



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

FERNANDA PEREIRA DE LIRA

MUDANÇA DE USO E COBERTURA DA TERRA: VÁRIAVEIS
SOCIOECONÔMICOS COMO FATOR DE ALTERAÇÃO DO BIOMA CAATINGA
EM PETROLINA - PE

Recife

2025

FERNANDA PEREIRA DE LIRA

**MUDANÇA DE USO E COBERTURA DA TERRA: VÁRIAVEIS
SOCIOECONÔMICOS COMO FATOR DE ALTERAÇÃO DO BIOMA CAATINGA
EM PETROLINA - PE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Rural de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo
Ferreira

Coorientador: Prof. Dr. Emanuel Araújo Silva

Recife

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Lorena Teles – CRB-4 1774

L768m Lira, Fernanda Pereira de.
Mudança de uso e cobertura da terra: variáveis socioeconômicas como fator de alteração do bioma Caatinga em Petrolina-PE / Fernanda Pereira de Lira. - Recife, 2025.
64 f.; il.

Orientador(a): Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira.
Co-orientador(a): Emanuel Araújo Silva.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em Engenharia Florestal, Recife, BR-PE, 2025.

Inclui referências.

1. Degradação ambiental - Brasil, Nordeste. 2. Engenharia Eletrônica e Computação (Sistemas e Controle). 3. Caatinga - Sensoriamento remoto. 4. Florestas - Brasil, Nordeste - Conservação I. Ferreira, Rinaldo Luiz Caraciolo, orient. II. Silva, Emanuel Araújo, coorient. III. Título

CDD 634.9

FERNANDA PEREIRA DE LIRA

**MUDANÇA DE USO E COBERTURA DA TERRA: VÁRIAVEIS
SOCIOECONÔMICOS COMO FATOR DE ALTERAÇÃO DO BIOMA CAATINGA
EM PETROLINA - PE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Rural de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Aprovado em: 13/03/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Everaldo Marques de Lima Neto
Universidade Federal Rural de Pernambuco

MSc. Alex Nascimento de Sousa

Dedico este trabalho a todos que contribuíram para minha jornada. Ao meu pai, Gilmar Lira
(*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer a Deus por me fortalecer, conceder coragem, sabedoria, ousadia, ânimo, paciência e alegria para superar os obstáculos que apareceram durante minha trajetória.

À minha linda mãe, Valdelice Lira, por tanto amor, expressado em cuidado, apoio, incentivo sempre compreendendo minhas ansiedades, necessidades e as minhas ausências ao longo da trajetória acadêmica.

Agradeço, de coração, ao meu amado pai, Gilmar Lira, que, mesmo não estando mais fisicamente presente, sempre será minha maior inspiração. Sua luta e dedicação para me oferecer o melhor são a base de tudo que conquistei. Este trabalho também é para você, pai.

À Fabiana Lira, minha irmã, pela amizade, incentivo, companheirismo e amor, sempre me oferecendo os melhores abraços e momentos de sorrisos, quando eu mais precisei.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco pela oportunidade de cursar o Bacharelado em Engenharia Florestal.

Ao Prof^o. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira por me acolher e me dar todas as orientações necessárias para que eu pudesse melhorar em qualidade e conhecimento.

Ao Prof^o. Dr. Emanuel Araújo Silva por ser meu orientador, que, com sua dedicação, paciência e crença inabalável em meu potencial, foi meu maior incentivador nos momentos em que duvidei de mim mesmo. Sua orientação, sua amizade, suas palavras de apoio e sua confiança me impulsionaram a seguir em frente e a acreditar que eu seria capaz. Minha gratidão será eterna.

Agradeço a todos os professores do DCFL com os quais eu aprendi e pude desenvolver habilidades profissionais e soft skills essenciais para atender ao mercado de trabalho e pude ser lapidada para a vida. Sempre foi meu sonho estudar na Rural e ter a orientação e o direcionamento de cada um de vocês tornou esta trajetória ainda mais especial.

À minha supervisora de estágio e Engenheira Florestal, Priscila Cristina do Nascimento, por suas contribuições, paciência, didática, incentivo, conhecimentos compartilhados, sempre direcionando o meu conhecimento e utilizando-o de maneira tão eficiente, além de me ensinar sobre o ambiente corporativo e aconselhar da melhor maneira possível.

MUITO OBRIGADA a todos vocês, de coração, que tornaram essa trajetória menos árdua e cansativa, contribuindo positivamente para esta conquista.

“Pensar globalmente, agir localmente”

Ulrich Beck

RESUMO

A Caatinga desempenha um papel essencial na manutenção da biodiversidade e nos serviços ecossistêmicos da região semiárida. No entanto, as atividades antrópicas, impulsionadas pelo crescimento populacional e pelo desenvolvimento socioeconômico, têm causado significativas mudanças no uso e cobertura da Terra, resultando em degradação ambiental e impactos sobre a vegetação nativa. Neste estudo, objetivou-se analisar a influência das variáveis socioeconômicas e agropecuárias na dinâmica territorial do município de Petrolina-PE, nos anos de 2014 e 2024. Para tal, foi utilizado imagens do satélite LANDSAT 8, sensor OLI (*Operational Land Imager*), adquiridas gratuitamente na página do *United States Geological Survey*, selecionada com critérios de mínima interferência de nuvens, com faixa de cobertura menor que 5% e resolução espacial de 30 m. Foram utilizadas imagens da órbita 217 e ponto 66 e classificadas pelo algoritmo Random Forest no software QGIS. A acurácia geral da classificação obtida para o ano de 2014 foi de 89,3% e o índice de Kappa de 0,80, enquanto, a acurácia geral da classificação para o ano de 2024 foi de 97,76% e o Índice de Kappa de 0,9599, resultado satisfatórios para comprovar a confiabilidade e qualidade da classificação. Foram identificadas transformações significativas no uso da terra, com a redução de áreas de vegetação e pastagens, aumento do solo exposto e expansão da área urbana. No estudo, demonstrou-se que a pecuária, a expansão urbana, o crescimento populacional e a extração vegetal exercem forte pressão sobre a paisagem da região, contribuindo para processos de degradação ambiental. Os resultados evidenciam a necessidade de políticas públicas e práticas sustentáveis voltadas para o manejo adequado dos recursos naturais e a mitigação dos impactos ambientais na Caatinga.

Palavras-chave: Degradação, Random Forest, Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

The Caatinga plays an essential role in maintaining biodiversity and ecosystem services in the semi-arid region. However, human activities, driven by population growth and socioeconomic development, have caused significant changes in land use and cover, resulting in environmental management and impacts on native vegetation. This study aimed to analyze the influence of socioeconomic and agricultural variables on the territorial dynamics of the municipality of Petrolina-PE, in the years 2014 and 2024. For this purpose, images from the LANDSAT 8 satellite, OLI (Operational Land Imager) sensor, acquired free of charge from the United States Geological Survey website, selected with criteria of minimum cloud interference, with a coverage range of less than 5% and spatial resolution of 30 m, were used. Images from orbit 217 and point 66 were used and classified by the Random Forest algorithm in the QGIS software. The overall accuracy of the classification obtained for the year 2014 was 89.3% and the Kappa index was 0.80, while the overall accuracy of the classification for the year 2024 was 97.76% and the Kappa index was 0.9599, satisfactory results to prove the reliability and quality of the classification. Significant transformations in land use were identified, with the reduction of areas of vegetation and pastures, an increase in exposed soil and expansion of the urban area. The study demonstrated that livestock farming, urban expansion, population growth and plant extraction exert strong pressure on the region's landscape, contributing to environmental degradation processes. The results highlight the need for public policies and sustainable practices aimed at the appropriate management of natural resources and the mitigation of environmental impacts in the Caatinga.

Keywords: Degradation, Random Forest, Remote Sensing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Mapa de localização da zona de interesse no Estado de Pernambuco	23
Figura 2	Fluxograma metodológico para análise da classificação de uso e cobertura da terra em Petrolina-PE	25
Figura 3	Códigos das classes da legenda da Coleção 9 do MapBiomas Brasil	29
Figura 4	Mapa representativo das mesorregiões sertanejas em Pernambuco	32
Figura 5	Mapas representativos do efetivo de bovinos (A) e caprinos (B) no Brasil	33
Figura 6	Mapa de territorialização do rebanho bovino no Sertão Pernambucano	35
Figura 7	Mapa - Leite bovino - Valor da produção (Mil Reais)	35
Figura 8	Panorama geral da produção de leite bovino nos municípios de Bodocó, Exu, Custódia, Afrânio e Petrolina, do sertão de Pernambuco.	36
Figura 9	Efetivo de rebanho caprino no Sertão do São Francisco	38
Figura 10	Os estados mais e menos desenvolvidos (dados do IDH por unidade federativa)	40
Figura 11	Mapas temáticos da população absoluta (A), Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) (B) e Produto Interno Bruto (PIB) (C) nos Sertões de Pernambuco	42
Figura 12	Mapa de produção de lenha oriunda da extração vegetal (A) e atividade silvicultural (B) nos Sertões de Pernambuco	45
Figura 13	Mapa da produção de carvão vegetal proveniente da extração vegetal nos Sertões de Pernambuco	47
Figura 14	Mapa da produção de madeira em tora proveniente da extração vegetal (A) e da Silvicultura (B) nos Sertões de Pernambuco	48
Figura 15	Mapa de Uso e Cobertura da Terra do município de Petrolina - PE, 2014 e 2024	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Características do satélite LANDSAT	19
Tabela 2	Informações das cenas do satélite Landsat 8 - sensor OLI para o município de Petrolina – PE	24
Tabela 3	Definição das classes de cobertura e seus respectivos significados	25
Tabela 4	Indicadores municipais e os anos de referência dos censos (IBGE)	27
Tabela 5	Número de amostras coletadas (N) por classe treinamento de máquina	28
Tabela 6	Qualidade da classificação segundo intervalos do coeficiente <i>Kappa</i>	30
Tabela 7	Efetivo de rebanho, por tipo de rebanho, nas mesorregiões do sertão de Pernambuco	33
Tabela 8	Indicadores socioeconômicos dos dez municípios com maior destaque em população absoluta, PIB e IDH, por mesorregião sertaneja de Pernambuco.	41
Tabela 9	Municípios produtores de lenha provenientes da Silvicultura no Sertão de Pernambuco	46
Tabela 10	Matriz de Confusão da classificação do Uso e Cobertura da Terra do município de Petrolina - PE, 2014	50
Tabela 11	Matriz de Confusão da Classificação do Uso e Cobertura da Terra do município de Petrolina - PE, 2024	51
Tabela 12	Porcentagem de classe de uso e cobertura da terra no município de Petrolina	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DFC	Domínio Fitogeográfico Caatinga
EPSG	<i>Geodetic Parameter Dataset</i>
IA	Inteligência Artificial
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
LANDSAT	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
PIB	Produto Interno Bruto
REM	Radiação Eletromagnética
SCP	<i>Semi-Automatic Classification Plugin</i>
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul
USGS	<i>United States Geological Survey</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	OBJETIVO GERAL	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1	Geotecnologias	17
3.2	Programa Landsat	18
3.3	Uso e Cobertura da Terra	20
3.4	Caatinga	20
3.5	Indicadores Socioeconômicos	21
4	MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1	Área de Estudo	22
4.2	Aquisição de Imagens	24
4.3	Mapas de Densidade de Kernel	26
4.4	Método por Inteligência Artificial	27
4.4.1	Classificação por RandomForest (RF)	27
4.5	Confiabilidade da classificação	30
4.6	Parâmetros estatísticos de determinação dos melhores classificadores para a Caatinga	31
4.7	Validação Cruzada	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1	Mapas de atributos socioeconômicos e agropecuário	32
5.1.1	Bovinos e Caprinos	32
5.1.1.1	Rebanho Bovino	34
5.1.1.2	Rebanho Caprino	37
5.1.2	Produto Interno Bruto (PIB); Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e População.	39
5.1.3	Extração Vegetal e Silvicultura (Lenha, carvão vegetal e madeira em tora)	44
5.1.3.1	Lenha (Extração Vegetal e Silvicultura)	44

5.1.3.2	Carvão Vegetal (Extração Vegetal)	46
5.1.3.3	Madeira em Tora (Extração Vegetal e Silvicultura)	47
5.2	Influência dos Fatores Socioeconômicos e Agropecuários na Dinâmica de Uso e Cobertura da Terra no Município de Petrolina	50
5.2.1	Mapeamento	50
6	CONCLUSÃO	55
7	REFERÊNCIAS	56

1. INTRODUÇÃO

O Domínio Fitogeográfico Caatinga (DFC), localizado no Nordeste do Brasil, é denominada Floresta Tropical Seca (FTS) em função da sua posição geográfica e, conseqüentemente, das características edafoclimáticas em que se encontra exposta. A caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro e ocupa uma área total de 862.818 km² no país. Na região nordeste sua área é de aproximadamente 830.205 km² correspondente a 96% de sua distribuição nacional. No estado de Pernambuco a sua área abrange cerca de 82.546 km², representando 9,6% da área territorial do país (IBGE, 2019).

Comumente conhecida por “floresta branca”, a Caatinga tem a etimologia derivada do Tupi-Guarani, em que: ca’á significa planta ou floresta; tî significa branco (derivado de morotî, branco) e o sufixo ’ngá (de angá), remetendo à proximidade (Peralta & Osuna, 1952 apud Leal, 2003, p.3).

Rica em biodiversidade a Caatinga em seus mais diferentes sítios ecológicos, apresenta características fitossociológicas, determinadas, sobretudo, pelas variações locais de topografia, tipo de solo e pluviosidade (Araújo Filho; Carvalho, 1997).

Entretanto, as atividades antrópicas e as mudanças de uso e ocupação da terra vêm alterando significativamente as paisagens do bioma nas regiões semiáridas (Santos, 2021). De acordo com o INPE (2016), o solo exposto, característico da Caatinga, torna-o mais vulnerável a processos de desertificação agravado pelo desmatamento relacionado à exploração ilegal de lenha e carvão vegetal, criação de rebanho caprino e bovino, além da expansão populacional (Demartelaere et al., 2022).

Neste sentido, o levantamento de uso e ocupação da terra é de extrema relevância pois fornece subsídios para tomadas de decisões, além de contribuir para a compreensão das dinâmicas territoriais e seus impactos na alteração da paisagem (INPE, 2016).

O município de Petrolina, localizado no Sertão do São Francisco, foi a área escolhida para análise das alterações de uso e cobertura do solo pelo seu destaque como município estratégico no desenvolvimento agrícola, impulsionado pelos investimentos ao polo fruticultor a nível nacional, Petrolina-PE/Juazeiro-BA. Além disso, o município apresenta altos Índices de Desenvolvimento Humano e expansão urbana significativa, resultante do papel da cidade na dinâmica socioeconômica regional (Lima, 2021).

Diante do exposto, o sensoriamento remoto, por meio da classificação de imagem supervisionada, constitui uma ferramenta importante para a análise dessas mudanças de uso e cobertura da terra. Esta técnica permite identificar padrões espaciais relevantes, resultantes da interação das atividades antrópicas com a vegetação e a visualização de concentrações e

tendências de ocorrências por meio do suporte de mapas e imagens de satélite que auxiliam na gestão territorial, planejamento urbano, orientação de políticas públicas e elaboração de estratégias de conservação da biodiversidade (Pereira, 2021; Miranda, 2023).

Dessa forma, torna-se imprescindível compreender como fatores naturais e humanos têm moldado a paisagem do Sertão pernambucano ao longo do tempo. A cidade de Petrolina, com seu crescimento econômico pautado no agronegócio irrigado e na expansão urbana, revela-se um território estratégico para analisar essas transformações. Além da relevância ambiental e produtiva, o município se destaca por apresentar elevados Índices de Desenvolvimento Humano (IDH), superiores à média de outros municípios da região semiárida, refletindo melhorias em áreas como educação, renda e longevidade (PNUD, 2013).

