UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ADSSON ANDRÉ DA SILVA GOMES

APROPRIAÇÃO DO RELEVO E VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL: ANÁLISE INTEGRADA DAS UNIDADES DE PAISAGEM NO MUNICÍPIO DE ARAPIRACA – AL

Cidade Universitária, Prof. José Aloísio de Campos – UFS
São Cristóvão/SE, fevereiro de 2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ADSSON ANDRÉ DA SILVA GOMES

APROPRIAÇÃO DO RELEVO E VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL: ANÁLISE INTEGRADA DAS UNIDADES DE PAISAGEM NO MUNICÍPIO DE ARAPIRACA – AL

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGEO da Universidade Federal de Sergipe – UFS como requisito final para obtenção do título de Doutor em Geografia.

Área de concentração: Produção e Organização do espaço.

Linha de Pesquisa: Análise geoambiental e Ordenamento do território.

Orientador: Prof. Dr. Hélio Mário de Araújo

Cidade Universitária, Prof. José Aloísio de Campos – UFS

São Cristóvão/SE, fevereiro de 2026

Ata da Sessão de Defesa da Tese de Doutorado em Geografia de **Adsson André da Silva Gomes.**

Aos vinte e sete dias do mês de fevereiro de dois mil e vinte e seis, com início às nove horas, realizou-se no auditório do Departamento de Geografia - DGE, localizado na Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos, em São Cristóvão/SE, a sessão pública da defesa de Tese de Doutorado em Geografia de **Adsson André da Silva Gomes**, intitulada: "Apropriação do relevo e Vunerabilidade socioambiental: análise integrada das unidades de paisagem no município de Arapiraca - AL". A Banca Examinadora foi presidida pelo Professor Doutor Hélio Mário de Araújo, que abriu a sessão pública e passou a palavra para o doutorando proceder à apresentação de sua Tese. Logo após a apresentação, cada membro da Banca Examinadora composta pelas Professoras Doutoras Renata Nunes Azambuja, Rosana de Oliveira Santos Batista, Carla Norma Correia dos Santos e pelo Professor Doutor Heleno dos Santos Macedo arguiram o candidato, que teve igual período para sua defesa. Na sequência, o Professor Doutor Hélio Mário de Araújo, na condição de orientador teceu comentários sobre a Tese apresentada e destacou a trajetória para a sua construção. Por fim, a banca examinadora reuniu-se para avaliação e decidiu **APROVAR** o candidato. Foram atendidas as exigências da Resolução nº 25/2014/CONEPE, que regula a apresentação e defesa de Tese de Doutorado.

Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos, 27 de fevereiro de 2026.

gov.br Documento assinado digitalmente
HELIO MARIO DE ARAUJO
Data: 03/03/2026 13:12:29-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Hélio Mário de Araújo
Orientador e presidente da banca

gov.br Documento assinado digitalmente
RENATA NUNES AZAMBUJA
Data: 04/03/2026 11:38:02-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. Dra. Renata Nunes Azambuja
Examinadora externa

gov.br Documento assinado digitalmente
ROSANA DE OLIVEIRA SANTOS BATISTA
Data: 05/03/2026 21:30:02-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. Dra. Rosana de Oliveira Santos Batista
Examinadora externa

gov.br Documento assinado digitalmente
CARLA NORMA CORREIA DOS SANTOS
Data: 06/03/2026 16:16:32-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. Dra. Carla Norma Correia dos Santos
Examinadora externa

Documento assinado digitalmente
gov.br
HELENO DOS SANTOS MACEDO
Data: 06/03/2026 22:00:55-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Heleno dos Santos Macedo
Examinador externo

Documento assinado digitalmente
gov.br
ADSSON ANDRE DA SILVA GOMES
Data: 06/03/2026 22:30:49-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Adsson André da Silva Gomes
-Doutorando-

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

Gomes, Adsson André da Silva
G633a Apropriação do relevo e vulnerabilidade socioambiental : análise integrada das unidades de paisagem no município de Arapiraca - AL / Adsson André da Silva Gomes ; orientador Hélio Mário de Araújo. – São Cristóvão, SE, 2026.
257 f. : il.

Tese (doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Sergipe, 2026.

1. Geografia ambiental. 2. Vulnerabilidade ambiental – Arapiraca (AL). 3. Geomorfologia ambiental. 4. Avaliação paisagística. 5. Solo – Uso – Planejamento. 6. Sustentabilidade. 7. Gestão ambiental. I. Araújo, Hélio Mário de, orient. II. Título.

CDU 911.2:502/504(813.5)

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Sergipe, em especial ao Programa de Pós-graduação em Geografia, pela oportunidade de realização deste doutorado, onde as disciplinas cursadas foram fundamentais para o meu amadurecimento intelectual como geógrafo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Universidade Federal de Sergipe (UFS), pelo apoio financeiro por meio da bolsa de estudos, sem o qual a dedicação integral a esta pesquisa não teria sido possível.

Ao meu orientador Hélio Mário de Araújo, pela confiança e compreensão diante dos desafios e pelo esforço empenhado em guiar este trabalho.

À minha esposa Ana Carolina Cavalcante de Lima. Não tenho palavras para agradecer por sua compreensão absoluta e por sua solicitude constante. Este trabalho também é fruto do seu esforço, especialmente pelas valiosas contribuições nas releituras e correções do texto, garantindo que cada ideia fosse expressa da melhor forma possível.

À minha mãe Ádina José da Silva e à minha avó Severina Otílio da Silva, pela torcida incansável e pelo suporte diário. Vosso apoio incondicional e presença constante foram a força silenciosa que me permitiu focar e persistir até o fim.

Ao meu amigo-irmão Matheus, pela proximidade e parceria. Sou grato por toda ajuda, acolhimento.

A todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para esta caminhada, deixo registrado meu sincero reconhecimento e gratidão.

“sou atormentado por uma eterna ânsia
por coisas remotas. Amo navegar por mares
proibidos...”

Herman Melville, Moby Dick

RESUMO

A apropriação e a ocupação do relevo no espaço urbano constituem fatores determinantes na intensificação de processos geomorfológicos e na geração de vulnerabilidades socioambientais, sobretudo em cidades de crescimento acelerado e planejamento territorial insuficiente. Esta tese tem como objetivo central analisar a interferência da apropriação do relevo no estabelecimento de áreas de vulnerabilidade ambiental nas unidades de paisagem do município de Arapiraca – AL, localizado no Agreste alagoano, segundo maior centro urbano do estado de Alagoas. O estudo fundamenta-se na abordagem sistêmica, com base na Teoria Geral dos Sistemas e na Ecodinâmica, integrando variáveis físico-naturais e socioeconômicas para a compreensão das unidades de paisagem e de seus níveis de vulnerabilidade e estabilidade ambiental. A metodologia adotada envolveu técnicas de geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica (SIG), com a elaboração de mapas temáticos de geologia, geomorfologia, solos, uso e ocupação da terra, clima e hidrografia, além da aplicação da metodologia de vulnerabilidade ambiental proposta por Crepani et al. (1996, 2001, 2008). A análise socioambiental foi complementada pela construção de um índice de sustentabilidade, a partir de indicadores demográficos, econômicos e de infraestrutura, com base nos censos do IBGE de 1991, 2000, 2010, permitindo avaliar a evolução das condições socioambientais do município. Os resultados evidenciam que o crescimento urbano de Arapiraca ocorreu de forma desigual e desarticulada das condicionantes geoambientais, promovendo a ocupação de áreas suscetíveis a processos erosivos, movimentos de massa, inundações e degradação dos recursos hídricos. As unidades de paisagem associadas às superfícies de dissecação e às planícies de agradação apresentaram os maiores níveis de vulnerabilidade, especialmente nas áreas de expansão urbana e ocupação informal. Por outro lado, setores com maior infraestrutura urbana e planejamento apresentaram melhores índices de estabilidade socioambiental. Conclui-se que a apropriação do relevo, quando orientada por interesses econômicos e imobiliários sem a devida consideração das limitações ambientais, intensifica a instabilidade geomorfológica e amplia os riscos socioambientais. O zoneamento ecológico-econômico proposto constitui um instrumento estratégico para subsidiar o planejamento territorial e a gestão ambiental do município, contribuindo para a redução das vulnerabilidades e para a promoção de um desenvolvimento urbano mais sustentável em Arapiraca.

Palavras-chave: Vulnerabilidade ambiental, Geomorfologia urbana, Unidades de paisagem, Sustentabilidade, Arapiraca/AL.

ABSTRACT

The appropriation and occupation of landforms in urban spaces are key factors in the intensification of geomorphological processes and in the generation of socio-environmental vulnerabilities, especially in cities experiencing rapid growth and insufficient territorial planning. The central objective of this thesis is to analyze the impact of land use on the establishment of areas of environmental vulnerability within the landscape units of the municipality of Arapiraca, Alagoas, located in the Agreste region of Alagoas, the second-largest urban center in the state of Alagoas. The study is grounded in a systemic approach, based on General Systems Theory, the geosystem concept, and ecodynamics, integrating physical-natural and socioeconomic variables to understand landscape units and their levels of environmental vulnerability and stability. The methodology involved the application of geoprocessing techniques and Geographic Information Systems (GIS), including the production of thematic maps of geology, geomorphology, soils, land use and land cover, climate, and hydrography. Environmental vulnerability was assessed using the methodology proposed by Crepani et al. (1996, 2001, 2008). The socio-environmental analysis was complemented by the construction of a sustainability index based on demographic, economic, and infrastructure indicators derived from IBGE census data for the years 1991, 2000, 2010, and 2022, allowing for an evaluation of the temporal evolution of sustainability conditions in the municipality. The results indicate that urban expansion in Arapiraca has occurred in a fragmented and uneven manner, largely disregarding geoenvironmental constraints. This process has intensified erosion, mass movement, flooding, and the degradation of water resources, particularly in landscape units associated with dissected relief surfaces and aggradational plains. These areas exhibit the highest levels of environmental vulnerability, especially in zones of urban expansion and informal occupation. Conversely, areas with better infrastructure and more structured urban planning show higher levels of socio-environmental stability. The study concludes that landform appropriation driven primarily by economic and real estate interests, without adequate consideration of environmental limitations, increases geomorphological instability and amplifies socio-environmental risks. The proposed ecological-economic zoning emerges as a strategic tool to support territorial planning and environmental management, contributing to vulnerability reduction and the promotion of more sustainable urban development in Arapiraca.

Keywords: Environmental vulnerability, Urban geomorphology, Landscape units, Sustainability, Arapiraca/AL.

LISTA DE SIGLAS

ALOS - Advanced Land Observing Satellite (Satélite Avançado de Observação da Terra)

APA - Área de Proteção Ambiental

APP - Área de Preservação Permanente

CAR - Cadastro Ambiental Rural

CHIRPS - Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (Grupo de Risco Climático de Precipitação Infravermelha com Dados de Estações)

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Atual Serviço Geológico do Brasil)

DEM - Digital Elevation Model (Modelo Digital de Elevação)

ESA - European Space Agency (Agência Espacial Europeia)

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

JAXA - Japan Aerospace Exploration Agency (Agência de Exploração Aeroespacial do Japão)

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)

PALSAR - Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar (Radar de Abertura Sintética de Banda L)

PIB - Produto Interno Bruto

QGIS - Quantum Geographic Information System (Sistema de Informação Geográfica Quantum)

SICAR - Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural

SIG - Sistema de Informação Geográfica

ZEE - Zoneamento Ecológico-Econômico

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Município de Arapiraca, Localização geográfica, 2024. 25
Figura 2: (a)Armazenamento do fumo em corda localizado em Arapiraca; (b)Vista geral de uma plantação de fumo, em Arapiraca, com construções destinadas ao armazenamento e secagem das folhas; (c) Antiga Feira de Arapiraca ocorrida na Praça Manoel André, no centro de Arapiraca. 26
Figura 3: Centro de Arapiraca em Alagoas década de 1970. 27
Figura 4: Classificação taxonômica do relevo 32
Figura 5: Posicionamento dos componentes do gráfico tipo radar. 47
Figura 6: Complexos de elementos. 55
Figura 7: Definição teórica de Geossistema. 63
Figura 8: Aspectos do Risco Ambiental. 72
Figura 9: Representação das condições normais, enchente e inundação. 74
Figura 10: Ciclo das fases da gestão de desastres. 76
Figura 11: Município de Arapiraca, Distribuição espacial do acumulado médio mensal de precipitação - 2024. 106
Figura 12: Encarte tectônico da Província Borborema. 107
Figura 13: Município de Arapiraca, Contexto geotectônico - 2024. 109
Figura 14: Província Borborema e Contexto da Faixa de Dobramentos Sergipana. 110
Figura 15: Evolução tectônica da Faixa de Dobramentos Sergipana proposta por Oliveira (2023). Mesoproterozoico (ca. 1000 Ma.) ao Neoproterozoico (ca. 570 Ma.). As principais zonas de cisalhamento são indicadas pelas suas siglas: MSZ (Zonas de Cisalhamento Marancó. 112
Figura 16: Brasil, bacias sedimentares - 2023. 113
Figura 17: Município de Arapiraca, Unidades Geológicas - 2024. 115
Figura 18: Município de Arapiraca, Níveis de Vulnerabilidade Geológica - 2024. 116
Figura 19: Vermiculita em natura (a), vermiculita para uso agrícola (b). 120
Figura 20: Vista panorâmica de morros baixos em corpos graníticos em Arapiraca-AL. 121
Figura 21: Tipologia de agregados e suas utilizações. 122
Figura 22: Turmalina bicolor ou melânica. 124
Figura 23: Modelo de sequência de eventos em colisão continente-continente. 125

Figura 24: Município de Arapiraca, Geomorfologia - 2024. 126
Figura 25: Modelo de regimes extensionais pós-orogenênica 127
Figura 26: Modelo de *uplift* e denudação de margem passiva. 128
Figura 27: Visão da cidade de Arapiraca sobre relevo de Tabuleiro. 130
Figura 28: Área de tabuleiro na bacia do Rio Perucaba 131
Figura 29: Município de Arapiraca, Declividade – 2024. 132
Figura 30: Município de Arapiraca, Hipsometria - 2024. 133
Figura 31: Município de Arapiraca, Níveis de Vulnerabilidade Geomorfológica - 2024. 134
Figura 32: Perfil topográfico A-A'..... 135
Figura 33: Morro do Santuário para a Serra da Massaranduba, a nordeste da cidade de Arapiraca (a). Superfície de aplainamento degradada (b) 136
Figura 34: Perfil topográfico B-B'. 136
Figura 35: Trechos do plano de inundação no Rio Piauí, nascente (A) e APA Bananeiras (B), em Arapiraca. 137
Figura 36: Formação tecnogênica de mineração a norte de Arapiraca (a). Voçoroca em vertedouro de barragem da Bananeira, no Rio Piauí (b). 139
Figura 37: Latossolo Vermelho na região leste de Arapiraca. 140
Figura 38: Município de Arapiraca, Tipos de solo - 2024. 141
Figura 39: Município de Arapiraca, Níveis de Vulnerabilidade Pedológica - 2024. 142
Figura 40: Latossolo vermelho-amarelo em área de tabuleiro. 143
Figura 41: Área de ocorrência de Argissolo Vermelho-Amarelo. 145
Figura 42: Neossolo Litólicos, em Arapiraca. 146
Figura 43: Face oeste da Serra da Corcunda, área de nascente do Riacho Novo. 147
Figura 44: Barragem da Perucaba. 148
Figura 45:Município de Arapiraca, hidrografia - 2024. 151
Figura 46: Município de Arapiraca, Uso e ocupação da terra- 2024. 153
Figura 47: Vegetação de Caatinga próximo a Barragem da Perucaba. 154
Figura 48: Vale do Rio Paiuí a sul de Arapiraca, com remanecentes de Mata Atlântica nas margens. 155
Figura 49: Bacia Rio Coruripe, com vegetação no topo dos morros. 156
Figura 50: Fruticultura de Abacaxi no Sítio Poção, leste de Arapiraca. 157
Figura 51: Mosaico cana-de-açúcar, mandioca e fumo. 158
Figura 52: Obra de rodovia no centro urbano ligando a AL-110. 159

Figura 53: Condomínios no bairro Senador Arnon de Melo, próximos a áreas de pastagem. 160
Figura 54: Pescadores na Barragem da Perucaba. 161
Figura 55: Barragem da Bananeira. 162
Figura 56: Açude do povoado Pé Leve. 163
Figura 57: Codomínio próximo à área da APA Jurema. 164
Figura 58: Município de Arapiraca, Níveis de Vulnerabilidade do Uso da Terra - 2024. 165
Figura 59: Arapiraca, Distribuição dos bairros e comunidades rurais - 2024. 167
Figura 60: Município de Arapiraca, Distribuição demográfica por setor censitário - 2022. . 169
Figura 61: Município de Arapiraca, Total de pessoas indígenas por setor censitário - 2022. 171
Figura 62: Município de Arapiraca, Total de pessoas quilombolas por setor censitário - 2022. 173
Figura 63: Município de Arapiraca, Total de domicílios por setor censitário - 2022. 175
Figura 64: Áreas centrais de Arapiraca. A - Catedral Nª. Sª. Do Bom Conselho (Centro); B - Praça Bosque das Arapiracas (Sen. Teotônio Vilela). 177
Figura 65: Arapiraca, Distribuição de loteamentos e condomínios por década - 2016. 179
Figura 66: Loteamento próximo a Lagoa da Perucaba. 180
Figura 67: Abastecimento de carro-pipa próximo a nascente do Rio Piauí, no bairro Capiatã. 190
Figura 68: Arapiraca, Propriedades - 2025. 192
Figura 69: Arapiraca, Resultados do Índice de sustentabilidade, suas dimensões e interações no período de 1990, 2000 e 2010. 198
Figura 70: Arapiraca, Índices de Sustentabilidade Geral no período de 1990, 2000 e 2010. 202
Figura 71: Município de Arapiraca, Níveis de Vulnerabilidade - 2024. 204
Figura 72: Solo coluvionar. 205
Figura 73: Solo residual maduro amarelado (A), Solo residual jovem avermelhado (B). 207
Figura 74: Solos arenoso a areno-argilosos. 208
Figura 75: Solos de embasamento de granitoides. 209
Figura 76: Áreas de pastagem em relevo colinoso. 209
Figura 77: Solo em área de morro (Argissolo vermelho-amarelo distrófico). 211
Figura 78: Perfil de solo da Formação Barreiras. 213
Figura 79: Pastagem exibindo feição erosiva em área de tabuleiro dissecado. 214
Figura 80: Planície do Rio Perucaba (A). Planície do Rio Piauí (B). 215

Figura 81: Sedimentos da planície de inundação do Rio Piauí. 217
Figura 82: Galeria de água pluvial do Rio Piauí, no bairro Centro. 218
Figura 83: Deformação da superfície em área de planície de inundação do Rio Piauí. 219
Figura 84: Rio Piauí na zona rural de Arapiraca (Povoado Pé Leve). 220
Figura 85: Sedimentos de planície de inundação do Rio Perucaba. 220
Figura 86: Pastagem em Pau D'Arco (A), condomínio próximo a área vegetada (B). 221
Figura 87: Município de Arapiraca, Macrozoneamento ambiental - 2025. 226

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Alagoas, Crescimento percentual da população urbana nos quatro municípios mais populosos. 28
Gráfico 2: Arapiraca, Média da precipitação acumulada mensal entre os anos de 1991 e 2024. 100
Gráfico 3: Arapiraca, Correlação entre precipitação anual acumulada e eventos muito acima da média (extremos) entre os anos de 1991 e 2024. 100
Gráfico 4: Arapiraca, Boxplot com estatística descritiva para precipitação acumulada anual - 2025. 101
Gráfico 5: Arapiraca, Precipitação acumulada mensal entre os anos de 1991 e 2024..... 102
Gráfico 6: Arapiraca, Boxplot com estatística descritiva para precipitação acumulada mensal – 2025. 102
Gráfico 7: Arapiraca, Balanço hídrico médio mensal entre os anos de 2001 e 2022. 103
Gráfico 8: Arapiraca, Balanço hídrico anual entre os anos de 2001 e 2022. 104
Gráfico 9: Arapiraca, Balanço hídrico mensal entre os anos de 2001 e 2022. 104
Gráfico 10: Distribuição dos valores do balanço hídrico anual (2001-2022)..... 105
Gráfico 11:Arapiraca, Percentuais de Métodos de Abastecimento por Situação - 2022. 181
Gráfico 12: Arapiraca, Percentuais dos tipos de abastecimento por bairro - 2022..... 182
Gráfico 13: Arapiraca, Percentuais dos tipos de abastecimento por núcleo urbano - 2022. . 183
Gráfico 14: Percentuais de métodos de esgotamento por situação. 185
Gráfico 15: Arapiraca, Percentuais de métodos de esgotamento por bairro - 2022. 187
Gráfico 16: Arapiraca, Percentuais de métodos de esgotamento por núcleo urbano - 2022. 188
Gráfico 17: Alagoas, Área total por quantidade de estabelecimentos em municípios - 2017. 191
Gráfico 18: Arapiraca e região, Participação setorial relativa no PIB (2010-2020). 193
Gráfico 19: Arapiraca, Participação setorial absoluta por setor no PIB - 2010-2021..... 194
Gráfico 20: Arapiraca e região, Participação setorial do PIB (2021): 195

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quadrante de localização de Arapiraca. 24
Tabela 2: Estado de Alagoas, População urbana e rural dos quatro municípios mais populosos, 2022. 24
Tabela 3: Representação da vulnerabilidade ou estabilidade das unidades territoriais básicas. 37
Tabela 4: Valores de vulnerabilidade para amplitude altimétrica. 38
Tabela 5: Valores de vulnerabilidade para a intensidade de dissecação do relevo (amplitude interfluvial). 39
Tabela 6: Valores de vulnerabilidade para a declividade das encostas. 39
Tabela 7: Escala de Vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns. 41
Tabela 8: Valores de vulnerabilidade dos solos. 42
Tabela 9: Valores de vulnerabilidade do uso e ocupação da terra. 43
Tabela 10: Escala de Erosividade da chuva e valores de vulnerabilidade. 44
Tabela 11: Classificação e representação dos índices de sustentabilidade. 48
Tabela 12: Classificação e apresentação dos índices de sustentabilidade adotados em Arapiraca. 48
Tabela 13: Classificação e apresentação dos níveis de sustentabilidade individuais em Arapiraca. 49
Tabela 14: Dimensões de sustentabilidade, padronização e indicadores. 49
Tabela 15: Etapas para política de gestão de desastres. 75
Tabela 16: Aplicações dos produtos de quartzo nas indústrias. 123
Tabela 17: Arapiraca, Índice de sustentabilidade no período de 1990, 2000 e 2010. 197
Tabela 18: Arapiraca, Níveis de sustentabilidade individuais no período de 1990, 2000 e 2010. 199
Tabela 19: Arapiraca e estado de Alagoas, Renda per capita no período de 1990, 2000 e 2010. 201

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Dados utilizados para produção de mapas. 35
Quadro 2: Valores de estabilidade de unidades de paisagem. 35
Quadro 3: Critérios para avaliação do grau de estabilidade/vulnerabilidade. 38
Quadro 4: Objetivos centrais da Teoria Geral dos Sistemas. 54
Quadro 5: Classificação dos geossistemas conforme Sotchava. 60
Quadro 6: Classificação das paisagens por G. Bertrand. 61
Quadro 7: Processos geomorfológicos e condicionantes técnicos no Tecnógeno. 68
Quadro 8: Tipo de movimento de massa atrelado as características geomorfológicas. 71
Quadro 9: Síntese dos principais instrumentos urbanísticos previstos no Estatuto da Cidade. 88
Quadro 10: Aspectos centrais e impasses na implementação do Plano Diretor de Arapiraca. 94
Quadro 11: Desafios na efetivação do Plano Diretor de Arapiraca. 97
Quadro 12: Principais sistemas atmosféricos atuantes no Nordeste brasileiro e seus efeitos sobre o regime pluviométrico de Arapiraca (AL). 99
Quadro 13: Município de Arapiraca, Unidades litológicas - 2025. 117
Quadro 14: Arapiraca, Quadro Socioambiental do Rio Piauí - 2024. 149
Quadro 15: Arapiraca, Síntese das condicionantes geoambientais por Unidade de Paisagem e Subunidades com a avaliação da Vulnerabilidade Ambiental - 2025. 223
Quadro 16: Recomendações com base no macrozoneamento ambiental de Arapiraca. 237

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 20

QUESTÕES NORTEADORAS E HIPÓTESE 22
OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS 23
ÁREA DE ESTUDO 24
PROCEDIMENTOS TÉCNICOS OPERACIONAIS 30

Dados utilizados 30
Elaboração da base cartográfica 31
Definição dos critérios para análise de vulnerabilidade das unidades de paisagem 35

1. DINÂMICA AMBIENTAL: FUNDAMENTOS E INSTRUMENTOS DA ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA 53

1.1. PRINCÍPIOS DA TEORIA GERAL DOS SISTEMAS 53
1.2. A CONCEPÇÃO DE GEOSSISTEMAS 57
1.3. ECODINÂMICA: A PONTE METODOLÓGICA 64
1.4. A DINÂMICA GEOMORFOLOGICA NO TECNÓGENO 67

1.4.1. Tecnógeno: ação técnica como agente geomorfológico 67
1.4.2. Processos geomorfológicos e produção dos riscos ambientais 69

1.5. INSTRUMENTOS DE GESTÃO E PLANEJAMENTO TERRITORIAL 77

1.5.1. Geotecnologias aplicadas a análise territorial 77
1.5.2. Aplicações dos SIG na análise geomorfológica 80
1.5.3. Integração entre dados geográficos e planejamento 82

1.6. A GEOMORFOLOGIA COMO INSTRUMENTO DE NORMALIZAÇÃO DO TERRITÓRIO 84

1.6.1. O código florestal 84
1.6.2. O zoneamento ecológico-econômico 85
1.6.3. O estatuto da cidade 87

2. CONDICIONANTES FÍSICO-NATURAIS DA PAISAGEM RURAL/URBANA DE ARAPIRACA 98

2.1. O CLIMA NA ESCALA DO MUNICÍPIO 98
2.2. GEOLOGIA DA PROVÍNCIA DA BORBOREMA 107

2.2.1. Aspectos litológicos 117
2.2.2. Recursos minerais 119

2.3. DOMÍNIOS AMBIENTAIS DA PAISAGEM GEOMORFOLÓGICA 124

2.3.1. Planalto sedimentar costeiro 129
2.3.2. Depressão da faixa do dobramento sergipano 135
2.3.3. Superfícies de deposição 137
2.3.4. Formações tecnogênicas 138
2.4. SOLOS: AMBIENTE E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS 140
2.5. HIDROGRAFIA 147
2.5.1. Bacia do Rio Coruripe 147
2.5.2. Bacia do Rio Perucaba 148
2.5.3. Bacia do Rio Traipu 148
2.5.4. Bacia do Rio Piauí 149
2.6. USO E OCUPAÇÃO DA TERRA 152
2.6.1. Espaço vegetal 154
2.6.2. Espaço agrícola 156
2.6.3. Espaço urbano 158
2.6.4. Espaço hídrico 160
2.6.5. Espaço de uso especial 163
3. CONDICIONANTES SOCIOAMBIENTAIS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO E ORGANIZAÇÃO ESPACIAL 166
3.1. DEMOGRAFIA 168
3.2. REDE DE DISTRIBUIÇÃO E SANITÁRIA 181
3.3. DIVISÃO DO SOLO E POTENCIAL ECONÔMICO 190
3.4. EVOLUÇÃO DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE 196
4. ANÁLISE SOCIOAMBIENTAL INTEGRADA DAS UNIDADES DE PAISAGEM 203
4.1. AVALIAÇÃO DAS UNIDADES DE PAISAGEM DE ARAPIRACA 203
4.1.1. Unidades de paisagem de superfície de aplainamento 205
4.1.2. Unidade de paisagem de superfície de dissecação 210
4.1.3. Unidades de paisagem de superfície de agradação 215
4.2. ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO E PERSPECTIVAS PARA GESTÃO DO TERRITÓRIO DO MUNICÍPIO DE ARAPIRACA 225
4.2.1. Zona urbana consolidada 227
4.2.2. Zona de expansão urbana 229
4.2.3. Zona de potencial mineral serrote dos dias 231
4.2.4. Zonas de ocupação da agropecuária 232

4.2.5. Unidades de conservação e áreas protegidas 236

CONSIDERAÇÕES FINAIS 239

REFERÊNCIAS 244

INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo, a relação homem-natureza desempenhava uma função existencial na qual o homem utilizava os recursos naturais para a subsistência. Contudo, o modo de produção capitalista vem alterando a relação sociedade e natureza fazendo com que os processos produtivos da sociedade tenham uma finalidade além da subsistência, levando a encarar a natureza como um objeto passível de ser explorado a custo do desenvolvimento econômico e acumulação de recursos.

Assim, a mudança na forma como as relações entre sociedade e natureza são vistas, juntamente com o avanço tecnológico, permitiu alterações significativas no ambiente em larga escala e em um curto período. Esse fenômeno se materializou no processo de urbanização, resultando em problemas socioambientais.

De acordo com o relatório "*The Human Cost of Disasters: An Overview of the Last 20 Years (2000-2019)"* publicado pelo UNDRR/EM-DAT em 2020, o mundo enfrentou 7.348 desastres de natureza geofísica, hidrológica, climatológica e meteorológica nas últimas duas décadas. Esses desastres tiveram impactos socioeconômicos significativos globalmente, afetando mais de 4 bilhões de pessoas e resultando em aproximadamente 1,23 milhão de mortes, com uma média anual de 60.000 óbitos. Além disso, as perdas econômicas associadas a esses eventos totalizaram cerca de 2,97 trilhões de dólares em todo o mundo (UNDRR/EM-DAT, 2020).

Esses dados intensificam a discussão sobre a relação entre crescimento econômico e impactos ambientais, evidenciando que a maioria das pessoas afetadas reside em países com menor nível de desenvolvimento humano. Países subdesenvolvidos, por exemplo, são mais suscetíveis a desastres naturais, destacando sua vulnerabilidade (BRASIL, 2017; UNDRR/EM-DAT, 2020).

A ocorrência de desastres naturais deve-se a dois fatores principais: o primeiro, é a relação com as características geográficas pela tendência de acordo com cenários geomorfológicos e climáticos. O segundo, corresponde ao desenvolvimento histórico, tais como, a relação econômica, social, política e cultural devido às péssimas condições que atuam como fatores de elevada vulnerabilidade socioambiental (Alcántara-Ayala, 2010).

Dentre os diversos prejuízos presentes no ambiente urbano, observa-se a perda de propriedade e danos a residências, problemas de trânsito, deslocamento da população,

interrupção das atividades econômicas, suspensão dos serviços básicos de infraestrutura, alteração da qualidade das águas e doenças transmitidas pela água, escorregamentos, deslizamento de terras e perda de vidas humanas (Paes e Brandão, 2013; Torgersen et al, 2015).

