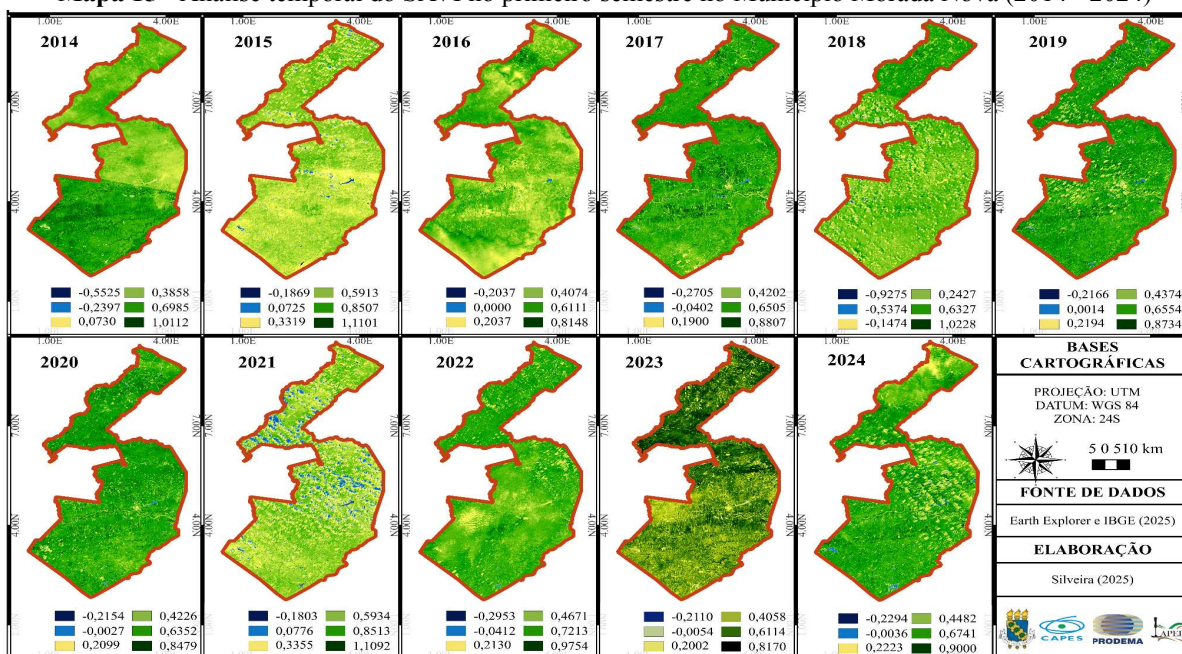
Os sertões pediplanados, que ocupam grande parte do município, apresentam os menores valores de NDVI ao longo de toda a série do segundo semestre. Observa-se que a vegetação assume caráter esparsa e descontínuo, ocorrendo a predominância de extensas áreas com solo exposto ou cobertura vegetal muito rala e a variabilidade interanual é reduzida, indicando um padrão crônico de estresse. Sob a ótica sistêmica, esses ambientes operam próximos ao seu limite funcional, apresentam baixa resiliência à estiagem prolongada e são estruturalmente vulneráveis à desertificação. O segundo semestre evidencia que, nesses sistemas, a vegetação cumpre apenas funções ecológicas básicas, com reduzida capacidade de regeneração espontânea (Costa; Oliveira, 2019).

As cristas residuais e inselbergs mantêm valores persistentemente baixos de NDVI, com pouca variação ao longo dos anos. Onde os resultados expressam uma vegetação limitada por fatores litológicos e topográficos e a resposta ao regime climático é mínima, tanto em anos chuvosos quanto secos. No segundo semestre, esses sistemas reforçam seu papel como ambientes de restrição ecológica, nos quais a estabilidade está associada à baixa produtividade biológica e à adaptação extrema das espécies (Costa; Oliveira, 2019).

Apesar dessa resposta positiva, os sistemas ambientais mantêm comportamentos diferenciados. As planícies ribeirinhas concentram os maiores valores de NDVI, evidenciando elevada resiliência e estabilidade ecológica. Os tabuleiros interiores apresentam incremento significativo da vegetação, porém com forte dependência da regularidade pluviométrica. Nos sertões pediplanados, a resposta é limitada e de curta duração, enquanto as cristas residuais e os inselbergs mantêm baixos valores, condicionados por restrições estruturais permanentes. O primeiro semestre, portanto, expressa o potencial máximo de resposta da vegetação, sem eliminar as desigualdades ambientais impostas pela organização físico-natural do território.

A seguir, apresenta uma série histórica do SAVI no município de Morada Nova (mapa 15), um índice desenvolvido para corrigir as limitações do NDVI em áreas com solo exposto.

Mapa 15 - Análise temporal do SAVI no primeiro semestre no Município Morada Nova (2014 - 2024)



Fonte: Elaborado pela autora.

Nos anos de 2014 e 2016, observam-se valores moderados a altos de SAVI (até 1,0112 em 2014 e 0,8148 em 2016), especialmente na metade sul da área analisada. Esse padrão contrasta com o NDVI da mesma série, que subestima a cobertura vegetal em função do solo

exposto, e confirma a eficácia do SAVI em áreas semiáridas (Silva et al. 2020). Já em 2015, nota-se um predomínio de amarelos e verdes claros, com SAVI oscilando até 1,11, entretanto, com a ampla presença de áreas entre 0,33 e 0,59, indicando redução da biomassa ativa, possivelmente devido à estiagem.

Já o ano de 2017 revela alta cobertura vegetal ao sul, com SAVI de até 0,8807, coincidindo com o pico de NDVI observado na mesma série. Em 2018, o mapa expressa uma condição de seca acentuada, com o menor valor mínimo da série (-0,9275), porém ainda mantendo valores máximos elevados (1,0228) em alguns pontos, o que é uma evidência da resiliência ecológica localizada no município. Em 2019, o padrão se torna mais homogêneo com valores verdes consistentes, indicando recomposição da vegetação mesmo sob a irregularidade de chuvas na região.

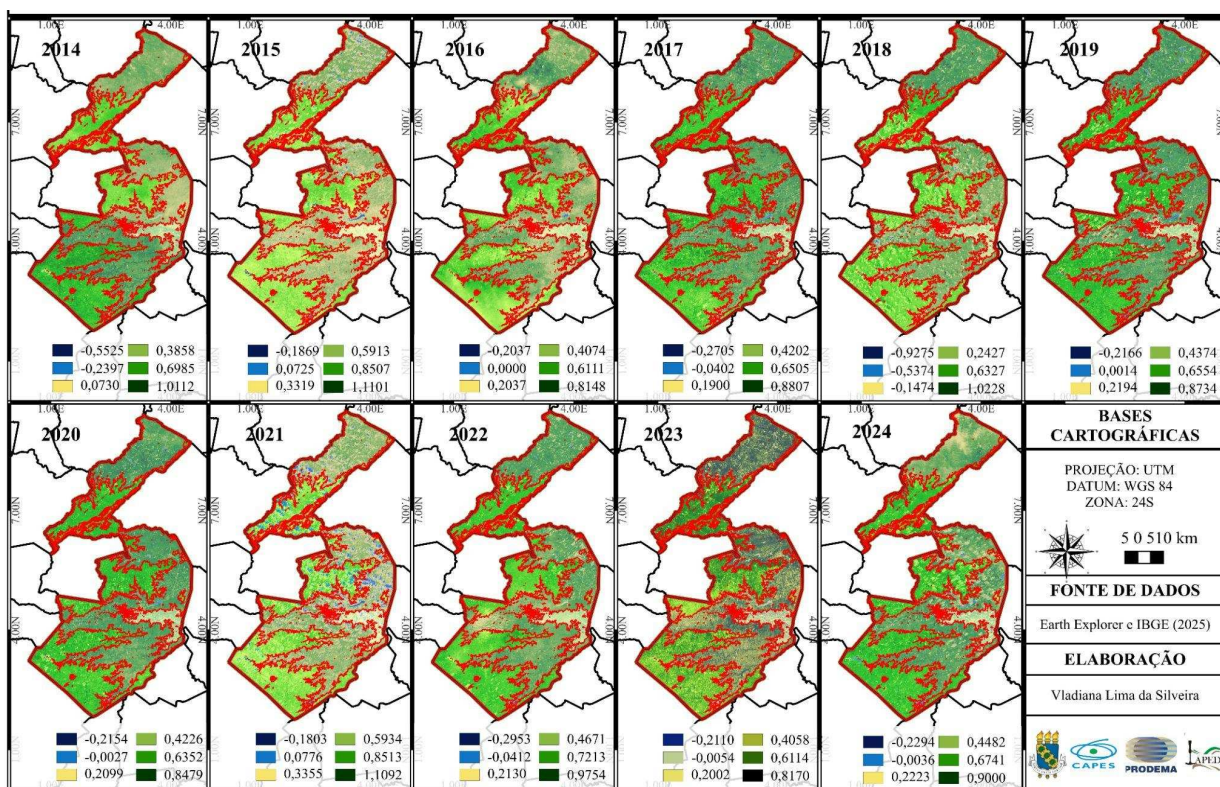
O ano de 2020 apresenta valores bastante elevados em quase toda a área (até 0,8479), com destaque para uma distribuição ampla e contínua de vegetação saudável, representando um dos melhores desempenhos da série e um comportamento similar ao do NDVI neste mesmo período. A pandemia da COVID-19 pode ser um indicativo que auxiliou na diminuição da pressão antrópica sobre o meio ambiente, favorecendo a regeneração natural durante o período em virtude de um período menos produtivo em diversas áreas de atuação (Almeida Teixeira; Oliveira; Oliveira Teixeira, 2021).

Neste ano, 2021, é visível uma forte interferência de áreas com SAVI negativos e irregulares na porção sul, formando manchas azuis que sugerem anormalidade na reflectância. Essa anomalia possivelmente associada a alta exposição do solo, a erros atmosféricos não corrigidos completamente e atividades antrópicas. Os anos de 2022 e 2023 ambos mostram valores intermediários (0,213 a 0,9754 em 2022; 0,2002 a 0,8170 em 2023), com manutenção da vegetação rala a moderada. O mapa de 2023 apresenta contrastes mais intensos entre áreas de alto e baixo SAVI, sinalizando processos locais de degradação ou recuperação diferenciada. O ano de 2024, apresenta condição vegetativa muito favorável, com valores chegando a 0,9000, especialmente ao norte.

A leitura integrada da análise temporal do SAVI (2014–2024) e do mapa dos Sistemas Ambientais do município de Morada Nova (mapa 16) demonstra que a dinâmica espaço-temporal da vegetação está fortemente condicionada à organização físico-natural do território. O SAVI, por corrigir parcialmente a influência do solo exposto, mostrou-se particularmente eficaz na diferenciação dos sistemas ambientais de Morada Nova, sobretudo em áreas semiáridas, onde a vegetação é naturalmente esparsa. A distribuição espacial dos valores baixos, médios e altos do índice acompanha, de forma consistente, os limites dos

sistemas ambientais mapeados, revelando assinaturas espectrais próprias e persistentes ao longo do período analisado.

Mapa 12 - Análise temporal do SAVI no primeiro semestre no Município Morada Nova relacionados aos sistemas ambientais



Fonte: Elaborado pela autora.