A partir da comparação entre os anos de 2014 e 2024, pretende-se contribuir para o debate sobre sustentabilidade no bioma Caatinga, evidenciando a necessidade de políticas públicas que aliem desenvolvimento regional à conservação ambiental. A utilização de ferramentas como o sensoriamento remoto e dados estatísticos integrados é essencial para ampliar a compreensão dos processos territoriais em curso e subsidiar ações mais eficazes de planejamento e gestão.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar a influência de fatores socioeconômicos e ambientais no uso da terra em Petrolina (PE), nos anos de 2014 e 2024.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analisar a influência de variáveis socioeconômicas e ambientais no sertão e sua relação com o município de Petrolina - PE por meio da elaboração de mapas de densidade de Kernel permitindo identificar padrões espaciais relacionados ao uso e cobertura da terra;
- b) Mapear o uso e cobertura da terra nos anos de 2014 e 2024 utilizando o *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP) no QGIS e o algoritmo de inteligência artificial *Random Forest*, com base em técnicas de aprendizado de máquina (*machine learning*), para compreender as alterações ocorridas na paisagem, do município de Petrolina - PE, ao longo da década;
- c) Avaliar os impactos das atividades antrópicas na dinâmica da paisagem florestal no município de Petrolina - PE, ao longo de 10 anos, por meio da interpretação dos padrões espaciais de cobertura vegetal e as possíveis implicações ambientais no bioma Caatinga.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Geotecnologias

A cartografia é a ciência e a arte de representar a superfície da terra e surgiu muito antes da escrita, acompanhando o progresso da civilização desde os desenhos representativos nas cavernas até os mapas digitais atuais (Rocha, 2021). Os gregos foram um dos pioneiros em admitir a forma esférica da terra, desenvolveram os sistemas de regiões geográficas e criaram o primeiro atlas mundial (Aguiar, 2020; Rocha 2021). A cartografia evoluiu exponencialmente ao longo do tempo, se tornando uma ferramenta essencial nas formas como representamos e interpretamos o mundo.

A cartografia moderna se beneficia dos avanços tecnológicos como satélites, GPS e computadores e tornou-se uma ferramenta fundamental para a navegação, transporte e gestão de recursos naturais, pois facilita a análise de características naturais, como clima, paisagens, geologia e uso da terra, disponibilidade de recursos ambientais, como também proporciona subsídios de informações para tomadas de decisões, a partir da compreensão espacial do território.

Segundo D'Alge (2001), a cartografia e o geoprocessamento estão intimamente relacionados, pois compartilham de um mesmo foco, o espaço geográfico. A Cartografia concentra-se na representação dos espaços por meio de mapas, enquanto o Geoprocessamento utiliza-se de técnicas matemáticas e computacionais para análise de processos em determinado espaço, destinado ao processamento de dados georreferenciados que podem ser utilizados na produção dos mapas convencionais, relatórios, arquivos digitais, entre outros.

As geotecnologias surgem como um conjunto de métodos e técnicas que utilizam da coleta/aquisição de dados, processamento, análise e oferta de informações georreferenciadas por meio de ferramentas como o Sistemas de Informação Geográfica com o ArcGis, Qgis e Google Earth Pro, o Sensoriamento Remoto com os satélites LANDSAT, CBERS SENTINEL, são alguns dos exemplos (Rosa, 2005).

O Qgis é um software livre de código aberto que funciona em diversos sistemas operacionais o que possibilita o suporte a plugins, que podem complementar suas funções, aumentando a capacidade desse software SIG (Ito, 2017). Ele proporciona a análise de informações de uso e cobertura da terra de áreas extensas com precisão e rapidez, através do processamento de imagens de satélite, facilitando estudos integrados sobre impactos

ambientais, inundações, erosão, desmatamento, expansão urbana e outros, além de elaboração de mapas de densidade que mostram a intensidade de uma ocorrência em determinado ponto, representando o fenômeno em uma escala contínua.

O Sensoriamento Remoto permite a aquisição de dados à distância, através de sensores multiespectrais que captam a energia refletida, ou seja, a Radiação Eletromagnética (REM) emitida pelo sol e a interação dessa energia radiante com a superfície terrestre que resulta numa resposta espectral, onde cada superfície apresenta sua própria assinatura espectral, definida pela intensidade com a qual o objeto emite ou reflete a REM que incide em determinado comprimento de onda. Esta intensidade é denominada reflectância, sendo esta captada pelos sensores multiespectrais no Sensoriamento Remoto (Figueiredo, 2005; Guedes; Silva, 2018).

3.2. Programa Landsat

O Landsat é um programa de observação da Terra criado em 1972 pela *United States Geological Survey* em conjunto com a NASA para fornecimento de registro contínuos de dados da Terra a partir do espaço. Os satélites Landsat usam sensores multiespectrais e térmicos para registrar a superfície terrestre, com resolução espacial de 30 metros e a coleta de imagens a cada 16 dias (USGS, 2019; INPE, 2020). As imagens são processadas como Nível 1, ortoretificadas e projetadas em mapas. São armazenadas no formato GeoTIFF, organizadas pelo *Worldwide Reference System* (NASA, 2010). Na Tabela 1 são apresentadas as características dos satélites Landsat.

Tabela 1 - Características dos Satélites Landsat.

LAND REMOTE SENSING SATELLITE – LANDSAT								
Instituições	NASA (National Aeronautics and Space Administration) e USGS (U.S. Geological Survey)							
País/Região	Estados Unidos							
Satélite	LANDSAT 1	LANDSAT 2	LANDSAT 3	LANDSAT 4	LANDSAT 5	LANDSAT 6	LANDSAT 7	LANDSAT 8
Lançamento	23/07/1972	22/01/1975	05/03/1978	16/07/1982	01/03/1984	05/10/1993	15/04/1999	11/02/2013
Local de Lançamento	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	NASA Kennedy Space Center (KSC)
Veículo Lançador	Delta 900	Delta 2910	Delta 2910	Delta 3920	Delta 3920	Titan II	Delta-II	Atlas-V 401
Situação Atual	Inativo (06/01/1978)	Inativo (25/02/1982)	Inativo (31/03/1983)	Inativo (1993)	Inativo (22/11/2011)	Inativo (05/10/1993)	Ativo (Interrompeu recepção no Brasil em 31/05/2003)	Ativo
Órbita	Polar, helios-Síncrona	Polar, helios-Síncrona	Polar, helios-Síncrona	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Circular
Altitude	917 km	917 km	917 km	705 km	705 km	705 km	705 km	705 km
Inclinação	99,2°	99,2°	99,2°	98,20°	98,20°	98,20°	98,2°	98,2°
Tempo de Duração da Órbita	103,3 min	103 min	103 min	99 min	99 min	98,9 min	98,9 min	99 min
Horário de Passagem	09:30	09:30	09:30	09:45	09:45	10:00	10:00	13:40
Período de Revisita	18 dias	18 dias	18 dias	16 dias	16 dias	16 dias	16 dias	16 dias
Tempo de vida projetado	1 ano	1 ano	1 ano	3 anos	3 anos	s.d.	5 anos	5 anos
Instrumentos Sensores	<u>RBV e MSS</u>	<u>RBV e MSS</u>	<u>RBV e MSS</u>	<u>MSS e TM</u>	<u>MSS e TM</u>	<u>ETM</u>	<u>ETM+</u>	<u>OLI e TIRS</u>

Fonte: EMBRAPA (2025).

3.3. Uso e cobertura da terra

Ao tentar compreender a dinâmica socioeconômica e as transformações ambientais de um território, é necessário ter em mente o uso e cobertura do solo. Analisa-se então, não apenas os elementos físicos presentes na superfície como também as atividades humanas que ocorrem naquele local.

Ao se realizar o planejamento urbano, a gestão de recursos naturais e a formulação de políticas públicas sustentáveis, é de extrema importância este tipo de estudo. Verificando assim, como a urbanização influencia na vegetação nativa e nos corpos d'água, por exemplo (Leite & Brito, 2017).

A análise do uso e cobertura do solo é essencial para caracterizar a vegetação de uma região e acompanhar suas mudanças ao longo do tempo, permitindo o monitoramento da degradação ambiental. No Sertão pernambucano, estudos têm evidenciado a supressão da vegetação nativa da Caatinga ao longo dos anos. A redução dessas áreas vegetadas expõe o solo aos fenômenos físicos, contribuindo para processos de aridização (Aquino & Santos, 2020).

Além disso, a diminuição da cobertura vegetal afeta negativamente a biodiversidade local. O monitoramento temporal de áreas específicas permite verificar a dinâmica local e identificar os fatores que influenciam os impactos sobre a Caatinga.

3.4. Caatinga

A Caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro, ocupando aproximadamente 10,1% do território nacional, o que corresponde a cerca de 862.818 km². Este bioma abrange os estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Piauí, Sergipe e o norte de Minas Gerais (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2020).

Caracterizada por um clima semiárido, a Caatinga apresenta baixos índices pluviométricos, com média anual entre 300 e 800 mm, e temperaturas elevadas que variam entre 25 °C e 29 °C. A região é marcada por longos períodos de estiagem, solos rasos e pedregosos, além de elevada evaporação, fatores que contribuem para a aridez do ambiente (Silva et al., 2021).

A vegetação é predominantemente xerofítica, apresentando adaptações como folhas reduzidas ou ausentes, armazenamento de água em caules e raízes superficiais para absorção

rápida da água das chuvas. Espécies como aroeira, umbuzeiro, mandacaru e juazeiro são comuns na região (Silva et al., 2021). A fauna da Caatinga também é diversificada, abrigando espécies endêmicas e adaptadas ao clima seco, como a ararinha-azul, o veado-catingueiro, o tatu-peba e o sapo-cururu. No entanto, muitas dessas espécies enfrentam riscos de extinção devido à degradação do habitat.

Cerca de 27 milhões de pessoas estão inseridas nesse bioma, e grande parte dessa população depende diretamente dos recursos naturais para subsistência. A irregularidade climática e a escassez de água impactam significativamente a vida dessas comunidades, que desenvolveram estratégias de convivência com o semiárido, como o uso de cisternas para armazenamento de água das chuvas (MMA, 2020).

Apesar de sua importância ecológica e socioeconômica, a Caatinga é um dos biomas mais degradados do Brasil. Estima-se que 46% de sua área original já foi desmatada, principalmente devido à exploração madeireira, expansão agrícola e uso inadequado dos recursos naturais. Além disso, apenas cerca de 9% do bioma está protegido por unidades de conservação, sendo pouco mais de 2% por unidades de proteção integral (MMA, 2020). A conservação da Caatinga é fundamental para o combate à desertificação, à preservação da biodiversidade e à melhoria das condições de vida das populações locais.

3.5. Indicadores socioeconômicos

Os indicadores socioeconômicos são ferramentas fundamentais para compreender as condições de vida de uma população e orientar políticas públicas eficazes. Esses indicadores abrangem diversas dimensões, como renda, educação, saúde, habitação e acesso a serviços básicos, permitindo uma análise abrangente do desenvolvimento humano e das desigualdades sociais.

Entre os principais indicadores utilizados no Brasil, destacam-se o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e o Produto Interno Bruto (PIB). O Produto Interno Bruto é um dos principais indicadores de crescimento econômico, calculado através da soma de todos os bens e serviços produzidos em uma área geográfica em um determinado período, ou seja, é a soma de toda a atividade produtiva na agricultura, na indústria e nos serviços (IBGE, 2025).

Outro indicador é o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) que está baseado nos parâmetros de saúde, educação e renda para aferir o grau de desenvolvimento de um país ou sociedade. O IDH compara indicadores de países nos itens riqueza, alfabetização, educação,

esperança de vida, natalidade e outros, com o intuito de avaliar o bem-estar de uma população, especialmente das crianças (IPEA, 2008), permitindo assim o estabelecimento de estratégias e planos para melhorá-los.

O Índice de Desenvolvimento Humano oferece um contraponto ao indicador Produto Interno Bruto (PIB) per capita, que considera apenas a dimensão econômica do desenvolvimento (Machado, 2008; PNUD, 2025).

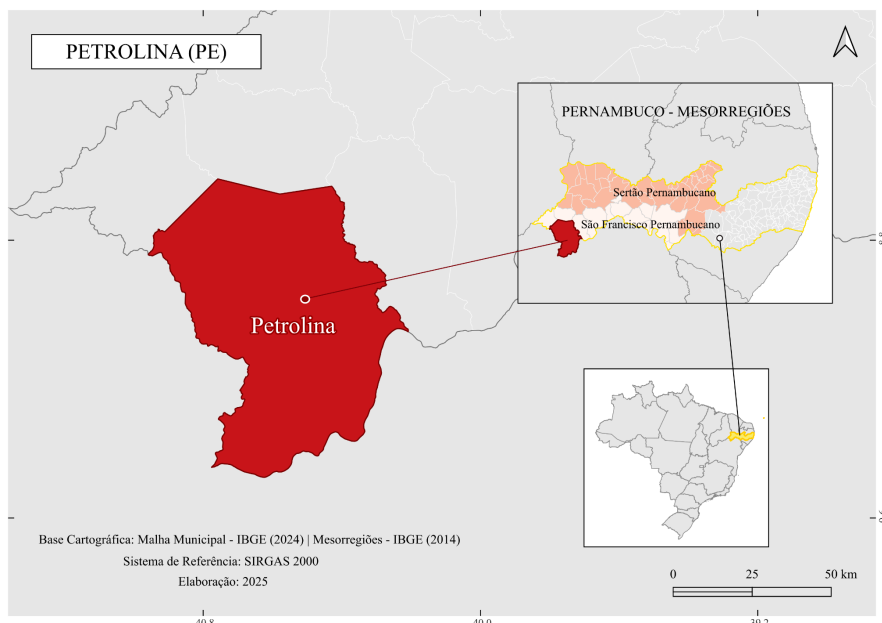
A análise desses indicadores revela disparidades regionais significativas no Brasil. Por exemplo, enquanto algumas regiões apresentam avanços em educação e saúde, outras ainda enfrentam desafios relacionados à pobreza e à falta de infraestrutura básica (IBGE, 2025). Essas desigualdades evidenciam a necessidade de políticas públicas direcionadas e investimentos em áreas prioritárias.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de Estudo

Este estudo tem como foco o município de Petrolina, localizado no sertão de Pernambuco, dentro das mesorregiões do Sertão Pernambucano e São Francisco Pernambucano – áreas prioritárias para conservação devido à intensa exploração da Caatinga. A pesquisa analisa variáveis socioeconômicas e ambientais para compreender a dinâmica de uso e cobertura do solo no território petrolinense, inserido em uma região que abrange 56 municípios do estado (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de localização da zona de interesse no Estado de Pernambuco.



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

De acordo com Köppen-Geiger (1948), o DFC apresenta clima BSh, ou seja, clima semiárido quente, caracterizado pelos altos índices de radiação solar e temperaturas anuais que variam de 25° C a 30°C, altas taxas de evapotranspiração, baixas taxas de umidade relativa e nebulosidade, bem como reduzidos índices pluviométricos, que ocorrem entre 400 e 1200 mm/ano (Tabarelli, *et al.* 2018). Essas especificidades estão presentes em regiões próximas à zona equatorial geográfica, ou seja, as zonas tropicais onde o sol alcança o zênite (Novais, 2017).