Entende-se, portanto, que os impactos no ambiente urbano estão associados com a forma de apropriação e ocupação do relevo, a partir de construções e edificações de diversos usos, que permitem a alteração na paisagem através dos cortes em vertentes, terraplanagem em áreas de topos, retificação de cursos d'água em fundos de vale, além da impermeabilização dessas feições geomorfológicas. Geralmente, esses impactos são mais suscetíveis na população de baixa renda, uma vez que as áreas mais carentes dos centros urbanos apresentam ausência ou ineficiência de infraestrutura básica e acesso à informação.

Diante disso, a sociedade no processo de apropriação e ocupação do relevo, interfere diretamente na morfodinâmica pedológica, geomorfológica, hidrológica, entre outros, com repercussões nas diferentes morfologias que sofrem modelações evidenciadas pela degradação com a erosão, agradação através dos depósitos tecnogênicos e aterros antrópicos, e ações intervencionistas a exemplo dos taludes e obras de terraplanagem (Miyazaki, 2014).

Segundo Cunha e Guerra (1996), a atuação desordenada e não fiscalizada de interesses na produção do espaço urbano resulta na proliferação de áreas vulneráveis a riscos e consequentes danos socioambientais. Com a intensificação desses problemas, cientistas das diversas áreas do conhecimento passaram a dedicar-se aos estudos das inter-relações entre as componentes naturais e sociais, definidoras das estruturas e do funcionamento do ambiente (Alves, 2010). No âmbito das geociências, estudos ambientais com base na perspectiva sistêmica promoveram uma melhor compreensão das interações entre o conjunto de subsistemas naturais e o sistema social.

É nesse contexto que se insere esta pesquisa, ao compreender o mundo como uma complexa interconexão entre diversos elementos naturais e sociais. A análise das interferências da apropriação do relevo na dinâmica geomorfológica do município de Arapiraca, em Alagoas, permite uma compreensão aprofundada das vulnerabilidades na produção do espaço. Este entendimento contribui, direta ou indiretamente, para a identificação e resolução de problemas ambientais. Dessa forma, é possível orientar as ações da sociedade para as soluções mais adequadas que cada cenário oferece.

Esta pesquisa proporciona uma relevante contribuição acadêmica aos estudos sobre a apropriação e ocupação do relevo e sua influência na configuração socioespacial do segundo município mais populoso do estado de Alagoas. Sob a perspectiva geomorfológica, oferece uma

base de dados consistente sobre as condicionantes ambientais no sistema urbano de Arapiraca, permitindo uma gestão mais eficaz do uso e ocupação da terra, com o objetivo de promover um equilíbrio sustentável entre a natureza e a sociedade.

Para facilitar a compreensão da proposta desta pesquisa, a tese está estruturada em quatro capítulos. Inicialmente, é apresentado um panorama geral do tema em questão e sua relevância acadêmica e científica. Além disso, são abordadas a hipótese e as questões norteadoras, os objetivos estabelecidos, uma breve caracterização da área estudada e as etapas dos procedimentos metodológicos.

Fundamentado na abordagem sistêmica e na Ecodinâmica, o **primeiro capítulo** analisa a influência do Tecnógeno na dinâmica geomorfológica contemporânea e na gênese de riscos ambientais, articulando essa base teórica ao uso de geotecnologias (SIG) como instrumentos estratégicos para o planejamento e a gestão do território.

No **segundo capítulo**, desenvolve-se a caracterização das condicionantes geoambientais do município de Arapiraca, contemplando os principais elementos do meio físico e as formas de uso e ocupação da terra, com vistas à compreensão da base natural e das transformações associadas à ação antrópica.

No **terceiro capítulo**, são analisadas as condicionantes socioambientais, considerando aspectos demográficos, econômicos e de infraestrutura, bem como a evolução dos indicadores de sustentabilidade no território estudado.

No **quarto capítulo**, realiza-se a análise socioambiental integrada das unidades de paisagem de Arapiraca, culminando na proposição do zoneamento ecológico-econômico como subsídio à gestão e ao planejamento territorial.

QUESTÕES NORTEADORAS E HIPÓTESE

Neste estudo, levanta-se a hipótese de que o rápido crescimento urbano de Arapiraca contribuiu para as fragilidades socioambientais em diversas áreas do município, devido as relações estabelecidas entre os diferentes níveis de suscetibilidade dos aspectos ambientais e tipos de uso do terreno pelos agentes transformadores do espaço rural/urbano.

Na perspectiva de investigar o objeto proposto, surgiram alguns questionamentos:

1. Como o relevo influenciou na distribuição espacial de Arapiraca?

2. Quais tipos de intervenções urbanas têm causado as maiores alterações no relevo de Arapiraca?

3. Como a urbanização e as atividades econômicas influenciaram a dinâmica dos processos erosivos e deposicionais?

4. Quais as vulnerabilidades e potencialidades das diferentes unidades de paisagem do município de Arapiraca?

5. Quais as medidas que podem ser adotadas para minimizar os impactos da ocupação humana e garantir o bom uso futuro do espaço urbano de Arapiraca?

OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS

Com base nas questões apresentadas, em termos gerais, a pesquisa visou compreender como os diferentes usos e ocupação do solo influenciam no estabelecimento de áreas de vulnerabilidade ambiental nas unidades de paisagem do município de Arapiraca – AL.

Em termos específicos pretendeu:

1. Analisar o processo de ocupação do município de Arapiraca;

2. Caracterizar as condicionantes da natureza (geologia, geomorfologia, cobertura vegetal e solos) verificando a suas influências na configuração socioespacial do município de Arapiraca.

3. Identificar o nível de suscetibilidade das unidades de paisagem e formas de relevo associadas no município de Arapiraca;

4. Estabelecer o índice de sustentabilidade, através de indicadores expressos pelo censo demográfico do IBGE.

5. Discutir as potencialidades e as vulnerabilidades das unidades de paisagem a partir da utilização dos recursos naturais em Arapiraca.

6. Entender os problemas ambientais enfrentados pela cidade de Arapiraca e apresentar alternativas.

ÁREA DE ESTUDO

O município de Arapiraca está localizado na região Agreste de Alagoas, no centro do estado, entre os pares de coordenadas expostos na Tabela 1 (Figura 1). Está situada a cerca de 130 km da capital, Maceió, e faz divisa ao norte com os municípios de Craíbas e Igaci, ao sul com Feira Grande e São Sebastião, ao leste com Limoeiro de Anadia, e a oeste com Lagoa da Canoa.

Tabela 1: Quadrante de localização de Arapiraca.

Ponto	Latitude (°)	Longitude (°)
Ponto 1	-9.689174	-36.613771
Ponto 2	-9.691089	-36.740980
Ponto 3	-9.825420	-36.643156
Ponto 4	-9.783317	-36.576638

Fonte: Google Maps (2025).

Arapiraca é a segunda maior cidade em termos populacionais no estado de Alagoas, contando aproximadamente com 234.696 habitantes conforme o último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2022. Segundo o mesmo levantamento, o município possui uma área territorial de 345,655 km², dos quais 52,07 km² correspondem à zona urbana e 293,585 km² à zona rural, resultando em uma densidade demográfica de 678,99 hab/km² (Tabela 2).

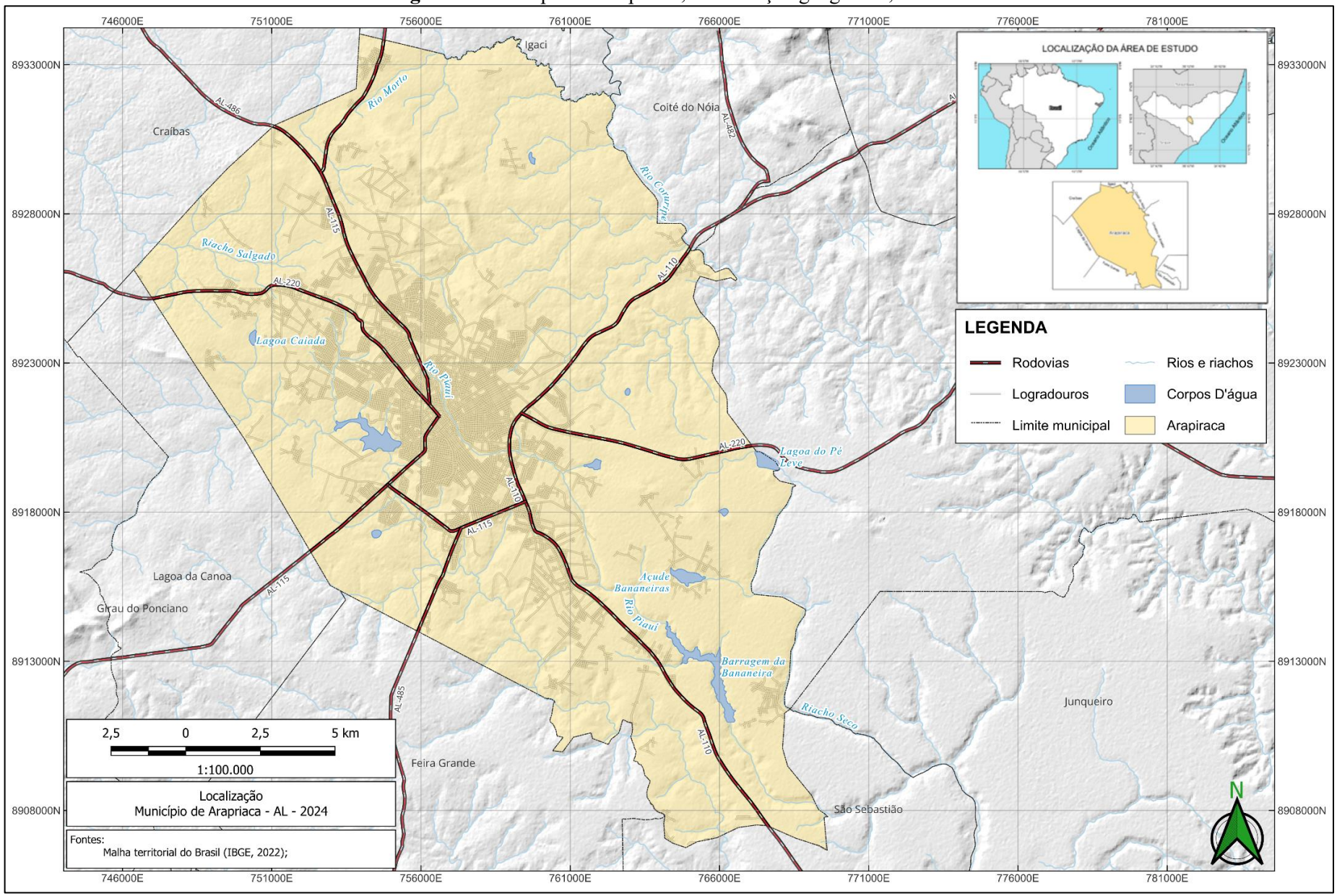
Tabela 2: Estado de Alagoas, População urbana e rural dos quatro municípios mais populosos, 2022.

Município	Urbana	Rural	Total
Maceió	932.078	670	957.916
Arapiraca	181.481	32.525	234.696
Rio Largo	55.947	12.534	93.927
Palmeira dos Índios	51.610	18.758	71.574

Fonte: IBGE Censo demográfico (2022).

A decisão de escolher Arapiraca como objeto desta pesquisa científica foi baseada em seus aspectos socioeconômicos e ambientais, destacando sua importância para o estado de Alagoas, especialmente para a Região Metropolitana do Agreste - RMA

Figura 1: Município de Arapiraca, Localização geográfica, 2024.



Fonte: elaborado pelo autor (2025)

O município possui uma história socioambiental diversificada que revela seu desenvolvimento ao longo dos séculos. Habitada inicialmente por povos indígenas, a região passou por mudanças profundas com a chegada dos colonizadores portugueses (Guedes, 1999). A introdução da agricultura, inicialmente com o cultivo do café e posteriormente expandindo para a cana-de-açúcar e outras culturas como fumo, hortaliças e frutas, predominantemente cultivadas por pequenos produtores rurais, foi fundamental para o surgimento de um período de crescimento agrícola na região de Arapiraca na década de 1970 (Figura 2).

Figura 2: (a)Armazenamento do fumo em corda localizado em Arapiraca; (b)Vista geral de uma plantação de fumo, em Arapiraca, com construções destinadas ao armazenamento e secagem das folhas; (c) Antiga Feira de Arapiraca ocorrida na Praça Manoel André, no centro de Arapiraca.

Fonte: Registros fotográficos disponibilizado pelo acervo da Prefeitura de Arapiraca (2024).

Ao longo do século XIX, Arapiraca tornou-se um centro vital para o comércio e a agricultura na região, destacando-se por sua significativa contribuição ao desenvolvimento econômico. Impulsionada pela diversidade na produção agrícola e pela intensa atividade comercial da época, a cidade assumiu um papel central na economia de Alagoas.

Segundo Carvalho (2009), a importância econômica produtiva de Arapiraca surgiu como uma alternativa à economia colonial de Alagoas, que era predominantemente focada na

monocultura da cana-de-açúcar, a maior produtora da região Nordeste. Este contexto é amplamente discutido por Cícero Péricles de Carvalho em suas obras "Análise da Reestruturação Produtiva da Agroindústria Sucroalcooleira Alagoana" (2009) e "Mudanças na agroindústria canavieira nordestina" (2021), que exploram como a elite agrícola da cana-de-açúcar, por meio do poder político, manteve sua hegemonia econômica. Além disso, o autor também ressalta a necessidade de novas alternativas diante do declínio da cana-de-açúcar, outrora o principal produto da economia alagoana.

A partir do século XX, houve um crescimento significativo no setor urbano e industrial de Arapiraca (Figura 3), consolidando-a como um centro industrial, especialmente conhecido por sua forte presença nas indústrias alimentícia e têxtil. A localização estratégica da cidade a tornou um ponto fundamental para o escoamento de produtos da região, abrangendo rotas essenciais para diversos setores econômicos, como indústrias, agricultura, comércio e serviços. Esses avanços elevaram Arapiraca ao patamar de uma das cidades mais importantes do Nordeste, abastecendo várias regiões geoeconômicas de Alagoas e fomentando o desenvolvimento regional (Romão et al, 2008).

De acordo com Vasconcelos (2017), os dezoito municípios do sertão alagoano que formavam a bacia leiteira têm vínculos diretos com Arapiraca. Isso se manifesta não apenas na venda dos produtos em feiras locais e pequenos mercados, mas também no uso desses produtos pela indústria alimentícia da região.

Figura 3: Centro de Arapiraca em Alagoas década de 1970.

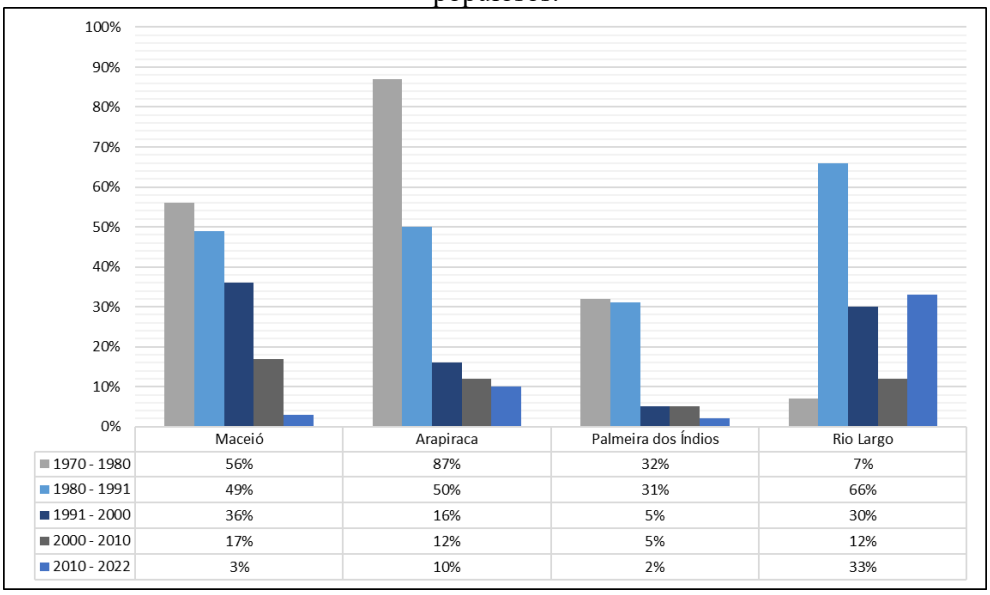
Fonte: Registros fotográficos disponibilizado pelo acervo da Prefeitura de Arapiraca (2024).

Historicamente, o atrativo desenvolvimento econômico deu um impulso substancial à economia local, particularmente nos setores de serviços e comércio. Esse crescimento gerou novas oportunidades de emprego, aumentando o interesse e incentivando a migração para a cidade. Como consequência, a população se concentrou cada vez mais nessas áreas urbanas dinâmicas, evidenciando uma tendência de urbanização acelerada e um aumento na densidade populacional.

Os dados populacionais dos últimos censos do IBGE revelam padrões distintos de crescimento entre os quatro municípios mais populosos de Alagoas (Gráfico 1). Arapiraca, consolidando-se como um importante centro econômico no agreste, apresenta um crescimento significativo. Já Maceió demonstra o crescimento mais acentuado, impulsionado pela concentração de serviços, infraestrutura e oportunidades de emprego.

O município de Arapiraca viu sua população crescer de cerca de 190.000 habitantes em 2000 para aproximadamente 214.000 em 2010. Em 2022, esse número aumentou para cerca de 234.696 habitantes. Analisando os dados da população urbana, verifica-se um crescimento contínuo em Arapiraca e Maceió, ao passo que os municípios de Palmeira dos Índios e Rio Largo mostram um padrão diferente. Esse fenômeno explica-se pelo aumento na produção industrial, ao mesmo tempo em que ocorreu um declínio na população rural ao longo dos anos.

Gráfico 1: Alagoas, Crescimento percentual da população urbana nos quatro municípios mais populosos.



	Maceió	Arapiraca	Palmeira dos Índios	Rio Largo
1970 - 1980	56%	87%	32%	7%
1980 - 1991	49%	50%	31%	66%
1991 - 2000	36%	16%	5%	30%
2000 - 2010	17%	12%	5%	12%
2010 - 2022	3%	10%	2%	33%

Fonte: IBGE, Cidades (2024).

A exploração agrícola e industrial em Arapiraca contribuiu para sérias questões socioambientais. Esses problemas decorrem das interferências antropogênicas não planejadas,

refletidas na expansão urbana desordenada, na manipulação inadequada dos solos na agricultura, no uso impróprio do terreno na construção civil, na má gestão dos recursos hídricos e na gestão deficiente dos resíduos produzidos tanto pela cidade quanto pelo campo.

Diversos estudos realizados em Arapiraca, como os de Nemésio (2022), Ferreira et al. (2020), Damasceno et al. (2016), Zacarias (2022), Silva (2012) e Gomes et al. (2015), evidenciam o avanço desordenado da urbanização no território do município. Este crescimento tem ocorrido sem obedecer às diretrizes básicas estabelecidas no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) da cidade, elaborado em 2006 após a implementação do Estatuto da Cidade em 2001, e revisado em 2016 conforme o prazo sugerido de 10 anos pelo referido diploma legal.

Damasceno et al. (2016) e Santos et al. (2016) destacam o avanço da ocupação urbana alavancada pela implantação de infraestrutura através do Estado, combinada com iniciativas de empreendimentos privados em Arapiraca. Essa expansão começou nas áreas centrais da cidade, levando a uma certa verticalização, e posteriormente se estendeu para as áreas periféricas, ampliando o perímetro urbano.

Com o aumento do perímetro urbano, o poder público assume o desafio de expandir os sistemas de abastecimento e serviços, tornando a manutenção dos sistemas básicos da cidade cada vez mais onerosa. Esse crescimento também exerce pressão e impacta negativamente os sistemas ambientais, como observado por Feitosa et al. (2020) na bacia do Riacho Piauí, ou mais recentemente por Nemesio (2022) nos estudos sobre os efeitos dos condomínios em uma área da bacia do Rio Perucaba.

Damasceno et al. (2016) e Santos et al. (2016) levantam questões sobre intervenções urbanísticas não planejadas no plano diretor original. Isso inclui a construção de grandes empreendimentos urbanos na parte noroeste da cidade, resultando na supervalorização da área, embora essas ações também tenham gerado conflitos entre a comunidade de pescadores e o setor imobiliário pela posse de terras ao redor do Lago da Perucaba, como discutido por Valões e Guerra (2019).

Os estudos de Melo et al. (2021) destacam uma expansão urbana em direção às áreas periféricas de Arapiraca, resultando na redução de áreas vegetadas e aumentando a vulnerabilidade do terreno aos processos morfodinâmicos. Enquanto isso, as áreas mais centrais estão passando por um processo de verticalização e adensamento urbano, sendo valorizadas pelo mercado imobiliário. Este crescimento tem sido associado a fenômenos de mudanças

microclimáticas, conforme alertado por Santana et al. (2022), Barbosa et al. (2018), Leal & Barbosa (2019) e Brandão (2020).

Dessa forma, sob a ótica socioambiental, Arapiraca enfrenta desafios significativos relacionados à gestão ambiental e sustentabilidade. O crescimento urbano acelerado e não planejado tem exercido pressões sobre os recursos naturais e aumentado as áreas vulneráveis ambientalmente. A gestão dos recursos hídricos e a conservação das áreas verdes emergiram como questões fundamentais para promover o desenvolvimento sustentável da cidade.

Neste cenário, tornou-se fundamental realizar a pesquisa integrada abordando como a ocupação do relevo está influenciando nos processos morfodinâmicos em Arapiraca. Isso envolveu uma análise abrangente da produção do espaço e dos diversos aspectos socioambientais e econômicos da paisagem em nível municipal.

PROCEDIMENTOS TÉCNICOS OPERACIONAIS

Sabe-se que o método quantitativo compreende os fenômenos através da coleta de dados numéricos, enquanto o método qualitativo não emprega um instrumental estatístico como base na análise de um problema, não pretendendo medir ou numerar categorias. Assim, para examinar os aspectos geoambientais e socioeconômicos no município de Arapiraca/AL, foram empregados diversos procedimentos metodológicos, integrando diferentes etapas da pesquisa quantitativa.

Dados utilizados

O contexto geoambiental foi analisado por meio da combinação de fatores/indicadores climáticos, geológicos, geomorfológicos, pedológicos e de uso e ocupação da terra, calculados com base na distribuição de classes de vulnerabilidade ambiental. Esse processo envolveu a atribuição de pesos a cada variável dos aspectos físico-ambientais, conforme critérios definidos em campo e por meio de referências bibliográficas de trabalhos aplicados em cenários ambientais próximos e semelhantes. Para isso, utilizou-se o software QGIS, bem como para a análise da distribuição e densidade das variáveis no espaço.

Para a análise dos aspectos socioeconômicos foi utilizado o software Excel, para realização de cálculos estatísticos do Índice de Sustentabilidade e produção de gráficos, possibilitando a avaliação do potencial social, produtivo e institucional do município de Arapiraca. Considerando indicadores sociais, ambientais e econômicos relevantes, selecionados

de forma comparativa e sistemática, entre os anos de 1990, 2000, 2010 e do último censo demográfico de 2022, permitindo caracterizar a sustentabilidade e avaliar a potencialidade social do município.

Elaboração da base cartográfica

A base cartográfica foi elaborada através da confecção de mapas derivados de modelos digitais de elevação do satélite ALOS-PALSAR (Advanced Land Observing Satellite and Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar) e de imagens de satélite Sentinel-2 na projeção UTM-SIRGAS 2000, disponibilizadas pela plataforma Copernicus Open Access Hub da Agência Espacial Europeia (The European Space Agency – esa).

Para complementar a análise integrada dos aspectos naturais no município de Arapiraca realizou-se o mapeamento das diferentes unidades de paisagem da área com posterior acréscimos de outras fontes de informações para melhor alcance no nível de detalhamento dos aspectos geoambientais e obtenção de dados e parâmetros necessários para o mapeamento das áreas de vulnerabilidade ambiental.

Por fim, foi adotada a metodologia estabelecida por Crepani et al. (1996, 2001, 2008), e utilizada por Nascimento et al. (2005), Alves (2010), Santos (2019), de suscetibilidade a perda de solo, como principal base para o mapeamento das áreas de vulnerabilidade ambiental, a partir do cruzamento de dados obtidos pelos mapas temáticos de geomorfologia, geologia, pedologia, clima e uso e cobertura da terra, através de software SIG Qgis 3.40.

Mapa Geomorfológico e de vulnerabilidade

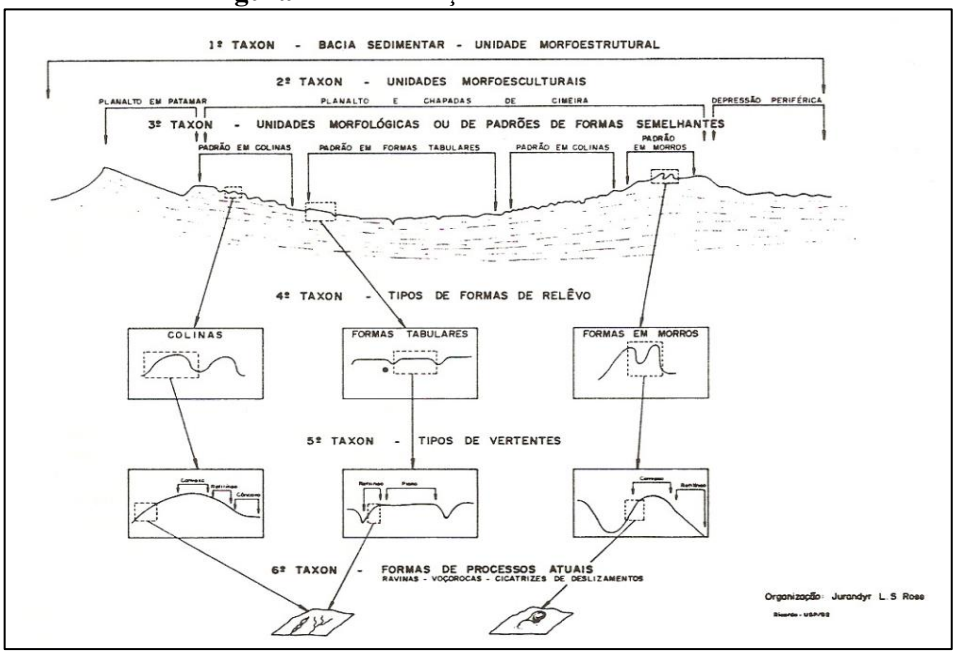
A elaboração do mapa geomorfológico permite a visualização dos domínios morfoestruturais, unidades geomorfológicas e os aspectos comportamentais do relevo. Assim, na elaboração deste produto, considerou-se os domínios ambientais locais associados as unidades geomorfológicas e investigações de campo.

No processo de mapeamento adotou-se como base metodológica o Guia de Produção de Cartas de Padrões de Relevo Municipais, do Serviço Geológico do Brasil (SGB, 2021), e a classificação taxonômica do relevo proposta por Ross (1992), representados no 3° e 4° táxons, identificadas respectivamente como unidades morfológicas ou de padrões de formas semelhantes e tipos de forma de relevo (Figura 4).

Para auxiliar na análise geomorfológica e identificar as feições do modelado, inclinação da superfície do terreno e o nível de dissecação do relevo da área, confeccionou-se os mapas de hipsometria e declividade.

Para representação das características morfológicas utilizou-se como base o Relatório e Carta geotécnica de aptidão a urbanização frente a desastres naturais do município de Arapiraca (SGB, 2025) e o Modelo Digital de Elevação do Satélite ALOS-PALSAR da Agência Espacial JAXA (*Japan Aerospace eXploration Agency*). Tais produtos de domínio público, apresentam uma boa resolução espacial para análise do substrato e das formas da superfície.

Figura 4: Classificação taxonômica do relevo



Fonte: Ross (1992).

Mapa Geológico e de vulnerabilidade

Entende-se que o estudo geológico proporciona o conhecimento da composição geológica de superfície, as características da litologia e suas interferências nos índices de suscetibilidade à dinâmica da morfogênese.

O mapa geológico do município de Arapiraca foi elaborado através do cruzamento de informações de diferentes fontes cartográficas fornecidas por instituições governamentais como o banco de dados, informações e produtos da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais):

- Mapa de geodiversidade do estado de Alagoas (2015), escala 1:250.000;
- Mapa geológico e de recursos minerais de Alagoas (2017), escala 1:250.000;
- Carta geológica e recursos minerais da folha Arapiraca (2017), escala 1:250.000;
- Mapa geológico da Província Borborema (2021), escala 1:1.000.000.

Mapa de tipos de solo e de vulnerabilidade

Os mapas de solos do Zoneamento Agroecológico do estado de Alagoas - Mapa de Reconhecimento de Baixa e Média Intensidade de Solos – Folha Arapiraca SC. 24-X-D-V- MI - 1598 (EMBRAPA, 2012), escala 1:100.000, disponível em meio digital, constituíram a base para o estudo e elaboração do mapa de solos do município de Arapiraca/AL.

Como as imagens de satélite estão numa escala de maior detalhe (1:50.000), se comparado as cartas produzidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, em escala de 1:100.000, tornou-se necessário fazer um ajuste cartográfico nos mapas de solos compatibilizando a escala com as imagens de satélite.

Para cumprimento desta finalidade, acrescentou-se pontos de perfis de solo coletados durante os trabalhos realizados pela EMBRAPA e de perfis coletados a partir de observações em campo, estes perfis agregam informações complementares, permitindo conhecer as características texturais das classes de solos, oferecendo elementos para a discussão sobre o comportamento do solo em relação ao uso no local. Os solos constituem papel fundamental na avaliação da vulnerabilidade da unidade de paisagem, visto que destacam o balanço pedogênese/morfogênese.

Mapa de uso e ocupação e de vulnerabilidade

Para confecção deste produto cartográfico, utilizou-se como base:

- Mapa de Cobertura e Uso da Terra do Brasil (IBGE, 2008), escala 1:250.000;
- Cartas topográficas matriciais em escala de 1:100.000 do Banco de Dados Geográficos do Exército Brasileiro (BDGEX);
- Mapas de Uso e Cobertura da terra do MapBiomas (Coleção 9)
- Imagem de satélite Sentinel – 2 (*ESA – European Spatial Agency*).

Mapas complementares

Foram produzidos mapas complementares para maior suporte na análise das vulnerabilidades, utilizando o modelo de elevação ALOS/PALSAR:

- Mapa hipsométrico;
- Mapa de declividade;
- Mapa de hidrografia;

Mapa de distribuição pluviométrica mensal média

Para verificar os dados climáticos utilizou-se dados do modelo climatológico **CHIRPS** (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data*), através do software Google Earth Engine, pois ele oferece acesso facilitado a uma longa série de dados de precipitação que puderam ser ajustados conforme a presença de estações pluviométricas na área de estudo, oferecendo uma boa capacidade para análise de monitoramento e tendências climáticas.