As planícies ribeirinhas e áreas sujeitas à inundação sazonal concentram, de maneira sistemática, os maiores valores de SAVI em praticamente todos os anos da série. Mesmo durante os anos de estiagem mais severa (2014–2016), essas áreas mant m valores relativamente elevados, quando comparadas aos demais sistemas. Nos períodos mais favoráveis do ponto de vista pluviométrico (2017–2019 e 2021), destacam-se como núcleos contínuos de alta densidade vegetal, evidenciando elevada produtividade primária (Costa; Oliveira, 2019).

Sob a perspectiva sistêmica, trata-se de ambientes caracterizados por uma maior disponibilidade hídrica superficial e subsuperficial, solos aluviais e hidromórficos, com melhor fertilidade natural e uma elevada capacidade de resiliência frente à variabilidade climática. Essas áreas funcionam como zonas de estabilidade ecológica, exercendo papel fundamental na manuten o da biomassa vegetal e na mitiga o dos efeitos das secas regionais (Costa; Oliveira, 2019).

Os tabuleiros interiores apresentam comportamento intermediário nos valores de SAVI, marcado por acentuada variabilidade interanual. Em anos com maior aporte hídrico, observa-se expansão das classes de SAVI médio a alto, indicando rápida resposta da vegetação às chuvas. Em contrapartida, nos anos secos, ocorre retração igualmente rápida da cobertura vegetal, com ampliação das áreas de SAVI baixo, refletindo maior exposição do solo. Esse padrão revela, assim como no NDVI, sistemas ambientais estruturalmente mais frágeis, fortemente dependentes do regime pluviométrico sazonal e intensamente influenciados pelas práticas agropecuárias. A instabilidade espectral observada ao longo da série histórica indica baixa capacidade de auto regulação ambiental, tornando esses sistemas especialmente suscetíveis a processos de degradação e perda de produtividade (Costa; Oliveira, 2019).

Os sertões pediplanados, de forma recorrente, exibem os valores mais reduzidos de SAVI ao longo de toda a série temporal. Predominam padrões associados à vegetação rala, descontínua e, em muitos trechos, à presença significativa de solo exposto. A resposta positiva da vegetação ocorre de forma pontual e temporária, restrita a anos excepcionalmente favoráveis, como em 2021. Do ponto de vista sistêmico, esses ambientes caracterizam-se por ambientes vulneráveis, onde a persistência de baixos valores de SAVI indica sistemas cronicamente frágeis, com elevada vulnerabilidade à desertificação quando submetidos a pressões antrópicas contínuas e uso inadequado do solo (Costa; Oliveira, 2019).

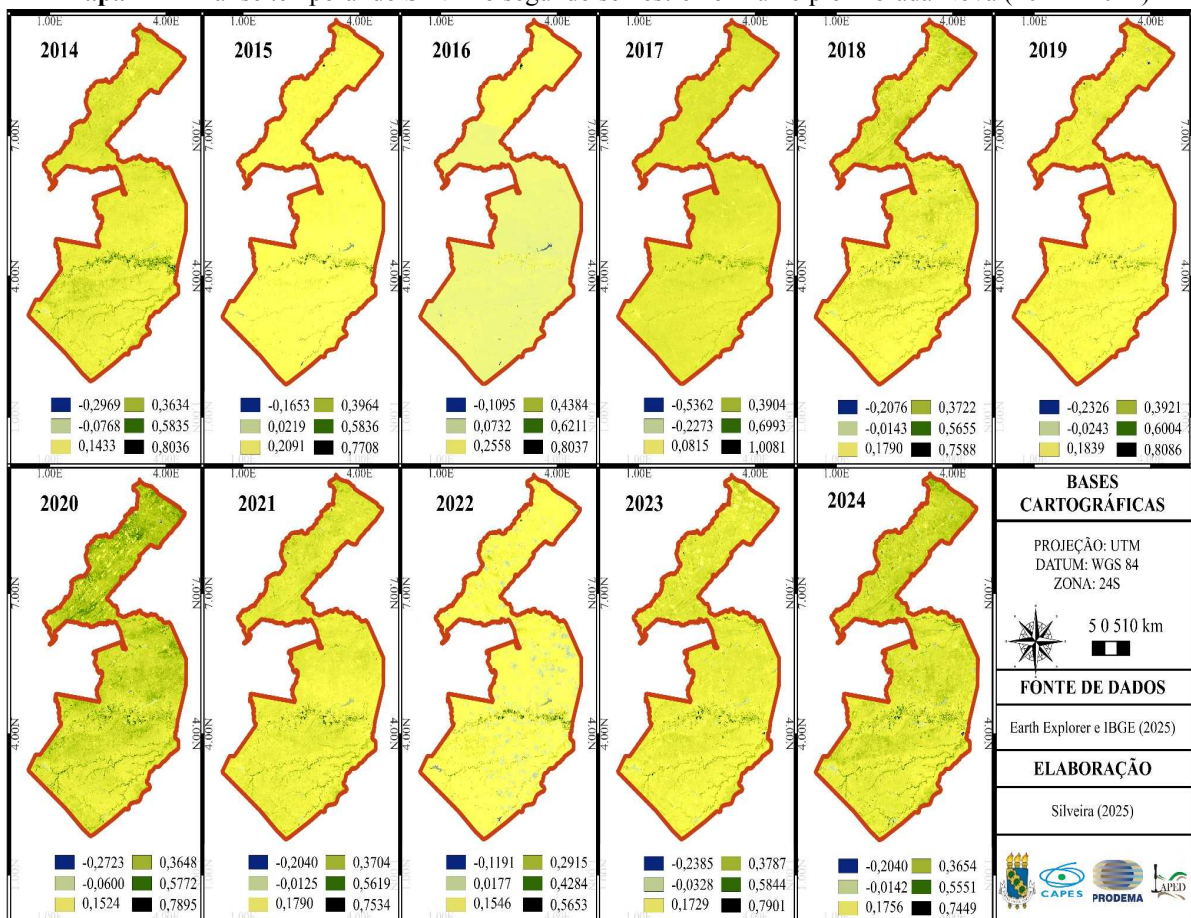
As cristas residuais e os inselbergs apresentam um comportamento espectral singular e relativamente estável ao longo do período analisado. Predominam valores baixos de SAVI, com manchas pontuais de vegetação associadas a fraturas, encostas e pequenas depressões onde há maior acumulação de umidade e solo. A variação temporal é reduzida, refletindo limitações estruturais impostas pelo substrato cristalino e pelo relevo acidentado. Nesses sistemas, a vegetação desempenha um papel predominantemente ecológico e conservacionista, contribuindo para a proteção contra processos erosivos, a estabilização de encostas e a recarga hídrica local. Sua função produtiva é limitada, mas sua importância ambiental é elevada no contexto da sustentabilidade da paisagem (Costa; Oliveira, 2019).

A análise do SAVI no primeiro semestre evidencia que o período chuvoso amplia a resposta espectral da vegetação em todo o município, mas não elimina as diferenças estruturais entre os sistemas ambientais. As planícies ribeirinhas consolidam-se como áreas de maior estabilidade e produtividade, enquanto os sertões pediplanados e os tabuleiros interiores permanecem marcados pela fragilidade e pela dependência direta do regime pluviométrico (Costa; Oliveira, 2019).

Esses resultados reforçam que, mesmo sob condições climáticas favoráveis, a dinâmica da vegetação em Morada Nova é fortemente controlada pela base físico-natural do território, o que deve ser considerado de forma central em estratégias de planejamento ambiental, uso do solo e mitigação de processos de degradação no semiárido.

Apresentando abaixo uma série temporal de mapas do SAVI aplicados ao segundo semestre de cada ano de análise (mapa 17). A análise comparativa do SAVI ao longo dos semestres e anos permite identificar a forte influência do regime pluviométrico na dinâmica da vegetação do município de Morada Nova. Os resultados evidenciam maior vigor vegetativo no primeiro semestre, resultado da acumulação de biomassa após as chuvas, enquanto o segundo semestre apresenta vegetação mais rala e solo exposto. Essas informações são fundamentais para políticas públicas voltadas à gestão ambiental, agricultura e combate à desertificação no semiárido nordestino, visto que a região já possui uma tendência natural a esse fenômeno.

Mapa 17 - Análise temporal do SAVI no segundo semestre no Município Morada Nova (2014 - 2024)



Fonte: Elaborado pela autora.

De 2014 a 2016, anos iniciais analisados e com um baixa atividade vegetativa,

expressa em sua maior área tonalidades amareladas e esverdeadas claras. O ano de 2014 apresenta um resultado abaixo do esperado para o período, com valores de SAVI entre 0,1433 a 0,8036, sugerindo uma cobertura vegetal incipiente ou em regeneração. Já em 2016, observa-se uma predominância de valores entre 0,2558 e 0,8037, com poucos indícios de degradação severa, o que indica clima razoavelmente favorável, mas com limitações estruturais na vegetação.

O ano de 2017 apresenta um padrão altamente degradado, com valores mínimos negativos (-0,5362) e máximos modestos (1,0081), mas com predominância de valores intermediários. Isso sugere um semestre inicial com baixa pluviosidade, típico de anos com El Niño fraco a moderado, o que reflete para que o padrão no segundo semestre permaneça com uma baixa vegetação (Nobre et al., 2019). Em 2018 e 2019, os valores de SAVI ainda permanecem moderados (0,179 a 0,8086), com predomínio de tons amarelos, o que pode ser um indicativo para uma vegetação perene ou sob estresse hídrico, coerente com a estação seca prolongada que costuma afetar os meses de junho a dezembro no semiárido nordestino.

Em 2020, há um leve aumento nos valores de SAVI (0,1524 a 0,7895), com maior homogeneidade espacial da vegetação. Isso pode estar relacionado a eventos pluviométricos favoráveis no primeiro trimestre, como registrados pelo INMET (2021). Já em 2021, apesar da homogeneidade, os valores máximos caem um pouco (0,7534), sinalizando um semestre com menos vigor vegetativo, no entanto, sem a expressão de grandes áreas críticas.