A vegetação dessa região é basicamente composta por Caatinga Hiperxerófila que apresenta árvores e arbustos espinhosos, alguns trechos de Floresta Caducifólia e com elevada frequência de cactáceas e bromeliáceas, além de estrato herbáceo estacional (Oliveira et al., 2024). O solo da região varia dentre os diversos tipos de relevo ali presentes, nos Patamares Compridos e Baixas Vertentes do relevo suave ondulado ocorrem os Planossolos, mal drenados, de fertilidade natural média e problemas de sais; nos topos e Altas Vertentes, os solos Brunos não Cálcicos, rasos e fertilidade natural alta; Topos e Altas Vertentes do relevo ondulado, ocorrem os Podzólicos drenados e fertilidade natural média; e nas Elevações Residuais, ocorrem os solos Litólicos, rasos, pedregosos e fertilidade natural média, com predominância de Planossolo Solonetz Solodizado (Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais, 2005).

O município de Petrolina está localizado nos domínios da Macrobacia do Rio São Francisco, da Bacia Hidrográfica do Rio do Pontal e do Grupo de Bacias de Pequenos Rios Interiores. Com exceção do Rio São Francisco, todos os cursos d'água apresentam regime de escoamento intermitente e um padrão de drenagem dendrítico (CPRM, 2005).

4.2. Aquisição das imagens

As imagens de média resolução foram provenientes do satélite Landsat 8 por meio do sensor OLI (*Operational Land Imager*). As imagens foram adquiridas gratuitamente, na página do *United States Geological Survey* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), selecionadas utilizando o mínimo de interferência de nuvens, com faixa de cobertura de nuvens de 0% - 5%, num período de 10 anos, com imagens de 2014 e 2024 e resolução espacial de 30 metros (Tabela 2).

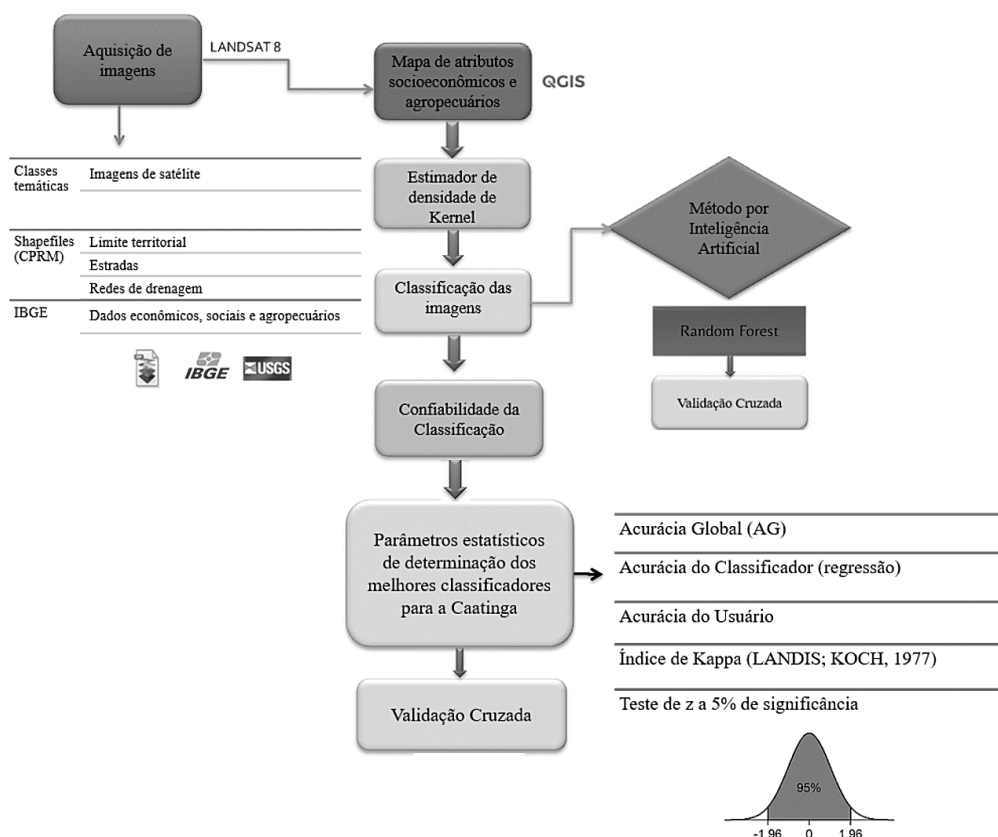
Tabela 2 - Informações das cenas do satélite Landsat 8 - sensor OLI para o município de Petrolina - PE.

Órbita	Ponto	Data De Passagem	Órgão
217	66	22/09/2014	USGS
217	66	17/09/2024	USGS

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

O limite territorial do trabalho, as estradas e as redes de drenagens foram importadas para o banco de dados espaciais em forma de *shapefiles* (CPRM, 2005). Os dados socioeconômicos e agropecuários foram obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), incluindo indicadores de economia (IDH e PIB per capita), população, pecuária (rebanhos de caprinos e bovinos), extração vegetal (carvão, lenha e madeira em tora) e silvicultura (produção de lenha e madeira). Segue o fluxograma das técnicas utilizadas para a realização do trabalho, conforme Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma metodológico para análise da classificação de uso e cobertura da terra em Petrolina-PE.



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Foram definidas as classes temáticas provenientes de observações em campo com auxílio das imagens de satélite e com o foco voltado às áreas florestais, sendo divididas em 6 classes (Tabela 3):

Tabela 3 - Definição das classes de cobertura e seus respectivos significados.

Classe da Cobertura	Significado
Água	Áreas com corpos d'água e recursos hídricos visíveis.
Vegetação	Áreas com cobertura vegetal arbórea densa e/ou arbustiva.
Agricultura	Áreas com atividades agrícolas e monocultura.
Pastagens	Áreas destinadas à criação de animais (pecuária).
Solo exposto	Áreas com afloramentos rochosos e/ou nula da presença de vegetação.
Área urbana	Áreas compostas por edificações urbanas e estradas.

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

4.3. Mapas de Densidade de Kernel

Os dados agropecuários, econômicos e sociais foram obtidos conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025). As informações adquiridas foram importadas para o aplicativo QGIS seguindo as informações geográficas das sedes municipais. Para elaboração dos mapas foi utilizado o DATUM: SIRGAS 2000 o código EPSG: 31984, Zona 24 S. Para realizar a distribuição espacial dos dados para a área de estudo foi utilizado o estimador de densidade de Kernel (Equação 1):

$$\hat{f}_h(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-X_i}{h}\right) \quad (1)$$

Em que K = função de kernel; h = raio de busca; x = posição do centro de cada célula do *raster* de saída; Xi = posição do ponto i proveniente do centróide de cada polígono; e n = número de centróides.

A elaboração do Mapa de Densidade de Kernel foi realizada a partir de dados de pontos e eventos espaciais que foram importados para o *Qgis* versão 3.28.15. Utilizou-se a ferramenta de geoprocessamento Mapa de Calor (Estimativa de Densidade de Kernel).

Foi realizado a configuração dos parâmetros onde o raio de influência (bandwidth) adotado foi de 60.000 m, este determina a área de influência de cada centróide. O pixelamento de x = 100, y = 100 e centróides (n) = 56 e cada centróide foi atribuído a um peso, sendo estes equivalentes às variáveis analisadas.

Foi executada a ferramenta gerando uma superfície *raster* com representação dos pontos ou eventos no espaço com áreas de maior concentração indicadas por valores maiores de densidade, diferenciadas por intensidade de cores. Estes mapas foram importados por meio do compositor de impressão do Qgis para o editor de *layout* e por fim exportado como arquivo PNG.

O mapa permite uma visualização clara da distribuição espacial dos fenômenos ocorridos no local, facilitando a interpretação e destacando a concentração de um evento no espaço. As variáveis utilizadas no presente trabalho estão descritas conforme Tabela 4.

Tabela 4 - Indicadores municipais e os anos de referência dos censos (IBGE).

Origem	Variável	Unidade de Medida/Escala	Censo IBGE
Economia	IDH	$0 < x < 1$	2010
	PIB per capita	R\$	2021
População	População	Pessoas	2022
Pecuária	Bovino	Cabeças	2023
	Caprinos		
Extração Vegetal	Carvão Vegetal	Toneladas (t)	2023
	Lenha	m ³	
	Madeira em tora		
Silvicultura	Lenha	m ³	2023
	Madeira em tora		

Fonte: Adaptada de IBGE (2023) pela autora, 2025.

4.4. Método por Inteligência Artificial

4.4.1. Classificação por RandomForest (RF)

A obtenção do mapa de uso e cobertura da terra foi definido a partir do algoritmo RF, por meio do pacote randomForest (Liaw; Wiener, 2002), disponível no software Qgis. Foi utilizada a versão 3.34.11 do software e a classificação dada por meio do *Semi-Automatic Classification Plugin* versão 8.3.0. Foram analisadas imagens do satélite Landsat para os anos de 2014 e 2024. Na etapa de pré-processamento foi realizado o recorte das bandas utilizando os *shapefiles* (malhas municipais) do município de Petrolina (IBGE, 2022).

Foram adicionadas às bandas 01 a 07 do Landsat e o arquivo de metadados (MTL) e realizado a correção atmosférica. Em seguida foram definidas as bandas para classificação e as classes, que foram água, vegetação, agricultura, pastagens, solo exposto e áreas urbanas. O número de amostras coletadas está descrito conforme a Tabela 5.

Tabela 5 - Número de amostras coletadas (N) por classe treinamento de máquina.

Classes	Ano	
	2014	2024
	N	N
Água (1)	27	72
Vegetação (2)	31	57
Agricultura (3)	46	50
Área Urbana (4)	45	50
Solo exposto (5)	49	47
Pastagem (6)	44	49

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

No processamento da imagem foi utilizado o algoritmo Random Forest, definido 50 árvores de decisão e habilitada a opção de validação cruzada, em seguida foi executado o processamento. No pós-processamento foi aplicado a paleta de cores do Mapbiomas, disponível na página <https://brasil.mapbiomas.org/codigos-de-legenda/> conforme a Figura 3.

Figura 3 - Códigos das classes da legenda da Coleção 9 do MapBiomias Brasil.

 MAPBIOMAS BRASIL		Códigos das classes da legenda da Coleção 9 do MapBiomias Brasil		
COLEÇÃO 9 - CLASSES	COLLECTION 9 - CLASSES	Code ID	Hexacode Number	Color ID
1. Floresta	1. Forest	1	#1f8d49	
1.1 Formação Florestal	1.1. Forest Formation	3	#1f8d49	
1.2. Formação Savânica	1.2. Savanna Formation	4	#7dc975	
1.3. Mangue	1.3. Mangrove	5	#04381d	
1.4. Floresta Alagável	1.4 Floodable Forest	6	#007785	
1.5. Restinga Arbórea	1.5. Wooded Sandbank Vegetation	49	#02d659	
2. Vegetação Herbácea e Arbustiva	2. Herbaceous and Shrubby Vegetation	10	#d6bc74	
2.1. Campo Alagado e Área Pantanosa	2.1. Wetland	11	#519799	
2.2. Formação Campestre	2.2. Grassland	12	#d6bc74	
2.3. Apicum	2.3. Hypersaline Tidal Flat	32	#fc8114	
2.4. Afloramento Rochoso	2.4. Rocky Outcrop	29	#ffaa5f	
2.5. Restinga Herbácea	2.5. Herbaceous Sandbank Vegetation	50	#ad5100	
3. Agropecuária	3. Farming	14	#ffefc3	
3.1. Pastagem	3.1. Pasture	15	#edde8e	
3.2. Agricultura	3.2. Agriculture	18	#E974ED	
3.2.1. Lavoura Temporária	3.2.1. Temporary Crop	19	#C27BA0	
3.2.1.1. Soja	3.2.1.1. Soybean	39	#f5b3c8	
3.2.1.2. Cana	3.2.1.2. Sugar cane	20	#db7093	
3.2.1.3. Arroz	3.2.1.3. Rice	40	#c71585	
3.2.1.4. Algodão (beta)	3.2.1.4. Cotton (beta)	62	#ff69b4	
3.2.1.5. Outras Lavouras Temporárias	3.2.1.5. Other Temporary Crops	41	#f54ca9	
3.2.2. Lavoura Perene	3.2.2. Perennial Crop	36	#d082de	
3.2.2.1. Café	3.2.2.1. Coffee	46	#d68fe2	
3.2.2.2. Citrus	3.2.2.2. Citrus	47	#9932cc	
3.2.2.3. Dendê	3.2.2.3. Palm Oil	35	#9065d0	
3.2.2.4. Outras Lavouras Perenes	3.2.2.4. Other Perennial Crops	48	#e6ccff	
3.3. Silvicultura	3.3. Forest Plantation	9	#7a5900	
3.4. Mosaico de Usos	3.4. Mosaic of Uses	21	#ffefc3	
4. Área não Vegetada	4. Non vegetated area	22	#d4271e	
4.1. Praia, Duna e Areal	4.1. Beach, Dune and Sand Spot	23	#ffa07a	
4.2. Área Urbanizada	4.2. Urban Area	24	#d4271e	
4.3. Mineração	4.3. Mining	30	#9c0027	
4.4. Outras Áreas não Vegetadas	4.4. Other non Vegetated Areas	25	#db4d4f	
5. Corpo D'água	5. Water	26	#2532e4	
5.1 Rio, Lago e Oceano	5.1. River, Lake and Ocean	33	#2532e4	
5.2 Aquicultura	5.2. Aquaculture	31	#091077	
6. Não observado	6. Not Observed	27	#ffffff	

Fonte: MAPBIOMAS (2025).

A análise baseia-se no aprendizado de máquina que utiliza várias árvores de decisões para fazer previsões. A média do resultado de todas as árvores é utilizada como resultado final e isso garante maior precisão devido a combinação destas árvores.

4.5. Confiabilidade da classificação

Realizou-se a confiabilidade da classificação digital do uso e cobertura da terra da região de estudo por meio da matriz de confusão das áreas de treinamentos que foram classificadas aplicando-se o coeficiente de Kappa. (Equação 2).

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ij} - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}} \quad (2)$$

Em que: r = número de classes; X_{ij} = número de elementos classificados corretamente; X_{i+} = total de elementos classificados para uma categoria i ; X_{+i} = total de elementos de referência mostrados para uma categoria i ; N = número total de amostras.

Os valores do índice de *Kappa* (K) variam entre -1 e 1, o qual o valor 1 reflete uma total concordância entre a imagem classificada e a imagem real e o valor -1 quando há uma total discordância. Esses valores são comparados e confrontados com os conceitos definidos por Landis e Koch (1977), que servem para avaliar a exatidão do mapa temático obtido da classificação da imagem (Tabela 6).

Tabela 6 - Qualidade da classificação segundo intervalos do coeficiente *Kappa*.

Valor do <i>Kappa</i>	Qualidade da classificação
< 0,00	Péssima
0,0 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito Boa
0,80 – 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977).

4.6. Parâmetros estatísticos de determinação dos melhores classificadores para a Caatinga

Para a avaliação dos resultados, foram geradas Matrizes de Confusão, a partir do cruzamento de dados de referência com as amostras de validação. A partir das matrizes, foram calculados os índices: (a) acurácia global (AG); (b) acurácia do classificador (regressão); (c) acurácia do usuário; e Índice de Kappa (Landis; Kock, 1977). O teste de z (Equação 3) para os índices de kappa foi realizado com nível de significância de 5%. O teste é significativo quando $z > 1,96$ e pode-se concluir que existe diferença estatística entre os valores obtidos para Kappa (Sothe et al., 2017).

$$z = \frac{K}{\sqrt{\text{Var}(K)}} \quad (3)$$

Em que: K = Kappa; $\text{Var}(K)$ = Variância de Kappa.