O modelo CHIRPS é um conjunto de dados de precipitação quase global que combina informações de satélites com dados de estações terrestres para criar séries temporais de chuva contínuas e de alta resolução. Desenvolvido pelo *Climate Hazards Center* da Universidade da Califórnia (Santa Barbara) em parceria com o *United Estates Geological Survey* - USGS, atualmente, ele é uma das ferramentas mais importantes para monitoramento climático e hidrológico, principalmente em regiões onde os dados pluviômetros são escassos ou falhos.

Mapas demográficos, Rede de saneamento, PIB e Distribuição fundiária

A análise e interpretação dos fatores sociais do município de Arapiraca foram fundamentadas na organização territorial definida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2022) e nos dados provenientes do censo demográfico realizado pelo referido órgão em todo território brasileiro.

Utilizando como principal base para análise das características populacionais e sua distribuição no território de Arapiraca. Pois a partir desses dados é possível obter a noção da organização da distribuição demográfica no território, perfis demográficos (etnia, gênero, renda e educação), distribuição habitacional por setores censitários e suas condições no território.

Confeccionando mapas coropléticos para a representação cartográfica da distribuição e densidade populacional do município de Arapiraca, com o objetivo de entender como a

diferenciação da distribuição populacional e habitacional entre as áreas urbanas e rurais, são influenciadas, assim como podem influenciar os demais aspectos socioambientais do município estudado.

Foram utilizados dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SICAR), conforme exibido no Quadro 1:

Quadro 1: Dados utilizados para produção de mapas.

Mapa Temático	Fonte de Dados	Ano Base	Escala/Unidade
Demografia	IBGE (Censo)	2022	Setores Censitários
Saneamento	IBGE (Censo/Domicílios)	2022	Setores Censitários
Economia (PIB)	IBGE (Contas Regionais)	2021/2022*	Municipal
Estrutura Fundiária	SICAR / CAR	2024	Imóveis Rurais (Polígonos)

Fonte: IBGE (2025) e INCRA (2025)

Definição dos critérios para análise de vulnerabilidade das unidades de paisagem

No presente estudo, objetivou-se avaliar a vulnerabilidade ambiental da paisagem do município de Arapiraca, conforme a proposta de Crepani et al. (1996; 2001; 2008). Para isso, foi necessário realizar um estudo integrado dos principais condicionantes geoambientais, como Geologia, Geomorfologia, Pedologia e Uso e Ocupação da Terra, elaborando mapas temáticos que representam as principais características de cada unidade básica da paisagem. De acordo com Crepani (1996), foi necessário integrar as informações dos mapas para obter uma representação precisa do comportamento de cada unidade em relação à sua ocupação.

Para desenvolver a metodologia apresentada, Crepani et al. (1996; 2001 & 2008) seguiram os princípios da Ecodinâmica (Tricart, 1977), classificando os ambientes naturais em meios estáveis, intergrades e instáveis, conforme ilustrado no Quadro 2.

Quadro 2: Valores de estabilidade de unidades de paisagem.

Unidade	Relação Pedogênese/Morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a pedogênese	1.0
Intermediária	Equilíbrio entre pedogênese e morfogênese	2.0
Instável	Prevalece a morfogênese	3.0

Fonte: Tricart (1977) apud Crepani (1996).

Nesta análise Crepani et al. (1996), atribuíram 21 classes de vulnerabilidade à erosão, representadas por meio de cores obtidas pela combinação das três cores primárias (azul, verde e vermelho), distribuídas entre as unidades que apresentam maior estabilidade, representadas por valores mais próximos de 1,0 na cor azul, as unidades de estabilidade intermediária, representadas por valores ao redor de 2,0 na cor verde, enquanto que as unidades territoriais básicas mais vulneráveis apresentam valores mais próximos de 3,0 na cor vermelha dentro da escala de vulnerabilidade (Crepani et al., 1996; 2001).

Seguindo a abordagem de Crepani et al. (1996; 2001; 2008), o modelo foi aplicado separadamente aos temas (Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Clima) que compõem as unidades territoriais básicas. Cada tema recebeu um valor individual, e posteriormente calculou-se uma média aritmética desses valores com base em uma equação empírica específica. Essa equação representa a posição da unidade na escala de vulnerabilidade natural à perda de solo. Neste estudo, em vez de utilizar o índice de vulnerabilidade da vegetação, adotou-se um índice relativo ao uso da terra, conforme Alves (2010) e expressa na fórmula abaixo.

$$V = \frac{(G + R + S + U + C)}{5} \quad (1)$$

Onde:

V: Vulnerabilidade;

G: Vulnerabilidade para o tema Geologia;

R: Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia;

S: Vulnerabilidade para o tema Solos;

U: Vulnerabilidade para o tema Uso da terra;

C: Vulnerabilidade para o tema Clima

A representação da vulnerabilidade ou estabilidade das unidades de paisagem foi associada por meio de um total de seis cores, derivadas da combinação das cores primárias (azul, verde e vermelho). Esta abordagem simplifica a escala de cores proposta por Crepani (1996), definindo intervalos de valores para identificar os ambientes de acordo com sua vulnerabilidade e/ou estabilidade, como se observa na Tabela 3.

Tabela 3: Representação da vulnerabilidade ou estabilidade das unidades territoriais básicas.

Intervalo de valores	Grau de Vulnerabilidade	Relação pedogênese/morfogênese	Cores
1 – 1,3	Estável	Prevalece a pedogênese	
1,4 – 1,7	Moderadamente Estável	Tendência para prevalecer a pedogênese	
1,8 – 2,2	Intermediária Estabilidade/Vulnerabilidade	Equilíbrio entre pedogênese/morfogênese	
2,3 – 2,6	Moderadamente Vulnerável	Tendência para prevalecer a morfogênese	
2,7 – 3,0	Vulnerável	Prevalece a morfogênese	

Fonte: Adaptado de Crepani et al (1996, 2001).

Na classificação adotada na metodologia, as unidades que mostram maior estabilidade são identificadas por valores variando de 1,0 a 1,3 na cor azul. As unidades com estabilidade moderada são representadas por valores entre 1,4 e 1,7 na cor azul-claro. Aquelas que se encontram em estado intermediário ou equilibrado são atribuídas a valores entre 1,8 e 2,2 na cor verde. As unidades com vulnerabilidade moderada apresentam valores entre 2,3 e 2,6 na cor amarela, enquanto as paisagens mais vulneráveis são indicadas por valores entre 2,7 e 3,0 na cor vermelha.

A análise da estabilidade/vulnerabilidade da geologia, geomorfologia, pedologia e uso e cobertura do solo proporcionou uma compreensão do estado ecodinâmico das Unidades de Paisagem em relação a essas condicionantes ambientais. Foram estabelecidos critérios específicos de avaliação para cada tema, definindo valores de acordo com as características dos diferentes domínios para a elaboração dos mapas de vulnerabilidade ambiental em Arapiraca.

Considerou-se certas características relevantes para avaliar o grau de estabilidade ou vulnerabilidade, utilizando a média aritmética de cada característica que contribuiu para compor os valores de cada tema selecionado, embasado em consulta bibliográfica. Cada característica recebeu valores de peso definidos conforme tabelas estabelecidas por Crepani et al. (2001 e 2008), visando identificar as diversas áreas de vulnerabilidade das unidades de paisagem em Arapiraca (Quadro 3).

Quadro 3: Critérios para avaliação do grau de estabilidade/vulnerabilidade.

Tema	Critérios
Geologia	Grau de coesão das rochas
	Evolução geológica
Geomorfologia	Declividade
	Grau de dissecação
	Tipo de relevo
Pedologia	Textura do solo
Uso e cobertura do solo	Grau de proteção da cobertura vegetal e uso do terreno
Clima	Intensidade pluviométrica

Fonte: Crepani et al., 2001.

Análise de vulnerabilidade da Geomorfologia

A análise dos aspectos geomorfológicos é fundamental para entender como os processos de modificação do relevo influenciam o terreno, evidenciando a resistência variável da rocha matriz e a intensidade dos impactos climáticos e de drenagem sobre o substrato. Além disso, examina características como porosidade e permeabilidade do solo, que determinam sua fragilidade (Crepani, 2008).

A complexidade do aspecto geomorfológico reside na interação de múltiplas variáveis ambientais, não se limitando apenas à estrutura das rochas ou à influência de eventos climáticos no substrato geológico. Envolve a combinação de diversas estruturas, formas e processos ambientais que afetam as trocas de energia e matéria em um sistema aberto. Para esta análise geomorfológica, foram considerados três fatores-chave: amplitude altimétrica, declividade e grau de dissecação.

Na Tabela 4, são apresentados os valores utilizados para a primeira variável analisada, a amplitude altimétrica (Crepani, 2001; 2008), que pode indicar a intensidade ou predominância dos processos de modelagem do relevo.

Tabela 4: Valores de vulnerabilidade para amplitude altimétrica.

Amplitude Altimétrica (m)	**Vuln.**	**Amplitude Altimétrica (m)**	**Vuln.**	**Amplitude Altimétrica (m)**	**Vuln.**
< 20	1,0	77,1 – 84,5	1,7	141,6 – 151	2,4
20 – 29,5	1,1	84,6 – 94	1,8	151,1 – 160,5	2,5
29,6 – 39	1,2	94,1 – 103,5	1,9	160,6 – 170	2,6
39,1 – 48,5	1,3	103,6 – 113	2,0	170,1 – 179,5	2,7

48,6 – 58	1,4	113,1 – 122,5	2,1	179,6 – 189	2,8
58,1 – 67,5	1,5	122,6 – 132	2,2	189,1 – 200	2,9
67,6 – 77	1,6	132,1 – 141,5	2,3	> 200	3,0

Fonte: Crepani (2001 e 2008)

A amplitude dos interflúvios foi considerada na análise geomorfológica, indicando o grau de dissecação do relevo pela drenagem, mostrando como os processos morfogenéticos segmentam o relevo e suas características. Para esta análise, adotou-se a metodologia proposta por Guimarães et al. (2017), com os valores de vulnerabilidade atribuídos conforme Crepani (2001; 2008) apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Valores de vulnerabilidade para a intensidade de dissecação do relevo (amplitude interfluvial).

Amplitude do Interflúvio (m)	Vuln.	Amplitude do Interflúvio (m)	Vuln.	Amplitude do Interflúvio (m)	Vuln.
> 5.000	1,0	3.251 – 3.500	1,7	1.501 – 1.750	2,4
4.751 – 5.000	1,1	3.001 – 3.250	1,8	1.251 – 1.500	2,5
4.501 – 4.750	1,2	2.751 – 3.000	1,9	1.001 – 1.250	2,6
4.251 – 4.500	1,3	2.501 – 2.750	2,0	751 – 1.000	2,7
4.001 – 4.250	1,4	2.251 – 2.500	2,1	501 – 750	2,8
3.751 – 4.000	1,5	2.001 – 2.250	2,2	251 – 500	2,9
3.501 – 3.750	1,6	1.751 – 2.000	2,3	< 250	3

Fonte: Crepani (2001 e 2008)

Por último, na análise geomorfológica também se considerou a declividade do terreno, que influencia diretamente o escoamento de água superficial e subsuperficial nas encostas, além do transporte de sedimentos para os vales através da conversão de energia potencial em energia cinética (Crepani, 2008). A Tabela 6 apresenta os valores de vulnerabilidade correspondentes às diferentes classes de declividade do terreno.

Tabela 6: Valores de vulnerabilidade para a declividade das encostas.

Declividade		Vuln.	Declividade		Vuln.	Declividade		Vuln.
Graus	Porcent.		Graus	Porcent.		Graus	Porcent.	
< 2	< 3,5	1,0	10 – 11,2	17,5 – 19,8	1,7	19,2 – 20,4	34,7 – 37,2	2,4

2,1 – 3,3	3,6 – 5,8	1,1	11,3 – 12,5	19,9 – 22,2	1,8	20,5 – 21,7	37,3 – 39,8	2,5
3,4 – 4,6	5,8 – 8,2	1,2	12,6 – 13,8	22,3 – 24,5	1,9	21,8 – 23	39,9 – 42,4	2,6
4,7 – 5,9	8,3 – 10,3	1,3	13,9 – 15,2	24,6 – 27,2	2,0	23,1 – 24,4	42,5 – 45,3	2,7
6,0 – 7,3	10,4 – 12,9	1,4	15,3 – 16,5	27,3 – 29,6	2,1	24,5 – 25,7	45,4 – 48,1	2,8
7,4 – 8,6	13 – 15,1	1,5	16,6 – 17,8	29,7 – 32,1	2,2	25,8 – 27	48,2 – 50	2,9
8,7 – 9,9	15,2 – 17,4	1,6	17,9 – 19,1	32,2 – 34,6	2,3	> 27	> 50	3,0

Fonte: Crepani (2001 e 2008)

Após determinar o índice de vulnerabilidade para cada característica do relevo nas paisagens de Arapiraca, calculou-se o índice de vulnerabilidade geomorfológica através da média aritmética simples, conforme a seguinte fórmula:

$$R = \frac{G + A + D}{3} \quad (2)$$

R = Vulnerabilidade geomorfológica

G = Vulnerabilidade da amplitude dos interflúvios

A = Vulnerabilidade da amplitude altimétrica

D = Vulnerabilidade da declividade

As três variáveis utilizadas foram correlacionadas entre si, fornecendo *insights* fundamentais sobre outros aspectos ambientais analisados, como a composição do substrato geológico, tipos de solo, distribuição dos processos morfogenéticos, além das vulnerabilidades e potenciais de uso da terra.

Análise de Vulnerabilidade da Geologia

Os aspectos geológicos desempenham um papel essencial nos estudos integrados dos componentes geoambientais das paisagens, pois revelam como as diversas composições rochosas, ou litologias, reagem aos processos morfodinâmicos (como tipo, duração e intensidade dos eventos climáticos, formação dos canais de drenagem) e morfogenéticos (como orogenia, epirogenia etc.), tanto atuais quanto passados.

Diante disso, optou-se por utilizar a coesão das rochas como uma variável determinante para atribuir pesos distintos ao tema da geologia (Tabela 7). A coesão das rochas refere-se à intensidade da ligação entre os minerais ou partículas que compõem a rocha (Crepani, 2008).

Tabela 7: Escala de Vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns.

Litologia	Vuln.	Litologia	Vuln.	Litologia	Vuln.
Quartzitos ou metaquartzitos	1,0	Milonitos, Quartzo muscovita, Biotita, Clorita xisto	1,7	Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
Riólito, Granito, Dacito	1,1	Piroxenito, Anfibolito Kimberlito, Dunito	1,8	Conglomerados, subgrauvacas	2,5
Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2	Hornblenda, Tremolita, Actinolita xisto	1,9	Grauvacas, Arcózios	2,6
Migmatitos, Gnaisses	1,3	Estaurolita xisto, xistos granatíferos	2,0	Siltitos, Argilitos	2,7
Fonólito, Nefelina Sienito, Traquito, Sienito	1,4	Filito, metassiltito	2,1	Folhelhos	2,8
Andesito, Diorito, Basalto	1,5	Ardósia, Metargilito	2,2	Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,9
Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6	Mármores	2,3	Sedimentos Inconsolidados: Aluviões, Colúvios etc	3,0

Fonte: Crepani (2001 e 2008)

Rochas com maior coesão são representadas pelo valor 1,0, indicando predominância de processos pedogenéticos, enquanto aquelas com menor coesão, aproximando-se de 3,0, tendem a ser mais sujeitas a processos morfogenéticos erosivos (Crepani, 2008).

Análise de vulnerabilidade do solo

Os índices de vulnerabilidade à erosão para cada classe de solo estão detalhados na Tabela 8, revelando a susceptibilidade de cada tipo de solo aos processos morfogenéticos recentes,

como erosão laminar ou concentrada em sulcos, além da erosão eólica, especialmente em solos mais lixiviados, como os encontrados em ambientes costeiros e dunas (Tabela 8).

Tabela 8: Valores de vulnerabilidade dos solos.

Classificação de solos (Embrapa, 1999)	Vuln.
Latossolos amarelos	1,0
Latossolos vermelho-amarelos	
Latossolos vermelhos	
Latossolos vermelhos	
Latossolos brunos	
Latossolos húmicos	
Latossolos brunos húmicos	
Argissolos	2,0
Argissolos, Luvissolos, Alissolos, Nitossolos	
Argissolos, Luvissolos, Alissolos, Nitossolos	
Argissolos, Nitossolos	
Luvissolos	
Chernossolos	
Chernossolos	
Chernossolos	
Planossolos	
Planossolos	
Espodossolo	
Cambissolos	2,5
Neossolos litólicos	3,0
Neossolos flúvicos	
Neossolos regolíticos	
Neossolos quartizarênicos	
Vertissolos	
Organossolos	
Gleissolos	
Gleissolos, Plintossolos	
Gleissolos, Plintossolos	
Plintossolos	
Plintossolos	
Plintossolos	
Afloramento rochoso	

Fonte: Crepani (2001).

Na tabela apresentada, os solos são classificados de acordo com suas características seguindo a classificação da EMBRAPA (1999). Os solos agrupados no valor 1,0 são mais maduros, profundos a muito profundos, estáveis e predominantemente afetados por processos pedogenéticos avançados de intemperização mineral. Os solos agrupados no valor 2,0 são relativamente maduros, com profundidade variável, ainda com presença significativa de argilas expansivas e estabilidade moderada. Já os solos agrupados no valor 3,0 são predominantemente arenosos, rasos, com baixo teor de argilas e pouca coesão, sendo considerados mais vulneráveis.

Análise de vulnerabilidade do uso e ocupação da terra

Para o mapeamento do uso e ocupação da terra, adotou-se a metodologia descrita por Anderson (1976) da USGS. Essa abordagem classifica o uso da terra em três níveis: Categoria de Uso, que engloba nomes simplificados das categorias de uso; Tipo de Uso, que oferece informações mais detalhadas sobre as categorias; e Subtipo de Uso, fornecendo informações específicas sobre áreas particulares.

Inicialmente, foram empregadas as categorias de uso da terra utilizadas por Alves (2010), juntamente com seus correspondentes índices de vulnerabilidade, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9: Valores de vulnerabilidade do uso e ocupação da terra.

Categoria de Uso da Terra	**Legenda**	**Tipo de Uso**	**Vuln.**
Nível I		**Nível II**	
Espaço urbano (EU)		Área urbana de uso misto Área com serviço destinado ao turismo e lazer Área industrial Serviços de uso recreativo Serviços de uso públicos diversos	3,0
Espaço Agrícola (EA)	EAc1	Agricultura tradicional com cultura permanente Agricultura tradicional com cultura temporária Atividade de criação confinada Pastagem plantada Pastagem nativa ou plantada	1,4
	EAc2		2,2
	EAc3		1,2
	EAc4		2,2
	EAc5		1,2
	EAc6		3,0
	EAp1		2,8
	EAp2		2,5
	EAp3		1,2
Espaço de formação vegetal (EV)	EVf1	Formação florestal em bom estado de conservação	1,2
	EVf2	Formação florestal degradada Formação arbórea, arbustiva e herbácea	2,2
	EVr1	Formação florestal de ambiente úmido, sujeito às inundações periódicas pelas marés oceânicas	1,7
	Evr2		2,0
	EVm		3,0
	EVcv	Formação herbácea e arbustiva de ambiente úmido sujeita a inundações fluviais periódicas	3,0
	EVa	Formação herbácea e arbustiva de ambiente salino raramente sujeito a inundações	3,0
Espaço Hidrográfico (EH)	EHl	Açude Barragem Lazer	2,5
	EHr		2,5

	EHl		3,0
Usos Especiais (EE)	EEc	Unidade de Conservação Assentamento Rural	1,0
	EEr		1,3

Fonte: Alves (2010).

Análise de vulnerabilidade do clima

A análise de vulnerabilidade do clima baseou-se na metodologia e nas atribuições de peso sugeridas por Crepani et al. (2001; 2008), conforme mostrado da Tabela 10. Nessa análise foi possível acrescentar uma variável temporal nas análises de vulnerabilidade da paisagem, verificando o possível comportamento das paisagens de Arapiraca ao longo do ano, meses ou estações chuvosas e secas.

Tabela 10: Escala de Erosividade da chuva e valores de vulnerabilidade.

Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	**Vuln.**	**Intensidade Pluviométrica (mm/mês)**	**Vuln.**	**Intensidade Pluviométrica (mm/mês)**	**Vuln.**
< 50	1,0	201 – 225	1,7	376 – 400	2,4
51 – 75	1,1	226 – 250	1,8	401 – 425	2,5
76 – 100	1,2	251 – 275	1,9	426 – 450	2,6
101 – 125	1,3	276 – 300	2,0	451 – 475	2,7
126 – 150	1,4	301 – 325	2,1	476 – 500	2,8
151 – 175	1,5	326 – 350	2,2	501 – 525	2,9
176 – 200	1,6	356 – 375	2,3	> 525	3,0

Fonte: Crepani et al. (2008)

Aqui é importante analisar a quantidade e a intensidade da chuva, pois no sistema ambiental as chuvas representam um fator de entrada importante de material e energia no sistema que transforma e mobiliza e altera outros materiais do sistema que com ela interage como o solo, rochas, cursos d'água, vegetação, tornando o território viável ou inviável para múltiplos usos de acordo com sua distribuição, quantidade e intensidade.

Classificação e Cálculo de Índice de sustentabilidade

O município de Arapiraca é de grande importância para a sustentabilidade no estado de Alagoas, graças à sua posição geográfica e estratégica. Em meio a um crescimento populacional e desenvolvimento econômico acelerado, a cidade enfrenta o desafio de equilibrar esse progresso com a preservação ambiental e o bem-estar social.

Nesse contexto, o método proposto buscou classificar a sustentabilidade por meio de indicadores selecionados, integrando as dimensões sociais, econômicas e ambientais. O objetivo foi estabelecer parâmetros e índices de sustentabilidade que levem em conta esses aspectos. Segundo Jacobi (2006), incorporar as dimensões ambientais nas avaliações dos sistemas sociais tem sido uma preocupação crescente nas políticas socioeconômicas. Isso ocorre porque os indicadores socioeconômicos, por si só, são insuficientes para medir o grau de desenvolvimento e bem-estar social em diferentes níveis de agregação humana (Miguez et al, 2018; Dictoro et al 2016).

Para o cálculo do índice de sustentabilidade no município de Arapiraca buscou-se apoio em Calório (1997), Daniel (2000) e Daniel et al (2001). Segundo eles, o método baseia-se no conjunto de indicadores, onde os dados são utilizados para formar uma matriz que constrói polígonos através do uso de gráficos radar. A área específica desses polígonos quantifica o impacto positivo ou negativo na região, resultando em um Índice de Sustentabilidade.

Os gráficos radar oferecem uma forma simplificada de pesquisa, permitindo a visualização de informações que facilitam a comparação entre sistemas em diferentes períodos. Cada eixo do gráfico radar representa um indicador, e a área total formada entre esses indicadores descreve o índice de sustentabilidade. Em outras palavras, quanto maior a área do gráfico, maior a sustentabilidade entre os indicadores analisados (Calorio, 1997; Daniel, 2000 e Daniel et al., 2001).

Com exceção da primeira etapa, os passos seguintes foram recomendados por Calório (1997) e calculado no software Excel, para determinar o índice de sustentabilidade: No primeiro passo (i), estabeleceu a transformação dos valores dos indicadores, seguindo-se a proposta de Araújo (2015) e Santos et al (2013). No segundo passo (ii), calculou-se o ângulo formado entre os indicadores, e a área de cada triângulo foi obtida a partir dos valores padronizados de dois indicadores adjacentes e do ângulo definido (Daniel, 2001). O último passo (iii) envolveu o cálculo do índice de sustentabilidade, somando a área de todos os triângulos formados no gráfico radar.

- **Transformação dos valores dos indicadores:**

Nesta etapa, optou-se por substituir a primeira fase de padronização (Vpn) da fórmula original de Calorio (1997) pelos valores normais dos indicadores. Além disso, atribuiu-se notas

em uma escala de 0 a 10, dividindo os valores dos indicadores de sustentabilidade já normalizados por 10 (Santos et al., 2013; Van Leeuwen, 2013; Araújo, 2015).

Essa redução a uma escala de valores foi adotada para permitir uma melhor avaliação dos índices de sustentabilidade calculados, garantindo que a importância de um determinado indicador fosse preservada em relação aos outros. Isso foi feito sem que houvesse interferência ou distorção causada por indicadores de diferentes dimensões, escalas ou unidades de medida (Santos et al., 2013; Van Leeuwen, 2013; Araújo, 2015).

- **Obtenção do ângulo formado entre dois indicadores adjacentes:**
  - Ângulo formado entre os indicadores

$$\alpha = \frac{360}{N} \times \frac{\pi}{180} \quad (3)$$

Onde:

α = ângulo formado entre os indicadores;

N = número total de indicadores;

π /180 = Fator de transformação de graus em radianos, se a rotina para cálculo do cosseno no passo seguinte ao exigir.

- **Cálculo da área do triângulo:**

Este passo representa o cálculo da área de cada triangulo identificado no gráfico (Sn), a partir do valor padronizado de dois indicadores adjacentes e do ângulo definido no segundo passo.

- Lado desconhecido do triângulo;

$$d_n = \sqrt{(vp_n)^2 + (vp_{n+1})^2 - 2 \text{ x } (vp_n \text{ x } vp_{n+1}) \text{ x } \cos \alpha} \quad (4)$$

Onde:

dn = lado desconhecido do triângulo;

e = valores padronizados dos indicadores;

α = ângulo formado entre dois indicadores

- Semiperímetro do triângulo;

$$p_n = \frac{vp_n + vp_{n+1} + d_n}{2} \quad (5)$$

Onde:

p_n = semiperímetro do triângulo;

vp_n, vp_{n+1} e d_n = lados do triângulo.

- Área do triângulo

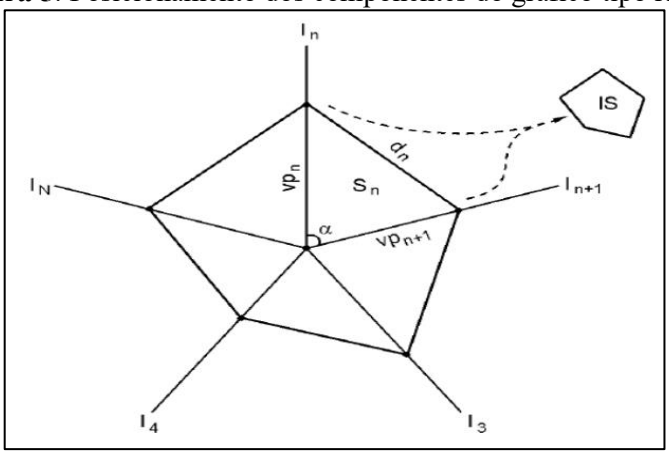
$$S_n = \sqrt{p_n(p_n - vp_n)\ x\ (p_n - vp_{n+1})\ x\ (p_n - d_n)} \quad (6)$$

- **Cálculo do Índice de Sustentabilidade**

$$IS = \sum_{n=1}^{N} S_n \quad (7)$$

A Figura 5 representa todos os elementos destacados nos cálculos anteriores, que compõem o gráfico radar usado para calcular o índice de sustentabilidade (Calorio, 1997; Daniel, 2000 e Daniel et al., 2001).

Figura 5: Posicionamento dos componentes do gráfico tipo radar.



Fonte: Adaptado de Calório (1997)

No artigo desenvolvido por Martins e Cândido et al, (2012) intitulado "Índices de Desenvolvimento para Localidades: uma proposta metodológica de construção e análise" foram

estabelecidos critérios para classificar os níveis de sustentabilidade para uma determinada região. Martins e Candido (2012) desenvolveram uma matriz que categoriza os indicadores para avaliar a sustentabilidade das localidades pesquisadas. Essa matriz utiliza critérios divididos em quatro classes de valores, variando de 0,0 a 1,0, para cada nível de sustentabilidade. Os níveis são definidos como crítico, alerta, aceitável e ideal.

Seguindo esse princípio, Araújo (2015) introduziu uma classe adicional, resultando em cinco níveis de classificação (Tabela 11). O autor descreveu essa classificação da seguinte forma: muito baixo para índices de 0 a 25; baixo para índices de 25 a 50; médio para índices de 50 a 75; alto para índices de 75 a 100; e muito alto para índices acima de 100.

Tabela 11: Classificação e representação dos índices de sustentabilidade.

ÍNDICE 0 - 100	NÍVEL DE SUSTENTABILIDADE
0 < índice ≤ 25	Muito baixo
25 < índice ≤ 50	Baixo
50 < índice ≤ 75	Médio
75 < índice ≤ 100	Alto
> 100	Muito alto

Fonte: Martins & Candido (2012); Araújo, S. Sérgio (2015).

Neste estudo, adotou-se a padronização das classes de índices definido por Araújo (2015), enquanto manteve-se a nomenclatura dos níveis de sustentabilidade desenvolvida por Martins e Candido (2012). Para índices de 0 a 25, indica-se um péssimo nível de sustentabilidade; índices de 25 a 50 refletem um nível ruim de sustentabilidade; índices de 50 a 75 indicam um nível regular; índices de 75 a 100 representam um nível bom de sustentabilidade; e índices acima de 100 indicam um nível ideal de sustentabilidade, conforme demonstrado na Tabela 12 a seguir.

Tabela 12: Classificação e apresentação dos índices de sustentabilidade adotados em Arapiraca.

ÍNDICE 0 - 100	NÍVEL DE SUSTENTABILIDADE
0 < índice ≤ 25	Péssimo
25 < índice ≤ 50	Ruim
50 < índice ≤ 75	Regular
75 < índice ≤ 100	Bom
> 100	Ideal

Fonte: Adaptado de Martins & Candido (2012); Araújo, S. Sérgio (2015).

O mesmo ocorre para avaliação dos níveis de sustentabilidade de cada indicador presente nas dimensões sociais, econômicas e ambientais do município de Arapiraca, este

estudo adaptou a matriz de critérios de Martins e Candido (2012) e Araújo (2015) para classificar os níveis de sustentabilidade. Utilizou-se uma escala de 5 níveis que abrange desde péssimo (índices de 0 a 10) até ideal (índices de 40 a 50), de acordo com especificado na Tabela 13.

Tabela 13: Classificação e apresentação dos níveis de sustentabilidade individuais em Arapiraca.