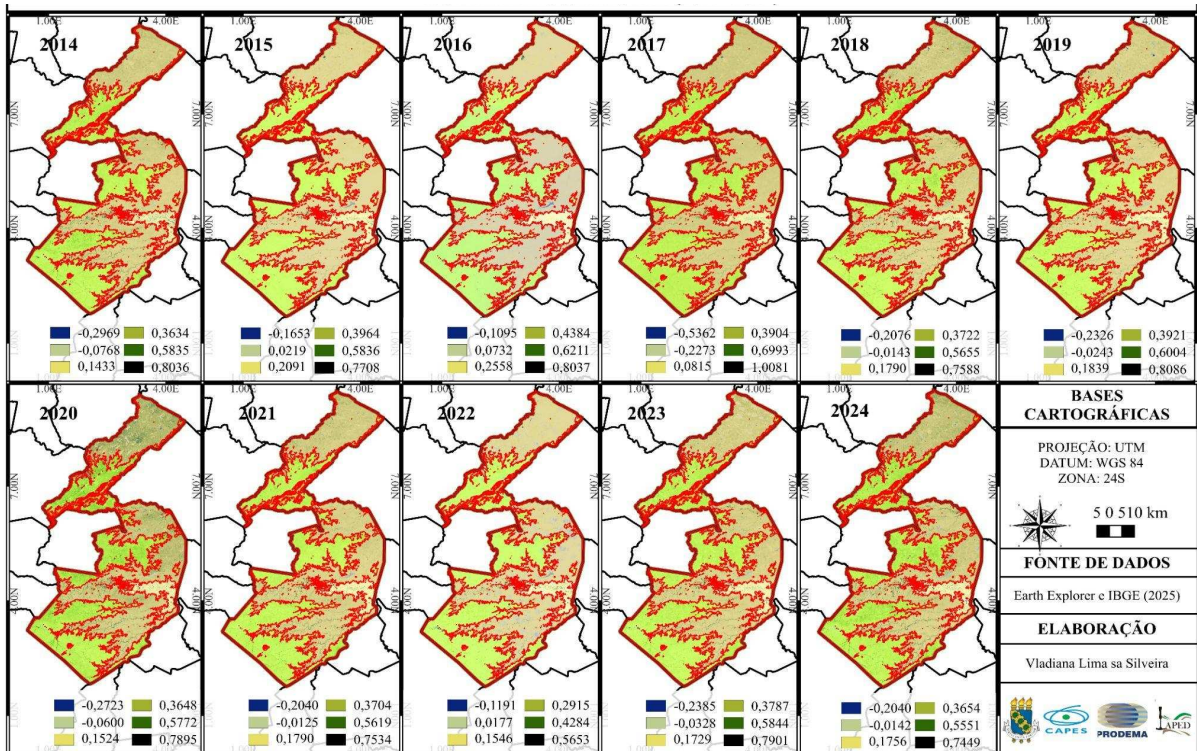
O ano de 2022 é marcado por uma queda acentuada nos valores máximos (0,5653), com a área dominada por tons amarelos claros e baixos valores médios, um indicativo de que houve frustração da quadra chuvosa (janeiro–maio). Já em 2023, observa-se uma melhora na atividade vegetativa (0,1729 a 0,7901), o que pode sugerir retomada das chuvas ou uso de técnicas de manejo que conservaram a umidade do solo. O último ano da série (2024) apresenta padrão semelhante a 2021 e 2023, com valores entre 0,156 e 0,7449, reforçando a ideia de um primeiro semestre sob condições climáticas medianas, com vegetação funcional.

A análise da evolução temporal dos índices Espectrais revela que, embora o NDVI seja eficiente na detecção de biomassa, ele pode superestimar a degradação em áreas com solo exposto. O SAVI, ao compensar esse fator, oferece uma estimativa mais realista da cobertura vegetal em ambientes áridos e semiáridos. Um indício disso é que no ano de 2017, o NDVI apresenta grande parte do território com valores entre 0,2 e 0,4, sugerindo vegetação esparsa. Já o SAVI, para o mesmo ano, mostra distribuição mais equilibrada entre vegetação intermediária e esparsa, sugerindo que o índice identificou vegetação rasteira ou regeneração não detectada pelo NDVI.

Apesar disso, o NDVI continua sendo um índice útil, sobretudo em áreas com vegetação densa. Contudo, para regiões semiáridas com presença significativa de solo exposto, como o município de Morada Nova, o SAVI se mostra mais adequado, por reduzir os efeitos da reflectância do solo e fornecer uma leitura mais precisa da condição da vegetação. Assim, o uso do SAVI em análises ambientais se mostra mais eficaz, principalmente em contextos de monitoramento de desertificação, degradação da cobertura vegetal e planejamento agroambiental em zonas semiáridas.

A análise integrada da série temporal do SAVI no segundo semestre (2014–2024) relacionados aos sistemas ambientais do município de Morada Nova (mapa 18) evidencia que, no período seco, a dinâmica da cobertura vegetal torna-se mais restritiva e seletiva, refletindo de forma direta os condicionantes estruturais do território. Diferentemente do primeiro semestre, a resposta espectral da vegetação no segundo semestre é mais limitada, o que acentua os contrastes entre os sistemas ambientais. Nesse contexto, o SAVI atua como um importante indicador da capacidade de resistência e resiliência ambiental de cada sistema, revelando quais compartimentos conseguem manter a biomassa vegetal mesmo sob déficit hídrico prolongado.

Mapa 18 - Análise temporal do SAVI no segundo semestre no Município Morada Nova relacionados aos sistemas ambientais



Fonte: Elaborado pela autora.

Mesmo no segundo semestre, as planícies ribeirinhas e áreas de inundação sazonal destacam-se como os setores de maior persistência de cobertura vegetal no município. Embora haja redução dos valores de SAVI em relação ao período chuvoso, essas áreas mantêm valores médios e, em alguns anos, médios a altos, especialmente ao longo dos principais cursos d'água. Durante os anos mais secos da série (2014–2016), continuam funcionando como refúgios de biomassa vegetal. Sob a perspectiva sistêmica, esse comportamento decorre de uma maior disponibilidade hídrica residual no solo, da presença de aquíferos rasos e solos aluviais e da influência de atividades agrícolas irrigadas. Esses ambientes configuram-se como zonas de estabilidade relativa, amortecendo os efeitos da estiagem prolongada sobre a vegetação (Costa; Oliveira, 2019).

Nos tabuleiros interiores, o segundo semestre é marcado por acentuada retração da cobertura vegetal, com predomínio de valores baixos de SAVI em grande parte dos anos analisados. A variabilidade interanual é menor do que no primeiro semestre, não por estabilidade ecológica, mas pela limitação estrutural imposta pelo déficit hídrico. Em anos excepcionalmente favoráveis, observa-se leve incremento pontual da vegetação, porém sem continuidade espacial. Esse padrão indica sistemas ambientais altamente sensíveis ao esgotamento da umidade do solo, dependentes do pulso pluviométrico do primeiro semestre e vulneráveis ao manejo inadequado do solo. A persistência de baixos valores de SAVI evidencia baixa capacidade de resiliência no período seco, aumentando o risco de degradação ambiental (Costa; Oliveira, 2019).

Os sertões pediplanados apresentam, no segundo semestre, os menores valores de SAVI de toda a série, com ampla predominância de solo exposto e vegetação rala. A resposta positiva da vegetação é extremamente limitada e ocorre apenas de forma residual em anos mais favoráveis, como 2017 e 2021, ainda assim de maneira fragmentada. Do ponto de vista sistêmico, esses ambientes caracterizam-se por solos rasos, pedregosos e de baixa retenção hídrica, elevada evapotranspiração e a vegetação fortemente adaptada ao estresse hídrico. A recorrência de baixos valores de SAVI ao longo do segundo semestre indica sistemas cronicamente frágeis, com elevada propensão à desertificação quando submetidos a pressões antrópicas contínuas (Costa; Oliveira, 2019).

As cristas residuais e os inselbergs mantêm comportamento espectral bastante homogêneo no segundo semestre, com valores persistentemente baixos de SAVI. A vegetação ocorre de forma descontínua, restrita a fraturas, encostas sombreadas e pequenos bolsões de solo. A variação temporal é mínima ao longo da série, refletindo as severas limitações impostas pelo relevo acidentado e pela litologia cristalina. Nesses sistemas, a vegetação

exerce função predominantemente ecológica e conservacionista, sendo fundamental para a contenção de processos erosivos e para a manutenção de micro ambientes úmidos, embora apresente baixa expressão em termos de biomassa (Costa; Oliveira, 2019).

A análise do SAVI no segundo semestre evidencia que o período seco atua como um filtro ambiental, realçando as diferenças estruturais entre os sistemas ambientais de Morada Nova. As planícies ribeirinhas destacam-se pela maior capacidade de manutenção da cobertura vegetal, enquanto os sertões pediplanados e os tabuleiros interiores revelam elevada fragilidade e baixa resiliência ecológica (Costa; Oliveira, 2019).

Esses resultados reforçam que o planejamento ambiental e o ordenamento territorial no município devem considerar o comportamento da vegetação no segundo semestre como um indicador crítico de vulnerabilidade ambiental, sobretudo no contexto de intensificação das secas e das pressões antrópicas no semiárido.

No segundo semestre, a estiagem prolongada impõe forte retração da cobertura vegetal, com predominância de baixos valores de NDVI e ampliação das áreas de solo exposto. Esse período evidencia de forma mais clara a fragilidade ambiental dos sistemas do semiárido.

As planícies ribeirinhas mantêm relativa estabilidade, conservando valores médios de NDVI mesmo sob déficit hídrico. Em contraste, os tabuleiros interiores e os sertões pediplanados apresentam acentuada redução da biomassa vegetal, revelando baixa resiliência e elevada vulnerabilidade à degradação ambiental. As cristas residuais e os inselbergs mantêm comportamento homogêneo, com baixos valores persistentes ao longo de toda a série (Costa; Oliveira, 2019).

Assim, o segundo semestre atua como um indicador crítico de vulnerabilidade ambiental, fundamental para a avaliação da sustentabilidade dos usos do solo e para o planejamento territorial no município (Costa; Oliveira, 2019).

5.3 Relação entre Índices e Cobertura Vegetal

Monitorar o estado da cobertura vegetal por meio do sensoriamento remoto tem se mostrado uma ferramenta essencial para compreender os processos de degradação ambiental, especialmente em regiões semiáridas, como o Nordeste brasileiro. Visto que, a vegetação nativa exerce papel primordial na proteção do solo, no ciclo hidrológico e na regulação do clima. Em Morada Nova, a dinâmica da cobertura vegetal está diretamente interligada à variabilidade climática e às práticas de uso e ocupação da terra.

Os índices espectrais, como o NDVI e o SAVI, permitem estimar a densidade da vegetação por meio da razão entre bandas do espectro refletido pelo solo e pela vegetação. Como visto anteriormente, através da evolução do NDVI e o SAVI ao longo da última década, foi observado como esses índices refletem as mudanças sazonais e interanuais na cobertura vegetal de Morada Nova. No entanto, para se entender a dinâmica da vegetação é necessário entender a relação entre os resultados obtidos e a cobertura da vegetação do município, por meio da análise integrada do uso do solo (condições antrópicas) e dos aspectos ambientais (condições naturais).