4.7. Validação Cruzada

Para a verificação e avaliação do ajuste de algoritmos de aprendizado de máquina foi aplicado a validação cruzada. Onde os dados são separados em grupos e estes grupos são avaliados. A cada treinamento realizado pelo aprendizado de máquinas, os dados são retestados com grupos diferentes. Abarcando então, a vantagem de ter todos os dados utilizados, tanto para treinamento quanto para teste (Vieira, 2018).

O relatório de acurácia foi gerado automaticamente pelo *SCP* e permite avaliar a qualidade do mapeamento. A partir do relatório obtivemos os valores da acurácia global, do índice Kappa e das acurácias do produtor e do usuário. Esses resultados contribuem para garantir a eficácia da classificação nas diferentes classes de uso e cobertura do solo.

Por fim, foi utilizado a ferramenta *Classification Report*. Esse documento apresentou, de forma clara, o número de pixels correspondentes a cada classe, a porcentagem de ocupação no mapa e a área total calculada em metros quadrados convertidos em quilômetros quadrados, posteriormente para análise dos dados, possibilitando a compreensão das mudanças no uso e cobertura do solo e a dinâmica ambiental na região.

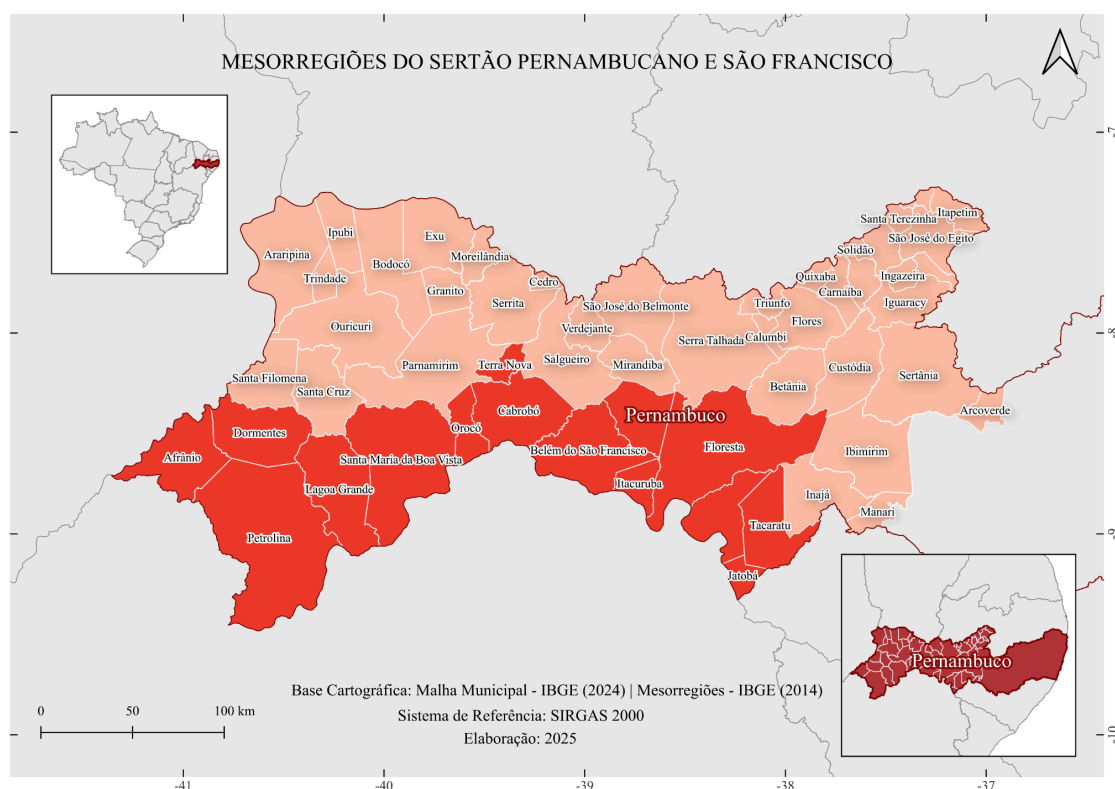
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Mapas de atributos socioeconômicos e agropecuários

5.1.1. Bovinos e caprinos

Nas mesorregiões Geográficas do Sertão Pernambucano e São Francisco Pernambucano, o efetivo de rebanhos nos mostra a relevância da pecuária no nordeste brasileiro e aponta uma tendência a exploração pecuária nos Sertões de Pernambuco, tendo em vista que tanto bovinos quanto caprinos se adaptam bem às condições climáticas do semiárido (IBGE, 2023). A figura 4, apresenta um mapa ilustrativo dos municípios que compõem o Sertão Pernambucano e o Sertão do São Francisco pernambucano.

Figura 4 - Mapa representativo das mesorregiões sertanejas em Pernambuco.



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Na Tabela 7 é apresentado o efetivo de rebanho, por tipo de rebanho, nas mesorregiões do sertão de Pernambuco.

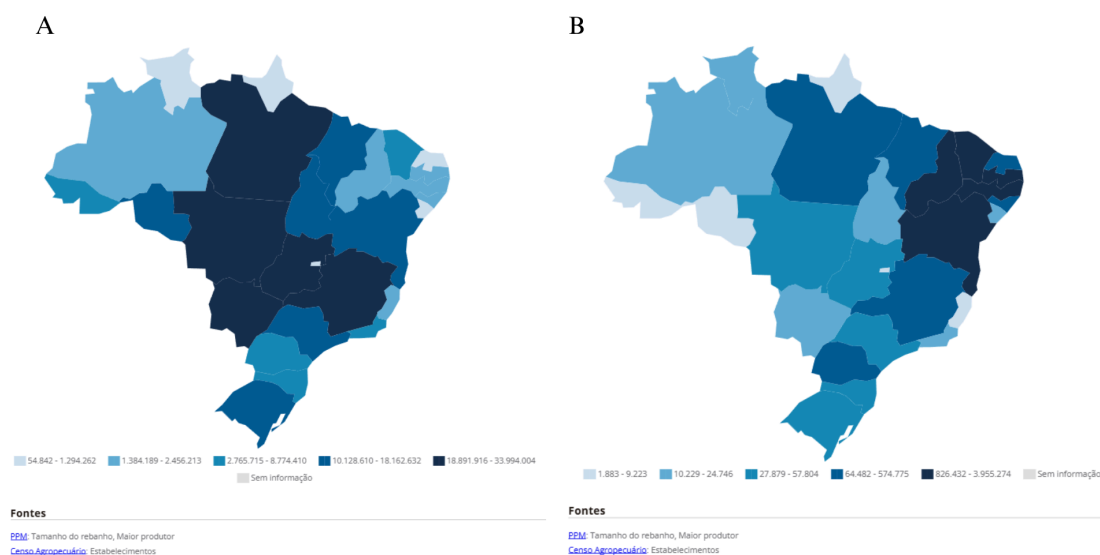
Tabela 7 – Efetivo de rebanho, por tipo de rebanho, nas mesorregiões de Pernambuco.

Mesorregiões (PE)	Tipo de Rebanho	
	Bovino	Caprino
Sertão Pernambucano	694.533	1.244.626
São Francisco pernambucano	132.876	1.738.148

Fonte: Adaptada do IBGE (2023) pela autora, 2025.

No Brasil o efetivo de rebanho bovino foi de 238.626.442 cabeças, sendo 35.394.587 cerca de 15% da produção nacional na região nordeste do país e 2.456.213 que representa 1% do efetivo em Pernambuco, enquanto o efetivo de rebanho caprino brasileiro foi de 12.891.493 cabeças, sendo 12.373.805 cerca de 96% na região nordeste do país e 3.364.369 cerca de 26% em Pernambuco (IBGE, 2023). Na Figura 4 (A e B) são apresentados os mapas coropléticos que destaca os municípios brasileiros com maiores e menores valores para o efetivo de rebanho bovino e caprino, no Brasil.

Figura 5 - Mapas representativos do efetivos de bovinos (A) e caprinos (B) no Brasil.



Fonte: IBGE (2023).

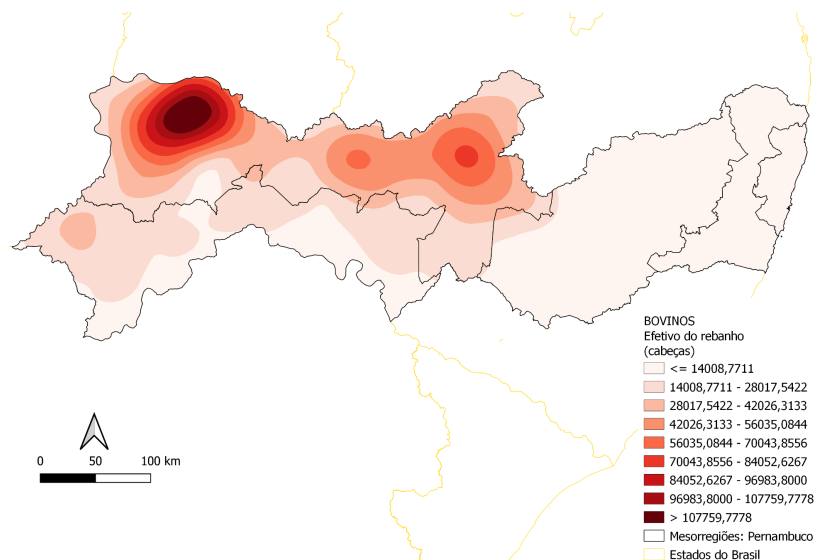
Os valores mais baixos apresentam cores mais claras indicando menores quantidades e valores maiores apresentam coloração mais escura que indicam maior concentração desses rebanhos (IBGE, 2023).

No Brasil, Pernambuco ocupa a segunda posição no ranking nacional na criação de caprinos apresentando um efetivo de 3.364.369 cabeças. O estado fica atrás apenas do Estado da Bahia que lidera com um total de 3.955.274 cabeças (IBGE, 2023).

5.1.1.1. Rebanho bovino

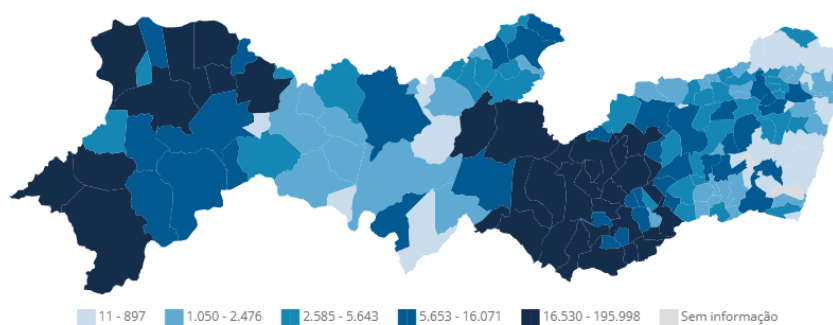
Na mesorregião do Sertão Pernambucano, os municípios de Bodocó, Exú, Serra Talhada e Ouricuri, estão entre os maiores produtores de bovinos, respectivamente, apresentados na Figura 6. A dinâmica do valor do leite bovino, pode ser observada na Figura 7, onde se evidencia a relevância econômica da atividade no Sertão de Pernambuco e sua distribuição espacial.

Figura 6 – Mapa de territorialização do rebanho bovino no Sertão Pernambucano.



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Figura 7 - Mapa - Leite bovino - Valor da produção (Mil Reais).

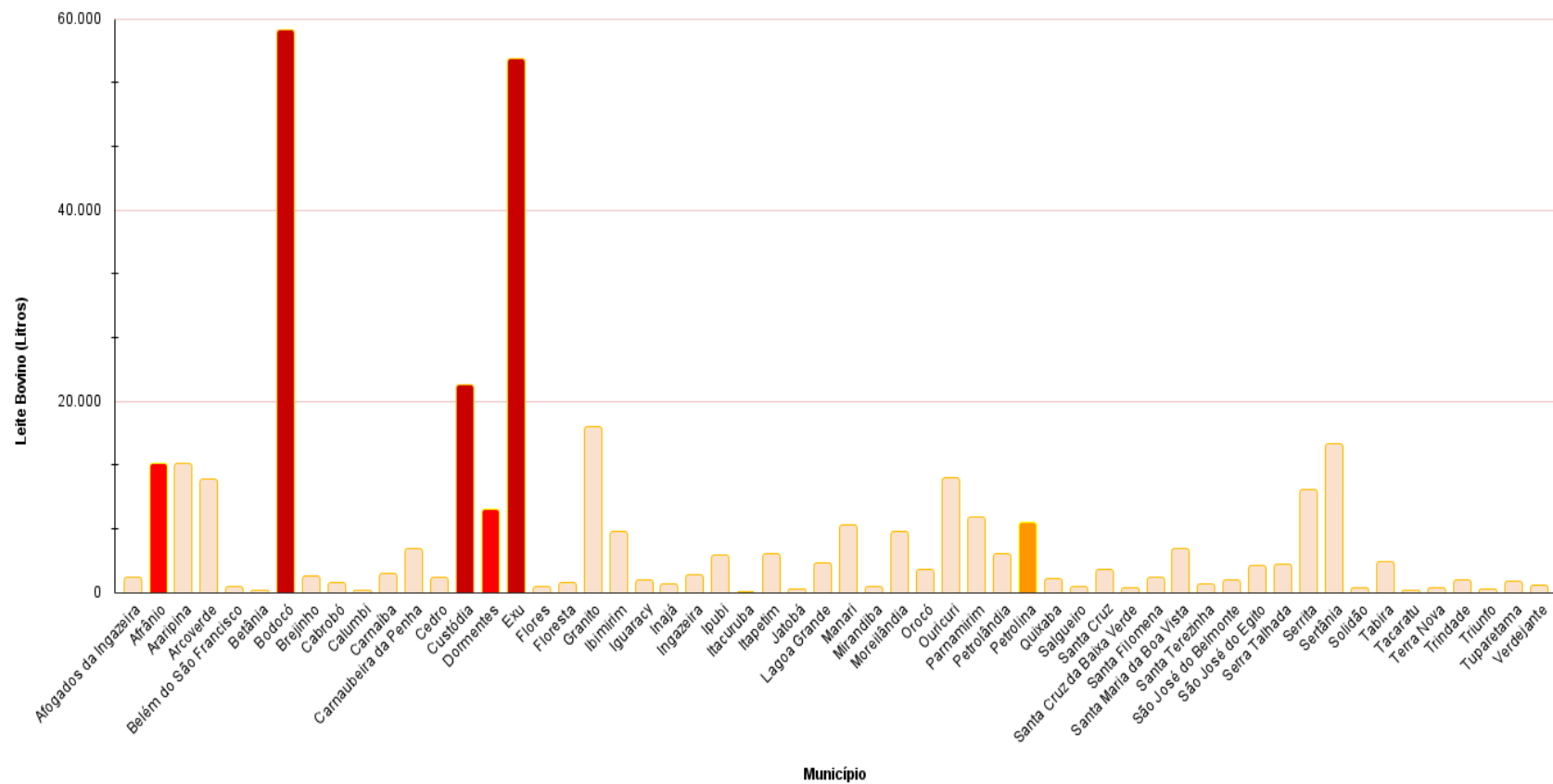


Fonte: IBGE (2023)

A Figura 8 traz um panorama da produção de leite dos municípios de destaque no Sertão Pernambucano e no Sertão do São Francisco.

Figura 8 - Panorama geral da produção de leite bovino nos municípios de Bodocó, Exu, Custódia, Afrânio e Petrolina, do sertão de Pernambuco.

LEITE BOVINO x MUNICÍPIO



Fonte: Adaptada de IBGE (2023) pela autora, 2025.