ÍNDICE 0 - 50	NÍVEL DE SUSTENTABILIDADE
0 < índice ≤ 10	Péssimo
10 < índice ≤ 20	Ruim
20 < índice ≤ 30	Regular
30 < índice ≤ 40	Bom
40 < índice ≤ 50	Ideal

Fonte: Adaptado de Martins & Candido (2012); Araújo, S. Sérgio (2015)

Definição de indicadores para análise de sustentabilidade

Para alcançar o índice de sustentabilidade, avaliou-se, de acordo com a disponibilidade de dados, quais indicadores presentes nas dimensões ambientais, sociais e econômicas exerciam maior importância no contexto da região. Portanto, buscou-se indicadores que permitissem compreender as relações de exploração e poder, desenvolvimento econômico e impactos nas comunidades residentes na área nos anos de 1990, 2000 e 2010. O propósito de trabalhar com esses períodos distintos foi promover a discussão sobre o avanço ou retrocesso da sustentabilidade.

Os indicadores foram obtidos com base nos dados do Censo Demográfico realizado nos anos de 1990, 2000 e 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, além dos dados do Atlas de Desenvolvimento Humano do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA/Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD do município de Arapiraca em Alagoas. Ressalta-se que o censo demográfico iniciado pelo IBGE em 2022 ainda está em processo de consolidação e divulgação dos dados oficiais. Por isso, optou-se por não utilizar as informações preliminares mais recentes do município.

A Tabela 14 apresenta os indicadores estabelecidos que compõem a matriz de cálculo do índice de sustentabilidade, dos quais 2 indicadores para a dimensão ambiental, 3 para a dimensão econômica e 4 para a dimensão social.

Tabela 14: Dimensões de sustentabilidade, padronização e indicadores.

DIMENSÃO	PADRONIZAÇÃO	INDICADORES
Ambiental	IA1	Água encanada
	IA2	Coleta de lixo
Social	IS1	Analfabetismo

	IS2	Vulnerável a pobreza
	IS3	Mortalidade Infantil
	IS4	Taxa de desemprego
Econômico	IE1	Renda familiar
	IE2	IDHM
	IE3	Renda Per capita

Fonte: Autor (2024).

Para facilitar a análise dos dados, foram atribuídos e padronizados os seguintes nomes aos indicadores: Indicadores Ambientais: IA1 - Percentual de domicílios com acesso à água encanada; IA2 - Percentual de domicílios com coleta de lixo. Indicadores Sociais: IS1 - Taxa de analfabetismo (15 anos ou mais); IS2 - População vulnerável à pobreza; IS3 - Taxa de mortalidade infantil; IS4 - Taxa de desemprego (18 anos ou mais). Indicadores Econômicos: IE1 - Renda até 1 salário-mínimo; IE2 - Índice de Desenvolvimento Humano no Municipal; IE3 - Renda per capita.

Os indicadores podem ter uma função positiva ou negativa. Considerou-se que uma relação é positiva (quanto maior, melhor e quanto menor, pior) se um aumento no valor da variável resultar em uma melhoria do sistema ou da dimensão. Por outro lado, a relação é negativa (quanto menor, melhor e quanto maior, pior) se um aumento no valor da variável resultar em uma piora do sistema (Martins & Candido, 2012).

Dessa forma, para os indicadores de relação negativa (IS1 - Taxa de analfabetismo, IS2 - População vulnerável à pobreza, IS3 - Taxa de mortalidade infantil, IS4 - Taxa de desemprego, IE1 - Renda até 1 salário-mínimo), adotou-se para o cálculo a subtração do valor do indicador de 100. A fórmula utilizada foi (100 - Indicador), como representado nas equações abaixo.

IS1 - Taxa de analfabetismo (TA)

$$Vpn\ TA(Ano) = \frac{(100 - \mathrm{TA})}{10} \tag{8}$$

IS2 - População vulnerável à pobreza (VP)

$$Vpn\ VP(Ano) = \frac{(100 - \mathrm{VP})}{10} \tag{9}$$

IS3 - Taxa de mortalidade infantil (MI)

$$Vpn\ MI(Ano) = \frac{(100 - \mathrm{MI})}{10} \quad (10)$$

IS4 - Taxa de desemprego (TD)

$$Vpn\ TD(Ano) = \frac{(100 - \mathrm{TD})}{10} \quad (11)$$

IE1 - Renda até 1 salário-mínimo (RSM)

$$Vpn\ RSM(Ano) = \frac{(100 - \mathrm{RSM})}{10} \quad (12)$$

Para os indicadores de impacto positivo (IA1: Percentual de domicílios com acesso à água encanada e IA2: Percentual de domicílios com coleta de lixo), utilizou-se os valores percentuais de residências em Arapiraca com acesso à água encanada e coleta de lixo, respectivamente. Esses valores foram divididos por 10 para estabelecer uma escala de 0 a 10, conforme mostra a equação (13 e 14).

IA1 - Percentual de domicílios com acesso à água encanada (AE)

$$Vpn\ AE(Ano) = \frac{(\mathrm{AE})}{10} \quad (13)$$

IA2 - Percentual de domicílios com coleta de lixo (CL)

$$Vpn\ CL(Ano) = \frac{(\mathrm{CL})}{10} \quad (14)$$

Para calcular a renda per capita (RPC), foram utilizados os valores de referência para o estado de Alagoas: R$ 211,98 em 1990, R$ 285,29 em 2000 e R$ 432,56 em 2010. A fórmula de cálculo está na equação (15).

IE3 - Renda per capita (RPC)

$$Vpn\ RPC(Ano) = \frac{(X)}{10} \tag{15}$$

Onde:
X = percentual (%) da renda per capita de Arapiraca analisado em relação à renda do estado de Alagoas.

Por último, o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM - IE2), embora utilizado como indicador econômico, reflete uma medida composta de três dimensões do desenvolvimento humano (longevidade, educação e renda), variando de 0 a 1. O valor do índice transformado em percentual utilizou-se diretamente nos cálculos subsequentes.

As próximas etapas, que consistem na análise e avaliação dos índices de Sustentabilidade de Arapiraca, envolveram a interação entre os indicadores sociais, econômicos e ambientais, utilizando gráficos radar para definir os polígonos pelo fato de facilitar comparações entre sistemas ao longo do tempo e do espaço, devido à utilidade das informações visuais que ele apresenta (Araujo, 2015; Sobral et al., 2013; Martins & Candido, 2012; Daniel et al., 2001; Daniel, 2000; Calorio, 1997).

1. DINÂMICA AMBIENTAL: FUNDAMENTOS E INSTRUMENTOS DA ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA

1.1. PRINCÍPIOS DA TEORIA GERAL DOS SISTEMAS

A compreensão sistêmica dos fenômenos naturais e sociais consolida-se como um marco teórico-epistemológico fundamental frente às limitações impostas pela visão fragmentada e reducionista que caracterizou o desenvolvimento das ciências clássicas. Embora a especialização disciplinar tenha promovido avanços significativos no conhecimento científico, ela também produziu dificuldades crescentes para a apreensão de fenômenos complexos, marcados por múltiplas interações, não linearidade, retroalimentações e dinâmicas integradas. Nesse contexto, emerge a necessidade de abordagens capazes de interpretar a realidade a partir da totalidade, das interdependências e dos processos organizacionais que estruturam os sistemas.

Conforme assinala Christofoletti (1999), a preocupação com abordagens conceituais e analíticas de caráter sistêmico teve origem na biologia teorética, a partir da década de 1930. Todavia, a formulação sistemática da Teoria Geral dos Sistemas (TGS) foi realizada por Ludwig von Bertalanffy, entre as décadas de 1940 e 1950, consolidando-se como uma proposta epistemológica voltada à superação da fragmentação disciplinar do conhecimento científico (Vicente; Perez Filho, 2003). A TGS surge, assim, como resposta crítica à hiper fragmentação do saber científico moderno, caracterizada por abordagens excessivamente deterministas, causalidades lineares isoladas e análises incapazes de compreender fenômenos constituídos por múltiplas relações simultâneas.

Segundo Bertalanffy (1968), a Teoria Geral dos Sistemas tem como objetivos centrais a integração das diversas ciências naturais e sociais, a construção de uma teoria unificadora fundamentada em princípios gerais, a ampliação do alcance explicativo da ciência em campos não físicos, a aproximação da unidade do conhecimento científico e o fortalecimento da educação científica por meio de referenciais integradores. Esses objetivos partem do reconhecimento de que muitos fenômenos, independentemente de sua natureza física, biológica ou social, apresentam estruturas organizacionais semelhantes, expressas por isomorfismos que permitem sua interpretação sob uma mesma lógica sistêmica (Quadro 4).

Quadro 4: Objetivos centrais da Teoria Geral dos Sistemas.

Objetivo	Descrição
Integração das ciências	Promover a articulação entre as ciências naturais e sociais, superando a fragmentação disciplinar do conhecimento científico.
Teoria unificadora	Estabelecer uma base teórica comum, fundamentada em princípios gerais aplicáveis a diferentes campos do saber.
Ampliação do alcance científico	Possibilitar a construção de modelos teóricos e analíticos em campos não físicos da ciência, nos quais as abordagens clássicas mostram-se insuficientes.
Unidade da ciência	Contribuir para a aproximação da unidade do conhecimento científico por meio da identificação de princípios organizacionais e leis gerais.
Integração na educação científica	Fortalecer a formação científica ao incorporar uma perspectiva integradora e sistêmica nos processos educacionais.

Fonte: Bertalanffy (1968).

Do ponto de vista conceitual, Bertalanffy (1968) define sistema como um "complexo de elementos em interação", cuja compreensão não pode ser reduzida à simples soma de suas partes. Para o autor, é a interação dinâmica entre os componentes que confere organização, funcionalidade e identidade ao todo, tornando seu comportamento qualitativamente distinto daquele observado quando os elementos são analisados isoladamente. Nesse sentido, Bertalanffy enfatiza que:

> "É necessário estudar não somente partes e processos isoladamente, mas também resolver os decisivos problemas encontrados na organização e na ordem que os unifica, resultante da interação dinâmica das partes, tornando o comportamento das partes diferente quando estudado isoladamente e quando tratado no todo." (Bertanlanffy, 1968 p.53)

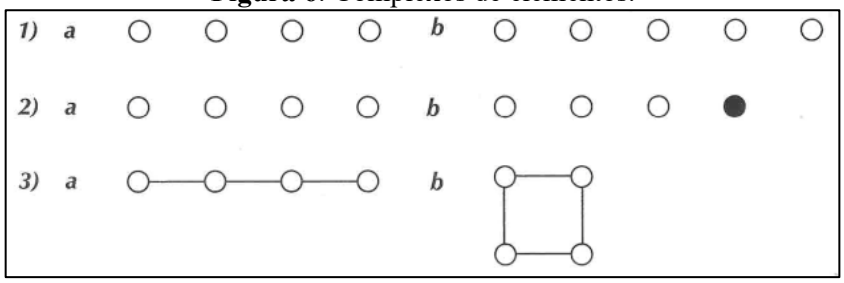
Embora ampla, a definição de sistema proposta por Bertalanffy expressa a condição mais elementar e universal para a existência de qualquer sistema: a interação entre seus componentes. Conforme destacam Vicente e Perez Filho (2003), sem essa premissa básica, atributos como organização, hierarquia e totalidade perderiam sua razão de ser, uma vez que determinadas condições presentes em outras definições restringem-se a tipos específicos de sistemas, não possuindo, portanto, caráter universal.

Christofoletti (1980; 1999), aprofunda essa concepção ao definir sistema como uma estrutura composta por elementos, atributos e relações, cuja organização interna é responsável pela emergência de propriedades inexistentes nas unidades consideradas isoladamente. Para o autor, as unidades elementares não devem ser compreendidas como componentes simples, mas como entidades dotadas de coesão interna, capazes de constituir subsistemas no interior de uma totalidade mais ampla. Desse modo, qualquer sistema pode ser simultaneamente interpretado

como um todo em determinado nível de análise e como parte integrante de um sistema hierarquicamente superior, o que reforça a importância da abordagem multiescalar na análise sistêmica.

Nesse contexto, Bertalanffy (1968) estabelece a distinção entre características somativas e características constitutivas dos sistemas. As primeiras referem-se a situações em que o complexo pode ser reconhecido como a simples soma de suas unidades, apresentando estrutura e comportamento equivalentes tanto no interior quanto fora do conjunto (Figura 6). As características constitutivas, por sua vez, exigem não apenas o conhecimento das unidades que compõem o sistema, mas, sobretudo, das relações que as articulam. As propriedades constitutivas não são explicáveis pelas partes isoladas, pois emergem da organização e da interação entre os componentes, conferindo ao todo características próprias, irreduzíveis às suas unidades constituintes.

Figura 6: Complexos de elementos.



Fonte: Bertalanffy (1968)

Essa distinção permite diferenciar um simples agrupamento de elementos de um sistema propriamente dito. No sistema, a interdependência entre os componentes faz com que a alteração de um elemento repercuta não apenas em seu próprio comportamento, mas também no funcionamento da totalidade e dos demais elementos. Assim, a noção de totalidade organizada consolida-se como princípio central da Teoria Geral dos Sistemas.

Conforme assinala Christofoletti (1999), o todo assume uma estrutura e uma funcionalidade específicas, que não podem ser explicadas pela simples somatória de seus componentes. Vasconcelos (2002) complementa essa perspectiva ao ressaltar que as características fundamentais do sistema tendem a se manter mesmo quando ocorre a substituição de alguma unidade, reforçando que a análise restrita às propriedades das partes é insuficiente para caracterizar o sistema como um todo. Nessa direção, Bertalanffy (1968) sintetiza esse princípio ao afirmar que “o comportamento do todo é mais complexo do que a soma dos comportamentos das partes” (p. 83).

A compreensão da totalidade organizada implica reconhecer que as unidades, ao integrarem um sistema, passam a sofrer coerções impostas pelo todo, as quais limitam e, simultaneamente, redefinem suas possibilidades de atuação. Tais coerções não suprimem a autonomia dos elementos, mas condicionam seu comportamento às exigências da organização sistêmica, de modo que as propriedades do conjunto não podem ser explicadas pela análise isolada de suas partes. Nesse sentido, a dinâmica sistêmica revela-se essencialmente relacional e emergente, uma vez que os padrões de funcionamento decorrem das interações estabelecidas entre os componentes e não apenas de suas características individuais.

Essa compreensão conduz diretamente ao princípio da organização hierárquica, elemento estruturante da abordagem sistêmica. Para Bertalanffy (1968), o mundo apresenta-se como uma "ordem hierárquica de entidades organizadas", composta por uma superposição de níveis que se estendem dos sistemas físicos e químicos aos biológicos, sociais e territoriais, articulados por uniformidades estruturais. Sistemas de níveis inferiores combinam-se para formar sistemas progressivamente mais complexos, sendo que cada nível constitui um todo integrado, dotado de propriedades próprias, que não pode ser reduzido às suas partes constituintes (Vasconcelos, 2002). Essa perspectiva reforça a necessidade de compreender os fenômenos a partir de diferentes escalas de análise, reconhecendo as relações de dependência e condicionamento entre níveis hierárquicos distintos.

No âmbito da análise geográfica e ambiental, essa concepção possui implicações metodológicas diretas, uma vez que exige delimitações analíticas coerentes com o nível de organização e a complexidade dos fenômenos investigados. Conforme ressalta Christofoletti (1980), a abordagem sistêmica deve considerar aspectos como o tamanho do sistema, definido pelo número de variáveis envolvidas e pela complexidade de suas inter-relações; o grau de correlação entre essas variáveis; e as relações de causalidade que estruturam os fluxos internos. Esses elementos são fundamentais para compreender o funcionamento, a dinâmica e a capacidade de resposta dos sistemas frente a perturbações internas ou externas, especialmente em contextos territoriais e ambientais marcados por elevada interdependência e instabilidade.

A partir dessa compreensão organizacional e hierárquica, torna-se indispensável distinguir os sistemas segundo o grau de interação com o meio externo, critério que constitui outro eixo estruturante da Teoria Geral dos Sistemas. Nesse sentido, diferenciam-se sistemas isolados, fechados e abertos. Enquanto os sistemas isolados e fechados apresentam comportamentos mais previsíveis e tendem ao estado de equilíbrio, os sistemas abertos (categoria na qual se inserem os sistemas naturais, ambientais e sociais) caracterizam-se por

trocas contínuas de energia e matéria com o ambiente. Segundo Bertalanffy (1968), esses sistemas mantêm-se em um estado estável dinâmico, preservando sua organização interna por meio de processos contínuos de construção, dissipação e autorregulação, independentemente das condições iniciais.

Essa concepção revela-se particularmente relevante para a Geografia e as Ciências Ambientais, pois possibilita compreender fenômenos como bacias hidrográficas, paisagens, ecossistemas e cidades como sistemas dinâmicos, interativos e em permanente transformação. Chorley e Kennedy (1971) reforçam essa perspectiva ao definir sistema como um conjunto estruturado de objetos e atributos que mantêm relações funcionais entre si, formando um todo coerente, não estático e sujeito a processos contínuos de reorganização.

Dessa forma, a consolidação dos princípios da Teoria Geral dos Sistemas estabelece as bases epistemológicas e metodológicas necessárias para a compreensão de fenômenos complexos a partir da lógica da totalidade, da hierarquia e das interações dinâmicas entre seus componentes. No campo da Geografia, tais fundamentos não permanecem restritos a uma formulação abstrata, mas são operacionalizados por meio de categorias analíticas capazes de integrar processos naturais e antrópicos, fluxos de energia e matéria, escalas e níveis de organização. Nesse contexto, destacam-se as noções de Geossistema e Paisagem, que representam desdobramentos conceituais da abordagem sistêmica aplicados à análise territorial e ambiental, permitindo uma leitura integrada das dinâmicas espaciais e dos processos que estruturam o espaço geográfico.

1.2. A CONCEPÇÃO DE GEOSSISTEMAS

Na abordagem sistêmica, o espaço geográfico é entendido como uma totalidade organizada, constituída por múltiplas unidades ou elementos que, dispostos hierarquicamente, podem apresentar diferentes graus de complexidade. Essas unidades, embora dotadas de propriedades próprias, não podem ser analisadas de forma isolada, uma vez que sua funcionalidade e dinâmica decorrem das relações que estabelecem entre si no interior do sistema. Conforme assinala Christofoletti (1980; 1999), a complexidade sistêmica emerge precisamente das interações entre conjuntos e subconjuntos, cujas configurações variam de acordo com a natureza dos elementos envolvidos, os fluxos que os conectam e o nível hierárquico considerado na análise.

Nesse sentido, torna-se fundamental compreender como as variáveis do sistema se organizam e se articulam no espaço e no tempo, bem como identificar quais elementos exercem maior capacidade de controle sobre essas relações. Para Christofoletti (1980; 1999), determinados componentes assumem papel estruturador no funcionamento sistêmico, influenciando a dinâmica dos fluxos, os processos de retroalimentação e a estabilidade relativa do conjunto. Essa abordagem desloca o foco analítico da simples descrição dos elementos para a interpretação das relações, dos mecanismos de controle e das dinâmicas que configuram o sistema como uma totalidade organizada.

É nesse arcabouço teórico que se insere a concepção de Geossistema, formulada como uma categoria analítica capaz de integrar os princípios da Teoria Geral dos Sistemas à leitura do espaço geográfico. O conceito de Geossistema dialoga diretamente com contribuições anteriores oriundas da Ecologia e da Geografia Física, notadamente com a noção de "paisagem ecológica" introduzida por Carl Troll na década de 1930, bem como com o conceito de ecossistema, sistematizado por Arthur Tansley em 1935. Essas contribuições foram fundamentais para consolidar uma visão integrada das interações entre componentes bióticos e abióticos, superando abordagens fragmentadas e descritivas do meio natural.

A articulação entre os conceitos de paisagem ecológica, ecossistema e geossistema fornece uma base teórico-metodológica robusta para a análise das dinâmicas ambientais e territoriais. Segundo Ross (2006, p. 28), essa convergência conceitual possibilita compreender a paisagem como uma expressão espacial resultante da interação entre fatores naturais e antrópicos, mediada por fluxos de energia e matéria e condicionada por processos históricos e escalas temporais distintas. A paisagem, nessa perspectiva, deixa de ser entendida apenas como uma configuração visual ou morfológica, passando a ser interpretada como uma manifestação concreta do funcionamento sistêmico do espaço.

Na literatura científica, vários autores contribuíram significativamente para o conceito de geossistema, associando-o a diversas perspectivas, como formações naturais, funções terrestres complexas que englobam a natureza, a população e a economia, ou como objeto de estudo das ciências da Terra (Tricart, 1977; Tricart et al. 1992; Christofoletti, 1980; 1999; Casseti, 1991; Ross, 1992; Bertrand, 2004).

Tricart et al. (1992) abordando sobre a integração dos fundamentos teóricos e dos resultados das pesquisas em Ecologia, Planejamento e Gestão Ambiental e Territorial ressaltaram a importância da dimensão espacial dos fenômenos. Esse enfoque levou à necessidade de se distanciar de uma perspectiva filosófica e ética centrada exclusivamente na

vida e nos organismos vivos, ampliando a associação entre comunidades e fenômenos bióticos. Essa evolução permitiu à Ecologia adotar o conceito de paisagem, desenvolvido pela Geografia, e, posteriormente, incorporando a dimensão espacial, dando origem à Ecologia da Paisagem.

A Ecologia da Paisagem se concentra no estudo das interações entre organismos e seu ambiente, considerando os fatores ambientais que impactam esses sistemas (Troll, 1997). Em outras palavras, analisa como diferentes elementos, como florestas, campos agrícolas, corpos d'água, áreas urbanas e corredores ecológicos, estão distribuídos e conectados espacialmente, e como essa configuração influencia os fluxos de energia, nutrientes e organismos através da paisagem.

Trabalho realizado por Siqueira et al. (2013) analisa como a integração das abordagens geográficas e ecológicas pode melhorar a compreensão da paisagem. As autoras explicam que, embora a Ecologia da Paisagem utilize tanto a abordagem ecológica (que se concentra nas espécies) quanto a geográfica (que se concentra no espaço), a abordagem ecológica tem recebido maior destaque e ênfase. No entanto, sua evolução se deu principalmente na análise da estrutura da paisagem por meio de métricas que avaliam a composição e a estrutura espacial com base na fragmentação, incorporando os efeitos do uso dos recursos naturais e da ocupação humana na formação de territórios. A Ecologia da Paisagem desenvolveu e priorizou conceitos como manchas, corredores e matrizes, aplicando suas métricas para a classificação das paisagens e o planejamento ambiental, com maior ênfase na conservação da biodiversidade.

Dentro deste contexto, os princípios dos Geossistemas são entendidos como fundamentados na concepção da natureza como sistemas dinâmicos, abertos e hierarquicamente organizados. Esses sistemas podem ser delimitados ou circunscritos, especialmente em sua tridimensionalidade e dinâmica, permitindo avaliar a evolução dos estados sucessivos dos geossistemas (Sotchava, 1978, p. 3).

De acordo com Sotchava (1978), ao estabelecer as bases lógicas para o estudo dos geossistemas utilizou-se o critério espacial, abrangendo as escalas planetária, regional e topológico (Quadro 5). Nesta circunstância, o autor parte do princípio de que a menor unidade de análise em um mapeamento é uma área homogênea, denominada "geômero elementar". Este geômero é uma região que possui características físico-naturais uniformes e está integrada com aspectos socioeconômicos. Quando vários geômeros elementares são combinados, formam um "geócoro elementar", que é uma área caracterizada por uma heterogeneidade elementar. Este conceito de "geócoro elementar" corresponde, no princípio da bilateralidade, à noção de fácies,

representando uma unidade mais ampla que reflete uma combinação diversificada de características naturais e sociais (Dias e Filho, 2017).

Nota-se que esta classificação (Quadro 5) é formada por componentes naturais que estão Inter condicionados e inter-relacionados em sua distribuição espacial. Segundo Schutzer (2012), as condições naturais são definidas pelo funcionamento da estrutura superficial da paisagem, que inclui a base lito-estrutural, o relevo, os solos, as águas superficiais e subterrâneas, as comunidades vegetais e animais, além das dinâmicas climáticas e hidrológicas que promovem uma interação complexa em um sistema aberto.

Quadro 5: Classificação dos geossistemas conforme Sotchava.

Dimensão	Geômeros	Geócoros	
Geossistema Planetário			
Planetária	Conjunto de tipos de meios naturais (conjunto de tipos de paisagem)	Cinturão físico-geográfico Grupos de Regiões físico-geográficas	
	Tipos de meios naturais (tipos de paisagem)	Subcontinente e conjuntos de suas megaposições	
Regional	Classes de geomas	Regiões físico-geográficas	
	Subsclasses de geomas	Com zonalidade latitudinal	Com diferenciação vertical
	Grupos de geomas	Zonas naturais	Grupos de províncias
	Subgrupos de geomas	Subzonas/Províncias	Províncias
Topológica	Geomas	Macrogeócoro (Distrito/Paisagem)	
	Classes de Fácies	Topogeócoro (Raion)	
	Grupos de Fácies	Mesogeócoro (Terrenos e grupos de tratos)	
	Fácies	Microgeócoro (trato)	
	Área homogênea elementar, geômero elementar, biogeocenose	Área heterogênea elementar, geócoro elementar	

Fonte: Sotchava, (1978, p. 92); modificado pelo autor.

Sotchava (1978) argumenta que cada parcela de tempo está associada a um estado específico de dinâmica. Isso invalida uma análise unilateral do espaço, exigindo uma compreensão das mudanças e transformações naturais em relação às intervenções humanas. Portanto, é necessário considerar como as alterações naturais interagem com as influências antropogênicas para obter uma visão completa do geossistema (Dias e Filho, 2017).

A partir da classificação delineada por Sotchava, Bertrand (2004) introduziu categorias mais precisas e hierárquicas. Bertrand propôs uma tipologia que relaciona as paisagens às ordens taxonômicas do relevo, definindo unidades de paisagem de acordo com a escala espaço-temporal. Ele afirma que "O sistema taxonômico deve permitir classificar as paisagens em função da escala, isto é, situá-las na dupla perspectiva do tempo e do espaço" (Bertrand, 2004, p. 144).

Para contextualizar essa abordagem, Bertrand dividiu essas unidades em categorias superiores e inferiores. As unidades superiores incluem zona, domínio e região natural, enquanto as unidades inferiores compreendem geossistemas, geofácies e geótopo. Esse arranjo resulta em sete ordens de grandeza, conforme exposto no Quadro 6.

Quadro 6: Classificação das paisagens por G. Bertrand.

Unidades da Paisagem	Escala temporo-espacial (A. Caileux J. Tricart)	Exemplo tomado numa mesma série de Paisagem	Unidades Elementares				
			Relevo (1)	Clima (2)	Botânica	Biogeografia	Unidade Trabalhada pelo Homem (3)
ZONA	G I grandeza G. I	Temperada		Zonal		Bioma	Zona
DOMÍNIO	G. II	Cantábrico	Domínio estrutural	Regional			Domínio Região
REGIÃO NATURAL	G. III-IV	Picos da Europa	Região estrutural		Andar Série		Quarteirão rural ou urbano
GEOSSISTEMA	G. IV-V	Atlântico Montanhês (calcário sombreado com faia higrófila a *Asperula odorata* em "terra fusca")	Unidade estrutural	local		Zona equipotencial	
GEOFÁCIES	G. VI	Prado de ceifa com *Molinio-Arrhenatheretea* em solo lixiviado hidromórfico formado em depósito morâinico			Estádio Agrupamen-to		Exploração ou quarteirão parcelado (pequena ilha ou cidade)
GEÓTOPO	G. VII	"Lapiés" de dissolução com *Aspidium lonchitis* em microsolo úmido carbonatado em bolsas		Microclima		Biótopo Biocenose	Parcela (casa em cidade)

Fonte: Bertrand (2004).

Segundo Bezerra et al. (2024), as bases teóricas de Sotchava e Bertrand convergem na definição do geossistema como um conceito territorial, delimitado espacialmente e analisado sob uma determinada escala. Ambas as abordagens reconhecem a importância de considerar o geossistema como uma unidade fundamental para a análise ambiental e geográfica, enfatizando a sua tridimensionalidade e dinâmica. No entanto, há diferenças notáveis nas classificações dos geossistemas propostas por cada autor.

Observa-se que nas unidades superiores, a análise se concentra principalmente nos fatores climáticos e estruturais que formam a base da paisagem em larga escala, ou seja, o clima e a estrutura geológica são os principais determinantes das características ambientais. Por outro

lado, nas unidades inferiores, os elementos biogeográficos e antrópicos são os principais determinantes. Estas unidades menores se caracterizam pela influência detalhada das comunidades vegetais e animais, bem como pela ação humana, que molda e modifica a paisagem em níveis mais específicos e locais. Bertrand, portanto, oferece uma abordagem detalhada e sistemática para a classificação e análise das paisagens.

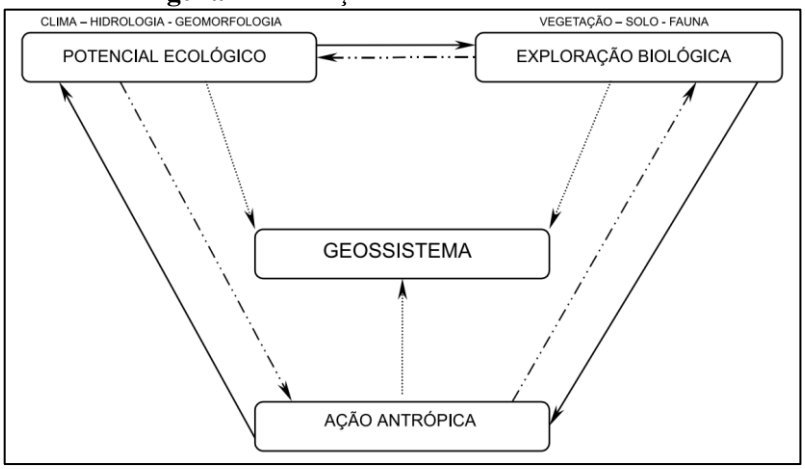
> Existem, para cada ordem de fenômenos, "inícios de manifestações" e de "extinção" e por eles pode-se legitimar a delimitação sistemática das paisagens em unidades hierarquizadas.16 Isto nos leva a dizer que a definição de uma paisagem é função da escala. No seio de um mesmo sistema taxonômico, os elementos climáticos e estruturais são básicos nas unidades superiores (G. I a G. IV) e os elementos biogeográficos e antrópicos nas unidades inferiores (G. V a G. VIII) (Bertrand, 2004, p. 145).

Dessa forma, para Bertrand, o geossistema refere-se a dados ecológicos relativamente estáveis, resultantes da interação de diversos fatores (Figura 7). Entre os fatores geomorfológicos estão a natureza das rochas e dos mantos superficiais, o valor do declive e a dinâmica das vertentes. Os fatores climáticos incluem precipitações e temperatura, enquanto os fatores hidrológicos englobam os lençóis freáticos superficiais, as nascentes, o pH das águas e os tempos de ressecamento do solo.