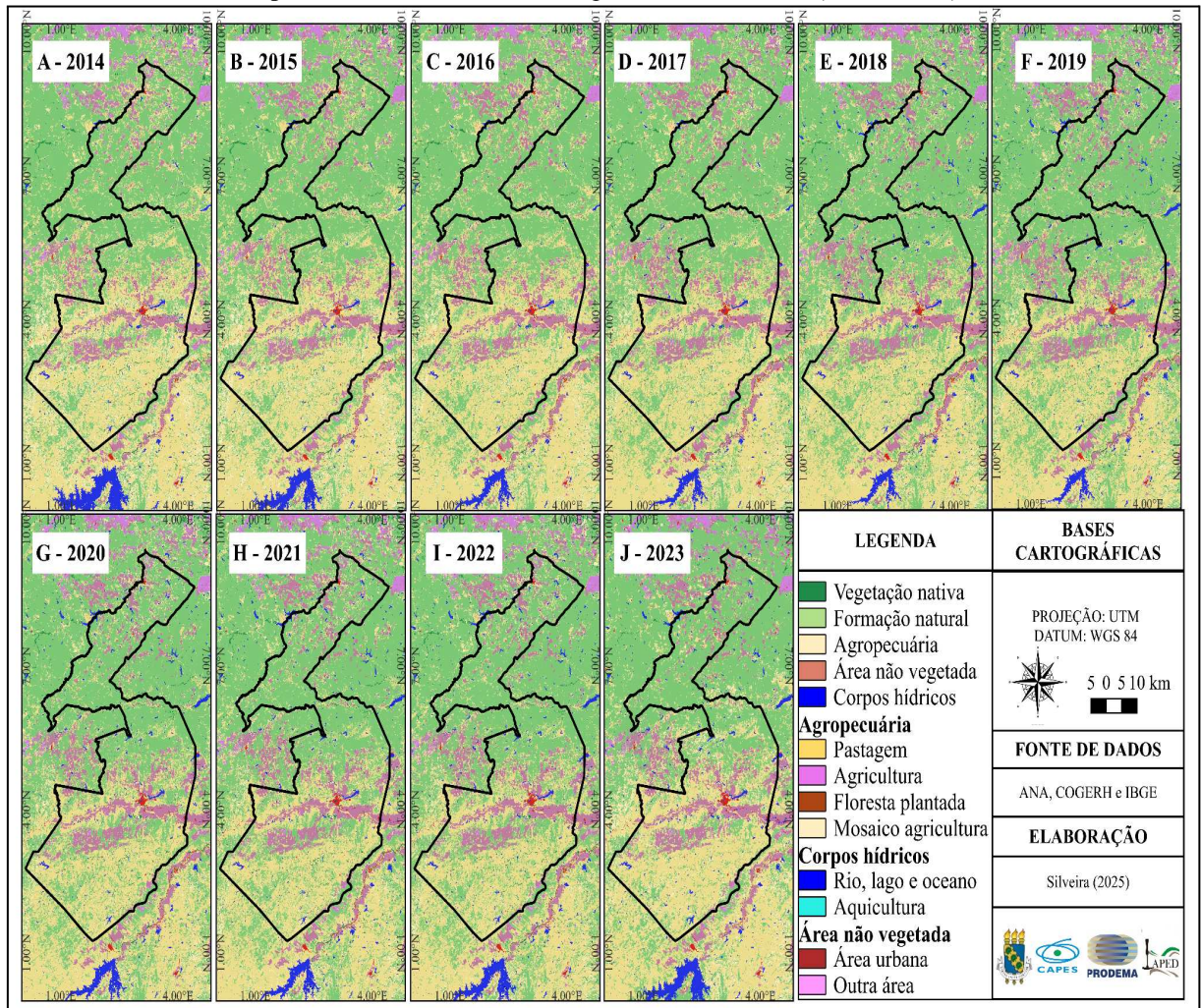
A variação da cobertura vegetal no município de Morada Nova influencia não apenas a percepção visual da paisagem local, mas também afeta significativamente diversos processos ambientais que dependem das condições do meio abiótico para sua manutenção e equilíbrio. Situado em uma região de clima semiárido, típico de grande parte do estado do Ceará, Morada Nova apresenta uma vegetação predominantemente do tipo Caatinga arbustiva, caracterizada por espécies adaptadas à escassez hídrica e às altas temperaturas.

Entretanto, a principal matriz econômica da região está fortemente vinculada a práticas agrícolas e pecuárias que, na maioria das vezes, utilizam a terra de maneira insustentável, sem considerar os limites naturais impostos pelo ambiente semiárido. Essa exploração inadequada do solo e da vegetação intensifica os processos de degradação ambiental, culminando no agravamento da desertificação, fenômeno que compromete a produtividade da terra e a qualidade de vida das populações locais.

Desse modo, instala-se uma relação de interdependência negativa entre o homem e o meio natural, na qual a pressão exercida sobre a cobertura vegetal e os recursos naturais provoca o esgotamento progressivo da capacidade regenerativa do ecossistema. O desequilíbrio resultante prejudica tanto a sustentabilidade dos sistemas socioeconômicos quanto a resiliência ambiental, configurando um ciclo vicioso que exige a implementação urgente de estratégias integradas de manejo e conservação da vegetação nativa.

O uso da terra de forma insustentável gera a perda da sua produtividade natural, no entanto, em solos naturalmente já pouco produtivos pode desencadear fenômenos mais complexos, como a compactação devido ao uso com a pecuária, e a perda de nutrientes, com às queimadas e retirada da vegetação nativa. Por isso, faz-se necessário compreender a dinâmica nos anos de 2014 a 2023 por meio da análise do uso do solo em Morada Nova através da classificação e identificação dessas práticas na região conforme é possível ser visualizado no mapa 19.

Mapa 19 - Uso da terra no município de Morada Nova (2014 - 2023)



Fonte: Elaborado pela autora.

A análise integrada dos mapas de uso e cobertura da terra para o município, permite compreender as dinâmicas espaciais e temporais associadas às transformações antrópicas e naturais da paisagem. Os mapas fornecem informações essenciais sobre as classes: vegetação nativa, formação natural, agropecuária (pastagem, agricultura, floresta plantada e mosaico de agricultura), áreas não vegetadas (área urbana e outras áreas) e corpos hídricos, conforme representação padronizada nas legendas cartográficas.

O mapa apresenta os principais usos conforme classificação do projeto MapBiomass, e mostrando resultados preocupantes com relação a expansão da agropecuária e perda de vegetação nativa no município. Morada Nova é um município marcado por características climáticas e ambientais que favorecem a ocorrência da desertificação, especialmente devido ao uso inadequado do solo. Apresentando baixos índices pluviométricos, alta evapotranspiração e solos frágeis, o município tem condições que potencializam a degradação ambiental quando há práticas insustentáveis de uso (Costa; Oliveira, 2019).

Os resultados expressam que a vegetação nativa (verde escuro) permanece como a classe predominante ao longo dos dez anos analisados, especialmente nas regiões norte e noroeste do município. Esse dado é um indicativo da persistência de áreas da vegetação Caatinga em estágio mais conservado nessas regiões do município. Além disso, esse resultado corrobora com os dados da FUNCEME (2021), indicando que ocorre uma maior incidência de remanescentes de vegetação nativa em regiões menos propensas à pressão agrícola.

Entretanto, apesar de manter uma cobertura ampla, a vegetação nativa tem mostrado sinais de retração, principalmente nas bordas de áreas agropecuárias. Essa fragmentação e bordadura da vegetação nativa são indicativas de um processo de degradação ecológica progressiva, com perda de conectividade entre fragmentos vegetais (Araújo et al., 2017; Ferreira et al., 2018). A persistência de áreas de vegetação nativa é uma estratégia relevante para a regulação microclimática e a conservação dos recursos edáficos.

Já a classe de formação natural (verde claro), que pode incluir campos, arbustos e outras vegetações não florestais, tem apresentado oscilações discretas ao longo da série temporal. Em alguns anos (como 2016 e 2020), nota-se ligeiro aumento dessa classe, possivelmente associado a regenerações naturais temporárias ou mudanças sazonais detectadas na classificação. De modo geral, as formações naturais funcionam como zonas de transição entre a vegetação nativa e áreas antropizadas, sendo vulneráveis ao avanço da agropecuária extensiva (Souza, 2022).

As áreas destinadas à agropecuária (rosa claro, bege e amarelo) revelam a maior dinâmica de transformação no território em diversos períodos da série histórica analisada. Nos anos de 2014 a 2018, observa-se um aumento contínuo das áreas de pastagem e mosaicos agrícolas, especialmente na faixa central do município. Essa expansão está relacionada à disponibilidade hídrica no início da série e ao incentivo a cadeias produtivas bovinas e caprinas (IBGE, 2022). Vale salientar que a conversão de formações naturais e vegetação nativa em áreas de uso agropecuário é um fator amplamente documentado como indutor da degradação no semiárido (Santos et al., 2019).

De 2019 a 2023, nota-se uma tendência de estabilização e leve retração das áreas de agropecuária. Essa mudança é atribuída principalmente a fatores como redução da disponibilidade hídrica (períodos de seca entre 2019 e 2021), esgotamento do solo em áreas cultivadas, ou implementação de políticas ambientais locais (Almeida Teixeira; Oliveira; Oliveira Teixeira, 2021). Destaca-se que o uso do solo em Morada Nova tem sido historicamente pautado pela agropecuária extensiva, com predominância do sobrepastoreio e

da agricultura de subsistência, muitas vezes com a adoção de técnicas conservacionistas inadequadas (Silva; Leal, 2010).

A retirada da cobertura vegetal para expansão de áreas agrícolas e pastagens expõe o solo à erosão hídrica e eólica, principais agentes da desertificação local. Estudos realizados na região indicam que o desmatamento para cultivo de milho, feijão e mandioca, aliado ao manejo inadequado do solo, tem causado perda significativa da matéria orgânica e compactação do solo, reduzindo sua capacidade de infiltração e aumentando a vulnerabilidade à desertificação no município (Ferreira, 2018).

Além disso, a irregularidade das chuvas no semiárido de Morada Nova, com períodos prolongados de estiagem, agrava a degradação do solo, dificultando a recuperação natural da vegetação e favorecendo o avanço da desertificação (IBGE, 2022). A salinização e a compactação do solo também têm sido observadas em áreas irrigadas, decorrentes do uso inadequado da água (Costa, 2022).

Vale salientar, que foi possível identificar nos mapas zonas de transição agrícola ao sul do município, em áreas próximas aos corpos hídricos, um indicativo do uso de técnicas de irrigação em cultivos mais intensivos. Essa área de irrigação corresponde ao Perímetro Irrigado de Morada Nova, que constitui um dos maiores empreendimentos de irrigação pública implantados pelo Governo Federal no semiárido nordestino.

Com uma área total projetada superior a 10 mil hectares, o perímetro é dividido em lotes destinados à produção agrícola, contemplando tanto pequenos produtores familiares quanto empreendimentos empresariais. A principal fonte hídrica utilizada no sistema de irrigação é o Açude Banabuiú, cujas águas são captadas e distribuídas por meio de um sistema de canais, adutoras e estações de bombeamento. As principais culturas cultivadas são: banana, goiaba, melão, feijão e capim para forragem, sendo a fruticultura irrigada um dos principais vetores da geração de renda na região.

Contudo, sob uma ótica ambiental, a continuidade do perímetro ao longo prazo trará ao município consequências relacionadas ao uso sustentável da água, à salinização dos solos e à manutenção da cobertura vegetal nativa. Estudos recentes destacam a importância da adoção de tecnologias mais eficientes de irrigação, como o gotejamento, e de práticas conservacionistas para garantir a perenidade do projeto (Oliveira Magalhães, 2023).

Analisando as áreas não vegetadas (lilás), especialmente as urbanas, observa-se que se mantiveram estáveis e concentradas no centro-sul do município. Essa estabilidade espacial indica uma expansão urbana pouco expressiva, provavelmente limitada pela estrutura socioeconômica do município e pelo tipo de relevo local (Lima; Figliuolo, 2025). A presença

de áreas não vegetadas também está associada a solos expostos, estradas e superfícies degradadas, que contribuem para a elevação da temperatura no local (efeito de ilha de calor na região afetada) e para o escoamento superficial, agravando os processos erosivos (Costa; Oliveira, 2019).

Os corpos hídricos (azul), aparecem com contornos bem definidos e praticamente constantes ao longo da série. Sua permanência reflete a importância estratégica dessas reservas hídricas para a manutenção das atividades econômicas e para o abastecimento urbano. Contudo, a estabilidade espacial dos corpos hídricos não significa estabilidade volumétrica, os dados referentes aos reservatórios do município indicam flutuações no volume útil dos reservatórios durante o período, impactando diretamente a irrigação e a produção agrícola intensiva, especialmente entre 2014 e 2017.