O mapa de territorialização da criação de bovino na região, representado pela Figura 5 expõe uma clara tendência de concentração na porção norte, isto pode ser explicado pela influência da bovinocultura que é uma das principais atividades pecuárias e econômicas no Sertão Pernambucano. A relação entre homens e bovinocultura no Sertão Pernambucano acontece desde o início da história, e se dá ao grande benefício que traz, seja como transporte, vestimenta, alimento (leite e carne) e como meio de subsistência (Cunha, 2018).

A região sertaneja é a segunda maior produtora de leite bovino em Pernambuco, ficando atrás apenas para a mesorregião do Agreste de Pernambuco que apresenta 72,17% de estabelecimentos produtores de leite (Hott, 2024).

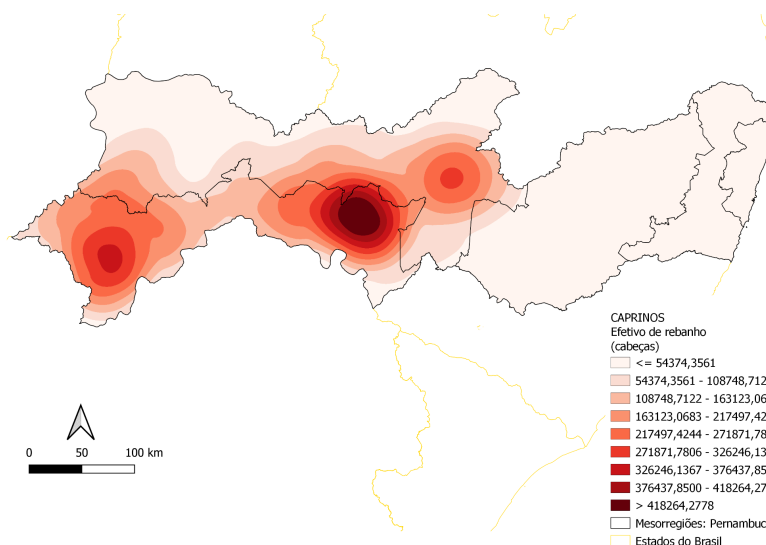
No Sertão Pernambucano os municípios de Bodocó (58.800 litros), Exu (57.737 litros) e Custódia (21.600 litros) destacam-se na produção de leite bovino em litros, enquanto no Sertão do São Francisco os municípios de Afrânio (13.500 litros), Dormentes (8.700 litros) e Petrolina (7.281 litros) estão entre os que mais produzem leite bovino para consumo (IBGE, 2023).

A bovinocultura de corte é uma das destinações do rebanho que vem ganhando espaço, decorrente da implementação de tecnologias modernas, porém se faz necessário a elaboração de políticas públicas que visem o aperfeiçoamento de assistência técnica que impulsionem o aumento dos rebanhos bovinos e produtividade de leite na região nordeste de Pernambuco (Carneiro, 2019).

5.1.1.2. Rebanho caprino

No Sertão do São Francisco Pernambucano, os municípios de Afrânio, Dormentes, Petrolina e Floresta (Figura 9), na devida ordem, estão entre os que apresentam maior rebanho efetivo de caprinos.

Figura 9 - Efetivo de rebanho caprino no Sertão do São Francisco.



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

O rebanho caprino apresenta uma concentração de 96% no nordeste brasileiro e 26% em Pernambuco. Na região sertaneja de Pernambuco, a mesorregião do Sertão Pernambucano ocupa a segunda posição na criação de caprinos, com total de 1.244.626 cabeças, enquanto o São Francisco Pernambucano lidera com 1.738.148 cabeças.

Dentre os municípios do Sertão pernambucano, Petrolina se destaca como segundo maior produtor da região concentrando cerca de 16% da criação de caprinos, ficando atrás apenas do município de Floresta que lidera com aproximadamente 24% da criação (IBGE, 2023).

Vários fatores influenciam a criação de caprinos na região centro-sul do São Francisco pernambucano. Um deles é a adaptabilidade do rebanho ao clima semiárido que influencia o crescimento no número de estabelecimentos agropecuários que comercializam caprinos.

Com isso, os produtores passam a enxergar o rebanho como fonte de renda. Como consequência, há uma valorização da atividade e um ganho em profissionalização (Magalhães, 2018).

A pecuária resulta em impactos ambientais negativos e que podem se tornar irreversíveis ao meio ambiente, a atividade está diretamente relacionada ao desmatamento, pois necessita de vasta área para formação de pastagens, fragmentação de habitats e perda da biodiversidade, bem como a degradação do solo e vulnerabilidade a processos erosivos que podem levar a aridização tendo em vista a sensibilidade dos solos das regiões semiáridas (Lima, 2022).

Vale salientar que os solos destinados à formação de pasto sofrem alteração em sua estrutura por pisoteio causando a sua compactação, dificultando a permeabilidade, as trocas gasosas, a ciclagem de nutriente pela diminuição de serapilheira e como consequência a redução de matéria orgânica que interfere no comportamento físico, como agregação, aglomerados, aeração modificando a consistência deste solo (Oliveira, 2021; Parente, 2011).

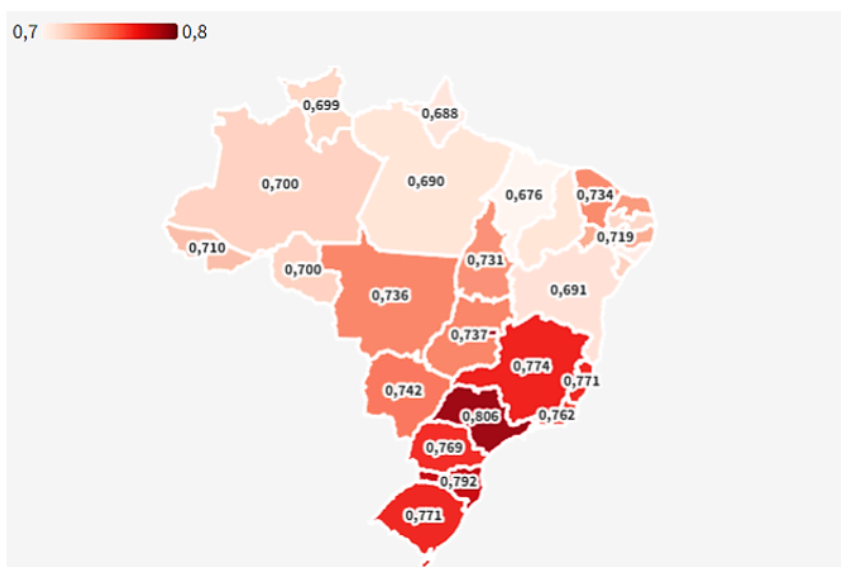
Deste modo, a pecuária influencia a mudança no uso do solo, impulsionada por hábitos de consumo, subsistência e crescimento populacional. No Sertão de Pernambuco, a criação de bovinos e caprinos surge, em geral, da necessidade da população local.

Diante dos impactos ambientais gerados pelas práticas agropecuárias tradicionais na Caatinga, torna-se evidente que os desafios não se limitam ao meio ambiente, refletindo diretamente nas condições de vida das populações locais. A baixa produtividade das atividades agrícolas e pecuárias, aliada à escassez de recursos naturais e à falta de acesso a tecnologias sustentáveis, contribui negativamente para os indicadores socioeconômicos, como escolaridade, renda e expectativa de vida. Nesse sentido, observa-se uma estreita relação entre a fragilidade dos sistemas produtivos locais e os índices de desenvolvimento humano (IDH) e, por isso, há necessidade de análise desses índices.

5.1.2. Produto Interno Bruto (PIB); Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e População.

Em Pernambuco o Índice de Desenvolvimento Humano é de 0,719 ficando em 13º lugar no ranking de IDH no Brasil (IBGE, 2021). Na Figura 10 é apresentada a distribuição dos estados brasileiros de acordo com seus níveis de desenvolvimento humano no Brasil.

Figura 10 - Os estados mais e menos desenvolvidos (dados do IDH por unidade federativa).



Fonte: PNUD; ONU (2025).

Dentre os 56 municípios localizados nos Sertões de Pernambuco, no que tange ao desenvolvimento econômico por meio de indicadores do Produto Interno Bruto e Índice de Desenvolvimento Humano que apresentam mais expressivos resultados, estão na mesorregião do São Francisco.

Tabela 8 - Indicadores socioeconômicos dos dez municípios com maior destaque em população absoluta, PIB e IDH, por mesorregião sertaneja de Pernambuco.

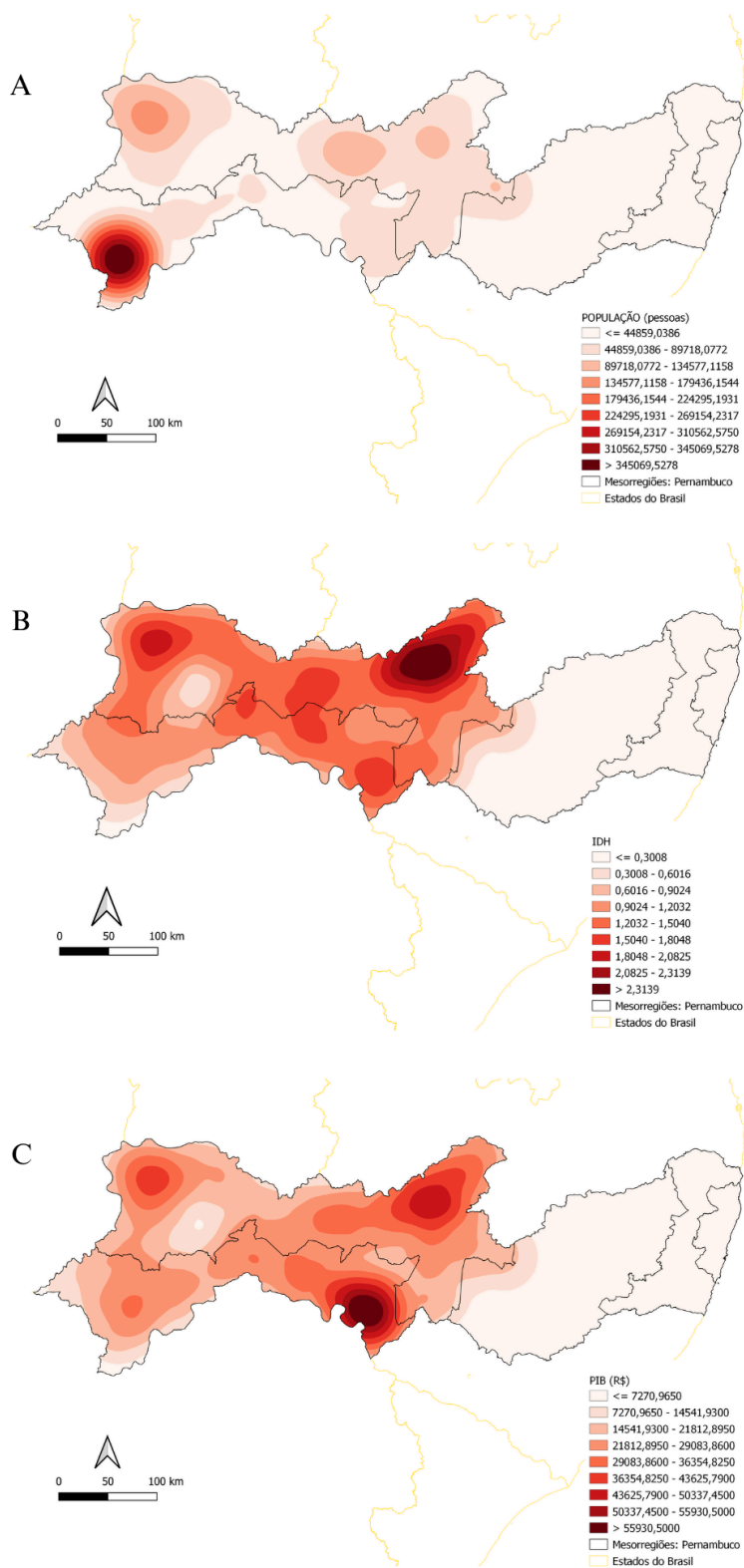
Mesorregião	Município	População	PIB (R\$)	IDH
Sertão Pernambucano	Araripina	85.088	14.912,98	0,602
	Arcoverde	77.742	16.141,61	0,667
	Calumbi	5.228	8.756,96	0,571
	Inajá	25.603	8.191,73	0,523
	Ingazeira	4.765	11.130,08	0,608
	Manari	23.763	6.293,67	0,487
	Salgueiro	62.372	16.278,25	0,669
	Santa Filomena	12.106	7.636,03	0,533
	Serra Talhada	92.228	19.359,84	0,661
	Solidão	5.210	9.390,24	0,585
Sertão do São Francisco	Afrânio	18.674	10.500,70	0,588
	Belém de São Francisco	20.730	17.669,71	0,642
	Cabrobó	30.294	12.676,50	0,623
	Carnaubeira da Penha	12.239	6.359,89	0,573
	Floresta	30.137	13.294,71	0,656
	Itacuruba	4.284	14.220,22	0,595
	Jatobá	14.020	10.318,90	0,645
	Orocó	13.613	12.178,95	0,610
	Petrolândia	34.161	44.494,80	0,623
	Petrolina	386.791	22.244,46	0,697

Em que: IDH = Índice de Desenvolvimento Humano; PIB = Produto Interno Bruto.

Fonte: Adaptada de IBGE (2023) pela autora, 2025.

O município de Petrolina lidera com maior área de unidade territorial com 4.561,870 km² e maior população absoluta, num total de 386.791 pessoas (Figura 11-A). Petrolina apresenta um o IDH 0,697 o mais elevado da região, no entanto em termos de PIB per capita, o município fica atrás apenas de Petrolândia com um PIB de R\$44.994,80, conforme apresentado na Figura 11-B e 11-C, respectivamente..

Figura 11 – Mapas temáticos da população absoluta (A), Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) (B) e Produto Interno Bruto (PIB) (C) nos Sertões de Pernambuco.



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Na mesorregião do Sertão Pernambucano o município de Serra Talhada apresenta uma área de unidade territorial 2.980,007 km² e população de 92.228 pessoas, apresenta uma produção expressiva de rebanho efetivo de caprinos e bovinos e PIB per capita de R\$ 19.359,84 o maior da região e IDH 0,661. O município de Salgueiro com área da unidade territorial 1.678,564 km² e uma população com 62.372 pessoas com PIB per capita de R\$ 16.278,25 e IDH de 0,669 o mais expressivo da mesorregião, com valores significativos na criação de rebanho caprino na região. Por fim, tem-se Arcoverde com área da unidade territorial 343,923 km² e população com 77.742 pessoas, apresenta um PIB per capita de R\$ 16.141,61 e IDH 0,667 o segundo maior da região (IBGE, 2022; IBGE, 2021; IBGE, 2010).

Observou-se que alguns municípios apresentaram PIB expressivos, se comparados ao PIB de outros municípios da região sertaneja de Pernambuco, porém com baixo IDH se comparado a outros municípios sertanejos, estão às cidades de Manari, Inajá, Santa Filomena, Carnaubeira da Penha, Tacaratu, Carnaubeira da Penha e Afrânio, conforme ilustrado na Figura 10.

Nesse sentido, pode-se avaliar as condições de vida da população nos municípios mais desenvolvidos economicamente e os fatores associados a este crescimento tais como políticas sociais, investimentos de infraestrutura econômica, bem como, o planejamento de estratégias para melhoria da condição de vida da população residente nos municípios que apresentam baixo IDH nos Sertões de Pernambuco.