> O geossistema situa-se entre a 4ª e a 5ª grandeza temporo-espacial. Trata-se, portanto, de uma unidade dimensional compreendida entre alguns quilômetros quadrados e algumas centenas de quilômetros quadrados. É nesta escala que se situa a maior parte dos fenômenos de interferência entre os elementos da paisagem e que evoluem as combinações dialéticas mais interessantes para o geógrafo. Nos níveis superiores a ele só o relevo e o clima importam e, acessoriamente, as grandes massas vegetais. Nos níveis inferiores, os elementos biogeográficos são capazes de mascarar as combinações de conjunto. Enfim, o geossistema constitui uma boa base para os estudos de organização do espaço porque ele é compatível com a escala humana (Bertrand, 2004, p. 146).

Neste contexto, a caracterização espacial dos geossistemas, em função de sua natureza territorial, constitui um elemento central para a compreensão integrada do espaço geográfico. Christofoletti (1999, p. 44–45) ressalta a necessidade de um estudo analítico rigoroso da morfologia e do funcionamento dessas unidades, observando que, por se configurarem como sistemas abertos, os geossistemas mantêm interações permanentes com outros sistemas. Tal condição exige a apreensão simultânea das relações internas entre seus componentes e das interações estabelecidas com sistemas externos, ampliando a complexidade de sua análise.

Figura 7: Definição teórica de Geossistema.



Fonte: Bertrand (2004).

Cabe salientar que o padrão espacial atualmente observável e as características funcionais dos geossistemas resultam de um processo evolutivo contínuo, construído a partir da sucessão de eventos naturais e antrópicos ao longo do tempo. Desse modo, a análise geossistêmica deve incorporar, de forma indissociável, tanto as influências históricas quanto as dinâmicas contemporâneas, a fim de compreender plenamente a estrutura, o funcionamento e a trajetória evolutiva dessas unidades espaciais (Christofoletti, 1999, p. 44–45).

A partir dessa perspectiva integrada, evidencia-se que a análise territorial não pode restringir-se à descrição estática das formas e dos arranjos espaciais, tornando-se imprescindível avançar na interpretação dos processos dinâmicos que condicionam a evolução e o funcionamento dos geossistemas. A consideração das interações internas, das trocas contínuas com o meio e da dimensão temporal revela que esses sistemas são marcados por estados variáveis de equilíbrio, instabilidade e reorganização, decorrentes dos fluxos de energia e matéria e das intervenções antrópicas que incidem sobre o território.

Nesse sentido, impõe-se a incorporação de abordagens capazes de apreender a dinâmica dos sistemas ambientais para além de sua configuração estrutural, focalizando os mecanismos que regulam sua funcionalidade, sua capacidade de adaptação e suas respostas às perturbações. É nesse ponto que a Ecodinâmica e a Ecogeografia assumem papel central, ao oferecerem um referencial teórico-metodológico orientado à análise dos processos, dos ritmos e das intensidades que estruturam a dinâmica dos sistemas naturais e territoriais. Assim, o item seguinte aprofunda essa discussão, abordando a Ecodinâmica e a Ecogeografia como instrumentos fundamentais para a compreensão integrada da paisagem e das transformações ambientais em diferentes escalas espaciais e temporais.

1.3. ECODINÂMICA: A PONTE METODOLÓGICA

As ideias sobre Ecodinâmica e Ecogeografia discutidas aqui se baseiam nos trabalhos de Jean Tricart (1977), Tricart e Jean Killian (1979), e na revisão e contextualização de Ross (2006) sobre essas abordagens. É importante destacar que, além de Jurandyr Ross, outros renomados geógrafos físicos brasileiros, como Aziz Ab'Saber e Antonio Christofoletti, também foram influenciados pelas propostas de Tricart (1977), especialmente no que se refere à dinâmica territorial, à antropização e à modelagem da paisagem.

Sob essa perspectiva, o geógrafo francês Jean Tricart, em sua obra intitulada "Ecodinâmica" de 1977, explora o funcionamento de uma "unidade ecodinâmica", que caracteriza a dinâmica do meio ambiente a partir das interações entre os ecossistemas (ecótopo) e os seres vivos (biocenose), esta abordagem permite a classificação dos ambientes. Segundo Tricart (1977), a maneira mais eficaz de entender a análise dialética dos processos ambientais é por meio dessa abordagem integrada da ecodinâmica. Além disso, essa abordagem permite identificar rapidamente as modificações indiretas que uma intervenção pode provocar em diversos elementos do ecossistema (Tricart, 1977, p. 32).

> O conceito de Unidades Ecodinâmicas é integrado no conceito de ecossistema. Baseia-se no instrumento lógico de sistema, e enfoca as relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica e os fluxos de energia/matéria no meio ambiente. Portanto, é completamente distinto do inventário. Um inventário pode ser útil para a ordenação e administração do território, mas somente quando se trata de recursos não renováveis, como os minerais. Não é adequado para os recursos ecológicos. Com efeito, a gestão dos recursos ecológicos deve ter por objetivo a avaliação do impacto da inserção da tecnologia humana no ecossistema. Isto significa determinar a taxa aceitável de extração de recursos, sem degradação do ecossistema, ou determinar quais as medidas que devem ser tomadas para permitir uma extração mais elevada sem degradação. Esse tipo de avaliação exige bom conhecimento do funcionamento do ecossistema, ou seja, dos fluxos de energia/matéria que o caracterizam. (Tricart, 1977, p. 32)

Neste contexto, Tricart adota uma perspectiva ecossistêmica, ressaltando a importância dos estudos de ordenamento e planejamento do espaço em resposta à intervenção humana. Portanto, é fundamental compreender a dinâmica do meio natural para atender às demandas do planejamento e ordenamento territorial. Essa compreensão exige a adoção de uma abordagem que integre tanto o ponto de vista ecológico quanto o espacial, formando o que se denomina Ecogeografia (Tricart e Jean Killian, 1979). Em outras palavras, para lidar com as complexas interações entre os elementos naturais e as atividades humanas, é necessário analisar o ambiente

de forma abrangente, considerando tanto as características ecológicas quanto as dimensões espaciais dos ecossistemas.

De acordo com Ross (2006), a obra "Ecodinâmica" de Tricart ofereceu uma visão inovadora ao apresentar um novo entendimento sobre a interação entre a natureza e a sociedade. Essa abordagem integrada visa analisar o espaço geográfico como um sistema dinâmico, no qual os processos naturais e as ações humanas estão interligados.

Para Mezzomo e Nobrega (2008), os estudos que utilizam a abordagem ecodinâmica analisam a paisagem sob uma perspectiva evolucionista, focando na interação entre elementos bióticos e abióticos, além dos fatores sociais.

Para classificar a ecodinâmica dos ambientes, Tricart (1977) descreve quatro aspectos fundamentais. Primeiro, o nível atmosférico, que considera a influência da heterogeneidade na absorção solar pelo geossistema terrestre. Segundo a cobertura vegetal, que varia globalmente devido à radiação solar e à distribuição das chuvas. Terceiro, a superfície do solo, que abrange fluxos hídricos e processos exógenos naturais, moldando o relevo e influenciando a vegetação local e regional. Por fim, a parte superior da litosfera, onde os fluxos de energia e matéria determinam a formação dos solos, a meteorização das rochas e minerais, e os processos morfogenéticos. A partir desses aspectos, Tricart aborda a análise integrada do ambiente em quatro passos, cada um com sua complexidade, sendo eles:

i. A definição do quadro regional adotando os aspectos das condições climáticas e do quadro morfoestrutural, este último englobando a tectônica das deformações recentes e a de tempos mais antigos; e das condições das formações litológicas;

ii. A análise morfodinâmica a partir do estudo do sistema morfogenético, sendo ele função do clima em escala regional sobre a litologia, onde os diferentes domínios morfoclimáticos são capazes de gerar diferenciações numa mesma unidade morfoestrutural; a análise dos processos morfogenéticos recentes; grau de influência antrópica e a estabilidade morfodinâmica;

iii. Recursos ecológicos cujos dados devem mostrar a intervenção na ocupação e reorganização do território, sejam eles os recursos de regimes hídricos, condições climatológicas, os solos ou as limitações oferecidas pelo meio através de um diagnóstico agroecológico;

iv. Problemas da gestão do território, fazendo uma classificação de outros domínios da área estudada para permitir o poder decisório no ambiente.

Ainda de acordo com Tricart (1977, p. 19), o aspecto fundamental da dinâmica da superfície terrestre é o componente morfogênico. Esse componente é responsável por criar instabilidade na superfície, restringindo o desenvolvimento dos seres vivos. Um dos principais objetivos dos estudos e intervenções nesses contextos é administrar e organizar o ambiente com o intuito de reduzir a instabilidade morfodinâmica.

Com base no conhecimento discutido, Tricart enfatiza que, para o planejamento ambiental, é fundamental entender a intensidade das intervenções humanas. Assim, ele propõe uma classificação dinâmica dos ambientes, categorizando-os em três tipos: meio estável, meio intergrade e meio fortemente instável, com base na intensidade dos processos envolvidos.

O meio estável caracteriza-se por uma evolução lenta e um equilíbrio próximo ao clímax, mantendo um balanço entre morfogênese e pedogênese. Por outro lado, o meio intergrade apresenta uma interação contínua e concorrente entre morfogênese e pedogênese no mesmo espaço. Finalmente, o meio fortemente instável é definido pela predominância acentuada da morfogênese sobre a pedogênese, com a morfogênese sendo o elemento dominante na dinâmica natural e o principal fator determinante do sistema, ao qual os outros elementos se subordinam (Tricart, 1977).

Entende-se, portanto, que a proposta de Tricart permite identificar as situações de estabilidade e instabilidade dos ambientes a partir do reconhecimento das relações entre os elementos. Somente dessa forma a classificação dinâmica pode ser realizada e aplicada na busca por soluções e adequações dos espaços diante das atividades humanas (Mezzomo e Nobrega, 2008).

As ideias de Jean Tricart são amplamente reconhecidas por estudiosos e órgãos técnicos, como o IBGE. Um exemplo notável é o projeto Radam Brasil, que desenvolveu sua classificação taxonômica e cartografia geomorfológica com base nas obras de Tricart. Essa evidente influência nota-se no manual técnico de geomorfologia do IBGE, publicado em 2009, que adota as classes ecodinâmicas de Tricart como referência essencial para suas análises e classificações. Isso ressalta a importância e relevância das contribuições de Tricart no campo da geomorfologia e na compreensão da dinâmica dos ambientes naturais.

1.4. A DINÂMICA GEOMORFOLOGICA NO TECNÓGENO

1.4.1. Tecnógeno: ação técnica como agente geomorfológico

A análise da dinâmica geomorfológica contemporânea insere-se em um contexto de profunda revisão conceitual no interior da Geografia Física, particularmente da Geomorfologia. Conforme discutido por Suertegaray (2018), as transformações recentes do espaço geográfico impõem limites às abordagens clássicas, baseadas em modelos naturalistas e na separação rígida entre processos físicos e ações humanas. A intensificação da técnica, a aceleração dos fluxos e as formas de uso da terra passaram a atuar como fatores estruturantes da dinâmica da superfície terrestre, exigindo novos referenciais teóricos capazes de interpretar paisagens produzidas sob forte mediação social e tecnológica.

Nesse quadro, a relação sociedade–natureza deixa de ser compreendida como uma interação episódica ou externa aos sistemas naturais, passando a configurar um processo contínuo, histórico e cumulativo. Suertegaray (2018) destaca que as paisagens contemporâneas são marcadas por uma crescente artificialização dos processos naturais, na qual a ação humana não apenas modifica formas, mas interfere diretamente nos mecanismos responsáveis pela morfogênese. A técnica passa a operar como mediadora dos fluxos de energia e matéria, redefinindo os limiares de estabilidade dos sistemas geomorfológicos e alterando seus ritmos evolutivos.

É nesse contexto de renovação conceitual que o Tecnógeno se consolida como categoria analítica central. Conforme sistematizado por Casseti (1991), o Tecnógeno refere-se à condição histórica em que a ação técnica humana assume papel equivalente ao de um agente geomorfológico, interferindo de forma sistemática nos processos exógenos e endógenos. À luz das abordagens contemporâneas da Geomorfologia, esse conceito deve ser entendido não apenas como um marco temporal, mas como uma forma específica de funcionamento dos sistemas ambientais, na qual a técnica se integra aos processos naturais, condicionando sua manifestação espacial e temporal.

As novas abordagens geomorfológicas enfatizam que, no contexto tecnogênicos, ocorre uma reorganização profunda da morfogênese. Suertegaray (2018) argumenta que atualmente é necessário a compreensão de sistemas geomorfológicos que operam sob condições de elevada complexidade, caracterizados por comportamentos não lineares, respostas rápidas a perturbações e forte dependência das formas de uso e ocupação da terra. A abertura de vias, a

urbanização intensiva, a impermeabilização do solo, a retificação de canais fluviais e a supressão da cobertura vegetal alteram significativamente os regimes hidrológicos, intensificam os processos erosivos e sedimentares e comprometem o equilíbrio dinâmico das vertentes (Quadro 7).

Quadro 7: Processos geomorfológicos e condicionantes técnicos no Tecnógeno.

Processo geomorfológico	Condicionantes técnicos	Principais efeitos
Erosão hídrica	Supressão vegetal, impermeabilização	Perda de solo, assoreamento
Movimentos de massa	Cortes em encostas, drenagem deficiente	Deslizamentos, colapsos
Sedimentação fluvial	Canalização, urbanização	Redução da capacidade hidráulica
Intemperismo acelerado	Exposição de materiais	Instabilidade de vertentes
Alteração hidrológica	Drenagem urbana	Aumento de picos de vazão

Fonte: Casseti (1991); Guerra e Cunha (2018); Christofoletti (1980).

Nesse sentido, a ação técnica não atua como um fator externo ao sistema geomorfológico, mas como elemento interno à sua dinâmica. Conforme ressalta Suertegaray (2018), a técnica interfere diretamente na organização dos sistemas ambientais ao modificar padrões de escoamento, redistribuir materiais, alterar condições de infiltração e impor novas escalas de tempo aos processos naturais. A morfogênese, portanto, passa a incorporar condicionantes sociais, econômicos e técnicos, exigindo uma leitura integrada entre processos físicos e práticas territoriais.

Essa perspectiva dialoga com a concepção de espaço geográfico proposta por Milton Santos (2006), segundo a qual o espaço resulta da indissociabilidade entre sistemas de objetos e sistemas de ações. No âmbito do Tecnógeno, os objetos técnicos, como estradas, edificações, sistemas de drenagem, obras de contenção, cortes e aterros, materializam ações sociais que reconfiguram a dinâmica do relevo. Esses objetos não apenas ocupam o espaço, mas condicionam a circulação de água e sedimentos, redefinem os fluxos de energia e ampliam a instabilidade geomorfológica, evidenciando o caráter híbrido das paisagens contemporâneas.

O relevo, nesse contexto, deixa de ser compreendido como simples suporte da ocupação humana para assumir papel ativo na produção do espaço. Casseti (1991) e Ab'Sáber (1975) já afirmavam que as intervenções antrópicas acumuladas historicamente promovem a aceleração dos processos geomorfológicos e a intensificação das instabilidades ambientais. As abordagens recentes reforçam essa interpretação ao demonstrar que a técnica comprime as escalas

temporais da evolução do relevo, fazendo com que processos tradicionalmente lentos passem a manifestar-se de forma rápida, episódica e, muitas vezes, catastrófica.

Nesse aspecto, o Tecnógeno deve ser compreendido como uma condição geo-histórico na qual a técnica se converte em elemento estruturante da dinâmica geomorfológica. A incorporação desse conceito permite à Geomorfologia contemporânea superar leituras descritivas e avançar na análise crítica dos processos que produzem a instabilidade ambiental e os riscos associados às formas atuais de apropriação do território. Essa compreensão constitui base fundamental para a análise dos processos geomorfológicos e da produção dos riscos ambientais, desenvolvida no item seguinte.

1.4.2. Processos geomorfológicos e produção dos riscos ambientais

A dinâmica geomorfológica que se manifesta na atualidade resulta de uma interação complexa entre processos naturais e intervenções humanas, cuja intensificação tem redefinido os ritmos e as trajetórias de evolução do relevo em menor escala. Para compreender essa dinâmica, torna-se indispensável o aprofundamento analítico dos processos responsáveis pela modelagem da superfície terrestre, em especial da morfogênese, definida por Tricart (1977) como o conjunto de processos naturais que atuam na esculturação do relevo a partir da interação entre forças endógenas e exógenas. Esses processos condicionam diretamente a topografia, a formação e a evolução dos solos, a organização dos sistemas de drenagem e a estabilidade das encostas, constituindo a base física sobre a qual se desenvolvem as atividades humanas e se estruturam os territórios.

Entretanto, os processos morfogenéticos não operam de forma isolada nem exclusivamente natural. Como visto anteriormente, a intensificação e a generalização das intervenções humanas sobre o relevo, particularmente no contexto do Tecnógeno, alteram profundamente os fluxos de energia e matéria, reconfigurando os mecanismos de intemperismo, erosão, transporte e sedimentação. Como resultado, modificam-se os ritmos e as trajetórias de evolução das formas do relevo, incorporando condicionantes técnicos, econômicos e sociais que interferem diretamente na estabilidade dos sistemas ambientais. A morfogênese passa, assim, a refletir uma dinâmica híbrida, na qual processos físicos e formas de uso e ocupação da terra encontram-se indissociavelmente articulados.

À luz da abordagem ecodinâmica discutida anteriormente, a análise dos processos geomorfológicos no contexto contemporâneo exige compreender a fragilidade ambiental como

expressão da interação entre morfogênese, pedogênese e uso do território. Indicada por Tricart (1977), as Unidades Ecodinâmicas constituem um instrumento analítico fundamental para identificar os diferentes graus de estabilidade e instabilidade dos ambientes, permitindo interpretar como os sistemas naturais respondem às perturbações internas e externas.

No contexto da intensificação da ação técnica sobre o relevo, essa perspectiva adquire especial relevância, uma vez que, como assinala Ross (2006), a fragilidade ambiental não corresponde a uma condição estática, mas resulta de processos dinâmicos profundamente influenciados pelas formas de uso e ocupação da terra. Intervenções técnicas contínuas e desordenadas tendem a reconfigurar os equilíbrios ecodinâmicos, convertendo áreas anteriormente estáveis em espaços marcados por elevada instabilidade geomorfológica e maior propensão à ocorrência de riscos ambientais.

Nos ambientes tropicais, os processos morfogenéticos de origem exógena desempenham papel central na dinâmica das paisagens. Os processos intempéricos promovem a desagregação física, química e biológica das rochas, dando origem a solos e sedimentos, enquanto os processos erosivos atuam no transporte desses materiais ao longo das vertentes e dos sistemas fluviais (Christofoletti, 1980). O escoamento superficial destaca-se como principal agente de transporte de sedimentos, intensificando-se quando a precipitação supera a capacidade de infiltração do solo, situação frequentemente agravada pela compactação, impermeabilização e supressão da cobertura vegetal (Bigarella, 2003).

Outro conjunto de processos de elevada relevância na dinâmica geomorfológica corresponde aos movimentos de massa, particularmente frequentes em encostas de áreas tropicais úmidas. Controlados predominantemente pela ação da gravidade, esses processos envolvem o deslocamento de solos, rochas e detritos, sendo desencadeados por fatores como chuvas intensas, características do substrato geológico, declividade das vertentes e intervenções humanas inadequadas. Assevera Zêzere (2005) e Cunha e Guerra (1996), que os movimentos de massa podem assumir distintas tipologias (desabamentos, rastejamentos, deslizamentos, expansões laterais e escoadas) cada uma associada a condições geomorfológicas específicas e a diferentes graus de velocidade, volume e potencial destrutivo.

De acordo com Zêzere (op cit.) e Cunha & Guerra (op cit.), os movimentos de massa podem ser classificados conforme exposto no Quadro 8 a seguir.

Quadro 8: Tipo de movimento de massa atrelado as características geomorfológicas.

Tipo de movimento de massa	Descrição	Principais características geomorfológicas
Desabamento	Deslocamento abrupto de solo ou rocha a partir de superfícies onde os movimentos tangenciais são nulos ou pouco significativos.	Movimento rápido; transporte do material por queda, saltação ou rolamento; comum em encostas íngremes e frentes rochosas.
Balanceamento ou Rastejamento	Rotação lenta de uma massa de solo ou rocha em torno de um ponto ou eixo situado abaixo do centro de gravidade da massa afetada.	Movimento gradual; frequente em massas rochosas com descontinuidades inclinadas em sentido contrário ao declive; pode evoluir para desabamento ou deslizamento.
Deslizamento	Movimento de solo, detritos ou rocha que ocorre predominantemente ao longo de planos de ruptura bem definidos.	Apresenta graus variáveis de deformação da massa deslocada; associado a planos de fraqueza mecânica ou hidrológica.
Deslizamento rotacional (slumps)	Deslizamento que ocorre ao longo de superfícies de ruptura curvas, geralmente côncavas para cima.	Típico de materiais homogêneos; gera escarpas bem definidas e rebaixamento da porção superior da encosta.
Deslizamento translacional	Movimento ao longo de superfícies de ruptura planas, geralmente associadas a descontinuidades do terreno.	Deslocamento relativamente rápido; ocorre em solos rasos ou camadas sedimentares sobre substratos impermeáveis.
Expansão lateral	Deslocamento lateral de massas coesivas de solo ou rocha, associado à subsidência do material subjacente.	Relacionada à liquefação ou escoada de materiais menos consistentes; comum em áreas saturadas.
Escoadas ou Solifluxão	Movimento contínuo no qual as superfícies de tensão tangencial são pouco definidas e mal preservadas.	Comportamento semelhante ao de um fluido viscoso; distribuição diferenciada das velocidades dentro da massa deslocada.

Fonte: Zêzere (2005) e Cunha & Guerra (1996).

No contexto do Tecnógeno, a ação humana intensifica e acelera esses processos naturais, sobretudo em áreas urbanas e periurbanas. A impermeabilização do solo, a supressão da cobertura vegetal, a ocupação de encostas e várzeas e a deficiência dos sistemas de drenagem alteram profundamente o comportamento hidrológico das bacias, ampliando a frequência e a magnitude de eventos extremos. Nesse sentido, processos geomorfológicos naturais passam a se expressar como riscos ambientais, especialmente quando associados à presença humana e à vulnerabilidade social.

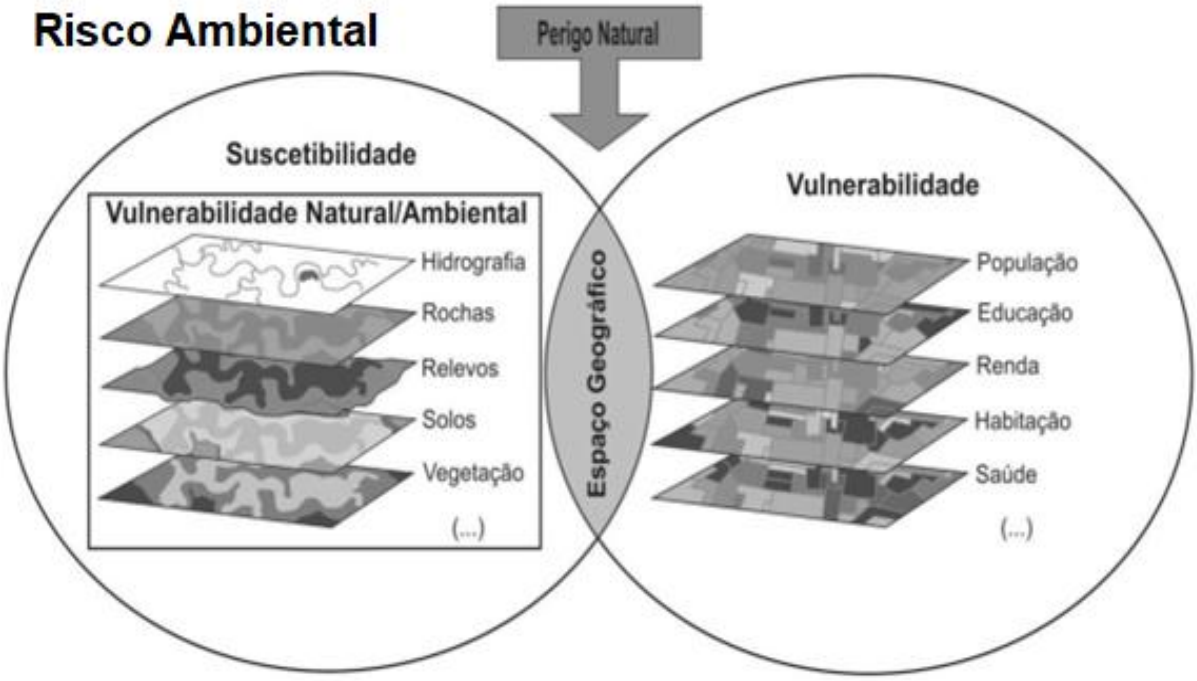
A noção de risco ambiental fundamenta-se na articulação entre perigo, vulnerabilidade e exposição. Segundo a UNISDR (2009) e Cutter (2001), o risco resulta da probabilidade de ocorrência de um evento potencialmente danoso e das condições sociais, econômicas e ambientais que tornam determinados grupos mais suscetíveis aos seus impactos. Covello e

Merkhofer (1993) sintetizam essa relação ao definirem o risco como uma função do perigo e da vulnerabilidade.

A vulnerabilidade, por sua vez, compreende um conjunto de fatores físicos, sociais, econômicos e institucionais que condicionam a capacidade de resposta de uma comunidade frente a eventos adversos (IPCC, 2012), manifestando-se de forma desigual, refletindo as assimetrias socioeconômicas e o acesso diferenciado a áreas mais seguras do território. Populações de menor renda tendem a ocupar áreas de maior fragilidade ambiental, como encostas instáveis e planícies de inundação, ampliando a exposição aos riscos.

Portanto, a compreensão do risco está interligada a fatores de incerteza, insegurança e ausência de proteção, que se manifestam nas esferas econômica, ambiental, social e cultural (Figura 8).

Figura 8: Aspectos do Risco Ambiental.



Fonte: OLIMPIO et al, 2017.

Entende-se que o risco é determinado pela probabilidade de um fenômeno ameaçador, seja ele natural ou antrópico, que impacta um sistema socioeconômico com um determinado nível de vulnerabilidade, resultando em um desastre (Cutter, 2001). A ameaça, por sua vez, refere-se à estimativa da probabilidade de ocorrência e da magnitude de um evento adverso, expressa em termos estatísticos que indicam tanto a chance de que o evento (ou acidente) aconteça quanto a sua provável intensidade (Castro, 2007). Em resumo, isso significa que se

trata de uma situação com potencial para causar danos e prejuízos aos seres humanos, ao meio ambiente e/ou aos bens materiais (Cemaden, 2017).

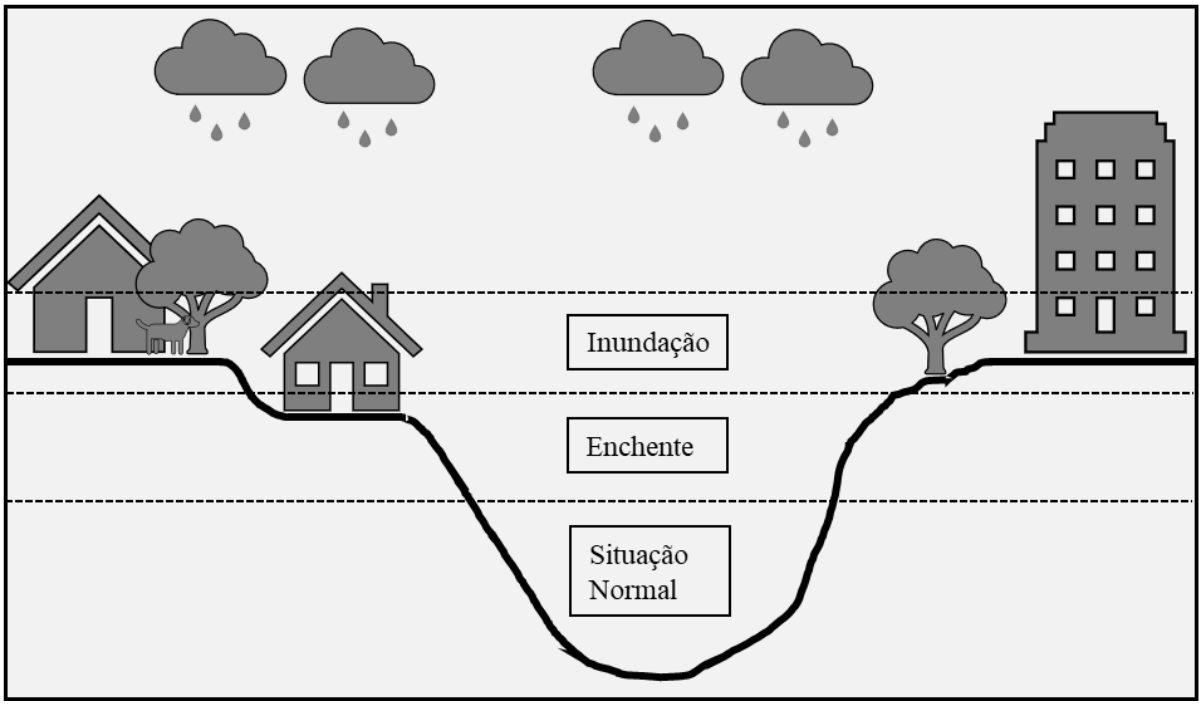
Entre os desastres ambientais mais recorrentes no cenário contemporâneo destacam-se as enchentes e inundações, classificadas como desastres hidrológicos. Esses fenômenos resultam da combinação entre fatores naturais, como precipitações intensas e variabilidade climática, e fatores antrópicos, como urbanização desordenada, impermeabilização do solo e deficiências nos sistemas de drenagem (Tucci, 2008; Miguez et al., 2018). A ocupação de leitos maiores dos rios e de áreas de várzea intensifica os impactos desses eventos, transformando processos naturais recorrentes em desastres socioambientais.