A análise integrada desses resultados implica na sobreposição de áreas de agropecuária com zonas anteriormente ocupadas por vegetação nativa indica um padrão típico de expansão horizontal predatória, observado em muitos municípios do semiárido nordestino (Costa; Oliveira, 2019). Essa substituição de cobertura vegetal nativa por usos econômicos leva à perda de biodiversidade, degradação e redução da capacidade de infiltração da água no solo, o que pode tornar o município cada vez mais propenso à desertificação. Adicionalmente, o uso intensivo do solo em mosaico agrícola acarreta uma fragmentação significativa da paisagem, comprometendo os serviços ecossistêmicos e aumentando a suscetibilidade à desertificação (Vieira, 2015; Sousa Silva, 2017; Silva; Oliveira, 2017).

A análise multitemporal da cobertura e uso da terra em Morada Nova (CE) no período de 2014 a 2023 evidencia um cenário de relativa estabilidade nas áreas de vegetação nativa, embora estejam sob constante pressão antrópica. As maiores transformações observadas ocorreram nas áreas agropecuárias, que apresentaram uma crescente entre 2014 e 2018, entretanto apresentaram sinais de retração nos anos seguintes, indicando uma possível exaustão do solo ou mudanças no uso econômico da terra.

A constância dos corpos hídricos reforça sua importância estratégica para a subsistência local, enquanto as áreas urbanas permaneceram estáveis e concentradas. A dinâmica observada demonstra a necessidade de estratégias integradas de gestão ambiental, com foco na restauração de áreas degradadas e na conservação da vegetação nativa, elemento-chave para a resiliência ecológica do semiárido.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A desertificação é um processo complexo que atinge áreas com climas áridos, semiáridos e subúmidos secos, o que resulta na degradação dos solos, impulsionados principalmente por fatores naturais e antrópicos causando vulnerabilidades crescentes e visíveis aos sistemas ambientais e a população. Nesse contexto, esse estudo foi direcionado para a análise geoambiental do município de Morada Nova, inserido em um dos núcleos de ocorrência nas Áreas Susceptíveis à Desertificação definidas no semiárido cearense.

A análise geoambiental do município de Morada Nova por meio dos Índices Espectrais de Vegetação revela um território marcado por dinâmicas socioambientais complexas, em que os elementos naturais e as ações antrópicas se entrelaçam continuamente. Ao longo do período analisado observou-se a mudança expressiva em diversas regiões no município, o que evidencia tendências significativas em relação ao uso do solo e à saúde ambiental de Morada Nova. É evidente que os processos de intervenção antrópicos afetaram substancialmente a densidade da vegetação, com implicações para a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos. A retirada da cobertura vegetal não só impacta na paisagem, mas modifica e causa danos a toda a dinâmica geoambiental de um local.

Os índices espectrais de vegetação, como o NDVI e o SAVI são ferramentas eficazes para monitorar a saúde ambiental em regiões semiáridas como Morada Nova. Na última década (2014–2024), esses índices permitiram a identificação de áreas com maior vigor vegetativo, bem como zonas de degradação ambiental progressiva. Valores elevados de NDVI e SAVI indicam cobertura vegetal densa e saudável, estão associadas a áreas irrigadas, reservas naturais e regiões com menor pressão antrópica. Enquanto que os valores baixos são indicativos de degradação da vegetação, solo exposto, práticas agrícolas intensivas ou um intenso processo de urbanização.

Em síntese, o SAVI mostra-se superior ao NDVI para a análise de zonas semiáridas por reduzir a influência do solo exposto, aumentar a sensibilidade em áreas de vegetação rala e representar com maior fidelidade a dinâmica da cobertura vegetal em ambientes de alta variabilidade climática. Por essas razões, sua utilização é amplamente recomendada em estudos geoambientais voltados ao monitoramento da vegetação no semiárido brasileiro.

Vale salientar que a análise temporal desses índices evidenciou uma tendência ao declínio em determinadas áreas, o que reflete a intensificação da vulnerabilidade ambiental, especialmente nos limites de áreas urbanas e em zonas de uso agropecuário intensivo. A variação desses índices serve como um indicativo da resiliência dos ecossistemas locais frente

às mudanças climáticas e pressões antrópicas, sendo, portanto, um recurso crucial para o planejamento territorial e a prevenção de processos como a desertificação.

No que tange a esse contexto, a análise temporal dos índices espectrais de vegetação de Morada Nova revelou padrões significativos tanto sazonais quanto interanuais. Observa-se que, de forma consistente, ocorreu um maior vigor vegetativo no primeiro semestre, o que corresponde ao período chuvoso, seguido de redução acentuada na vegetação durante os períodos de estiagem no segundo semestre.

Em contrapartida, algumas áreas irrigadas apresentaram aumento na densidade da vegetação, sugerindo intervenções positivas em termos de manejo hídrico e uso do solo. Esses padrões refletem não apenas a influência do regime climático do semiárido, mas também as práticas de uso da terra, políticas públicas de convivência com o semiárido e intervenções tecnológicas, como sistemas de irrigação e reflorestamento localizado.

O processo de desertificação em Morada Nova tem sido impulsionado por uma combinação de fatores naturais e antrópicos. Dentre os principais fatores destacam-se o clima semiárido e variabilidade pluviométrica, o uso inadequado do solo, desmatamento e redução da vegetação nativa, crescimento urbano desordenado e a pobreza rural e baixa assistência técnica. Os fatores citados acima contribuem diretamente para a perda da biomassa vegetal do município que é refém da sua principal matriz econômica.

A economia local é baseada em uma das matrizes econômicas que mais contribuem para o processo de desertificação, a agropecuária. No entanto, verifica-se um processo de modernização seletiva da economia, com destaque para o setor de serviços, a agropecuária irrigada e as perspectivas de inserção em energias renováveis, como a eólica. Tais vetores demonstram a capacidade adaptativa do município diante dos desafios impostos por fatores naturais e estruturais.

Conclui-se que, Morada Nova se apresenta como um espaço em transição, onde as potencialidades precisam ser fortalecidas a partir de um modelo de desenvolvimento que respeite os limites ecológicos e promova inclusão social, justiça territorial e sustentabilidade a longo prazo. A integração de dados de sensoriamento remoto possibilita um monitoramento contínuo, ampliando a compreensão das dinâmicas da vegetação e de sua resposta aos fatores das mudanças climáticas. Esse estudo reforça a importância do uso de índices de vegetação como ferramentas para estratégias eficazes de gestão voltadas à preservação da vegetação em ambientes urbanos, contribuindo, assim, para um futuro mais sustentável para o município de Morada Nova e para o semiárido cearense.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Domínios morfoclimáticos do Brasil**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1969.
- AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Geografia física do Brasil: aspectos do meio natural**. São Paulo: Ateliê Editorial, 1953.
- AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Problemática da desertificação e da savanização no Brasil intertropical**. Geomorfologia, n. 53, p. 1-19, 1977. Tradução. Disponível em: https://biblio.fflch.usp.br/AbSaber_AN_1351576_ProblematicaDaDesertificacaoEDaSavanizacao.pdf. Acesso em: 14 mar. 2025.
- ABREU, Maria Uilma. Efeitos da seca de 2012 a 2016 na qualidade da água nos açudes estratégicos da bacia do Banabuiú–Ceará. **Conexões-Ciência e Tecnologia**, v. 15, p. e021002-e021002, 2021.
- ABBOTT, Russell. Emergence explained: getting epiphenomena to do real work. **Artificial Life**, Cambridge, v. 12, n. 1, p. 13–26, 2006.
- ADERALDO, Paulo Ítalo; PEREZ FILHO, Archimedes. Terraços fluviais no baixo curso do Rio Piranhas-Açu como contribuição geocronológica holocênica. **Revista Equador**, Teresina, v. 9, n. 3, p. 178–188, 2020.
- ALBUQUERQUE, Antônia Márcia; RIBEIRO, José Renato de Castro; SALES, Maria Cléa Lima. A aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da área de influência direta do Açude Castanhão. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, v. 21, n. 2, p. 674–685, 2019. Disponível em: <https://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/602>. Acesso em: 31 mar. 2025.
- ALBUQUERQUE, Daniela Sousa *et al.* Cenário da desertificação no território brasileiro e ações de combate à problemática no Estado do Ceará, Nordeste do Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 55, p. 673–696, 2020.
- ALBUQUERQUE, Francisco; XAVIER, Rafael; SUERTEGARAY, Lúcia Helena. **Geomorfologia e processos erosivos em encostas do semiárido brasileiro**. Fortaleza: Edições UFC, 2024.
- ALMEIDA, Fernando Flávio Marques de. O cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 7, n. 4, p. 349–364, 1977.
- ALMEIDA, Fernando Flávio Marques de *et al.* Províncias estruturais brasileiras. In: ALMEIDA, Fernando Flávio Marques de; HASUI, Yociteru (org.). **O Pré-Cambriano do Brasil**. São Paulo: Edgard Blücher, 1981. p. 1–25.
- ALMEIDA, Fernando Flávio Marques de *et al.* Evolução tectono-metamórfica da Província Borborema: evidências petrográficas e estruturais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 27, n. 4, p. 381–400, 1997.
- ALMEIDA TEIXEIRA, Tatiane Maria de; OLIVEIRA, Vlândia Pinto Vida de; OLIVEIRA TEIXEIRA, Ana Cristina de. Fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio São João

de Tiba, extremo sul da Bahia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 4, p. 1941–1956, 2021.

AMBRÓSIO, Lais Lima *et al.* Capacidade adaptativa às secas visando segurança hídrica: uma revisão sistemática. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 06, p. 4554-4574, 2024.

AMORIM, Maria Cristina de Carvalho Tavares. Sistemas ambientais e a análise integrada da paisagem. **Revista Geografia**, Londrina, v. 21, n. 2, p. 67–84, 2012.

ANA. Indicadores de qualidade - Índice do Estado Trófico (IET). Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores.aspx>. Acesso em: 03 mar. 2019.

ANDERSON, James Richard. **A land use and land cover classification system for use with remote sensor data**. US Government Printing Office, 1976.

ANDRADE, Gilberto Osório de. **Considerações sobre a morfologia do Nordeste brasileiro**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Produção Mineral, 1958.

ARARIPE, Francisco Antônio Alves de Lima *et al.* Análise de componente principal do RAPPAM em unidades de conservação de Caatinga na Depressão Sertaneja Setentrional, Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 68121–68138, 2020.

ARAÚJO, Francisco de Assis de *et al.* **Desertificação no semiárido brasileiro: causas naturais e antrópicas**. Fortaleza: FUNCEME, 2017.

ARAÚJO, Hugo Leonardo; DUARTE, Sérgio Nascimento; ARAÚJO, Elba Lúcia. Análise de índices de vegetação NDVI, SAVI e índice de área foliar (IAF) para comparação da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do rio Brígida – PE, 2022.

ART, William H. **Dicionário de ecologia e ciências ambientais**. São Paulo: UNESP; Melhoramentos, 1998. 583 p.

ASSIS, Antônio Vitor *et al.* Compreensão dos processos erosivos acelerados nos terraços fluviais semiáridos do Baixo Jaguaribe – Ceará através da análise de uso/ocupação da terra. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 1, p. 366–393, 2024.