As condições socioambientais, políticas e econômicas estão diretamente associadas à qualidade de vida da população e ao crescimento econômico. O clima semiárido limita a disponibilidade de recursos hídricos e, por consequência, o potencial produtivo da terra, afetando diretamente os meios de subsistência das comunidades, que dependem em grande parte da agricultura familiar e da pecuária extensiva (MMA, 2020).

Além dos desafios ambientais, as políticas públicas estão diretamente associadas à baixa presença do Estado e à carência de investimentos em infraestrutura que agravam a situação socioeconômica.

O crescimento populacional, especialmente em áreas urbanas de pequeno e médio porte, impulsiona o processo de urbanização desordenada, com expansão de zonas periféricas sem planejamento e sem acesso adequado a serviços básicos. Essa urbanização desordenada contribui para o aumento da pressão sobre os recursos naturais e favorece a ocupação de áreas de risco, intensificando os impactos ambientais e sociais.

A desigualdade social, intensamente presente nas regiões semiáridas, se expressa na distribuição desigual dos recursos naturais, no acesso limitado a políticas públicas de desenvolvimento e na alta dependência de programas assistenciais (NERY, 2022). Há então uma espécie de ciclo onde a pobreza, degradação ambiental e exclusão social se retroalimentam.

Nesse contexto, torna-se urgente a formulação de estratégias integradas que considerem as especificidades ecológicas do semiárido, promovam o uso racional dos recursos naturais e assegurem melhores condições de vida para as populações locais.

5.1.3. Extração Vegetal e Silvicultura (Lenha, carvão vegetal e madeira em tora)

No tocante à renda da população, pode-se analisar então o extrativismo vegetal para exploração madeireira, que se tornou imprescindível para o desenvolvimento da região. A utilização de lenha para suprimento das necessidades domésticas e industriais da população residente nos Sertões de Pernambuco se dá de várias formas, dentre elas o uso como fonte de calor para cocção, já que o combustível é de baixo custo e está ao alcance da população de baixa renda. O carvão vegetal para os setores comercial e industrial, decorrente da expansão da indústria da construção civil atende às crescentes progressões do consumo.

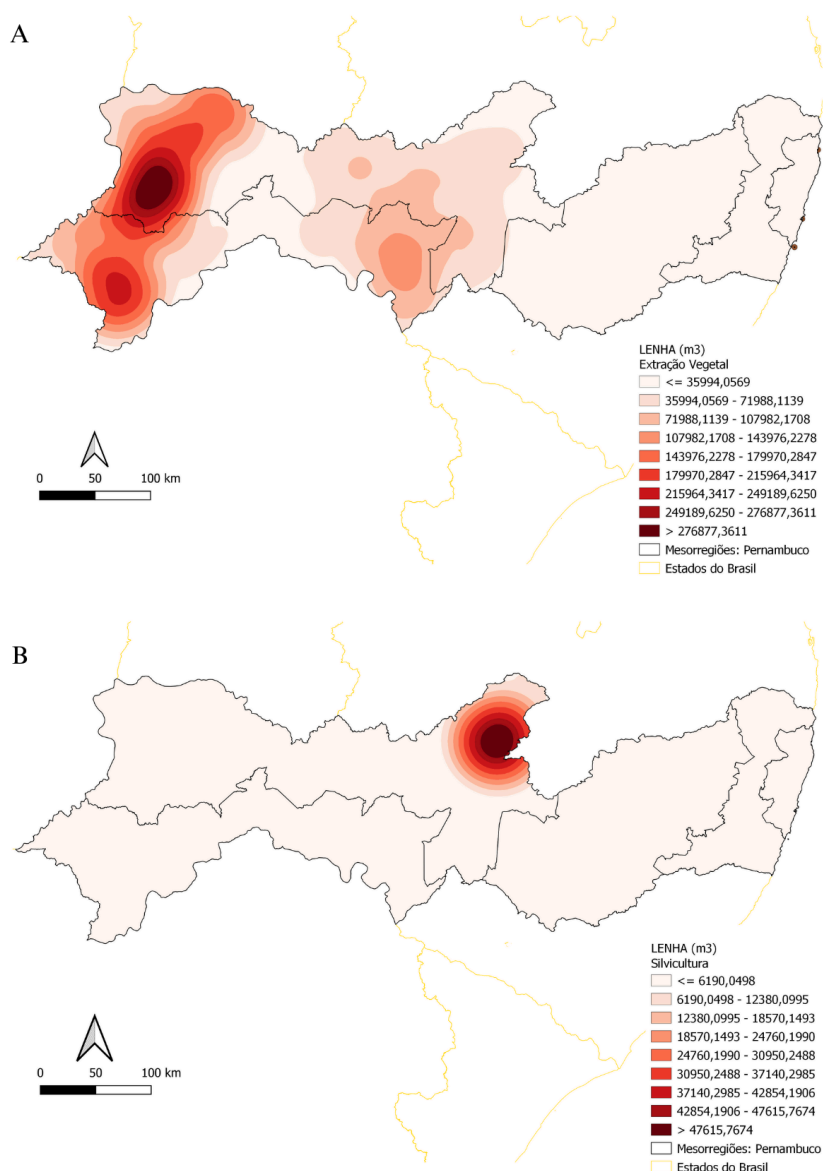
Segundo o estudo realizado pelo Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste houve uma retração na produção de lenha oriunda da extração vegetal, entre os anos de 2001 e 2021, com exceção dos estados do Piauí e Pernambuco, o que pode expressar uma das razões pela qual se produza mais lenha e carvão vegetal provenientes da extração vegetal nas mesorregiões do Sertão Pernambucano e do Sertão do São Francisco, pois houve uma valorização na produção de lenha na região (Vidal, 2023), enquanto registrou-se valores pouco expressivos da produção de madeira em tora na região sertaneja no ano de 2022 (IBGE, 2023).

5.1.3.1. Lenha (Extração Vegetal e Silvicultura)

No Sertão Pernambucano um dos fatores que fomenta a degradação do bioma por exploração de recursos naturais é a consequência das atividades das indústrias de materiais de construção (cerâmica vermelha, cal, gesso, cimento), que utilizam principalmente lenha como recurso energético (Gariglio et al., 2010; Vidal, 2023).

A extração vegetal para produção de lenha ocorre com maior significância nos municípios de Exu com 150.000 m³/ano, Ouricuri com 191.000 m³/ano e Santa Cruz com 183.000 m³/ano. Enquanto no Sertão do São Francisco o município de Petrolina produz 224.000 m³/ano, o de Floresta com produção anual de 84.000 m³/ano e o de Dormentes com 79.000 m³/ano (IBGE, 2023), como é possível observar na Figura 12-A e 12-B.

Figura 12 – Mapa de produção de lenha oriunda da extração vegetal (A) e atividade silvicultural (B) nos Sertões de Pernambuco.



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

A produção de lenha oriundas do extrativismo é realizada por 100% dos municípios da região sertaneja de Pernambuco. O Sertão Pernambucano produz 1.167.758 m³/ano, enquanto o São Francisco Pernambucano produz cerca de 720.496 m³/ano (IBGE, 2023).

Petrolina destaca-se na produção de lenha oriundas do extrativismo vegetal, produzindo um total de 224.000 m³/ano que corresponde 31,09% da produção em todo Sertão do São Francisco e 11,86% da produção sertaneja em Pernambuco (IBGE, 2023).

Na região sertaneja do estado, apenas nove dos 56 municípios que constituem a região, mais precisamente do Sertão de Pernambuco, produzem lenha advindas de atividade silvicultural, com destaque em Iguaracy. Sendo estes descritos na Tabela 9 que é ilustrada na Figura 12-B.

Tabela 9 - Municípios produtores de lenha provenientes da Silvicultura no Sertão de Pernambuco.

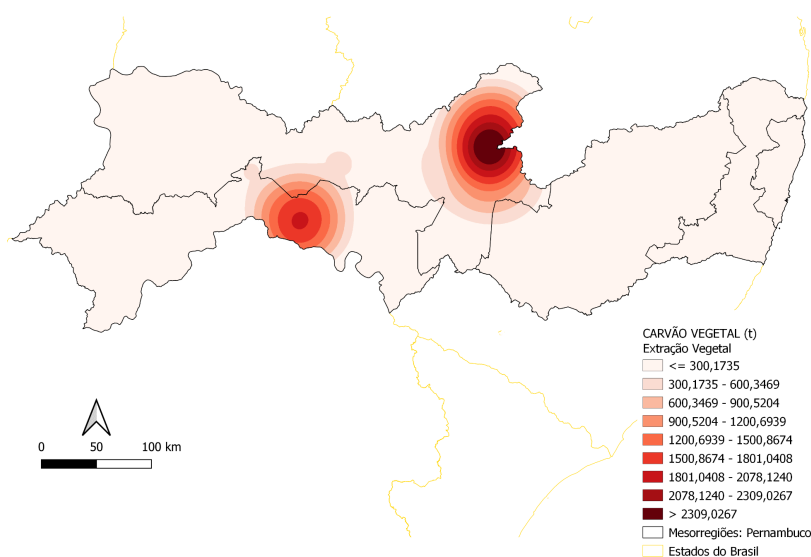
Municípios	Lenha: Silvicultura (m³/ano)
Iguaracy	50.000,00
São José do Egito	38.000,00
Ingazeira	9.380,00
Itapetim	6.760,00
Afogados da Ingazeira	4.500,00
Tuparetama	700,00
Exu	500,00
Tabira	400,00
Brejinho	205,00

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

5.1.3.2. Carvão Vegetal (Extração Vegetal)

Nos sertões do estado de Pernambuco 98,2% dos municípios produzem carvão vegetal provenientes da extração vegetal (Figura 13), com exceção apenas do município de Trindade (Sertão Pernambucano).

Figura 13 - Mapa da produção de carvão vegetal proveniente da extração vegetal nos Sertões de Pernambuco.



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

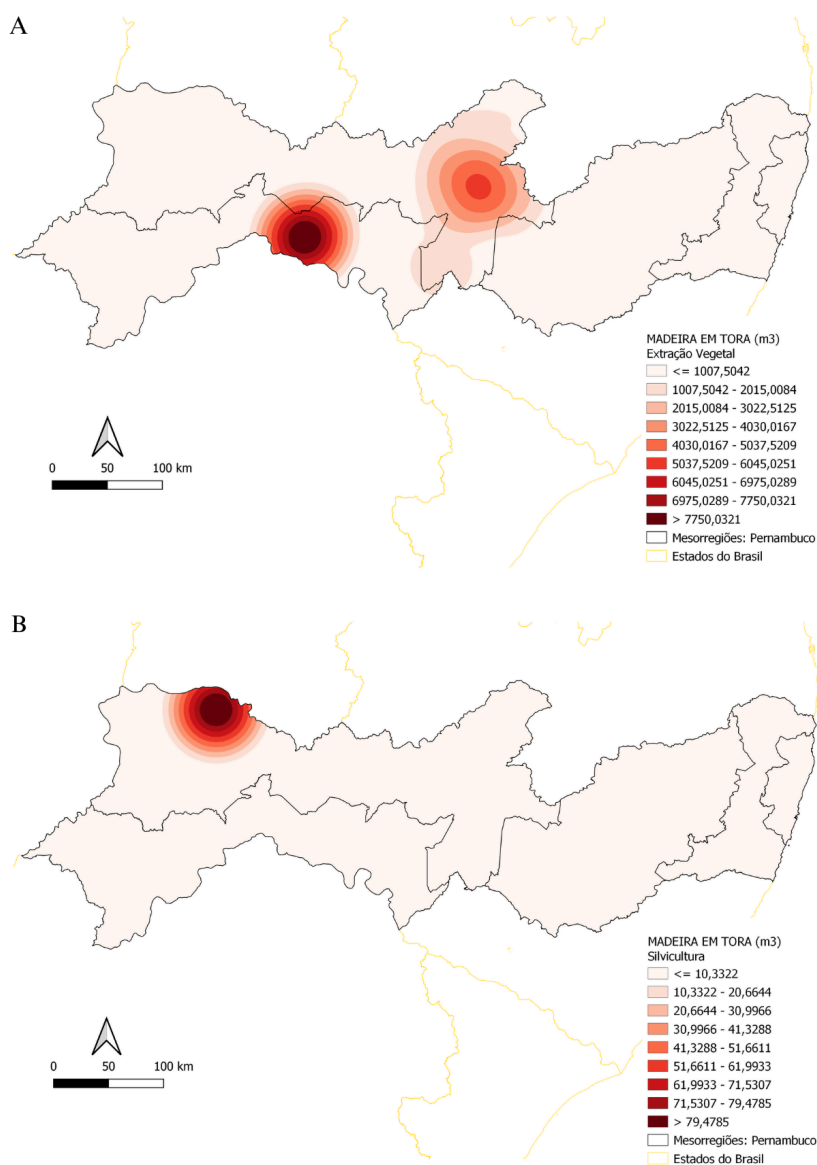
No Sertão Pernambucano pode-se destacar os municípios de Iguaracy com 1.942 m³/ano, Sertânia com produção de 999 m³/ano e Custódia com 427 m³/ano. No Sertão do São Francisco o município de Belém do São Francisco lidera com uma produção de 1.822 m³/ano, em seguida Terra Nova produzindo 245 m³/ano.

5.1.3.3. Madeira em Tora (Extração Vegetal e Silvicultura)

Na mesorregião do Sertão Pernambucano cerca de 68% dos municípios produzem madeira em tora, com produção mínima 47 m³/ano no município de Verdejante e 3.400 m³/ano no município de Custódia o maior produtor da região, seguido de Sertânia com 2.999 m³/ano e Inajá com uma produção de 1.650 m³/ano, os mais representativos da mesorregião.

No Sertão Franciscano cerca de 27% dos municípios produzem madeira em tora destacando-se os municípios de Belém do São Francisco com 8.400 m³/ano, Carnaubeira da Penha com produção de 700 m³/ano e Terra Nova com produção de 107 m³/ano. Na Figura 14 está ilustrada a produção de madeira em tora proveniente da extração vegetal e de atividade silvicultural nos Sertões de Pernambuco.

Figura 14 - Mapa da produção de madeira em tora proveniente da extração vegetal (A) e da Silvicultura (B) nos Sertões de Pernambuco



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

A produção de madeira em tora proveniente de atividade silvicultural, na região sertaneja de Pernambuco, ocorre apenas no município de Exu no Sertão Pernambucano, com produção de 90 m³/ano.

Um fator que pode limitar a exploração da atividade silvicultural para fins de produção de lenha, carvão vegetal e madeira em tora é a falta de estudos sobre o potencial das espécies madeireiras no semiárido pernambucano. A falta de políticas públicas e incentivos fiscais para a promoção da silvicultura na região dificultam esta prática (Seabra, 2022).

O extrativismo vegetal na Caatinga tem gerado impactos ambientais expressivos, especialmente diante do crescimento da demanda por biomassa lenhosa como fonte energética para atividades antrópicas como, por exemplo, o suprimento energético da indústria gesseira (Angelotti, 2021).

Contudo, essa crescente demanda energética tem sido atendida, em grande parte, por meio da exploração predatória dos recursos florestais da Caatinga, muitas vezes sem critérios técnicos, planos de manejo ou licenciamento ambiental adequado.

A ausência de monitoramento eficaz por parte dos órgãos competentes favorecem o avanço do desmatamento ilegal. A vegetação nativa acaba sendo removida sem qualquer controle sobre os volumes extraídos, as espécies afetadas ou a capacidade de regeneração dos ecossistemas. Esse cenário é agravado pela escassez de fiscalizações em campo, o que permite a continuidade da exploração irregular e a intensificação do processo de degradação ambiental (Oliveira, 2023). Além disso, a expansão da atividade extrativista, impulsionada tanto pelo crescimento econômico regional quanto pela falta de alternativas energéticas sustentáveis, contribui para a fragmentação de habitats, a perda da biodiversidade e o aumento da vulnerabilidade do solo à desertificação (Oliveira, 2023).