As inundações urbanas podem ocorrer tanto em áreas ribeirinhas, associadas ao transbordamento dos cursos d'água, quanto em áreas urbanizadas, onde a drenagem artificial é incapaz de absorver volumes elevados de precipitação (Figura 9). Tucci e Bertoni (2003) ressaltam que a urbanização espontânea e a ausência de planejamento ampliam a frequência e a magnitude desses eventos, afetando principalmente populações socialmente vulneráveis, como se constata:

> (...) nas inundações de áreas ribeirinhas os rios geralmente possuem dois leitos, o leito menor onde a água escoa na maioria do tempo e o leito maior, que é inundado com risco geralmente entre 1,5 e 2 anos. O impacto devido à inundação ocorre quando a população ocupa o leito maior do rio, ficando sujeita à inundação. Nas inundações devido à urbanização as enchentes aumentam a sua frequência e magnitude devido à impermeabilização, ocupação do solo e à construção da rede de condutos pluviais. O desenvolvimento urbano pode também produzir obstruções ao escoamento, como aterros e pontes, drenagens inadequadas e obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamento (Tucci, 2002, p. 8)

Consequentemente, as inundações de áreas ribeirinhas ocorrem no leito maior dos rios devido à variabilidade temporal e espacial da precipitação e do escoamento na bacia hidrográfica. Por outro lado, as inundações resultantes da urbanização acontecem na drenagem urbana, sendo causadas pelo efeito da impermeabilização do solo, canalização do escoamento ou obstruções ao fluxo de água (Tucci, 2008).

Figura 9: Representação das condições normais, enchente e inundação.



Fonte: Adaptado de CEMADEN (2016).

Diante desse quadro, torna-se imprescindível a adoção de estratégias integradas de gestão de riscos e desastres, capazes de articular o conhecimento sobre processos geomorfológicos, uso e ocupação da terra e vulnerabilidade social. A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (Lei nº 12.608/2012) estabelece um conjunto de ações estruturadas em diferentes fases: prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação, reconhecendo a necessidade de incorporar a dimensão ambiental e territorial no planejamento e na gestão do risco. Na visão de Cardona (2008) e o IPCC (2012), a gestão do risco deve envolver a compreensão aprofundada da dinâmica dos fenômenos, a redução das vulnerabilidades, o fortalecimento das capacidades institucionais e a promoção de políticas públicas orientadas para a sustentabilidade e a justiça socioambiental.

O IPCC (2012, p.5) define gestão de risco de desastre como:

> "processos de concepção, implementação e avaliação de estratégias, políticas e medidas para melhorar a compreensão e redução do risco de desastres, fomentar a transferência de tal risco e promover a melhoria contínua da preparação da resposta e práticas de recuperação frente a desastres, com o objetivo explícito de aumentar a segurança, o bem-estar, a qualidade de vida da humanidade, a resiliência e o desenvolvimento sustentável".

De acordo com Cardona (2008, p. 6-7), a gestão do risco consiste em um conjunto de elementos, medidas e instrumentos destinados a intervir nas ameaças ou vulnerabilidades, com

o objetivo de reduzir ou mitigar os riscos existentes. O autor observa que, na formulação da política de gestão de desastres, é fundamental considerar os seguintes aspectos apresentados na Tabela 15:

Tabela 15: Etapas para política de gestão de desastres.

Dimensão da Gestão do Risco	Descrição
Compreensão da dinâmica dos fenômenos	Conhecimento aprofundado da dinâmica, incidência, causalidade e natureza dos fenômenos potencialmente ameaçadores, bem como das vulnerabilidades associadas aos contextos físico, social, econômico e institucional.
Promoção de ações preventivas e corretivas	Incentivo e implementação de mecanismos voltados à redução das condições de risco, incluindo reordenamento territorial, reassentamento humano, recuperação e controle ambiental, fortalecimento estrutural, implantação de infraestrutura de proteção e diversificação das estruturas produtivas.
Capacidade de previsão e monitoramento	Desenvolvimento de sistemas capazes de prever, mensurar e difundir informações confiáveis sobre as mudanças contínuas no ambiente físico e social, bem como de emitir alertas sobre a iminência de eventos potencialmente prejudiciais, destrutivos ou desastrosos.
Preparação e resposta	Preparação da população, das instituições e das organizações para enfrentar desastres iminentes e responder de forma eficaz aos impactos dos eventos físicos, por meio do fortalecimento e da valorização das capacidades e competências comunitárias.
Implementação de mecanismos de reabilitação e reconstrução	Garantia da implementação, organização e controle eficaz dos processos de reabilitação e reconstrução pós-desastre, considerando a incorporação de medidas voltadas à redução do risco nas áreas afetadas.
Análise de risco em projetos futuros	Inclusão sistemática da análise de risco nos processos de tomada de decisão e investimento, utilizando instrumentos de ordenamento territorial, controle de edificações e gestão ambiental, com vistas à redução prospectiva do risco.
Educação para a gestão do risco	Investimento em processos educativos em todos os níveis, visando assegurar a compreensão adequada do problema do risco e das alternativas disponíveis para seu controle, redução ou modificação.

Fonte: Cardona (2008).

De acordo com a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC, Lei Nº 12.608, de 10 de abril de 2012, que dispõe sobre a criação de sistema de informações e monitoramento, foi estabelecido para a gestão de desastres as seguintes ações: prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação (Figura 10).

Figura 10: Ciclo das fases da gestão de desastres.

Fonte: Adaptado de CEPED UFSC, 2013.

A preparação refere-se aos processos que asseguram que comunidades, instituições e serviços estejam aptos a responder a emergências, contemplando ações como capacitação, treinamentos, elaboração de planos de contingência e sistemas de alerta. A resposta diz respeito às ações imediatas desencadeadas durante ou logo após a ocorrência do desastre, com o objetivo de salvar vidas, reduzir danos e atender às necessidades básicas da população afetada, incluindo socorro, assistência humanitária e atendimento médico. A recuperação engloba os esforços destinados à restauração das condições de normalidade, abrangendo a reconstrução física, o restabelecimento dos serviços essenciais, o apoio psicossocial às populações atingidas e a reintegração social e econômica dos territórios impactados (Cardona, 2008; IPCC, 2012; Miguez et al., 2018).

Por fim, as ações de prevenção compreendem duas etapas fundamentais. A primeira é a **avaliação de risco**, que engloba a fase de identificação e funciona como um planejamento de estudo de situação. Seu objetivo é mapear os desastres potenciais mais recorrentes e classificar sua relevância com base na probabilidade de ocorrência e na estimativa dos danos previstos. A segunda etapa é a **redução de riscos propriamente dita**, que consiste na adoção de medidas práticas voltadas a diminuir a magnitude dos eventos adversos e mitigar seus impactos socioeconômicos (TOMINAGA et al, 2009; MARGARIDA et al, 2013).

Assim, a análise integrada dos processos geomorfológicos e da produção dos riscos ambientais evidencia que os desastres não são eventos meramente naturais, mas resultam da interação histórica entre processos físicos e ações humanas. Compreender essa interação constitui condição fundamental para subsidiar o planejamento territorial, reduzir vulnerabilidades e promover formas mais equilibradas, resilientes e socialmente justas de apropriação do espaço geográfico.

1.5. INSTRUMENTOS DE GESTÃO E PLANEJAMENTO TERRITORIAL

1.5.1. Geotecnologias aplicadas a análise territorial

Antes de adentrar propriamente no contexto das geotecnologias aplicadas à análise territorial, torna-se necessário estabelecer os fundamentos conceituais da avaliação ambiental que sustentam sua utilização**.** As geotecnologias não se constituem como um fim em si mesmas, mas como instrumentos técnico-operacionais que materializam, em linguagem espacial e analítica, concepções teóricas previamente consolidadas no campo do planejamento territorial e da Geografia.

Nesse sentido, a compreensão das potencialidades, fragilidades e limitações dos sistemas naturais frente às dinâmicas de uso e ocupação da terra precede e orienta a aplicação das ferramentas digitais, conferindo sentido analítico aos produtos cartográficos e às modelagens espaciais. A avaliação ambiental, ao articular variáveis físicas, bióticas e socioeconômicas em uma perspectiva sistêmica, estabelece, portanto, a base epistemológica sobre a qual se estruturam as análises geotecnológicas aqui desenvolvidas.

A avaliação ambiental constitui um eixo estruturante do planejamento territorial, pois permite interpretar de forma integrada as potencialidades, fragilidades e limitações dos sistemas naturais frente às dinâmicas de uso e ocupação da terra. No âmbito da Geografia, essas metodologias evoluíram de abordagens predominantemente descritivas para modelos analíticos e sistêmicos, capazes de articular variáveis físicas, bióticas e socioeconômicas, subsidiando decisões técnicas e políticas voltadas à gestão sustentável do território.

Nesse contexto, Ab'Sáber, Jurandyr Ross e Crepani figuram entre os principais autores responsáveis pela consolidação de metodologias de avaliação ambiental no Brasil, cujas contribuições permanecem atuais e amplamente aplicáveis, especialmente diante das

transformações impostas pela intensificação das intervenções antrópicas, como ocorre em Arapiraca.

Ab'Sáber (1975; 2003) introduz uma abordagem geomorfológica e regional baseada na identificação dos domínios morfoclimáticos, propondo uma leitura integrada da paisagem a partir da relação entre relevo, clima, solos, vegetação e hidrografia. Sua contribuição metodológica reside na compreensão do relevo como elemento estruturador do espaço geográfico, capaz de condicionar formas de ocupação, práticas produtivas e níveis diferenciados de vulnerabilidade ambiental. Ao destacar que o uso inadequado do relevo pode desencadear processos irreversíveis de degradação, Ab'Sáber oferece fundamentos sólidos para a incorporação da análise geomorfológica nos processos de ordenamento territorial e prevenção de riscos ambientais.

Avançando nessa perspectiva, Jurandyr Ross (1992; 2006) sistematiza a Metodologia de Avaliação da Fragilidade Ambiental, amplamente utilizada em estudos de planejamento ambiental e zoneamento. Essa abordagem parte da integração entre elementos naturais, como declividade, tipos de solo, litologia e cobertura vegetal, e formas de uso e ocupação da terra, reconhecendo que a fragilidade não é uma condição estática, mas resulta da interação entre o meio físico e as ações humanas. Ross propõe a classificação dos ambientes em diferentes graus de fragilidade potencial e fragilidade emergente, permitindo identificar áreas mais suscetíveis à degradação, orientar a ocupação do território e subsidiar políticas públicas voltadas à mitigação de riscos ambientais.

A contribuição de Ross é particularmente relevante para áreas urbanas em expansão, onde a impermeabilização do solo, a supressão da vegetação e a ocupação de encostas e fundos de vale intensificam processos geomorfológicos, transformando fragilidades naturais em riscos efetivos. Sua metodologia reforça a necessidade de integrar critérios ambientais aos instrumentos normativos de planejamento, como o Plano Diretor, o Código Florestal e o Zoneamento Ecológico-Econômico.

De forma complementar, Crepani et al. (2001; 2008) desenvolvem a metodologia de Avaliação da Vulnerabilidade Natural à Erosão, amplamente aplicada em estudos ambientais apoiados por geotecnologias. Essa abordagem baseia-se na análise integrada de variáveis como geologia, geomorfologia, solos, clima, vegetação e uso da terra, atribuindo pesos e classes de vulnerabilidade a cada componente. O diferencial da proposta de Crepani reside na operacionalização da análise ambiental por meio de Sistemas de Informação Geográfica,

permitindo a espacialização das vulnerabilidades e a geração de mapas síntese que subsidiam diretamente o planejamento territorial.

A metodologia de Crepani dialoga de forma direta com os pressupostos do Zoneamento Ecológico-Econômico, ao possibilitar a identificação de áreas com maior sensibilidade ambiental, aptidão ao uso e necessidade de conservação ou recuperação. Em ambientes urbanos e periurbanos, essa abordagem revela-se especialmente eficaz para a análise de processos erosivos, assoreamento de corpos hídricos e degradação de encostas, frequentemente associados à urbanização desordenada.

Em conjunto, as metodologias propostas por Ab'Sáber, Ross e Crepani compartilham um princípio fundamental: a compreensão do território como um sistema dinâmico, no qual os processos naturais e as ações humanas se inter-relacionam de forma indissociável. Essas abordagens rompem com a visão setorial da análise ambiental e reforçam a necessidade de leituras integradas da paisagem, capazes de subsidiar políticas públicas orientadas pela prevenção, pela sustentabilidade e pela justiça socioambiental.

Nesse norte, a adoção dessas metodologias no planejamento territorial permite não apenas diagnosticar fragilidades e vulnerabilidades, mas também antecipar cenários de risco, orientar o uso racional do solo e fortalecer a capacidade institucional dos municípios. No caso de Arapiraca, a aplicação integrada dessas abordagens constitui um suporte teórico-metodológico essencial para compreender os limites ambientais da expansão urbana e fundamentar a utilização das geotecnologias, discutidas no item seguinte, como instrumentos estratégicos de análise e gestão do território.

Nesse contexto, o emprego das geotecnologias no planejamento territorial consolida-se como um instrumento indispensável à operacionalização dessas metodologias. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e os Modelos Digitais de Terreno (MDT) destacam-se por sua capacidade de representar, modelar e interpretar o relevo, os padrões de uso e cobertura da terra e os fluxos hidrológicos com elevado nível de precisão e detalhamento. Ao integrarem informações espaciais, descritivas e temporais, essas ferramentas oferecem uma base técnico-científica robusta para a formulação de diagnósticos territoriais consistentes, a identificação de áreas suscetíveis a riscos ambientais, a simulação de cenários futuros de uso da terra e o suporte à tomada de decisões estratégicas relacionadas à gestão dos recursos hídricos, ao ordenamento territorial e à proteção ambiental.

A articulação, portanto, entre os referenciais teórico-metodológicos da avaliação ambiental e o uso das geotecnologias permite não apenas diagnosticar fragilidades e

vulnerabilidades, mas também antecipar cenários de risco e orientar o uso racional do solo. No caso de Arapiraca, essa integração constitui um suporte essencial para compreender os limites ambientais da expansão urbana e fundamentar a aplicação das geotecnologias, tratadas no item seguinte, como instrumentos estratégicos de análise e gestão do território.

1.5.2. Aplicações dos SIG na análise geomorfológica

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) constituem plataformas tecnológicas complexas e multifuncionais, fundamentais para o planejamento territorial e para a gestão integrada de espaços naturais e antropizados. Sua estrutura baseia-se na articulação de quatro componentes essenciais: *hardware* (infraestrutura computacional e dispositivos periféricos), *software* (programas especializados, como QGIS, ArcGIS e SPRING), dados georreferenciados (que incluem imagens de sensoriamento remoto, Modelos Digitais de Elevação – MDE, dados pluviométricos, climáticos e cadastrais) e métodos analíticos (modelos matemáticos, estatísticos e algoritmos de geoprocessamento). A integração sinérgica desses elementos possibilita o armazenamento, o cruzamento, a análise e a representação gráfica de grandes volumes de dados espaciais e temporais, resultando em diagnósticos territoriais progressivamente mais precisos.

A principal potencialidade dos SIG reside na capacidade de integrar informações geográficas de natureza quantitativa e qualitativa, associadas a um referencial espacial rigoroso, permitindo que os fenômenos naturais e sociais sejam analisados em sua complexidade e dinâmica. A espacialidade dos dados, nesse sentido, ultrapassa a simples localização geográfica, incorporando atributos descritivos, como tipo de uso da terra, grau de impermeabilização ou níveis de vulnerabilidade socioambiental, e o componente temporal, fundamental para o monitoramento das transformações territoriais ao longo do tempo. Em unidades espaciais como as bacias hidrográficas, essa abordagem multidimensional é decisiva para a compreensão de processos como o escoamento superficial, a recarga de aquíferos, a erosão e a deposição de sedimentos, todos caracterizados por elevada variabilidade espacial e temporal (Tucci; Mendes, 2006).

A análise geomorfológica urbana, por sua vez, adquire maior consistência quando articulada à abordagem sistêmica proposta por Guerra (2018), segundo a qual o relevo deve ser compreendido como parte integrante de um geossistema dinâmico, no qual fatores físicos e sociais interagem de forma interdependente. Essa perspectiva permite interpretar como as

intervenções antrópicas alteram os processos naturais do relevo, potencializando riscos ambientais e demandando estratégias de planejamento que considerem a totalidade das relações espaciais e funcionais da paisagem.

A organização de bases de dados espaciais em ambiente SIG possibilita a sobreposição de diferentes camadas temáticas, como uso e cobertura da terra, declividade, hidrografia e redes de drenagem, viabilizando análises multicritério que extrapolam as limitações dos métodos tradicionais. Conforme relatam Santos (2015) e Souza (2011), essas análises apresentam ampla aplicabilidade, desde o planejamento territorial sustentável até a avaliação de riscos ambientais, contribuindo para a identificação de áreas prioritárias para conservação, requalificação espacial ou mitigação de impactos.

Nesse viés, o geoprocessamento configura-se como o núcleo operacional dos SIG, compreendendo o conjunto de técnicas computacionais responsáveis pela transformação, integração, modelagem e visualização dos dados georreferenciados. Trata-se de um campo interdisciplinar que articula conhecimentos da geografia, cartografia, estatística e ciência da computação, possibilitando a simulação de cenários prospectivos, a análise de vulnerabilidades territoriais e o apoio à formulação de políticas públicas mais eficientes. Sua aplicação é recorrente em estudos de uso e ocupação da terra, zoneamento ambiental, planejamento de infraestrutura, agricultura de precisão, monitoramento de desmatamentos e, mais recentemente, na modelagem de sistemas urbanos complexos.

No âmbito da análise ambiental, os SIG têm se destacado, de modo particular, na avaliação de áreas suscetíveis à degradação, como aquelas vulneráveis à erosão hídrica, aos deslizamentos e às inundações. Segundo Tolentino et al. (2014), a espacialização integrada de variáveis como tipo de solo, declividade, cobertura vegetal e intensidade das precipitações permite identificar zonas críticas e subsidiar a adoção de práticas conservacionistas e estratégias de manejo sustentável dos recursos naturais. Além disso, a integração com técnicas de Sensoriamento Remoto amplia significativamente o potencial analítico dos SIG, possibilitando a classificação automática de imagens, o cálculo de índices espectrais, como o NDVI, e a detecção de mudanças espaciais ao longo do tempo.

Na análise geomorfológica, os SIG assumem papel estratégico, especialmente nos seguintes aspectos:

- análise de declividades e compartimentos do relevo, fundamental para a delimitação de áreas aptas à ocupação e à preservação, bem como para o controle de processos erosivos e a estabilidade de encostas;
- identificação de topos de morros, fundos de vale e encostas, subsidiando a delimitação de Áreas de Preservação Permanente (APPs), conforme os critérios estabelecidos pelo Código Florestal;
- avaliação da suscetibilidade a processos geodinâmicos, como deslizamentos, escorregamentos e ravinamentos, com ênfase em áreas de elevada fragilidade ambiental;
- mapeamento e modelagem de sistemas de drenagem, incluindo bacias e microbacias, contribuindo para a gestão do escoamento pluvial e a prevenção de eventos hidrológicos extremos.

Tolentino et al. (2014) ressaltam que a aplicação dos SIG em estudos hidrológicos não apenas permite a identificação de áreas com maior risco de degradação ambiental, mas também fornece subsídios técnicos para a definição de estratégias de conservação do solo e planejamento territorial integrado. Dessa forma, a capacidade de articular múltiplas variáveis físicas e ambientais confere aos SIG um papel central na produção de representações consistentes da realidade geomorfológica e na orientação de práticas de gestão territorial mais eficientes e sustentáveis.

1.5.3. Integração entre dados geográficos e planejamento

A efetividade do planejamento urbano e territorial está diretamente associada à capacidade de integrar informações geográficas qualificadas aos processos decisórios relacionados ao uso e ocupação da terra, à implantação de infraestruturas e à proteção ambiental. Nesse sentido, a incorporação de Modelos Digitais de Elevação (MDE), imagens de satélite, dados oriundos de sensores remotos e bases georreferenciadas consolida-se como elemento central na construção de estratégias de planejamento mais consistentes, orientadas à redução de riscos e à promoção da sustentabilidade territorial.

Entre as principais aplicações dessa integração, destacam-se:

- a delimitação precisa de áreas de risco e de proteção ambiental, possibilitando a adoção de políticas públicas diferenciadas e territorialmente orientadas;

- o monitoramento sistemático das mudanças no uso e na cobertura da terra, fundamental para a avaliação do cumprimento das diretrizes do Plano Diretor e dos instrumentos urbanísticos;
- a estruturação de Cadastros Técnicos Multifinalitários, capazes de articular informações relativas à infraestrutura urbana, aos serviços públicos, às propriedades e às restrições legais de uso da terra;
- a análise espacial da distribuição de equipamentos urbanos, como escolas, unidades de saúde e sistemas de transporte, contribuindo para a promoção da equidade territorial e o acesso universal aos serviços públicos.

Nesse aspecto, as geotecnologias configuram-se como aliadas estratégicas da gestão urbana contemporânea. A consolidação de uma governança territorial orientada por dados depende, entretanto, do fortalecimento institucional dos setores técnicos municipais, bem como da adoção de Sistemas de Informação Geográfica colaborativos e, preferencialmente, de código aberto, que ampliem o acesso, a interoperabilidade e a transparência das informações espaciais.

A convergência entre instrumentos normativos de planejamento e o uso sistemático das geotecnologias representa, assim, um avanço significativo para a construção de modelos de planejamento territorial mais sustentáveis. Essa integração possibilita uma leitura técnico-científica do território ancorada em evidências empíricas, dispositivos legais e processos participativos, ampliando a capacidade de antecipação de conflitos, a prevenção de riscos ambientais e a qualificação das políticas públicas. Em realidades marcadas por expansão territorial desordenada, como a observada em Arapiraca, o uso estratégico dessas ferramentas assume papel decisivo na construção de cidades mais resilientes, socialmente justas e ambientalmente equilibradas.

Para além do suporte técnico oferecido pelas geotecnologias, a efetivação de uma governança territorial democrática requer a participação ativa da sociedade na produção, no acesso e na gestão das informações espaciais. Conforme destaca Jacobi (2006), a democratização do conhecimento ambiental e o fortalecimento das capacidades institucionais locais constituem condições essenciais para que o planejamento urbano se torne mais transparente, participativo e orientado pelos princípios da justiça socioambiental. Nessa perspectiva, os SIG e demais ferramentas digitais não devem ser compreendidas apenas como instrumentos técnicos, mas como mediadores entre o saber técnico-científico e o conhecimento

socialmente produzido, possibilitando a coprodução de soluções territoriais mais inclusivas e legitimadas

1.6. A GEOMORFOLOGIA COMO INSTRUMENTO DE NORMALIZAÇÃO DO TERRITÓRIO

A incorporação de instrumentos ambientais ao planejamento territorial urbano constitui elemento central para a sustentabilidade do uso e da ocupação do solo, sobretudo em municípios de médio porte submetidos a acelerados processos de expansão urbana, como Arapiraca. Nessa direção, a geomorfologia assume papel estratégico ao fornecer subsídios técnicos para a definição de limites, restrições e diretrizes de uso do território, operando como base para a normalização espacial das práticas urbanas.

O Código Florestal (Lei nº 12.651/2012) e o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), instituído pelo Decreto nº 4.297/2002, destacam-se como instrumentos fundamentais nesse processo, ao articularem critérios geomorfológicos, ecológicos e socioeconômicos à formulação de políticas públicas voltadas à proteção ambiental, à prevenção de riscos e à promoção da justiça socioambiental.

1.6.1. O código florestal

O Código Florestal estabelece parâmetros normativos para a conservação de áreas ambientalmente sensíveis, definindo, em seu artigo 3º, as Áreas de Preservação Permanente (APPs) como espaços essenciais à estabilidade geológica, à proteção dos recursos hídricos, à manutenção da biodiversidade e à garantia da qualidade ambiental. Conforme o artigo 4º, configuram-se como APPs, entre outras:

- as faixas marginais de cursos d'água naturais, com largura mínima de 30 metros para rios de até 10 metros;
- as áreas no entorno de nascentes e olhos d'água, em raio mínimo de 50 metros;
- as encostas com declividade superior a 45° e os topos de morros.

No entanto, o próprio Código Florestal reconhece situações excepcionais em que a intervenção ou supressão de vegetação em APPs pode ser autorizada, desde que devidamente justificada e condicionada à adoção de medidas mitigadoras e compensatórias. O artigo 8º da Lei nº 12.651/2012 prevê que tais intervenções podem ocorrer nos casos de utilidade pública,

interesse social ou atividades de baixo impacto ambiental, desde que não exista alternativa técnica ou locacional viável.

São enquadradas como obras de utilidade pública, entre outras, aquelas destinadas à infraestrutura essencial, como sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana, energia, telecomunicações, transporte e obras de defesa civil. No cenário urbano, essas exceções assumem especial relevância, uma vez que a implantação ou manutenção dessas infraestruturas é frequentemente necessária para assegurar a segurança, a saúde pública e a funcionalidade do território.

Ainda assim, a aplicação dessas exceções não descaracteriza a função ambiental das APPs, tampouco elimina a necessidade de planejamento e controle rigorosos. A legislação condiciona tais intervenções à regularização ambiental, à elaboração de estudos técnicos específicos e à adoção de medidas que minimizem impactos negativos, assegurando, sempre que possível, a recomposição da vegetação e a continuidade das funções ecológicas dessas áreas.

Nesse sentido, a ocupação irregular de APPs, não amparada pelos dispositivos legais, compromete a integridade ambiental e eleva significativamente a exposição da população a eventos hidrometeorológicas extremos, como enchentes, erosões e deslizamentos, transformando fragilidades naturais em riscos efetivos (Souza; Ross, 2019). A presença de áreas urbanas consolidadas impõe, portanto, desafios adicionais à aplicação do Código Florestal, exigindo abordagens técnicas capazes de compatibilizar a legislação ambiental com a realidade territorial existente, sem prejuízo à segurança ambiental.

Além disso, o artigo 31 do Código Florestal condiciona a exploração de florestas nativas à elaboração de Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS), baseados em critérios técnicos que assegurem a manutenção das funções ecológicas da vegetação. Embora esse dispositivo seja mais recorrente em áreas rurais, sua adaptação ao contexto urbano é pertinente, especialmente em unidades de conservação, parques urbanos e zonas ambientais protegidas em âmbito municipal.

1.6.2. O zoneamento ecológico-econômico

O Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) configura-se como instrumento técnico-político destinado a orientar a organização do território a partir da análise integrada de variáveis físicas, bióticas e socioeconômicas. Instituído pelo Decreto nº 4.297/2002, o ZEE é definido

como instrumento de observância obrigatória na implantação de planos, obras e atividades públicas e privadas, com vistas ao desenvolvimento sustentável, à proteção ambiental e à melhoria da qualidade de vida da população (BRASIL, 2002).

> Instrumento de organização do território a ser obrigatoriamente seguido na implantação de planos, obras e atividades públicas e privadas, com vistas a assegurar o desenvolvimento sustentável, a proteção ambiental e a melhoria das condições de vida da população (BRASIL, 2002).

Conforme prescreve o artigo 3º do Decreto, sua elaboração deve considerar aspectos como tipo de solo, declividade, cobertura vegetal, uso atual da terra, recursos hídricos e densidade populacional, permitindo a identificação de áreas com diferentes níveis de fragilidade, aptidão e prioridade de uso.

Becker (2004) ressalta que o ZEE não deve ser compreendido apenas como uma ferramenta técnica de classificação territorial, mas como um instrumento político de mediação entre interesses sociais distintos, capaz de integrar políticas setoriais em múltiplas escalas. Sua aplicação em escala municipal exige adaptações metodológicas e forte articulação institucional, mas representa uma oportunidade para superar a fragmentação da gestão ambiental e promover um ordenamento territorial mais coerente.

O Decreto prevê que o ZEE deve ser elaborado com uso de geotecnologias compatíveis com o Sistema Cartográfico Nacional, contar com equipes técnicas multidisciplinares e garantir a ampla participação social (artigos 8º a 10). Além disso, aludem os artigos 11 e 12, que o território deve ser dividido em zonas homogêneas de proteção, recuperação ou uso preferencial, e cada uma dessas zonas deve ter diretrizes claras sobre atividades permitidas, restrições de uso, infraestrutura necessária, medidas de controle ambiental e mecanismos de gestão e financiamento (art. 14).

Embora tradicionalmente aplicado em escala regional ou estadual, a aplicação do ZEE em escala municipal vem ganhando força, especialmente em municípios que enfrentam conflitos de uso da terra e urbanização em áreas ambientalmente frágeis. Experiências de municípios como Chapecó (SC) e Altamira (PA) demonstram que é possível adaptar o ZEE à realidade local, promovendo uma expansão urbana mais equilibrada e segura (Ribeiro et al., 2015).

Apesar do potencial do ZEE como instrumento articulador de políticas públicas e estruturador do território, sua implementação em nível municipal enfrenta diversos desafios. Entre os principais obstáculos estão:

- a escassez de dados georreferenciados e atualizados em alta resolução, necessários para a elaboração precisa dos diagnósticos ambientais;
- a falta de capacitação técnica de parte das equipes locais, dificultando a elaboração dos estudos e a gestão dos sistemas de informação geográfica (SIG);
- a resistência política e econômica de setores interessados na flexibilização das normas ambientais, principalmente em áreas de expansão urbana de alto valor imobiliário.

No entanto, a aplicação do ZEE representa um caminho promissor para consolidar uma governança territorial participativa, baseada em evidências científicas e juridicamente respaldada. Ao integrar variáveis ambientais, sociais e legais, o ZEE permite não apenas o diagnóstico, mas também a mediação de conflitos territoriais e a antecipação de riscos decorrentes da urbanização desordenada.

1.6.3. O estatuto da cidade

A construção de uma política urbana voltada para a promoção da justiça social e da inclusão no Brasil resultou de um processo histórico complexo, permeado por disputas sociais, reivindicações populares e avanços normativos conquistados ao longo de décadas. Nesse contexto, o Estatuto da Cidade emerge como um marco jurídico-institucional fundamental, representando a consolidação de princípios da reforma urbana no ordenamento legal do país.

Sancionado em 2001 por meio da Lei nº 10.257, o Estatuto regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal de 1988, conferindo densidade normativa aos conceitos de função social da cidade e da propriedade. Sua promulgação redefiniu as bases do planejamento urbano, ao estabelecer diretrizes que articulam o ordenamento territorial à justiça socioespacial, ampliando a capacidade dos municípios de intervir na produção do espaço urbano por meio de instrumentos regulatórios voltados à gestão democrática, à redução das desigualdades e ao uso equitativo dos recursos urbanos (Amanajás; Klug, 2018).

Mais do que um simples dispositivo jurídico, o Estatuto da Cidade configura-se como um projeto político que redesenha as bases da cidade, fundamentando-se nos princípios da reforma urbana e no reconhecimento do direito à cidade como um direito coletivo, conforme o artigo 2º, inciso I. Ao afirmar a função social da cidade e da propriedade urbana, o Estatuto busca estabelecer um equilíbrio dinâmico entre o desenvolvimento urbano e as necessidades coletivas, propugnando por uma cidade inclusiva e acessível a todos.

A gestão democrática é instituída como princípio central do planejamento urbano (art. 2º, inciso II). A participação ativa da população e de diversos segmentos da sociedade é vista como essencial para a construção de uma cidade que respeite a diversidade e as necessidades de seus habitantes. Essa abordagem reiterada no Capítulo IV da Lei que regula a gestão democrática da política urbana (Arts. 43 e 44), estabelece a realização de audiências públicas, consultas populares e conferências como mecanismos essenciais para o controle social e a transparência.