BARBOSA, Tiago da Costa Silva; OLIVEIRA, Vlândia Pinto Vidal de. Áreas suscetíveis à desertificação no Ceará: aspectos ambientais dos municípios de Tauá-CE e Irauçuba-CE. Susceptible areas to desertification in Ceará: environmental aspects of the municipalities of Tauá-CE and Irauçuba-CE. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 7, 2022.

BARRETO, Lucas Lopes; CEZÁRIO, Ana Rosa Viana; OLIVEIRA, Vlândia Pinto Vidal de. O CONCEITO DE DESERTIFICAÇÃO: CONSTRUÇÃO HISTÓRICA, CRÍTICAS E POTENCIALIDADES. **Revista Verde Grande: Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 1, n. 02, p. 67-80, 2019.

BARROS, Lilian Rodolfo. **O Índice do estado trófico e sua adaptação para os sistemas lênticos do semiárido cearense**. 2013. 85 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão de Recursos Hídricos)-Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

BEHNKE, Roy; MORTIMORE, Michael. Introduction: The end of desertification?. **The end of desertification? Disputing environmental change in the drylands**, p. 1-34, 2016.

BERTRAND, Georges. **Géographie physique: méthodes et applications**. Paris: Armand Colin, 1968.

BERTRAND, Georges. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Cadernos de Geografia**, Rio Claro, n. 13, p. 1–27, 1971.

BERTRAND, Georges. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. In: ROSS, Jurandy Luciano Sanches (org.). **Geografia do Brasil**. 4. ed. São Paulo: EDUSP, 2006. p. 137–162.

BERTRAND, Georges; BERTRAND, Claude. Uma geografia transversal e de travessias: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades. **Maringá: Massoni**, v. 360, 2006.

BEZERRA, H.; COSTA, L.; MORAIS, F.; *et al.* **Gestão de recursos hídricos e impactos ambientais em bacias cearenses**. Fortaleza: Edições UFC, 2019

BEZERRA, Juscelino Eudâmidas. **Agronegócio e a nova divisão social e territorial do trabalho agropecuário formal no Nordeste**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2008.

BIGARELLA, João José. **Geografia física do Brasil: ecossistemas e paisagens naturais**. São Paulo: Editora Nacional, 1975.

BOLFE, E. L. Geotecnologias aplicadas à gestão de recursos naturais. **III Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**, v. 3, 2006.

BOLUDA, Rafael; DE CARRASCO, Carlos Gil; DE OLIVEIRA, Vládía Pinto Vidal de. La hidroclimatología e impactos ambientales: degradación ambiental y desertificación. **Mercator-Revista de Geografia da UFC**, v. 4, n. 7, p. 111-120, 2005.

BRANDÃO, N. F.; FREITAS, S. R. **Geomorfologia e unidades de relevo do semiárido brasileiro**. Fortaleza: Edições UFC, 2014.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 470, 09 jan. 1997.

BRASIL. Ministério da Economia. **Plano nacional de desenvolvimento sustentável**. Brasília: Governo Federal, 2020.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização e Diversidade. **Formando com-vida: construindo Agenda 21 na escola**. Brasília: MEC, 2004.

BRASIL. **Relatório Nacional de Desenvolvimento Sustentável**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2017.

BRASIL. **Relatório sobre pesca artesanal e piscicultura no Brasil**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2023.

BRITO, Fausto. O deslocamento da população brasileira para as metrópoles. **Estudos avançados**, v. 20, p. 221-236, 2006.

CAI, Meng Yang *et al.* An adaptive spatiotemporal tensor reconstruction method for GIMMS-3g+ NDVI. **Remote Sensing of Environment**, v. 316, p. 114511, 2025.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Conceitos básicos em ciência da geoinformação. In: CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira (org.). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 1–36.

CARRARD, Naomi; WILLETTS, Juliet. Water security: definitions, challenges and implications for policy. **Water Policy**, London, v. 19, n. 1, p. 1–17, 2017.

CAVALCANTE, José Carvalho. Limites e evolução geodinâmica do sistema Jaguaribeano, Província Borborema, Nordeste do Brasil. 1999.

CEARÁ. **Indicadores socioeconômicos dos municípios cearenses**. Fortaleza: Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), 2022.

CEARÁ. **Energia eólica no estado do Ceará**: potenciais e projetos em desenvolvimento. Fortaleza: Governo do Estado do Ceará, 2021.

CEZÁRIO, Francisco. **Políticas públicas e desenvolvimento humano local**: desafios e perspectivas no semiárido brasileiro. Recife: Editora UFPE, 2019.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

COELHO, Victor Hugo Rodrigues *et al.* Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 64-72, 2014.

COGERH – COMPANHIA DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CEARÁ. **Bacias hidrográficas do Ceará**: levantamento e gestão. Fortaleza: COGERH, 1997.

COGERH – COMPANHIA DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CEARÁ. **Relatório de disponibilidade hídrica e reservatórios do Ceará**. Fortaleza: COGERH, 2025.

CONTI, José Bueno. A desertificação como tema de estudo da geografia física. **Boletim paulista de Geografia**, n. 63, p. 13-22, 1986.

CONTI, José Bueno. O conceito de desertificação. **CLIMEP-Climatologia e Estudos da Paisagem**, v. 3, n. 2, 2008.

COSTA, Rafael da Silva *et al.* Análise multitemporal da vegetação na bacia do Rio Doce usando sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 2, p. 233-250, 2022.

COSTA, Luís; OLIVEIRA, Vlândia Pinto Vidal de. Sistemas ambientais, vulnerabilidade ambiental e uso e ocupação na sub-bacia hidrográfica do riacho Santa Rosa–Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física, Recife**, v. 12, n. 4, p. 1525-1537, 2019.

COUTINHO, Luiz Mauro. O conceito de bioma. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, p. 13–23, 2006.

CRANDALL, Reuben Smith. **Preliminary survey of Brazilian physiography**. New York: American Geographical Society, 1910.

CURRIE, Erin et al. Action-oriented research in social-ecological systems: embracing complexity and uncertainty. **Sustainability Science**, Tokyo, v. 18, n. 2, p. 455–469, 2023.

DEERING, Donald W. **Rangeland reflectance characteristics measured by aircraft and spacecraft sensors**. 1978. Tese (Doutorado) – Texas A & M University, College Station, 1978.

DEMARCHI, Júlio César; PIROLI, Edson Luís; ZIMBACK, Célia Regina Lopes. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo-SP usando imagens Landsat-5. 2011.

DIAS, Eduardo Marques da Silva; PESSOA, Zoraide Souza; TEIXEIRA, Rodrigo Lima Pimentel. Governança adaptativa e segurança hídrica em contexto de mudanças climáticas no semiárido. **Mercator**, Fortaleza, v. 21, p. e21025, 2022.

DIAS, Rafael Lopes; PÉREZ FILHO, Archimedes. Evolução das coberturas superficiais holocênicas em baixos terraços fluviais da bacia hidrográfica do rio Corumbataí-SP por meio de datação absoluta por luminescência opticamente estimulada (LOE). **Geografia**, v. 41, n. 3, p. 419–428, 2016.

EMBRAPA. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Ceará**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1973.

FEIL, Alexandre André; SCHREIBER, Dusan. Sustainability and sustainable development: unraveling overlays and scope of their meanings. **Cadernos EBAPE.BR**, v. 15, p. 667–681, 2017.

FEIL, Alexandre André; SCHREIBER, Dusan; TUNDISI, José Galizia. A complexidade do sistema ambiental e humano e sua relação com a sustentabilidade. **Sustentabilidade em Debate**, v. 6, n. 1, 2015.

FEIL, Alexandre André; SCHREIBER, Dusan; TUNDISI, José. Sustentabilidade ambiental e sistemas socioecológicos: uma abordagem sistêmica. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 4, n. 2, p. 45–62, 2015.

FEIO, António. Notas sobre a evolução geomorfológica do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, Recife, 1954.

FERREIRA, André Luiz *et al.* Monitoramento da umidade do solo usando índices espectrais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 26, n. 1, p. 32–44, 2018.

FORMIGONI, Marcos Henrique; XAVIER, Alexandre Cândido; LIMA, José Silva Soares. Análise temporal da vegetação na região do Nordeste através de dados EVI do MODIS. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 1, p. 1–8, 2011.

FUNCEME – FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Atlas do Ceará: geologia e geomorfologia**. Fortaleza: FUNCEME, 2009.

FUNCEME – FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Atlas eletrônico dos recursos hídricos do Ceará**. Fortaleza: FUNCEME, 2012. Disponível em: <https://atlas.funceme.br>. Acesso em: 5 maio 2025.

FUNCEME – FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Climatologia do Estado do Ceará**. Fortaleza: FUNCEME, 2022. Disponível em: <https://www.funceme.br>. Acesso em: 21 abr. 2025.

GALVAN, Marcelo S. *et al.* Sensoriamento remoto e ajuste de índices espectrais para avaliação da vegetação em solos arenosos. **Revista de Geociências**, v. 35, n. 3, p. 129–145, 2020.

GIULIETTI, Ana Maria *et al.* Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. In: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004.

GONZALEZ, Rafael C.; WINTZ, Paul. **Digital image processing**. Reading: Addison-Wesley, 1987.

HASELBACH, Liv M. *et al.* **Life cycle assessment of buildings**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2010.

HUGGETT, Richard John. **System analysis in geography**. Oxford: Clarendon Press, 1980.

HOLANDA, Diego Carvalho. Uma análise espaço-temporal da vegetação no município de Crateús (Ceará). **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 6, n. 1, 2025.

HUETE, Alfredo Raul. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, p. 295–309, 1988.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Biomass do Brasil: Caatinga**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 maio 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base de informações geográficas e estatísticas do município de Morada Nova**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 6 maio 2025.

IMESON, Anton. Introdução geral à degradação da terra e à desertificação. **Lucinda, Land Care In Desertification Affected Areas, From Science Towards Application, série do fascículo A, nº1**, 2006.

JESUS, Eliana Nascimento de *et al.* Práticas agroecológicas e a sustentabilidade do semiárido brasileiro. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 7, n. 2, p. e 69355, 2024.

KER, João Carlos *et al.* **Solos tropicais: morfologia, gênese e classificação**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2012.

KING, Cecil Arthur Murray. **Techniques in geomorphology**. London: Edward Arnold, 1953.

KÖPPEN, Wladimir Peter. Das geographische System der Klimate. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Handbuch der Klimatologie**. Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1936.

LEAL, Inara Roberta; TABARELLI, Marcelo; SILVA, José Maria Cardoso da. Ecologia e conservação da Caatinga. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (org.). **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003. p. 3–28.

LEITE, José Carlos; BEZERRA, Francisco Cezar; SANTOS, Maria Eduarda dos. Tecnologias de sensoriamento remoto e apoio à tomada de decisão para a sustentabilidade ambiental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 18, n. 3, p. 412–429, 2025.

LEITE, Maria José de Holanda *et al.* Geografia e sustentabilidade no semiárido: desafios socioeconômicos e ambientais no RN. **Revista Caribeña de Ciencias Sociales**, v. 14, n. 3, p. e4470, 2025.

LEMOS, José de Jesus Sousa. **Vulnerabilidades induzidas no semiárido**. 2020.

LIEN, Gudbrand; HARDAKER, J. Brian; FLATEN, Ola. Risk and economic sustainability in agriculture. **Journal of Agricultural Economics**, Oxford, v. 58, n. 1, p. 1–19, 2007.