Diante do exposto observamos que os impactos ambientais procedentes do extrativismo vegetal para fins de suprimento energético tendem a crescer exponencialmente nos sertões do estado de Pernambuco. Estes impactos estão fortemente relacionados ao desenvolvimento da população e uso e ocupação dos espaços, produzindo uma constante degradação ambiental, constituindo-se numa prática insustentável (Campello, 2011).

Desta forma, o desmatamento da vegetação nativa para extração de lenha e madeira, ameaça os processos ecológicos pondo em risco o ecossistema, provocando prejuízos para a sustentabilidade ambiental, social e econômica dos municípios da região do semiárido nordestino.

A lenha ainda é uma fonte de energia renovável importante, porém a falta de critérios para a exploração, o desmatamento ilegal, o monitoramento insuficiente, a falta de fiscalização e a corrupção tem acelerado a destruição das florestas, do solo e dos ecossistemas (Gioda, 2019).

Como medidas mitigadoras dos impactos ambientais observados, há a adoção de políticas públicas voltadas para o manejo florestal sustentável, o fortalecimento da fiscalização ambiental, o incentivo ao uso de fontes energéticas alternativas, além do

reflorestamento com espécies nativas e os investimentos em atividades silviculturais para suprimento de demandas produtivas (Silva, 2008).

5.2. Influência dos Fatores Socioeconômicos e Agropecuários na Dinâmica de Uso e Cobertura da Terra no Município de Petrolina

5.2.1. Mapeamento

A seguir, são apresentados os resultados obtidos a partir da aplicação do algoritmo Random Forest para a classificação supervisionada de imagem no Qgis.

A confusão entre área urbana (classe 4) solo exposto (classe 5) pode ser explicada pela semelhança espectral entre esses tipos de cobertura do solo conforme representa a Tabela 10.

Tabela 10 - Matriz de Confusão da classificação do Uso e Cobertura da Terra do município de Petrolina - PE, 2014.

CLASSES	1	2	3	4	5	6	TOTAL
Água (1)	210						210
Vegetação (2)		433			1	57	491
Agricultura (3)			189	11	14	6	220
Área Urbana (4)				329	22		351
Solo exposto (5)				6	350		356
Pastagem (6)				2	17	319	338
TOTAL	210	433	189	348	404	382	1966
Acurácia Geral	89,30%						
Índice de Kappa	0,8000						

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Em imagens de sensoriamento remoto, superfícies com composições minerais semelhantes tendem a refletir a radiação de maneira parecida, dificultando a separação por algoritmos de classificação supervisionada (Figueiredo, 2005). Além disso, materiais urbanos como concreto, asfalto e telhas podem ter alta refletância em bandas próximas às do solo exposto, resultando na troca de pixels entre essas classes.

Para o ano de 2024 a confusão da classificação para a água (1) apresentou 100% de acerto, porém para vegetação (2) dois pixels foram confundidos com pastagem (6), para a agricultura (3) dois pixels foram confundidos com solo exposto (5), área urbana (4) apresentou maior erro na classificação sendo 59 pixels confundidos com solo exposto (5) e este apresentou erro na classificação com 24 pixels classificados como pastagem (6). Para a classificação da pastagem (6) houve 7 pixels identificados como solo exposto.

Estes erros ocorreram por conta da semelhança espectral entre as classes em que foram observadas a confusão, deste modo foram detalhados na Tabela 11.

Tabela 11 - Matriz de Confusão da Classificação do Uso e Cobertura da Terra do município de Petrolina - PE, 2024.

CLASSES	1	2	3	4	5	6	TOTAL
Água (1)	719						719
Vegetação (2)		442				2	444
Agricultura (3)			506		2		508
Área Urbana (4)			6	387	59		452
Solo exposto (5)				7	246	24	277
Pastagem (6)					7	406	413
TOTAL	719	442	512	394	314	432	2813
Acurácia Geral	97,76%						
Índice de Kappa	0,9599						

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Houve uma melhoria expressiva na acurácia geral da classificação que passou de 89,3% (2014) para 97,76% (2024), e no índice Kappa, que aumentou de 0,80 para 0,9599, respectivamente, o que indica que a classificação de 2024 tem menos erros e representa melhor a realidade do solo.

A área classificada como água apresentou um aumento 1,66% para 1,82%, enquanto a área de vegetação apresentou uma queda de -2,05 pontos percentuais tendo em vista que no ano de 2014 apresentava um percentual de área de 66,20% e no ano de 2024 apresentou uma área de 64,15%. A agricultura reduziu de 13,49% para 9,66% (-3,83 pontos percentuais), e a área de pastagem apresentou uma diminuição de 15,26% para 9,91% (-5,35 pontos percentuais). O solo exposto apresentou um aumento de 2,17% para 10,61%, um aumento de

(+8,44 pontos percentuais). A área urbana foi a que mais se ampliou, triplicando com valores que foram de 1,23% para 3,84% do território, apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 - Porcentagem de classe de uso e cobertura da terra no município de Petrolina.

Classe	Classes Por Área (%)	
	2014	2024
Água	1,66	1,82
Vegetação	66,20	64,15
Agricultura	13,49	9,66
Pastagens	15,26	9,91
Solo exposto	2,17	10,61
Área Urbana	1,23	3,84

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

De acordo com dados da Tabela 12, na última década o município de Petrolina apresentou transformações significativas refletidas nas mudanças de uso e cobertura da terra. Houve um aumento da área de água, em +0,16 pontos percentuais, essa variação pode indicar a influência de políticas de gestão hídrica, aumento de barragens ou açudes, ou mesmo mudanças climáticas que alteram os níveis dos corpos d'água na região.

Observou-se uma redução da vegetação, em -2,05 pontos percentuais, que pode ter sofrido alteração espacial por conta da conversão de áreas naturais em espaços urbanos ou áreas agrícolas, esta pressão antrópica pode estar comprometendo a regeneração natural da Caatinga.

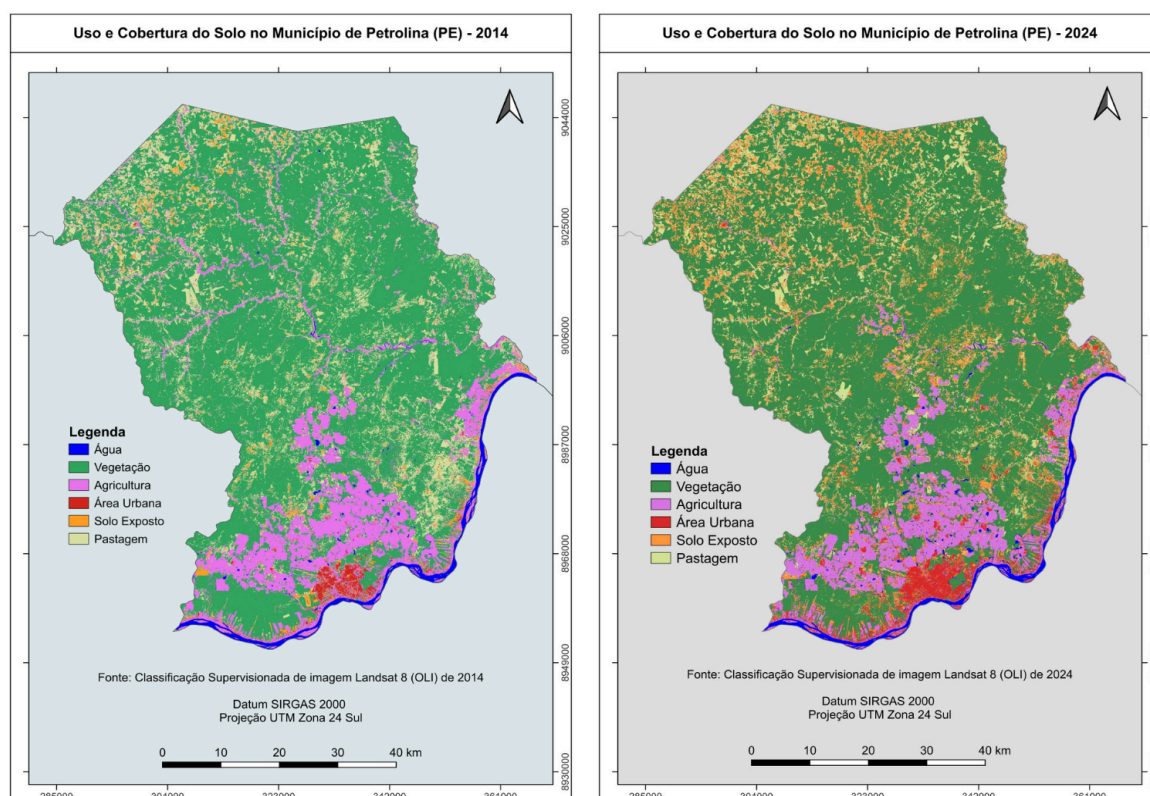
As áreas destinadas à agricultura diminuíram 3,83 pontos percentuais. Uma hipótese para esse resultado é a transição da agricultura para outros usos do solo, como a urbanização. A área urbana cresceu 2,61 pontos percentuais, indicando expansão da infraestrutura da cidade. Petrolina apresenta o maior IDH do Sertão, com índice de 0,697. É o município mais populoso da região, com 386.791 pessoas. Possui o segundo maior PIB per capita da região sertaneja, com R\$22.244,46, ficando atrás apenas de Petrolândia, que apresenta um PIB per capita de R\$44.994,80 (Tabela 8).

Outro aspecto a se considerar é a presença do polo fruticultor implantado em Petrolina com investimentos significativos para a região, permitindo que fossem realizadas melhorias tecnológicas, a exemplo a fruticultura irrigada que pode explicar a diminuição de áreas para agricultura (Lima, 2021).

As áreas destinadas às pastagens apresentaram uma queda significativa, de -5,35 pontos percentuais, que quando relacionadas ao aumento do solo exposto, em +8,44 pontos percentuais, sugere um processo de degradação ambiental, que pode estar relacionado ao desmatamento tendo em vista a diminuição da área vegetada. A expansão das áreas urbanas e o desenvolvimento de infraestrutura são fatores que podem contribuir diretamente para a exposição do solo e perda de cobertura vegetal.

Observa-se a concentração de atividade agrícola ao sul do município, especialmente nas áreas mais próximas ao Rio São Francisco, esse padrão se manteve ao longo da década. Outro ponto interessante a ser observado é o aumento de área com solo exposto em 2024 quando comparado a 2014. Os mapas a seguir refletem diferentes categorias de uso e cobertura da terra, proporcionando uma visão detalhada da dinâmica espacial da região, representada na Figura 15.

Figura 15 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra do município de Petrolina - PE, 2014 e 2024.



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

A supressão da vegetação nativa em favor do uso antrópico na Caatinga não é um fenômeno exclusivo do município de Petrolina. Os autores Nascimento Silva et al. (2023)

também identificaram uma redução acentuada das áreas de vegetação nativa a partir de 2010 ao estudarem a Caatinga paraibana. Nesse período, observou-se um aumento significativo das áreas destinadas à pastagem, agricultura e expansão urbana.

Lima et al. (2022) analisaram a dinâmica do uso da terra na Caatinga e destacaram que o abandono de áreas anteriormente cultivadas e/ou utilizadas para pastagem pode resultar em impactos distintos. Do ponto de vista econômico, essas áreas deixam de contribuir para o Produto Interno Bruto (PIB) municipal, representando uma perda financeira para o território. Por outro lado, sob a perspectiva ecológica, o desuso pode favorecer a regeneração natural da vegetação nativa. Entretanto, quando a degradação do solo atinge níveis elevados, a recuperação espontânea torna-se inviável, comprometendo de forma permanente a funcionalidade do ecossistema. Tal situação foi observada na área analisada neste estudo, onde terras anteriormente utilizadas para atividades antrópicas caracterizam-se atualmente como solo exposto.

6. CONCLUSÃO

A análise da área de estudo, a partir da compreensão dos fatores socioeconômicos e ambientais, revelou mudanças significativas no uso e cobertura do solo ao longo da década de 2014 a 2024. A expansão urbana e o aumento das áreas de solo exposto, acompanhados da redução das áreas agrícolas e de pastagens, demonstram a forte influência do crescimento econômico e populacional na dinâmica territorial.

A pecuária, principalmente de rebanho caprino em Petrolina, na mesorregião do São Francisco, é amplamente praticada e mostrou-se um fator determinante na modificação do solo, o que tem contribuído para a compactação e a degradação dos recursos naturais, que podem intensificar a vulnerabilidade a processos erosivos e à desertificação. Além disso, a urbanização acelerada reflete não apenas o desenvolvimento econômico, mas também desafios ambientais, como a redução da vegetação nativa e o aumento das temperaturas locais devido à maior absorção de calor por superfícies construídas.

A supressão da vegetação e o aumento do solo exposto apontam para uma pressão crescente sobre o bioma Caatinga. As mudanças observadas indicam uma conversão do solo para uso urbano e agropecuário, o que pode comprometer a resiliência do ecossistema, afetando a biodiversidade e a capacidade de regeneração do solo.

Portanto, a compreensão dessas dinâmicas é essencial para embasar políticas públicas e práticas sustentáveis que mitiguem os impactos negativos e promovam um equilíbrio entre o desenvolvimento socioeconômico e a conservação ambiental no município de Petrolina.

7. REFERÊNCIAS

- ANGELOTTI, Francislene et al. Agricultura sustentável como medida de adaptação para o Polo Gesseiro do Araripe. **A ação pública de adaptação da agricultura à mudança climática no Nordeste semiárido brasileiro**, p. 65, 2021.
- AGUIAR, C. R. de. A Terra e sua forma: uma breve história. **Revista Percurso - NEMO**, Maringá, v. 12, n. 1, p. 179-183, 2020. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/Percurso/article/view/54806/751375150317>. Acesso em: 13 fev. 2025.
- AQUINO, J. W. C.; SANTOS, A. M. dos. Análise da estrutura e distribuição da cobertura vegetal das Caatingas em diferentes áreas de sequeiro no Vale do São Francisco nas últimas três décadas. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 24, p. 55-87, 2020.
- ARAÚJO FILHO, J. A. de; CARVALHO, F. C. de. **Desenvolvimento sustentado da caatinga**. Sobral: EMBRAPA-CNPQ, 1997. 19 p. (Embrapa Caprinos e Ovinos. Circular Técnica, 13). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/514827>. Acesso em: 24 fev. 2025.
- CAMPELLO, F. C. B. **Análise do consumo específico de lenha nas indústrias gesseiras: a questão florestal e sua contribuição para o desenvolvimento sustentável da Região do Araripe-PE**. 2011. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/5473>. Acesso em: 12 fev. 2025.
- CARNEIRO, W. M. A. **Comportamento da pecuária do Nordeste no limiar do século XXI**. BNB Conjuntura Econômica, Fortaleza, edição especial, p. 119-131, 2019. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/documents/45799/1057811/Comportamento+da+Pecu%C3%A1ria+do+Nordeste+no+Limiar+do+S%C3%A9culo+XXI.pdf/2b300bc7-253d-9745-23d3-1c499dac3267?t=1648743903348&download=true>. Acesso em: 19 dez. 2024.
- CUNHA, B. P.; SILVA, J. I. A. O. A crise ambiental no semiárido: a perspectiva do pensamento sistêmico. In: GIONGO, V.; ANGELOTTI, F. (Eds.). **Agricultura de baixa emissão de carbono em regiões semiáridas: experiência brasileira**. Brasília: Embrapa, 2022. Cap. 5, p.73-91. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/33514>. Acesso em: 24 Fev. 2025.