O Estatuto da Cidade apresenta um conjunto articulado de instrumentos urbanísticos que visam garantir a efetivação da função social da propriedade e da cidade. Abaixo, sintetiza-se os principais mecanismos, com suas bases legais e finalidades (Quadro 9):

Quadro 9: Síntese dos principais instrumentos urbanísticos previstos no Estatuto da Cidade.

Instrumento	Base Legal (Lei nº 10.257/2001)	Finalidade/Objetivo	Aplicabilidade
Plano Diretor	Arts. 39 a 42	Ordenar o desenvolvimento urbano e garantir a função social da cidade	Obrigatório para cidades com +20 mil habitantes ou inseridas em áreas especiais
Parcelamento, Edificação ou Utilização Compulsórios	Arts. 5º e 6º	Evitar o subuso da terra urbana e combater a especulação imobiliária	Proprietários devem dar uso adequado ao imóvel urbano conforme previsto no Plano
IPTU progressivo no tempo	Art. 7º	Penalizar a ociosidade de imóveis e incentivar sua função social	Aplicado após notificação e não cumprimento da função social em prazo determinado
Desapropriação com pagamento em títulos	Art. 8º	Destinar imóveis subutilizados para fins de interesse social	Imóveis que não cumprem função social mesmo após aplicação do IPTU progressivo
Direito de Preempção	Arts. 25 a 27	Garantir preferência do poder público na aquisição de imóveis urbanos	Quando o imóvel está em áreas estratégicas para políticas públicas

Outorga Onerosa do Direito de Construir	Arts. 28 a 31	Permitir construir além do coeficiente básico, mediante contrapartida	Recurso arrecadado pode ser investido em infraestrutura urbana
Operações Urbanas Consorciadas	Arts. 32 a 34	Requalificar áreas urbanas com parceria entre setor público e privado	Usada em grandes intervenções urbanas planejadas
Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV)	Art. 36	Avaliar impactos de empreendimentos sobre a vizinhança	Exigido para projetos com grande potencial de transformação urbana
Gestão democrática da cidade	Arts. 43 e 44	Garantir a participação social no planejamento urbano	Por meio de conselhos, audiências públicas e consultas populares

Fonte: Estatuto da Cidade Base Legal (Lei nº 10.257/2001).

Dentre os instrumentos instituídos pelo Estatuto da Cidade, o Plano Diretor sobressai-se como elemento estruturante da política urbana, sendo tratado de forma sistemática nos artigos 39 a 42 da Lei nº 10.257/2001. Sua obrigatoriedade para municípios com mais de 20 mil habitantes, como disposto no artigo 41, inciso I, evidencia sua centralidade no ordenamento territorial e na condução do planejamento urbano no cenário brasileiro.

O Plano Diretor configura-se como um instrumento político-normativo de caráter estratégico, destinado a orientar o uso e a ocupação do solo urbano, promover a articulação entre políticas setoriais e assegurar condições adequadas de bem-estar coletivo. Ao vincular tanto o poder público quanto os agentes privados às suas diretrizes, o Plano Diretor opera como mecanismo de concretização do princípio da função social da propriedade, contribuindo para a construção de padrões de urbanização mais equitativos, integrados e ambientalmente sustentáveis.

A função social da propriedade urbana, consagrada como um dos pilares normativos do Estatuto da Cidade, ocupa posição central na arquitetura jurídica da política urbana brasileira. Prevista expressamente no artigo 2º, inciso VI, essa diretriz estrutura-se como princípio orientador das ações estatais e da regulação do uso da terra urbano. Sua efetivação ocorre por meio de um conjunto articulado de instrumentos legais destinados a assegurar que a propriedade

cumpra sua finalidade social, atendendo às necessidades coletivas e contribuindo para a promoção do bem comum.

Essa concepção representa uma ruptura com a visão tradicional da propriedade como direito absoluto e ilimitado, dissociado de suas implicações sociais, econômicas e ambientais. Em contraposição à lógica patrimonialista e à mercantilização do espaço urbano, a função social da propriedade redefine o imóvel urbano como um bem juridicamente condicionado à realização de direitos fundamentais, em especial o direito à moradia digna, à justiça socioespacial e à sustentabilidade ambiental. Trata-se, portanto, de uma reorientação paradigmática que subordina o valor de troca ao valor de uso, inserindo a propriedade privada no campo das obrigações sociais e no horizonte de um projeto de cidade democrática e inclusiva (Cafrune, 2016; Amanajás; Klug, 2018).

Entretanto, a efetivação dos dispositivos previstos no Estatuto da Cidade enfrenta desafios estruturais significativos. Embora numerosos municípios tenham elaborado seus Planos Diretores, sua implementação revela-se, em muitos casos, limitada por fragilidades técnicas, restrições orçamentárias e, sobretudo, por resistências políticas. Observa-se, com frequência, a atuação de interesses consolidados (notadamente do setor imobiliário) que tendem a obstruir ou esvaziar medidas voltadas à democratização do acesso à terra urbana e à superação da lógica excludente que historicamente orienta a produção do espaço urbano.

Outro entrave recorrente refere-se à participação popular nos processos de elaboração e revisão dos Planos Diretores, conforme estabelece o artigo 40 do Estatuto da Cidade. Na prática, essa participação frequentemente assume caráter meramente formal, marcada por baixa representatividade social e pela exclusão de segmentos periféricos e vulnerabilizados. Tal distorção compromete o caráter democrático do planejamento urbano, fragiliza sua legitimidade social e limita a apropriação efetiva do direito à cidade como construção coletiva.

Nesse sentido, Cafrune (2016) argumenta que a persistência das desigualdades urbanas evidencia os limites dos avanços jurídicos conquistados. Apesar da existência de um arcabouço normativo robusto voltado à promoção de cidades mais justas, as contradições estruturais da formação socioeconômica brasileira, aliadas à captura do espaço urbano por interesses privados, têm dificultado a materialização dos direitos assegurados. O autor destaca a dissociação entre o plano normativo e a realidade concreta das cidades, nas quais a mercantilização da terra e da moradia tende a prevalecer sobre os princípios do bem comum e da função social da cidade.

Ainda assim, Cafrune ressalta o papel emergente das mobilizações sociais urbanas na ressignificação do direito à cidade. Movimentos de ocupação, protestos urbanos e redes de articulação mediadas por tecnologias digitais têm atuado como catalisadores de novas formas de reivindicação e produção de direitos. Essas iniciativas, frequentemente autônomas e auto-organizadas, utilizam os meios digitais não apenas como instrumentos de denúncia e pressão política, mas também como espaços de formação crítica, resistência territorial e exercício ampliado da cidadania urbana. Desse modo, contribuem não apenas para a exigibilidade de direitos já instituídos, mas para a redefinição do próprio significado do direito à cidade enquanto projeto político, coletivo e transformador.

Apesar dos obstáculos à sua implementação plena, há experiências municipais que evidenciam a aplicação concreta dos instrumentos do Estatuto da Cidade, ainda que com distintos graus de êxito. Exemplos localizados no Nordeste brasileiro oferecem subsídios relevantes para a análise crítica do processo de institucionalização da política urbana em contextos locais específicos.

Em Feira de Santana (BA), por exemplo, a promulgação da Lei Complementar nº 117/2018, que institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Territorial (PDDU), representa um esforço de integração entre o ordenamento territorial e o planejamento orçamentário. O plano incorpora instrumentos como as Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS) e a delimitação de perímetros de proteção ambiental, refletindo uma tentativa de alinhar a política urbana local aos princípios e diretrizes do Estatuto da Cidade.

No caso de Fortaleza (CE), conforme analisado por Miranda e Gondim (2020), a aplicação do Plano Diretor revela tanto avanços institucionais quanto obstáculos persistentes. Embora o município disponha de um plano formalmente estruturado, sua implementação é limitada por insuficiências técnicas e por resistências políticas frente a medidas que tensionam interesses historicamente consolidados. Ainda assim, o caso evidencia a centralidade do Plano Diretor como instrumento estruturante das políticas urbanas e como referência normativa para a promoção da função social da cidade.

Em Campina Grande (PB), por sua vez, os desafios à efetivação do Plano Diretor tornam-se particularmente evidentes nas críticas à fragilidade da participação social e à baixa operacionalização dos instrumentos urbanísticos. Embora as ZEIS estejam previstas como estratégia de enfrentamento das desigualdades socioespaciais, a ausência de delimitação precisa e de regulamentação adequada compromete sua efetividade. De acordo com o Observatório das Metrópoles (2021), essa lacuna enfraquece as políticas públicas voltadas à habitação, à

infraestrutura urbana e à inclusão social, contribuindo para a reprodução das desigualdades no espaço urbano.

Mesmo diante dessas limitações, o Estatuto da Cidade permanece como um marco jurídico e político fundamental para a construção de cidades mais inclusivas, sustentáveis e democráticas. Ao afirmar a cidade como espaço de realização de direitos humanos, conforme estabelecido nos incisos III, VII e VIII do artigo 2º, o Estatuto propõe uma concepção de planejamento urbano que transcende a dimensão técnico-normativa, exigindo um compromisso ético e político com os princípios da justiça social, da equidade territorial e da sustentabilidade ambiental. Para que esse projeto se concretize, torna-se imprescindível que a gestão urbana se fundamente em processos transparentes, na participação cidadã efetiva e na superioridade do interesse público sobre os interesses privados.

Plano Diretor de Arapiraca: diretrizes e limitações

O Plano Diretor de Arapiraca, instituído pela Lei nº 2.424/2006, foi concebido como um instrumento essencial para guiar o desenvolvimento urbano sustentável do município, com o propósito de integrar as necessidades de crescimento populacional e a preservação ambiental. No entanto, passados quase vinte anos desde sua promulgação, surgem importantes questionamentos sobre a eficácia de suas diretrizes frente à evolução das dinâmicas urbanas.

A elaboração do plano envolveu ampla participação popular, incluindo oficinas comunitárias, audiências públicas e discussões técnicas, o que garantiu uma base democrática para sua construção. Contudo, com o passar do tempo, algumas de suas propostas se mostraram insuficientes ou mal implementadas, refletindo-se diretamente na realidade urbana de Arapiraca.

Entre os eixos estruturantes do Plano Diretor, destaca-se a organização territorial com base na definição de macrozonas e Zonas Especiais de Interesse Ambiental (ZEIA), concebidas para compatibilizar o crescimento urbano com a preservação de áreas sensíveis, como os principais cursos d'água (Lei nº 2.424/06, Art. 13). A implementação das ZEIA, embora um avanço notável, tem se mostrado limitada pela ausência de fiscalização contínua e pela falta de uma infraestrutura de monitoramento eficaz. As ocupações irregulares em áreas ambientalmente sensíveis, ainda persistem, comprometendo o objetivo de preservação e gestão ambiental sustentável.

Outro ponto relevante refere-se à mobilidade urbana, com propostas voltadas à priorização de pedestres, ciclistas e do transporte coletivo (Art. 45), visando a redução da dependência do transporte individual motorizado. Apesar das propostas voltadas à priorização do transporte coletivo e de alternativas sustentáveis, como ciclovias e faixas exclusivas para ônibus, a cidade ainda sofre com uma infraestrutura deficiente. A falta de corredores de transporte coletivo intermunicipais e a escassez de opções de transporte público de qualidade perpetuam o modelo excludente de mobilidade urbana, afetando especialmente as periferias.

No que diz respeito à habitação de interesse social, o plano prevê a criação das Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS), com o propósito de regularizar assentamentos precários e garantir moradia digna às populações de baixa renda (Art. 76). Tais zonas deveriam ser integradas à malha urbana consolidada, próximas a serviços públicos e equipamentos sociais. No entanto, observa-se que diversos conjuntos habitacionais foram implantados em áreas periféricas, fora do perímetro urbano definido, como no caso do Residencial Jardim das Paineiras, para onde foram transferidas famílias da comunidade Vale do Caborje, localizada originalmente em área central. Essa prática reforça a segregação socioespacial e contraria os princípios de integração e inclusão estabelecidos pelo próprio plano.

Outro componente essencial, mas igualmente problemático, são os instrumentos urbanísticos previstos no Plano Diretor, como o IPTU progressivo, a desapropriação de imóveis ociosos e o reconhecimento da função social da propriedade (Arts. 104 e 111). Embora esses mecanismos tenham sido pensados para conter a especulação imobiliária e incentivar o uso racional do solo urbano, sua efetividade tem sido comprometida pela falta de uma estrutura institucional sólida. Isso resulta em um mercado imobiliário desregulamentado, que favorece grandes especuladores em detrimento de políticas públicas de redistribuição de terras.

Apesar da previsão legal de uma gestão democrática por meio da criação do Conselho Municipal da Cidade e da realização periódica de conferências de política urbana, a participação popular na definição e acompanhamento das políticas urbanas continua restrita. A ausência de canais reais de escuta e de um conselho atuante enfraquece o controle social, dificultando a legitimidade das ações do poder público e o alinhamento das políticas às necessidades da população. Nesse contexto, sintetiza-se os principais aspectos e impasses do Plano Diretor de Arapiraca no Quadro 10.

Quadro 10: Aspectos centrais e impasses na implementação do Plano Diretor de Arapiraca.

Aspecto	Descrição	Questões para Discussão
Função Social da Cidade	Direito à moradia, transporte e saneamento como fundamentos da justiça urbana.	O plano conseguiu reduzir desigualdades no acesso a esses serviços?
Ordenamento Territorial	Definição de macrozonas e zonas especiais.	Há fiscalização e cumprimento efetivo das diretrizes estabelecidas?
Preservação Ambiental	Criação de Zonas Especiais de Interesse Ambiental (ZEIA).	As ZEIA têm contido ocupações irregulares e protegido o meio ambiente?
Mobilidade Urbana	Priorização do transporte coletivo e alternativas sustentáveis.	As ações previstas foram implementadas e melhoraram a mobilidade?
Uso e Ocupação da Terra	Regras para parcelamento e ocupação.	O plano favoreceu um crescimento urbano equilibrado?
Habitação e Regularização Fundiária	Criação de ZEIS para moradias de baixa renda.	Houve melhoria na infraestrutura e qualidade das moradias sociais?
Instrumentos Urbanísticos	Aplicação do IPTU progressivo e da função social da propriedade.	Esses instrumentos foram de fato implementados?
Participação Popular	Criação de conselhos e conferências.	A população tem influência real nas decisões sobre o território?
Expansão Urbana	Definição de áreas para crescimento controlado.	O crescimento urbano foi ordenado ou houve expansão descontrolada?
Saneamento e Infraestrutura	Previsão de melhorias no abastecimento e no manejo de resíduos.	Os investimentos foram realizados e atendem à demanda atual?
Desenvolvimento Econômico	Incentivo à economia local e à agricultura familiar.	O plano contribuiu para dinamizar a economia e reduzir desigualdades sociais?

Fonte: Autor (2025).

A análise dos pontos levantados evidencia que o Plano Diretor de Arapiraca, embora formalmente alinhado aos princípios do Estatuto da Cidade e à agenda do desenvolvimento urbano sustentável, apresenta limitações expressivas quanto à sua capacidade efetiva de ordenar o território. Observa-se um descompasso persistente entre as diretrizes normativas estabelecidas e a dinâmica concreta de produção do espaço urbano, indicando que os instrumentos previstos

no plano não têm sido suficientes para conter a expansão territorial desordenada, a ocupação de áreas ambientalmente sensíveis e o aprofundamento da segregação socioespacial.

Esse desajuste revela que o planejamento urbano no município tem operado predominantemente de forma reativa, ajustando-se a processos já consolidados em vez de exercer uma função preventiva e orientadora do crescimento urbano. Tal constatação impõe a necessidade de uma leitura crítica que ultrapasse a dimensão legal e formal do Plano Diretor, incorporando a análise de sua operacionalização, de suas fragilidades institucionais e de sua relação com os interesses econômicos e políticos que historicamente orientam a produção do espaço urbano local.

Essa interpretação crítica encontra respaldo nas contribuições de Santos et al. (2016), que aprofundam a análise do Plano Diretor de Arapiraca a partir de um estudo comparativo entre a cartografia oficial da Lei nº 2.424/2006 e os mapas georreferenciados contemporâneos produzidos pelo Cadastro Territorial Multifinalitários do município. Os autores evidenciam uma dissociação estrutural entre a chamada “cidade legal” e a “cidade real”, revelando limites significativos na capacidade do Plano Diretor de orientar, de maneira contínua e efetiva, o ordenamento territorial ao longo do tempo.

Segundo Santos et al. (2016), embora o Plano Diretor tenha sido concebido de forma tecnicamente adequada do ponto de vista normativo, suas diretrizes não foram respeitadas no processo de expansão urbana. Em vez de orientar a ocupação do solo, o planejamento passou a se ajustar ao espaço já edificado, configurando um processo inverso ao preconizado pelo Estatuto da Cidade. Essa inversão compromete a função estratégica do planejamento urbano, restringindo sua atuação à mitigação posterior dos impactos da urbanização desordenada, em detrimento de uma ação antecipatória, reguladora e socialmente orientada.

Os autores destacam, ainda, que uma das fragilidades centrais do Plano Diretor de Arapiraca reside na ausência de delimitações cartográficas precisas das zonas urbanas e ambientais. Essa lacuna técnica, que deveria ter sido suprida por legislações complementares previstas no próprio plano, jamais foi efetivamente sanada. Como consequência, o poder público passou a operar com bases frágeis para a tomada de decisões relacionadas ao uso e à ocupação do solo, abrindo margem para interpretações discricionárias, insegurança jurídica e favorecimento de interesses vinculados ao mercado imobiliário.

No que se refere especificamente às Zonas Especiais de Interesse Ambiental (ZEIA), Santos et al. (2016) demonstram que áreas originalmente destinadas à preservação e ao manejo ambiental, como o entorno do atual Lago da Perucaba, foram objeto de intervenções

urbanísticas não previstas no Plano Diretor, seguidas por um intenso processo de valorização imobiliária. Esse movimento resultou na elitização do solo urbano e na subversão da finalidade original das ZEIA, que passaram a funcionar, na prática, como vetores de expansão imobiliária de médio e alto padrão, em clara contradição com os princípios de proteção ambiental e de interesse coletivo estabelecidos no plano.

De forma convergente com a análise desenvolvida neste trabalho, os autores afirmam que a expansão urbana descontínua, marcada pela presença de extensos vazios urbanos, não decorre de uma necessidade objetiva de crescimento territorial, mas de uma lógica especulativa que orienta a ampliação do perímetro urbano em benefício de agentes privados. Tal dinâmica resulta no aumento dos custos de implantação e manutenção da infraestrutura urbana, na sobrecarga dos serviços públicos e no aprofundamento das desigualdades socioespaciais, sobretudo nas áreas periféricas do município (Damasceno, 2016).

No campo da política habitacional, esses limites tornam-se ainda mais evidentes. A localização periférica dos empreendimentos de interesse social, associada à carência de infraestrutura urbana, transporte público e equipamentos coletivos, compromete o direito à cidade e reforça padrões históricos de segregação socioespacial. Embora a criação das Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS) represente, em termos normativos, um avanço importante, sua implementação prática tem se mostrado insuficiente. Os conjuntos habitacionais destinados à população de baixa renda permanecem, em grande medida, afastados da malha urbana consolidada, reproduzindo um modelo de urbanização excludente e funcionalmente fragmentado.

Outro aspecto crítico refere-se à fragilidade do Poder Local, entendido como a capacidade institucional de articulação entre o Estado e a sociedade civil na formulação, implementação e monitoramento das políticas públicas urbanas. A não institucionalização do Conselho Municipal da Cidade, mesmo após mais de uma década de vigência do Plano Diretor, compromete diretamente o princípio da gestão democrática do território, previsto tanto no Estatuto da Cidade quanto na legislação municipal. A ausência desse espaço institucional de participação e controle social fragiliza a transparência, reduz a legitimidade das decisões e contribui para que a aplicação das diretrizes urbanísticas fique subordinada à discricionariedade de técnicos, gestores e empreendedores.

Nesse sentido, os principais desafios à efetivação do Plano Diretor de Arapiraca podem ser sistematizados no Quadro 11, que evidencia entraves recorrentes relacionados à fiscalização insuficiente, à precariedade da infraestrutura urbana, à especulação imobiliária e à limitação da

participação popular. Tais fatores atuam de forma articulada, reforçando a distância entre o planejamento normativo e a realidade concreta da cidade.

Soma-se a esse cenário a ausência de mecanismos eficazes de controle e monitoramento das ações urbanísticas. Embora a legislação exija a realização de estudos de impacto socioeconômico e ambiental, bem como audiências públicas para grandes empreendimentos, esses procedimentos são frequentemente negligenciados, revelando uma lacuna estrutural entre a legislação urbanística e sua efetiva aplicação.

Quadro 11: Desafios na efetivação do Plano Diretor de Arapiraca.

Desafio	Descrição	Impactos no Planejamento Urbano
Fiscalização insuficiente	Ocupações irregulares persistem em áreas protegidas.	Compromete a proteção ambiental e dificulta a aplicação das ZEIA e ZEIS.
Infraestrutura urbana precária	Bairros periféricos carecem de saneamento, transporte e equipamentos.	Prejudica a coesão urbana e a qualidade de vida.
Especulação imobiliária	Retenção de imóveis e ausência de políticas redistributivas.	Gera desigualdades no acesso à terra e ineficácia dos instrumentos legais.
Participação popular limitada	Falta de conselhos atuantes e de canais efetivos de escuta.	Enfraquece a democracia urbana e a aderência das políticas às necessidades reais da população.

Fonte: Autor (2025).

A revisão do Plano Diretor, legalmente prevista para ocorrer a cada dez anos, foi iniciada em 2016, mas apenas em 2023 passou a ser retomada de forma mais consistente pelo poder público municipal. Entre as propostas apresentadas, destaca-se a reestruturação de áreas como o Cinturão Verde, com foco na integração entre zonas urbanas e rurais, na sustentabilidade ambiental e no fortalecimento da produção agrícola local. No entanto, a ausência, até o momento, de um novo texto legal consolidado evidencia entraves institucionais persistentes e limita a capacidade do município de responder de forma planejada ao crescimento urbano acelerado observado, sobretudo, a partir da década de 2010.

2. CONDICIONANTES FÍSICO-NATURAIS DA PAISAGEM RURAL/URBANA DE ARAPIRACA

2.1. O CLIMA NA ESCALA DO MUNICÍPIO

O município de Arapiraca, situado na região Nordeste do Brasil, apresenta um regime pluviométrico condicionado pela atuação de sistemas atmosféricos de grande escala, os quais respondem por parcela significativa dos volumes de chuva registrados ao longo do ano. Esses sistemas são responsáveis por uma fração expressiva da precipitação regional, enquanto os processos em macro e microescala atuam como mecanismos complementares, modulando os totais observados de acordo com as características locais (Molion e Bernardo, 2002). As oscilações interanuais das chuvas no Nordeste brasileiro estão fortemente relacionadas às variações na circulação geral da atmosfera e às interações entre oceano e atmosfera nos domínios dos oceanos Atlântico e Pacífico.

A dinâmica pluviométrica do Nordeste apresenta diferenças espaciais marcantes. Na porção setentrional da região, a gênese das chuvas está associada, sobretudo, à atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), à convergência de umidade promovida pelas circulações de brisa e pelas Perturbações Oscilatórias no Campo dos Ventos Alísios (POAS), além de processos convectivos locais. Em contrapartida, na metade meridional do Nordeste, onde se localiza Arapiraca, a precipitação passa a ser fortemente influenciada por sistemas frontais de caráter quase estacionário, abastecidos pela umidade advinda do Atlântico Sul, que dão origem à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Somam-se a esses mecanismos a ocorrência de sistemas pré-frontais, a convecção local e a atuação das circulações de brisa marítima e terrestre, com maior expressão nas áreas costeiras e seus entornos (Molion e Bernardo, 2002).

Os maiores acumulados pluviométricos registrados na faixa leste do Nordeste brasileiro estão associados à intensificação da circulação de brisa, que favorece o transporte de nebulosidade do oceano em direção ao interior continental, bem como à passagem de frentes frias e de seus remanescentes ao longo da costa. Apesar de Arapiraca encontrar-se em uma zona de transição entre o domínio litorâneo e o semiárido, a influência desses sistemas atmosféricos é perceptível, refletindo-se em um padrão sazonal bem definido das chuvas.

No quadro a seguir, são apresentados os principais mecanismos atmosféricos responsáveis pelas chuvas e que condicionam o regime climático do município.

Quadro 12: Principais sistemas atmosféricos atuantes no Nordeste brasileiro e seus efeitos sobre o regime pluviométrico de Arapiraca (AL).

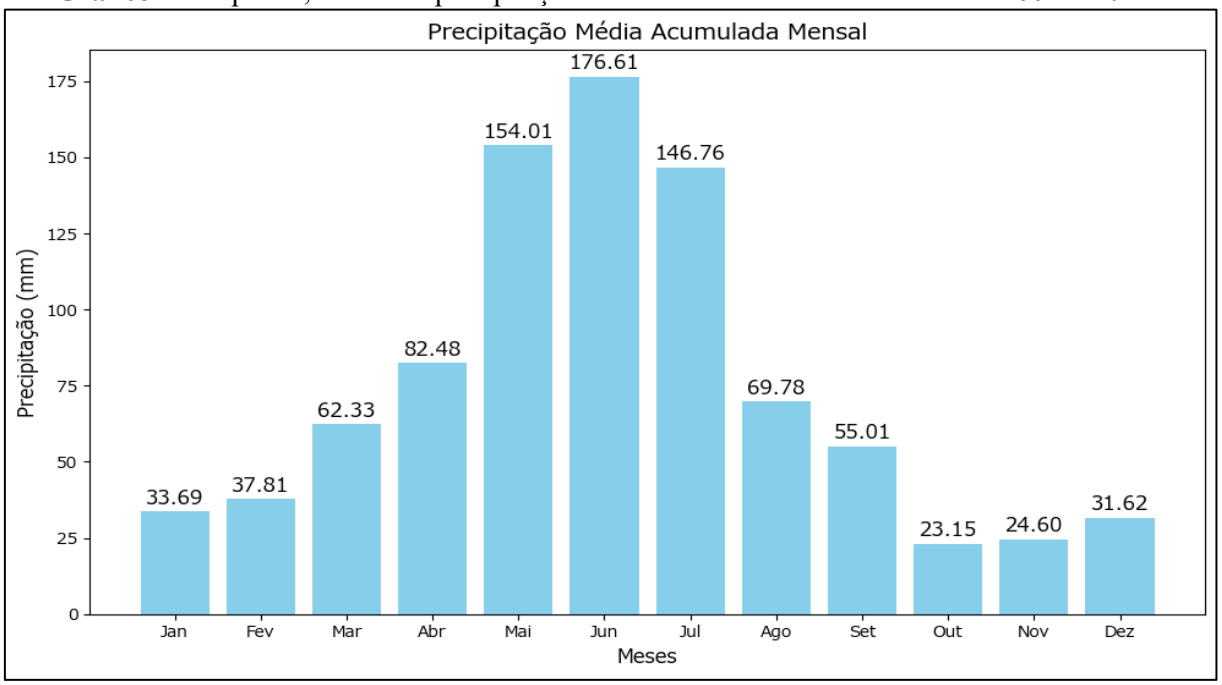
Sistema atmosférico	Escala de atuação	Características principais	Período de maior ocorrência	Influência sobre Arapiraca
Perturbações Oscilatórias no Campo dos Ventos Alísios (POAS)	Sinótica / Subsinótica	Ondulações nos ventos alísios associadas à formação de grandes sistemas convectivos na região equatorial, favorecidas pela posição meridional da ZCIT	Verão e início do outono (dezembro a abril)	Contribuem para episódios de chuva moderada a intensa, aumentando os acumulados pluviométricos no interior do Nordeste
Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCAN)	Sinótica	Sistemas fechados de baixa pressão na alta troposfera, com subsidência no núcleo e movimentos ascendentes na periferia	Verão (dezembro a março)	Podem intensificar a variabilidade interanual das chuvas, favorecendo eventos extremos quando atuam de forma persistente
Ondas de Leste	Sinótica	Distúrbios atmosféricos que se deslocam de leste para oeste, associados aos ventos alísios e à convecção tropical	Outono e inverno	Responsáveis por chuvas significativas, especialmente durante o período chuvoso regional
Linhas de Instabilidade (LI)	Mesoescala	Bandas alongadas de nuvens convectivas, geralmente associadas a fortes pancadas de chuva	Verão (dezembro a março)	Atuam de forma episódica, podendo gerar eventos de precipitação intensa e localizada
Brisas marítima e terrestre	Mesoescala	Circulações térmicas diurnas e noturnas geradas pelo contraste entre continente e oceano	Atuação contínua, com maior efeito no verão	Influenciam indiretamente a convecção local, modulando chuvas leves e a distribuição diária da precipitação

Fonte: Adaptado de Molion e Bernardo (2000), Varejão-Silva (2001, 2006) e Vianello e Alves (2000).

A partir da análise da precipitação acumulada média mensal de uma série histórica de 33 anos (1991-2024), observa-se que o início do ano no município de Arapiraca é marcado por baixas precipitações, especialmente entre os meses de outubro (23,15 mm) a janeiro (33,7 mm) e fevereiro (37,8 mm), caracterizando um período do verão com menor disponibilidade hídrica. A transição para a estação chuvosa ocorre entre março (62,3 mm) e abril (82,5 mm), com um aumento gradual de precipitação que culmina no outono/inverno (Gráfico 2).

O pico do período chuvoso ocorre entre maio (154,0 mm), junho (176,6 mm) e julho (146,8 mm). Este acúmulo intenso é típico da estação chuvosa regional e exige atenção redobrada quanto à drenagem urbana para mitigar riscos de inundações. A partir de agosto (69,8 mm), os índices declinam até os mínimos de outubro (23,2 mm) e novembro (24,6 mm), consolidando na primavera a estação seca e os desafios relacionados à estiagem.