LIMA, Edmilson Alves de; BARROS, Maria José Gomes de. Mapeamento hidrogeológico da folha Morada Nova – Ceará. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, n. 1, p. 1–10, jul. 1998. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22265>. Acesso em: 4 maio 2025.

LIMA, José Roberto de; MAGALHÃES, Antônio Rocha. O combate à desertificação para além das terras secas: conceitos e contradições no Brasil. 2024.

LIMA, José Wellington Silva; FIGLIOULO, Maria Marcia Cavalcante Moura. Construção off-site como alternativa sustentável para periferia urbana de Morada Nova-CE. **Seminário de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo**, v. 1, 2025.

LIMA, Maria Marlene Pereira; SILVA, Luís da. Análise da vulnerabilidade natural da bacia hidrográfica do rio Banabuiú com apoio de geotecnologia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 4, p. 1442–1457, 2018.

LIMA, Patrícia Verônica Pinheiro Sales *et al.* A propensão à degradação ambiental na mesorregião de Jaguaribe no Estado do Ceará. 2008.

LIU, William Tai Hsiung. **Aplicações de sensoriamento remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

LOFTUS, Alexander John; SOUSA, Ana Carolina Araújo de. (In) segurança hídrica: garantindo o direito à água. **GEOUSP – Espaço e Tempo (Online)**, v. 25, n. 2, 2021.

LOPES, Francisco Barros *et al.* Modelagem da qualidade das águas a partir de sensoriamento remoto hiperespectral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. suppl., p. 13–19, 2014.

LORENZZETTI, Jorge Alberto. **Princípios físicos de sensoriamento remoto**. São Paulo: Blucher, 2015.

MACHADO, Carlos Augusto *et al.* Uso de índices espectrais para monitoramento da vegetação da Caatinga. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 47, p. 189–206, 2019.

MAGALHÃES, José Wellington Oliveira. **Recursos hídricos subterrâneos em aluvião no semiárido nordestino**: estudo de caso no Perímetro Irrigado Morada Nova, CE. 2021. 44 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/58882>. Acesso em: 27 abr. 2025.

MANKIW, N. Gregory. **Introdução à economia**. 6. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

MANTOVAN, Luiz Henrique; LELIS, Lucas Silva. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) aplicado ao monitoramento da cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, São José dos Campos, v. 5, n. 1, p. 1–12, 2023.

MARENGO, José Antonio *et al.* Variabilidade climática no Nordeste do Brasil: causas e consequências. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 33, n. 3, p. 369–381, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-7786333020>.

MARTINS, Samuel Ferreira da Silva *et al.* Estudo do fogo em regiões semiáridas: uma revisão de literatura. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 18, n. 1, p. 234–260, 2025.

MASCARENHAS, Luiz Marcelo Almeida; FERREIRA, Marcos Eduardo; FERREIRA, Laerte Guimarães. Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na bacia do rio Araguaia. **Sociedade & Natureza**, v. 21, p. 5–18, 2009.

MEDEIROS, Antônio Medeiros; SANTOS, Hélio Santos. **Dinâmica ambiental e sustentabilidade no semiárido brasileiro**. Fortaleza: Edições UFC, 2017.

MEIRELLES, Sérgio Tadeu. Fitogeografia: vegetação e ambiente no Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 2, n. 1, p. 11–25, 2004.

MEIS, Maria. **Fundamentos de geomorfologia e análise ambiental**. São Paulo: Editora USP, 2012.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Clima e variabilidade pluviométrica no semiárido nordestino**. Fortaleza: Edições UFC, 2007.

MERCHANT, John William. Remote sensing of the environment: an Earth resource perspective. **Cartography and Geographic Information Science**, v. 27, n. 4, p. 311, 2000.

MERTES, Carla. **Metodologias de análise integrada de paisagens e sistemas ambientais**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2012.

MORAES, Ana Paula; WANDERLEY, Maria Nazareth Baudel; DELGADO, Guilherme Costa. Conflitos pelo uso da água e vulnerabilidade socioambiental no semiárido brasileiro. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 61, p. 89–108, 2024.

MORAES, Ennio Candotti. Fundamentos de sensoriamento remoto. In: INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2002.

- MORAES, José; LIMA, Paulo. **Geomorfologia e caracterização ambiental no semiárido brasileiro**. Recife: Editora UFPE, 1996.
- MOREIRA, Maurício Alves; GATTO, Silvio. **Unidades de relevo e superfícies residuais do Nordeste**. Fortaleza: Edições UFC, 1981.
- MORELLI, John. Environmental sustainability: a definition for environmental professionals. **Journal of Environmental Sustainability**, Normal, v. 1, n. 1, p. 1–10, 2011.
- MOURA, Paulo Thiago da Silva; FRANÇA, Lucas Farias. Refining the distribution of the White Woodpecker (*Melanerpes candidus*) in the Caatinga biome. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 22, p. 32–34, 2014.
- NASCIMENTO, Bruno Nascimento. Sensoriamento remoto como ferramenta para análise e monitoramento de unidades de conservação no Brasil. In: **Editora Científica Digital eBooks**. Fortaleza: Editora Científica Digital, 2024. p. 145–154.
- NIMER, Edmon. **Climatologia do Brasil**. São Paulo: IBGE, 1989.
- NOBRE, Carlos Afonso *et al.* Clima e recursos hídricos no semiárido brasileiro. In: MOLION, Luiz Carlos Baldicero (org.). **Águas do Semiárido: gestão e sustentabilidade**. Brasília: Embrapa, 2016. p. 43–60.
- NOVAES, Washington Novaes. Desertificação: degradação ambiental e pobreza. In: UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **World atlas of desertification**. London: Edward Arnold, 1992. p. 7–15.
- NUNES, Paulo Nunes. **Uso e cobertura da terra no Nordeste brasileiro: impactos ambientais e sociais**. Recife: Editora UFPE, 2012.
- ODUM, Eugene Pleasants. **Fundamentos de ecologia**. 6. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2006.
- OLIVEIRA, Ana Luiza Vieira de; COSTA, Danilo Carvalho. Desenvolvimento sustentável na Caatinga: um estudo das oportunidades das patentes verdes para a conservação e inovação. **Revista Lampiar**, v. 4, n. 1, 2025.
- OLIVEIRA MAGALHÃES, José Wellington *et al.* Recursos hídricos subterrâneos em aluvião no semiárido nordestino: estudo de caso no Projeto de Irrigação Morada Nova, CE. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 2, p. e22212240161, 2023.
- OLIVEIRA, Sebastião Barros Pereira de *et al.* Uso de sensoriamento remoto para mapeamento de áreas susceptíveis à desertificação na região semiárida do Brasil. 2014.
- OLIVEIRA, Teógenes Senna de *et al.* Aptidão agrícola das terras do município de Morada Nova, CE. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 1, p. 55–62, 2017.
- OLIVEIRA, Vlândia Pinto Vidal de. Indicadores biofísicos de desertificação, Cabo Verde/África. **Mercator**, Fortaleza, v. 10, n. 22, p. 147–168, 2011.

OLIVEIRA, Vlândia Pinto Vidal de. Sistemas ambientais de Santiago – Cabo Verde (África): indicadores biofísicos de desertificação. In: Cabo Verde: análise socioambiental e perspectivas para o desenvolvimento sustentável em áreas semiáridas. Fortaleza: Edições UFC, 2012.

PACHÊCO, Andréa Pacheco; FREIRE, Nádia Cristina Ferreira; BORGES, Utaiguara da Nóbrega. A transdisciplinaridade da desertificação. **Geografia (Londrina)**, Londrina, v. 15, n. 1, p. 5–34, 2006.

PAIVA, Paulo Vinícius Vieira. **Análise econômico-social dos principais sistemas de produção no perímetro irrigado Morada Nova, Ceará.** 2019.

PARTRIDGE, Timothy Charles; MAUD, Ronald Raymond. **Geomorphology and landscape evolution in southern Africa.** Johannesburg: University of the Witwatersrand Press, 1990.

PEREIRA, Eduardo Pereira. Geologia e recursos minerais das unidades alóctones e para-autóctones do Maciço de Morais. In: SEMINÁRIO SOBRE OS RECURSOS NATURAIS DO NORDESTE TRANSMONTANO. Bragança: Escola Superior de Educação, 1991.

PEREIRA FILHO, Antônio José Pereira. **Sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento ambiental.** São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

PEREZ-MARIN, Aldrin Martin Perez-Marin *et al.* Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, v. 17, n. 34, p. 87–106, 2012.

PINHEIRO, Maria Socorro Maia. **Efeitos da instabilidade pluviométrica sobre a produção de lavouras de sequeiro no semiárido do estado do Ceará:** casos de Limoeiro do Norte e Morada Nova. 2019.

PINHEIRO, Raimundo Alves Bezerra; GOMES NETO, Antônio Oliveira; GUERRA, Maria de Fátima. Processo de degradação ambiental/desertificação e a pecuária no Distrito de Feiticeiro – Município de Jaguaribe/Ceará. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 8., 2009.

PINTO, Luiz. **Aspectos climáticos e variações pluviométricas no Nordeste brasileiro.** Recife: Editora UFPE, 2018.

RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais:** folha Ceará. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 1987.

RAMBO, Balduino. **A fisionomia do Rio Grande do Sul.** 3. ed. São Leopoldo: UNISINOS, 1983.

RESENDE, Fernando; ALMEIDA, Ricardo; PEREIRA, Luís. **Caracterização de solos aluviais e sua fertilidade natural no semiárido brasileiro.** Belo Horizonte: Editora UFMG, 2022.

RESENDE, Mauro *et al.* **Pedologia:** base para distinção de ambientes. 6. ed. Lavras: UFLA, 2014.

REYNOLDS, Michael. Science, politics and environmental knowledge: bridging cultures of understanding. **Environmental Policy and Governance**, Hoboken, v. 20, n. 4, p. 251–262, 2010.

RIBEIRO ANDRADE, José Henrique; MAIA, Celsemy Eleutério. Avaliação dos processos de erosão de margens em rios semiáridos: estudo na sub-bacia do Baixo Jaguaribe – Ceará – Brasil. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 37, n. 3, 2019.

ROCHA, Wagner Silva; SANTOS, Sérgio Augusto dos. Vulnerabilidade ambiental e hídrica em bacias hidrográficas semiáridas: dinâmica, riscos e conservação. **Revista Ouricuri**, v. 15, n. 1, p. 3–25, 2025.

RODRÍGUEZ, José Manuel Mateo; SILVA, Edson Vicente da; CAVALCANTI, Agostinho Paula Brito. **Geocologia das paisagens: fundamentos e aplicações**. 2. ed. Fortaleza: Edições UFC, 2022.

ROGAN, John; CHEN, Dong. Remote sensing technology for mapping and monitoring land-cover and land-use change. **Progress in Planning**, v. 61, n. 4, p. 301–325, 2004.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Geografia física e análise ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches *et al.* Macroformas do relevo da América do Sul. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 38, p. 58–69, 2019.

ROUSE JR., John William *et al.* Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington, DC. **Proceedings...** Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration (NASA), 1974. v. 1, p. 309–317.

ROUSE JR., John William *et al.* Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington, DC. **Proceedings...** Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration (NASA), 1973.

RUIZ, Manuel; OLIVEIRA, Francisco; SANTOS, Antônio *et al.* **Gestão ambiental e uso sustentável da água no semiárido brasileiro**. Recife: Editora UFPE, 2017.