CUNHA, M. C. da; LOPES, A. V. de F. e.. Uma relação entre vaqueiros e seus animais no sertão pernambucano. **Vivência: Revista de Antropologia**, [S.L.], v. 1, n. 51, p.109-121, 2018. <https://doi.org/10.21680/2238-6009.2018v1n51ID10704>.

D'ALGE, J. C. L. Cartografia para geoprocessamento. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Eds.). **Introdução à ciência da geoinformação**. São Jose dos Campos: INPE, 2001. Capítulo 6, p.6-1-6-32. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap6-cartografia.pdf>. Acesso em: 05 Mar.2025.

DEMARTELAERE, A. C. F.; FEITOSA, S. dos S.; LEÃO, F. de A. do N.; COSTA, B. P. et al. Revisão bibliográfica: impactos em áreas nativas da caatinga causadas pelas atividades econômicas e as técnicas de reflorestamento. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 4, p. 25285-25306, 2022. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n4-176>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>. Acesso em: 18 jan. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Notícias. **Novo Censo Agropecuário mostra crescimento de efetivo de caprinos e ovinos no Nordeste**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/36365362/novo-censo-agropecuario-mostra-crescimento-de-efetivo-de-caprinos-e-ovinos-no-nordeste>. Acesso em 18 Jan. 2025.

FIGUEIREDO, Divino. **Conceitos básicos de sensoriamento remoto**. São Paulo: O Autor, 2005. 32p. Disponível em: https://clickgeo.com.br/wp-content/uploads/2013/04/conceitos_sm.pdf. Acesso em: 05 Mar. 2025.

FRANCISCO, P. R. M.; RIBEIRO, G. do N.; PEREIRA, F. C.; MORAES NETO, J. M. de; SILVA, V. M. de A. et al. **Geotecnologias aplicadas a estudos ambientais**. Campina Grande: EPGRAF, 2018. 188p. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/28716>. Acesso em: 05 Mar.2025.

GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. de S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: MMA, 2010. 368p. Disponível em: <https://www.gov.br/florestal/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/publicacoes-diversas/Usosustentveleconservaodosrecursosflorestaisdacaatinga.pdf>. Acesso em 04 Mar.2025.

GIODA, A. Características e procedência da lenha usada na cocção no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo-SP, v. 33, n. 95, p. 133-150, 2019. <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2019.3395.0009>.

GUEDES, J.; SILVA, S. M. P. da. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: princípios físicos, sensores e métodos. **Acta Geográfica**, v. 12, n. 29, p. 127-144, 2018. <https://doi.org/10.18227/2177-4307.acta.v12i29.4001>.

HOTT, M. C.; ANDRADE, R. G.; MAGALHÃES JUNIOR, W. C. P. de. **Produção de leite na mesorregião Agreste Pernambucano**. Piracicaba: Milkpoint Mercado, 2024. 4p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1168373>. Acesso em: 03 Mar. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil**: compatível com a escala 1:250.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. 168p. (IBGE. Relatórios metodológicos, v. 45). Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101676.pdf>. Acesso em: 24 Fev, 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Divisão Regional do Brasil. Microrregiões e mesorregiões geográficas**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. v. 1. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/divisao-regional/15778-divisoes-regionais-do-brasil.html?=&t=downloads>. Acesso em 19 Jan. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Malhas territoriais** Malha Municipal. Acesso ao produto - 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 03 Jan. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Rebanho de Bovinos (Bois e Vacas)**. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/bovinos/se>. Acesso em: 05 Jan. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Rebanho de Caprinos (Bodes e Cabras)**. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/caprinos/br>. Acesso em: 05 Jan. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Catálogo**. Disponível em: <https://www.dgi.inpe.br/catalogo/explore>. Acesso em: 05 Fev. 2025.

ITO, M. H.; FONSECA FILHO, H.; CONTI, L. A. Uso do software livre QGIS (Quantum GIS) para ensino de Geoprocessamento em nível superior. **Revista Cartografica**, México, v.

- 94, p. 127-148, 2017. Disponível em: http://comisiones.ipgh.org/CARTOGRAFIA/rca/RCA94_Digital.pdf. Acesso em: 05 Mar. 2025.
- LEAL, I. R.; SILVA, J. M. C. da; TABARELLI, M.; LACHER JR, T. E. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 139-146, 2005. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/160/o/19_Leal_et_al.pdf. Acesso em: 05 Mar. 2025.
- LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. da. **Ecologia e conservação da Caatinga**. Editora Universitária UFPE, 2003. 822p. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/biomas-e-ecossistemas/biomas/arquivos-biomas/5_livro_ecologia_e_conservao_da_caatinga_203.pdf. Acesso em: 02 Mar. 2025.
- LEITE, M. E., & BRITO, J. L. Sensoriamento remoto aplicado ao mapeamento do uso do solo urbano e de assentamentos ilegais em Montes Claros. **Geosul**, Minas Gerais. v26, n52, 99. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/2177-5230.2011v26n52p99> Acesso em: 02 Mar.2025.
- LIAW, A.; WIENER, M. Classification and regression by random forest. **R News**, v.2/3, p.18-22, 2002. Disponível em: <https://journal.r-project.org/articles/RN-2002-022/RN-2002-022.pdf>. Acesso em: 07 Dez. 2024.
- LIMA, S. S.; CORDEIRO, J. L.; TEIXEIRA, L. P.; MAIA, R. P.; SILVA, M. V. da; MORO, M. F. Caracterização geográfica e dinâmica de uso da terra da Ibiapaba e seu entorno, Domínio Fitogeográfico da Caatinga. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife-PE, v. 15, n. 5, p. 2500–2524,2022. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.5.p2500-2524>.
- LIMA, T. A.; SANTOS, J. M. S.; GONÇALVES, M. V. S.; OLIVEIRA, T. A. A.; LIMA, J. R. F. de. A fruticultura como vetor do crescimento populacional do polo Petrolina-PE/Juazeiro-BA. In: SOUZA, M. M. A. de; DINIZ, L. F. A. C.; SILVA, J. C. S.; CLEMENTINO, V. D. R.; FIGUEIREDO NETO, A. (Eds.). **Desenvolvimento do semiárido: organizações, gestão, inovação & empreendedorismo**. Belo Horizonte: Poisson, 2021. V.2, cap. 6, p. 73-82. <https://doi.org/10.36229/978-65-5866-041-5.CAP.06>.

MACHADO, J. G. R.; PAMPLONA, J. B. A ONU e o desenvolvimento econômico: uma interpretação das bases teóricas da atuação do PNUD. **Economia e sociedade**, v. 17, n. 1, p. 53-84, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0104-06182008000100003>.

MAGALHÃES, K. A.; MARTINS, E. C.; LUCENA, C. C. de; HOLANDA FILHO, Z. F. Panorama da ovinocultura e da caprinocultura a partir do Censo Agropecuário 2017. **Boletim do Centro de Inteligência e Mercado de Caprinos e Ovinos**, Sobral-CE, n. 7, p. 5-26, 2018. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1105837>. Acesso em: 07 Dez. 2024.

MAIA, J. M.; SOUSA, V. F. de O.; LIRA, E. H. A. de; LUCENA, A. M. A. Motivações socioeconômicas para a conservação e exploração sustentável do bioma Caatinga. **Desenvolvimento e meio ambiente**, v. 41, p.295-310, 2017. <https://doi.org/10.5380/dma.v41i0.49254>.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Caderno da região hidrográfica do São Francisco**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. 148p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA; INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS- IBAMA. **Caatinga: Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite**. 2017. Disponível em:

http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80120/HEX_RelatorioBiomaCaatinga_2010-2011_V2%20-%20MMA.pdf. Acesso em: 27 Dez. 2024.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Bioma Caatinga**. Brasília: MMA, 2020. Disponível em:

<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/biomas-e-ecossistemas/biomas/caatinga>. Acesso em: 10 Jan. 2025.

MIRANDA, Cleuton Pinto; RAUBER, Alexandre Luiz. A análise temporal da qualidade visual da paisagem do parque nacional do Cabo Orange/AP: as contribuições do sensoriamento remoto. *Ciência Geográfica*, Bauru, Ano XXVII–Vol. XXVII, 2023.

NASCIMENTO SILVA, J. do; ARAÚJO HERCULANO, E. V. de; BORGES, I. M. S.; SILVA, V. F.; ARAÚJO, B. L. B. de; MORAIS, G. V. de; MARTINS, M. S. Evolução temporal dos tipos de uso do solo no bioma Caatinga no estado da Paraíba. **Journal of Ecoinnovation and Environmental Management**, v. 1, n. 1, p. 14-27, 2023.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. 2010. **Remote Sensing Tutorial**. Disponível em: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/>. Acesso: 28 Jan. 2025.

NOVAIS, G. T. Distribuição média dos Climas Zonais no Globo: estudos preliminares de uma nova classificação climática. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife-PE, v. 10, n. 5, p. 1614-1623, 2017. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v.10.5.p1614-1623>.

OLIVEIRA, Michele Laurentino de et al. Análise da dinâmica dos fluxos de água e carbono em diferentes coberturas do solo no Nordeste Brasileiro. 2023.

OLIVEIRA, T. S.; CARVALHO, C. C. N. de; CORREIA, C. C.; FONSECA, E. C. N. F.; NUNES, F. C. Avaliação da degradação de pasto nativo embasada em parâmetros de solo. **Diversitas Journal**, v. 6, n. 2, p. 1871-1885, 2021. <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v6i2-1424>.

OLIVEIRA, V. R.; RIBEIRO, A.; DRUMOND, M. A.; PORTO, D. D.; KIILL, L. H. P.; FERRAZ FILHO, A. C. Dinâmica da vegetação de Caatinga na Unidade experimental da Embrapa Semiárido Petrolina/PE. In: **EMBRAPA SEMIÁRIDO** (Org.). Embrapa Semiárido, 2024. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1164989>. Acesso em: 18 Fev. 2025.

PARENTE, H. N.; MAIA, M. O. Impacto do pastejo sobre a compactação dos solos com ênfase no Semiárido. **Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 5, n. 3, p. 3-15, 2011. Disponível em: <https://cajapio.ufma.br/index.php/ccaatropica/article/view/272>. Acesso em: 12 Fev. 2025.

PEREIRA, Patricia Barbosa; NUNES, H. K.; ARAÚJO, F. de A. Análise multitemporal de uso, ocupação e cobertura da terra na zona Leste da cidade de Caxias/Maranhão/Brasil. **Rev Bras Geogr Física**, v. 14, p. 1415-28, 2021.

PERNAMBUCO. Lei 12.651, de 25 de Maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 20 Mar. 2024.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO - PNUD. **Desenvolvimento Humano e IDH**. Disponível em: <https://www.undp.org/pt/brazil/idh>. Acesso em: 17 Fev. 2025.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO – PNUD.

Relatório do Desenvolvimento Humano 2013: A ascensão do Sul: progresso humano num mundo diversificado. Nova York: PNUD, 2013. Disponível em: <https://hdr.undp.org/system/files/documents/hdr13summaryptweb.pdf>. Acesso em: 17 Jan. 2025.

ROCHA, A. G. B.; ROCHA, R. B. A Cartografia ao longo da história da humanidade: importância e avanços técnicos. **Ensino em Perspectivas**, Fortaleza-CE, v. 2, n. 2, p. 1-17, 2021. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/ensinoemperspectivas/article/view/4995>. Acesso em: 05 Mar. 2025.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo-SP, v. 16, p. 81-90, 2005. <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0016.0009>.

SANTOS, A. L. C.; CARVALHO, C. M. de; CARVALHO, T. M. de. Importância de remanescentes florestais para conservação da biodiversidade: Estudo de caso na Mata Atlântica em Sergipe através de sensoriamento remoto. **Revista Geográfica Acadêmica**, Boa Vista-RR, v. 7, n. 2, p. 58-84, 2013. Disponível em: <https://revista.ufr.br/rga/article/view/2992>. Acesso em: 07 Dez. 2024.

SANTOS, E. S. dos. Descentralização do Programa segundo tempo e níveis de Desenvolvimento Humano (IDH). **LICERE - Revista do Programa de Pós-graduação Interdisciplinar em Estudos do Lazer**, v. 22, n. 3, p. 207-224, 2019. <https://doi.org/10.35699/1981-3171.2019.15310>.

SANTOS, P. S.; SANTOS, M. E. de G. dos; SANTOS, R. dos. Uso e ocupação do solo: Reflexão sobre impacto ambiental. **Agri-Environmental Sciences**, Palmas-TO, v. 7, n. 1, e10, 2021. <https://doi.org/10.36725/agries.v7i1.5208>.

SEABRA, C. C. de; Angelo, H.; GOULART, G. da S.; AFONSO, S.; STERNADT, G. H.; ALMEIDA, A. N. de. Madeiras da Caatinga para produção de pequenos objetos de madeira (POM). **Ciência Florestal**, Santa Maria-RS, v. 32, n. 4, p. 1980-2006, 2022. • <https://doi.org/10.5902/1980509864567>.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea , estado de Pernambuco. relatório diagnóstico do município de Petrolina.** Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. 5p. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/16562>. Acesso em: 25 Jan. 2025.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: estado de Pernambuco: Diagnóstico do município de Ibimirim** Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. 33p. Disponível em:

<https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/16058> . Acesso em: 25 Jan. 2025.

SILVA, D. V. S. da; CRUZ, C. B. M. Tipologias de Caatinga: uma revisão em apoio a mapeamentos através de sensoriamento remoto orbital e GEOBIA. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 35, p. 113-120, 2018. <https://doi.org/10.11606/rdg.v35i0.142710>.

SILVA, A. G. da; VILAR, L. O.; VILAR, V. O.; COELHO, F. P.; ACIOLI, N. R. dos S.; RAMOS, R. B. G. A.; MOREIRA, J. G.; DIARES, T. R.; SILVA, D. F. da; CRUZ, M. S. da; MOURA, R. G. de. O manejo florestal sustentável da Caatinga. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, São Paulo, v. 7, n. 5, maio 2021.

SILVA, J. A. A. da. Potencialidades de florestas energéticas de Eucalyptus no Pólo Gesseiro do Araripe – PE. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica*, Recife, v. 5-6, p. 301-319, 2008-2009.

TABARELLI, M.; LEAL, I. R.; SCARANO, F. R.; SILVA, J. M.C. da. Caatinga: legado, trajetória e desafios rumo à sustentabilidade. **Ciência e Cultura**, São Paulo-SP, v. 70, n. 4, p. 25-29, 2018. <https://doi.org/10.21800/2317-66602018000400009>.

UNITED STATES GEOLOGICAL SERVICE - USGS. **Landsat 8 (L8) Data Users Handbook**. Versão 5.0. South Dakota: Department of the Interior U.S. Geological Survey,. 2019. 115p.

VIDAL, M. de F. Extrativismo: recursos florestais naturais. **Caderno Setorial**, Fortaleza-CE, 8, n. 299, p.1-17, 2023. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1870/1/2023_CDS_299.pdf.

Acesso em: 18 jan. 2025.

VIEIRA, E. M. de A.; NEVES, N.T. de A.T.; OLIVEIRA, A.C.C. de; MORAES, R.M. de; NASCIMENTO, J.A. do. Avaliação da performance do algoritmo J48 para construção de modelos baseados em árvores de decisão. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, Passo Fundo-RS, v. 10, n. 2, p. 80-90, 2018. <https://doi.org/10.5335/rbca.v10i2.8078>.