SÁ, Ivanildo Bezerra de. **Desertificação no semiárido brasileiro: conceitos, causas e consequências**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010.

SÁ, Ivanildo Bezerra de. **Geologia, petrologia e geocronologia dos augen gnaisses da Faixa Orós (CE)**. 1991. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

SÁ, Ivanildo Bezerra de. Caracterização petrográfica e geoquímica de augen gnaisses da Faixa Orós, Ceará. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 189–204, 1995.

SÁ, Ivanildo Bezerra de. Geocronologia U-Pb em zircão de litotipos félsicos da região de Jaguaribe (CE) e implicações tectônicas. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 145–158, 1997.

SÁ, José Maurício de. **Evolution géodynamique de la ceinture protérozoïque d'Orós, Nord-Est du Brésil**. 1991. Tese (Doutorado) – Université Henri Poincaré – Nancy 1, Nancy, 1991.

SÁ, José Maurício de *et al.* Geochemistry and geochronology of pre-Brasiliano rocks from the transversal zone, Borborema Province, Northeast Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 14, n. 8, p. 851–866, 2002.

SANDOVAL-ESCOBAR, Martha; ORTIZ-RAMÍREZ, Juan Carlos. Educación ambiental: problemas y didáctica para el cambio del comportamiento. **Revista Logos Ciencia & Tecnología**, v. 17, n. 1, 2025.

SANTOS, Gilberto Ferreira dos; PINHEIRO, Adilson. Transformações geomorfológicas e fluviais decorrentes da canalização do rio Itajaí-Açu na divisa dos municípios de Blumenau e Gaspar (SC). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 3, n. 1, 2002.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos; PINHEIRO, Maria. **Caracterização de solos derivados de calcários no Nordeste do Brasil**. Recife: Editora UFPE, 2002.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos, *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 8. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2022.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos, *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, Humberto; PEREIRA, Marcos; LIMA, João. **Fertilidade e características químicas de solos do semiárido brasileiro**. Recife: Editora UFPE, 2021.

SANTOS, João Victor Silva dos, *et al.* Análise temporal da degradação ambiental e recuperação da vegetação por sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, São José dos Campos, v. 4, n. 2, p. 95–112, 2020.

SANTOS, Valter Cardoso Viana dos, *et al.* Caracterização geomorfológica dos macrocompartimentos de relevo no Nordeste Setentrional brasileiro. **Cadernos de Ensino, Ciências & Tecnologia**, v. 1, n. 2, p. 332–344, 2019.

SCHOWENGERDT, Robert A. Schowengerdt. **Remote sensing: models and methods for image processing**. 3. ed. Burlington: Elsevier, 2006.

SILVA NETO, José Osmar *et al.* Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental nos municípios de Fortim, Aracati e Icapuí – Ceará, Brasil. **Revista GeoUECE**, v. 8, n. 14, p. 273–283, 2020. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/GeoUECE/article/view/1472>. Acesso em: 31 mar. 2025.

SILVA, Érika Gomes Brito da; OLIVEIRA, Vlândia Pinto Vidal de. Identificação das áreas susceptíveis à desertificação no estado do Ceará: antecedentes cartográficos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 4, p. 1269–1280, 2017.

SILVA, Francisco Pereira da Silva; CASTRO, Francisco Carlos de Castro; CRUZ JUNIOR, Antônio Gomes da Cruz Júnior. Processo de desertificação e perda de diversidade biológica no semiárido brasileiro. **Revista Ouricuri**, v. 14, edição especial 02, p. 3–11, 2024.

SILVA, José Maria Cardoso da Silva; LEAL, Inara Roberta Leal. Biogeografia, padrões e processos. In: LEAL, Inara Roberta Leal; TABARELLI, Marcelo Tabarelli; SILVA, José Maria Cardoso da Silva (org.). **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2010. p. 29–42.

SILVA, João Silva; PEREIRA, Luiz Pereira; ALMEIDA, Ricardo Almeida *et al.* **Dinâmica ambiental e solos no semiárido brasileiro**. Fortaleza: Edições UFC, 2020.

SILVA, José Rodrigues da Silva; MOURA, Raimundo Moura. **Solos do semiárido brasileiro**: características, potencialidades, limitações e uso sustentável. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), 2010.

SILVA, João Teixeira da Silva *et al.* Análise comparativa entre NDVI e SAVI em regiões semiáridas. **Geociências**, v. 40, n. 4, p. 456–472, 2021.

SILVA, Luís Henrique Alves da Silva; FREITAS, Ana Paula Freitas; BEZERRA, José Marcos Bezerra. Gestão integrada de recursos hídricos no semiárido nordestino: desafios e perspectivas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 25, n. 1, p. 1–15, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbrh>. Acesso em: 5 maio 2025.

SILVA, Severino Marcos Oliveira da Silva; SOUZA FILHO, Francisco de Assis de Souza Filho; AQUINO, Sérgio Henrique Silva de Aquino. Alocação de custos e a cobrança pelo uso da água no estado do Ceará. 2015.

SILVA, Sebastião Teixeira Alves da Silva *et al.* Mapeamento da evapotranspiração na bacia hidrográfica do baixo Jaguaribe usando técnicas de sensoriamento remoto. 2009.

SILVA, Tiago Silva; GALVÍNCIO, Josiclêda Domiciano Galvêncio; OLIVEIRA, Rafael Oliveira. **A influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) na distribuição pluviométrica do Nordeste brasileiro**. Fortaleza: Edições UFC, 2017.

STIGLITZ, Joseph Eugene Stiglitz; SEN, Amartya Sen; FITOUSSI, Jean-Paul Fitoussi. **Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress**. Paris: Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress, 2010.

SOARES, Daniela Batista Soares. **Degradação ambiental no semiárido pernambucano: contribuição ao estudo da desertificação**. 2012.

SOTCHAVA, Viktor Borisovich Sochava. O estudo dos geossistemas. **Boletim de Geografia Teorética**, Rio Claro, v. 7, n. 13, p. 1–51, 1977.

SOUSA, Maria Lúcia Mendes de; OLIVEIRA, Vlândia Pinto Vidal de. Análise ambiental como base ao zoneamento ecológico-econômico na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo, Ceará, Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, p. 1–11, 2011.

SOUSA, Marcos Pereira de *et al.* Avanços e aplicações de drones na gestão de recursos naturais e monitoramento ambiental no semiárido brasileiro. *Revista de Gestão e Secretariado*, v. 15, n. 7, p. e4030, 2024.

SOUSA SILVA, Isabela Araújo de. Núcleos de desertificação do Nordeste brasileiro: suscetibilidade e dinâmica pluviométrica. In: **Os desafios da geografia física na fronteira do conhecimento**. v. 1, p. 1768–1776, 2017.

SOUZA, Luiz; CIRILO, José Almir. **Impactos do uso agrícola sobre bacias hidrográficas no semiárido brasileiro**. Recife: Editora UFPE, 2006.

SOUZA, Luiz; GOMES, Paulo. **Radiação solar e clima no semiárido brasileiro**. Recife: Editora UFPE, 2012.

SOUZA, Marcos José Nogueira de; OLIVEIRA, Vlândia Pinto Vidal de; GRANGEIRO, Carlos Magno Monteiro. Análise geoambiental. In: ELIAS, Denise Elias (org.). 2002.

SOUZA, Marcos José Nogueira de; SANTOS, José Oliveira dos; OLIVEIRA, Vlândia Pinto Vidal de. Sistemas ambientais e capacidade de suporte na bacia hidrográfica do rio Curu – Ceará. **Revista Continentes**, n. 1, p. 119–143, 2017. Disponível em: <https://revistacontinentes.com.br/index.php/continentes/article/view/10>. Acesso em: 4 dez. 2025.

SOUZA, Renato Almeida; RIBEIRO, Carlos Mendes Silva. Clima e recursos hídricos no semiárido do Nordeste brasileiro. **Revista GeoNordeste, Aracaju**, v. 32, n. 1, p. 110–126, 2021.

SOUZA, Ricardo. **Caracterização de solos e dinâmica ambiental no Nordeste brasileiro**. Recife: Editora UFPE, 2022.

STIGLITZ, Joseph Eugene; SEN, Amartya; FITOUSSI, Jean-Paul. **Relatório da Comissão sobre a Medição do Desempenho Econômico e do Progresso Social**. Paris: Comissão Stiglitz-Sen-Fitoussi, 2010.

STORANI, Diego Luiz; PEREZ-FILHO, Archimedes. Relações relevo-solos na planície de inundação do rio Mogi Guaçu, SP. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 5, p. 1721–1728, 2012.

TAVARES JÚNIOR, Sebastião de Souza *et al.* Caracterização litoquímica e geocronologia Rb-Sr das rochas granitóides e ortognaisses da região de Santa Quitéria–Sobral, noroeste do Ceará. 1992.

TEIXEIRA, Zoraide Almeida *et al.* Monitoramento dos níveis estáticos de poços do Perímetro Irrigado de Morada Nova – Ceará, Brasil. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, n. 1, p. 1–12, set. 2008. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23788>. Acesso em: 4 maio 2025.

TEIXEIRA, Zoraide Almeida; SOUZA, Antônio Luiz Marques de; ALBUQUERQUE, Francisco Roberto Barros de. Monitoramento do lençol freático do Perímetro Irrigado de Morada Nova, Ceará, Brasil. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, n. 1, p. 1–8, dez. 2013.

Disponível em: <https://aguassubterraneas.emnuvens.com.br/asubterraneas/article/view/27522>. Acesso em: 4 maio 2025.

TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Gestão da água no Brasil**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2001.

UNITED NATIONS CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION (UNCCD). **United Nations Convention to Combat Desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa**. Paris: United Nations, 1994.

VASCONCELOS SOBRINHO, João de. **Metodologia para identificação de processos de desertificação**: manual de indicadores. Recife: SUDENE, 1974.

VELOSO, Henrique Pimenta; RANGEL-FILHO, Antônio Luiz Rodrigues; LIMA, Jorge Carlos Alvarenga. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991.

VIEIRA, Rita de Maria Seabra Pacheco. **Susceptibilidade à degradação/desertificação no semiárido brasileiro**: tendências atuais e cenários decorrentes das mudanças climáticas e do uso da terra. 2015. 87 f. Tese (Doutorado).

VON BERTALANFFY, Ludwig. **Teoria geral dos sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1975.

XAVIER, Tereza Maria Bessa Silva *et al.* A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e suas relações com a chuva no Ceará (1964–1998). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 15, p. 27–43, 2000.

ZANELLA, Maria Elisa. Caracterização climática e os recursos hídricos do estado do Ceará. In: SILVA, José Borzacchiello da Silva; DANTAS, Eustógio Wanderley Dantas; CAVALCANTE, Tereza Cavalcante (org.). **Ceará: um novo olhar geográfico**. 2. ed. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007.

ZARONI, Marco. **Recursos naturais e fertilidade do solo no semiárido brasileiro**. São Paulo: Editora UNESP, 2021.

ZEHUI, Li. Drivers of pro-environmental behavior in complex environmental systems. **Journal of Environmental Psychology**, Amsterdam, v. 85, p. 101912, 2023.

ZELNIK, Yotam R. *et al.* Desertification by front propagation? **Journal of Theoretical Biology**, v. 418, p. 27–35, 2017.