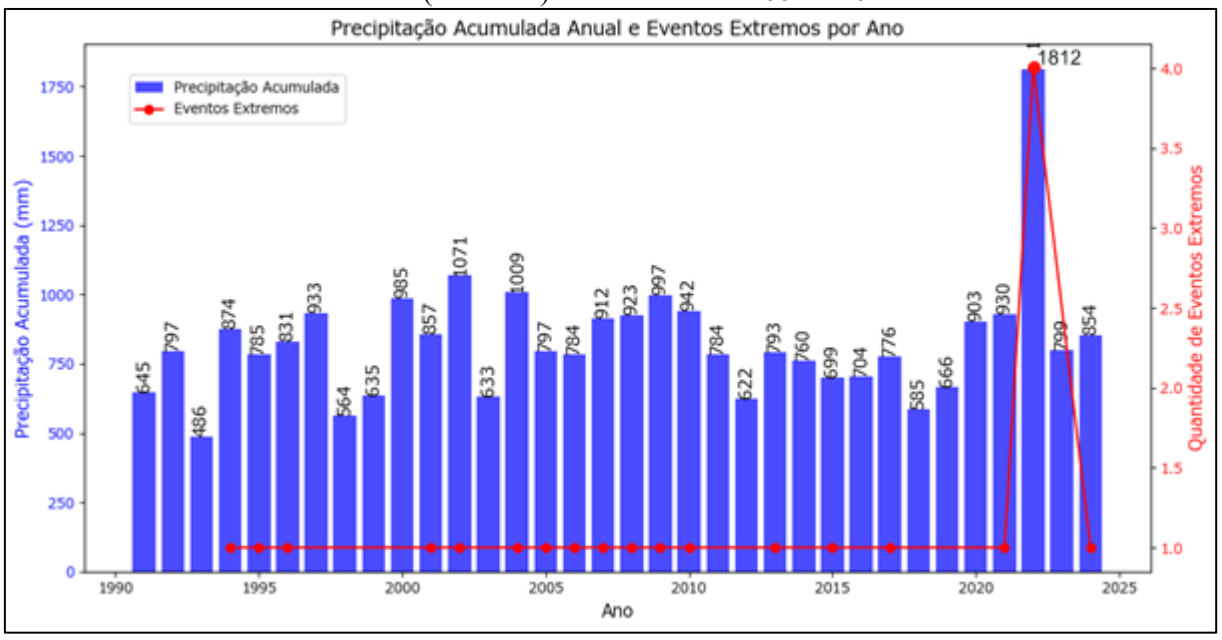
Gráfico 2: Arapiraca, Média da precipitação acumulada mensal entre os anos de 1991 e 2024.



Fonte: Modelo CHIRPS (2015).

No período de 1991 e 2024, a pluviosidade variou entre 486,2 mm (mínimo em 1993) e 1.071,2 mm (máximo em 2002), com uma média histórica em torno de 826 mm. Esta oscilação interanual foi influenciada por fenômenos de escala global, como o El Niño e a La Niña, típicos de climas tropicais de transição (Gráfico 3).

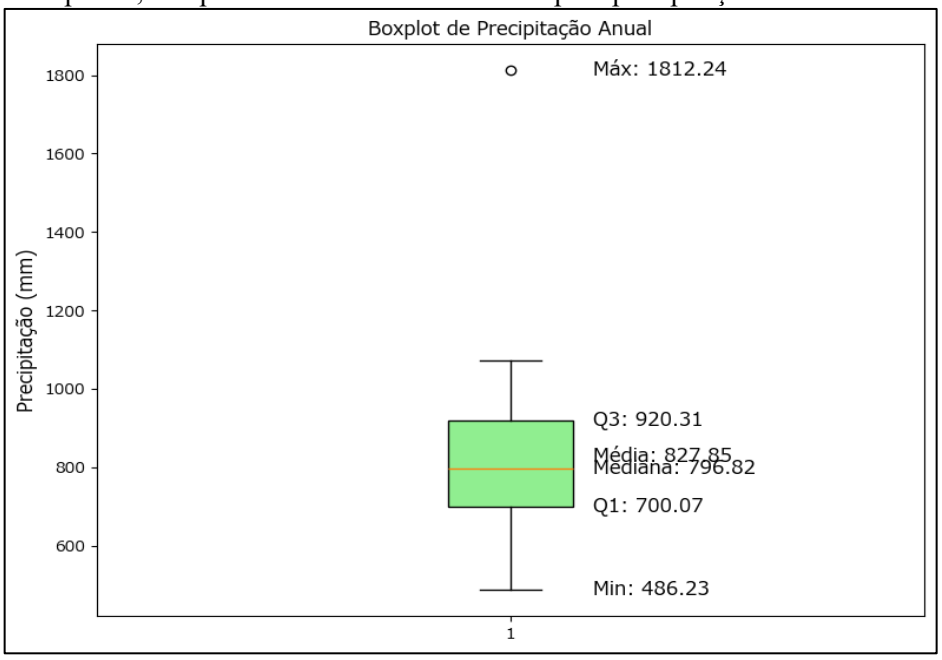
Gráfico 3: Arapiraca, Correlação entre precipitação anual acumulada e eventos muito acima da média (extremos) entre os anos de 1991 e 2024.



Fonte: Modelo CHIRPS (2015).

Na série observada, o ano de 2022 destaca-se como um outlier expressivo, registrando 1.812 mm, quase o dobro da média histórica (Gráfico 4). Este volume excepcional pode sobrecarregar sistemas de infraestrutura urbana insuficientes, como os de Arapiraca, mas também oferece oportunidades para a recarga de aquíferos. O contraste com o ano de 1993 (486 mm) reforça a necessidade de estratégias de manejo tanto para excessos quanto para escassez hídrica.

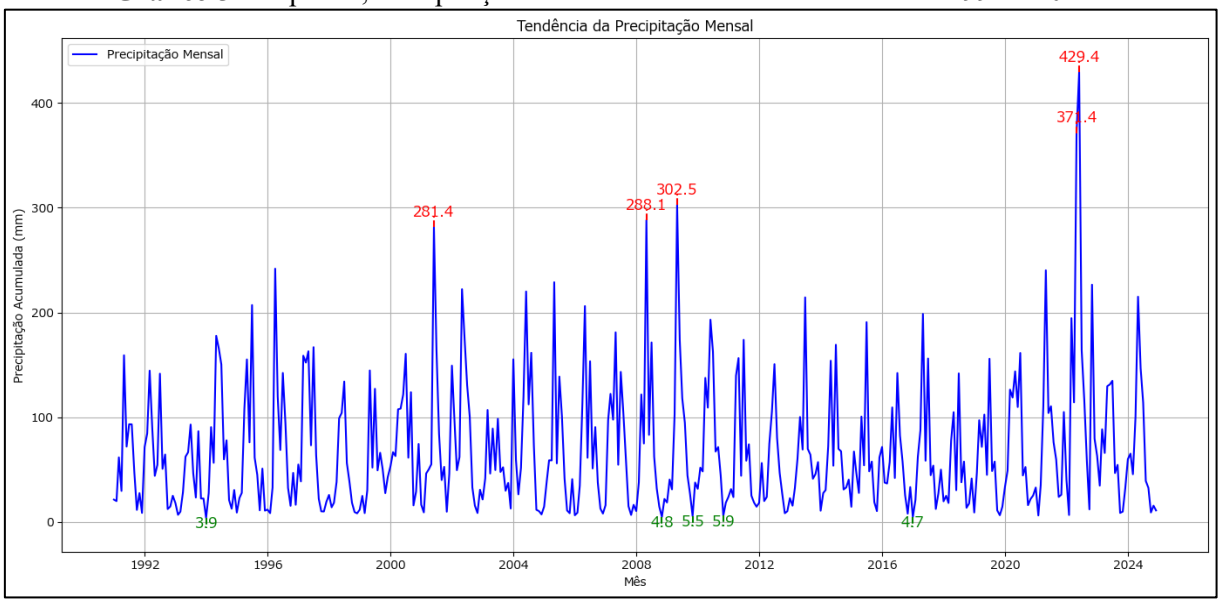
Gráfico 4: Arapiraca, Boxplot com estatística descritiva para precipitação acumulada anual - 2025.



Fonte: Modelo CHIRPS (2015).

A análise da tendência mensal a partir das informações inseridas no Gráfico 5 revela a forte sazonalidade e a variabilidade interanual. Registros extremos como o de janeiro de 1994 (3,9 mm) representam apenas 6% da média mensal típica, enquanto o máximo de junho de 2022 (429,4 mm) superou em seis vezes a média de referência.

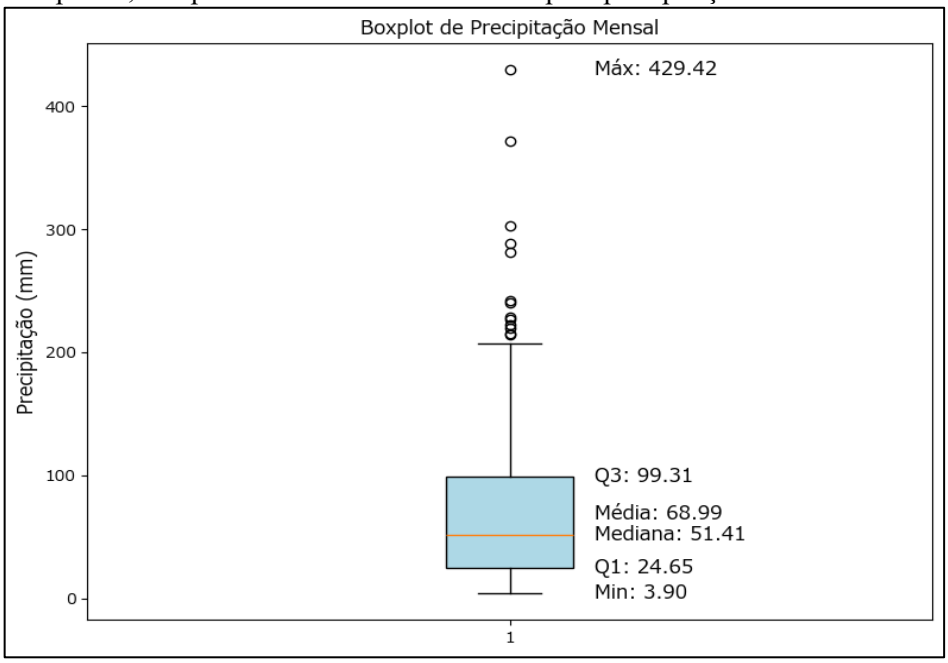
Gráfico 5: Arapiraca, Precipitação acumulada mensal entre os anos de 1991 e 2024.



Fonte: Modelo CHIRPS (2015).

Essa amplitude confirma-se pela presença de diversos outliers apresentados no Gráfico 6, evidenciando que eventos extremos são inerentes à dinâmica climática local.

Gráfico 6: Arapiraca, Boxplot com estatística descritiva para precipitação acumulada mensal – 2025.



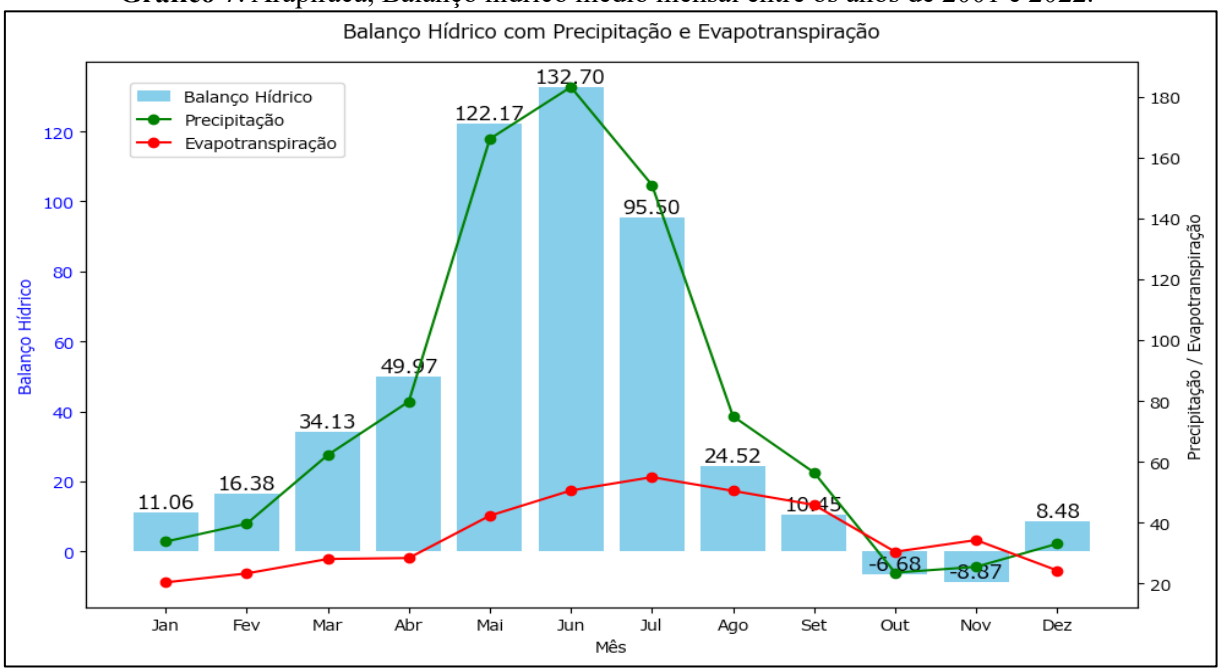
Fonte: Modelo CHIRPS (2015).

O Gráfico 7 apresenta o balanço hídrico médio mensal (2001-2022), revelando a interação entre precipitação e evapotranspiração (ET).

- Déficit Hídrico: outubro e novembro apresentam balanços negativos (aprox. -7 mm e -9 mm), onde a ET supera a precipitação.

- Excedente Hídrico: Entre março e julho, há um crescimento progressivo, com picos de excedente em maio (122 mm) e junho (133 mm), fundamentais para a recarga de reservatórios e lençóis freáticos.

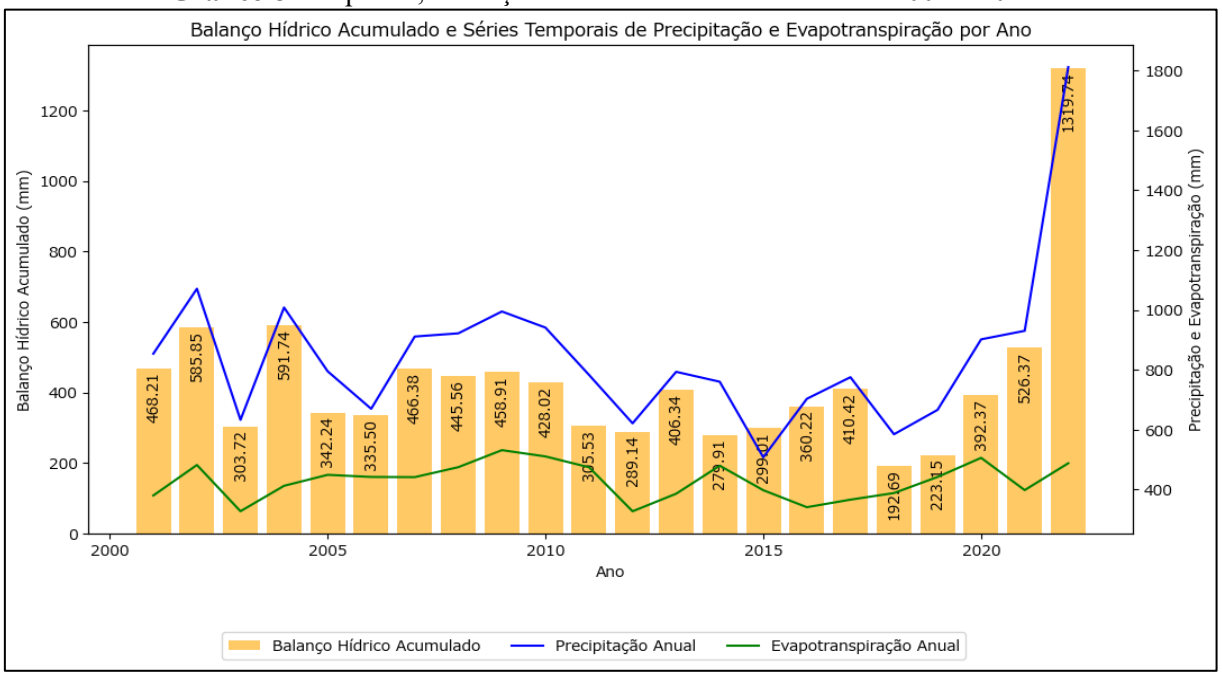
Gráfico 7: Arapiraca, Balanço hídrico médio mensal entre os anos de 2001 e 2022.



Fonte: Modelos CHIRPS (2015) e MODIS16A2 v. 6.1 (2021).

O balanço hídrico anual apresentado no Gráfico 8 mostra que, entre 2001 e 2019, os valores acumulados variaram entre 200 e 525 mm. Contudo, em 2022, o salto para 1.374,1 mm reflete a anomalia pluviométrica já mencionada. O detalha essa variabilidade em escala mensal, evidenciando déficits recorrentes no final do ano e excedentes marcantes no ápice do inverno.

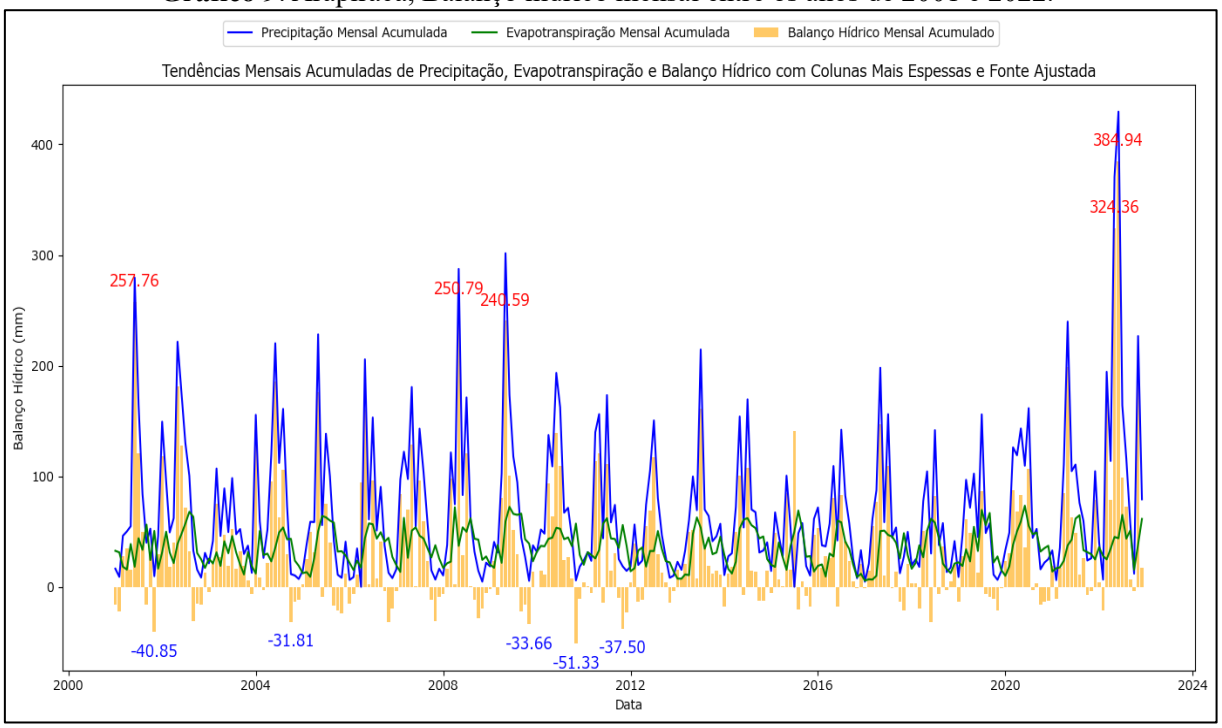
Gráfico 8: Arapiraca, Balanço hídrico anual entre os anos de 2001 e 2022.



Fonte: Modelos CHIRPS (2015) e MODIS16A2 v. 6.1 (2021).

A distribuição estatística do balanço hídrico anual como representa o Gráfico 9, apresenta uma assimetria positiva, onde a média (428,7 mm) é superior à mediana (399,4 mm). Isso indica que anos excepcionais, como 2022, elevam a média aritmética sem necessariamente alterar a tendência central da série.

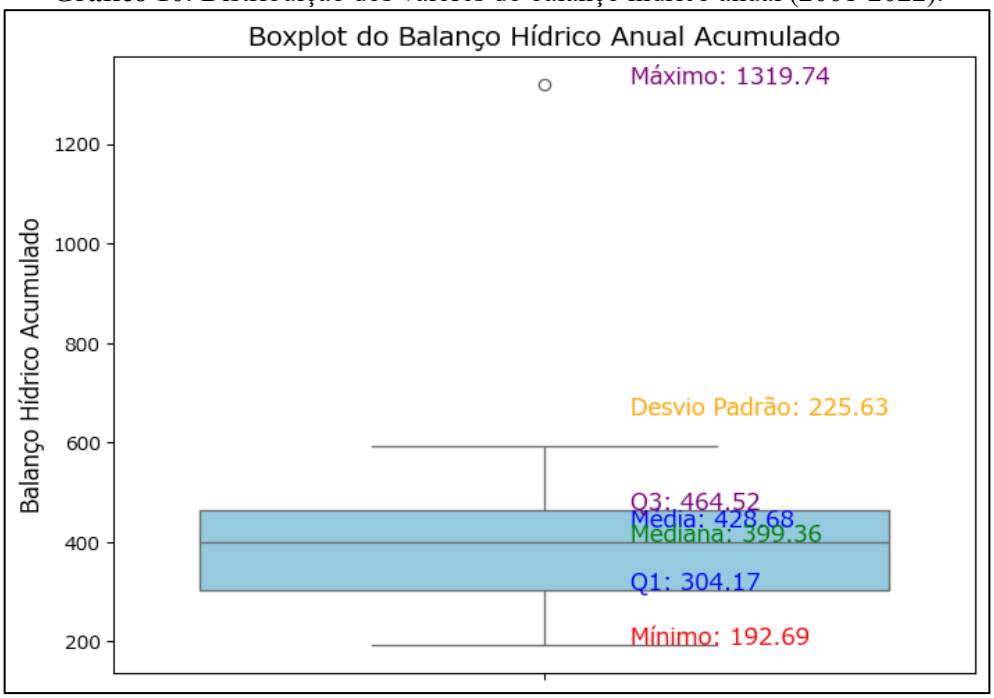
Gráfico 9: Arapiraca, Balanço hídrico mensal entre os anos de 2001 e 2022.



Fonte: Modelos CHIRPS (2015) e MODIS16A2 v. 6.1 (2021).

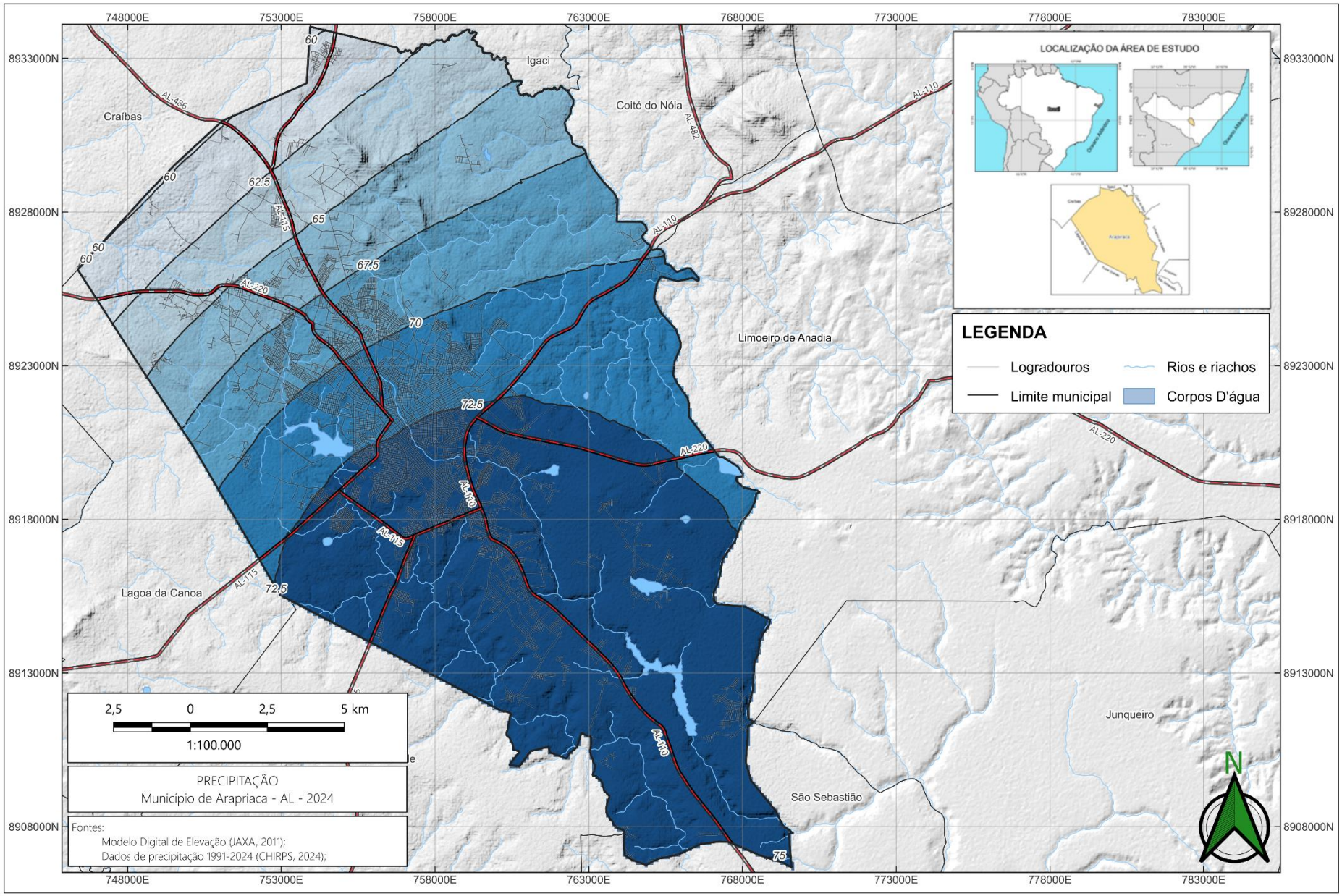
Finalmente, a distribuição dos valores do balanço hídrico anual registrada no Gráfico 10, e espacial das chuvas em Arapiraca como evidenciada na Figura 11, confirma sua posição em uma área de ecótono entre a Mata Atlântica e a Caatinga. Nota-se um nítido gradiente noroeste-sudeste: o setor noroeste apresenta as menores médias (inferiores a 62,5 mm/mês), enquanto o setor sul e sudeste, que abriga a zona urbana consolidada, registra os maiores acumulados, superando 70 mm mensais e atingindo picos de 75 mm na divisa com o município de São Sebastião.

Gráfico 10: Distribuição dos valores do balanço hídrico anual (2001-2022).



Fonte: Modelos CHIRPS (2015) e MODIS16A2 v. 6.1 (2021).

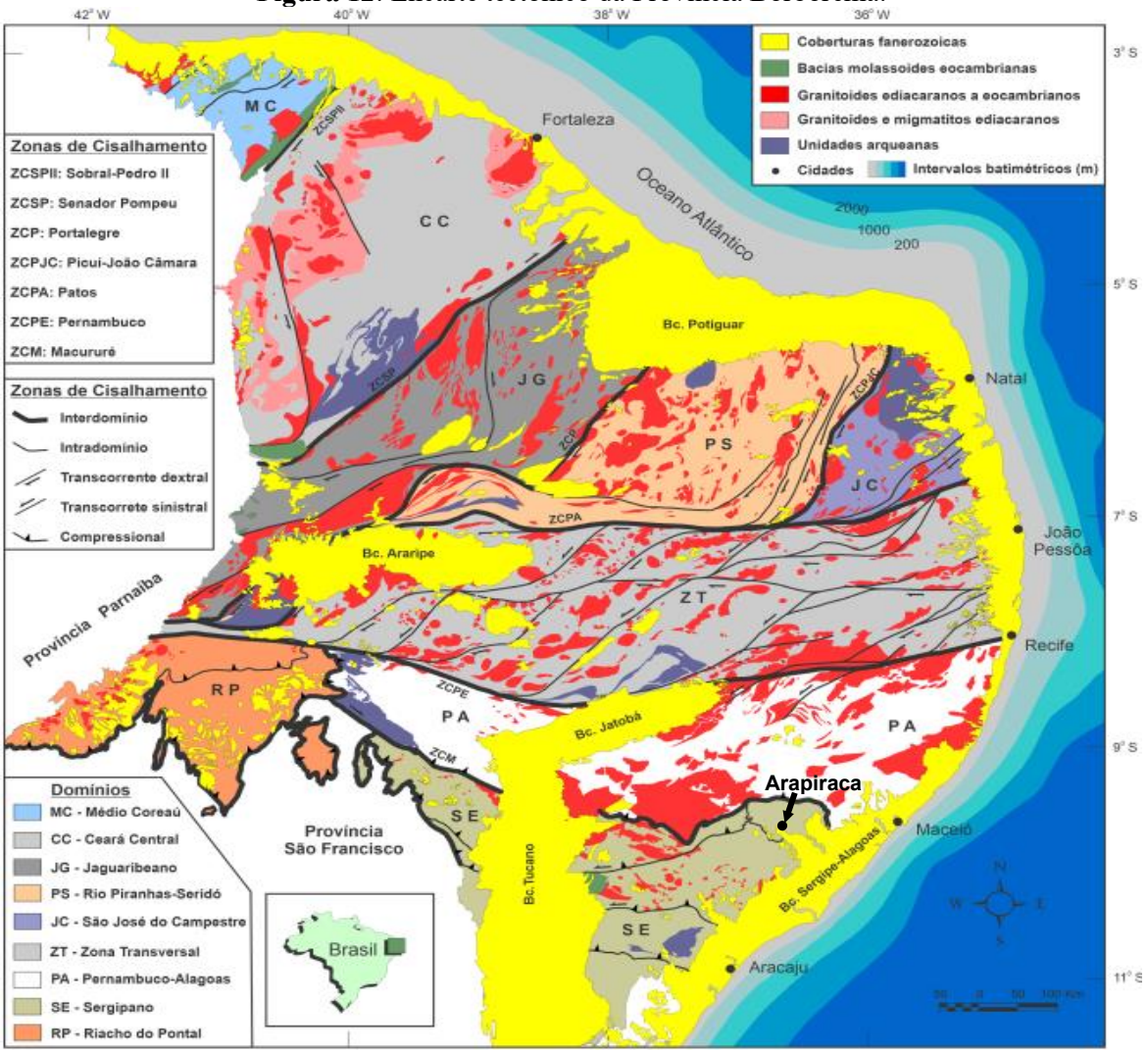
Figura 11: Município de Arapiraca, Distribuição espacial do acumulado médio mensal de precipitação - 2024.



2.2. GEOLOGIA DA PROVÍNCIA DA BORBOREMA

O município de Arapiraca está sobre o contexto geotectônico da margem sudeste da Província da Borborema. Ela foi descrita pioneiramente por Almeida (1981), definindo-a como um arranjo complexo entre cinturões dobrados e antigos terrenos retrabalhados, separados por um sistema de falhas de grande porte (regional) e parcialmente encoberta por províncias sedimentares Fanerozoicas. Resultante da colisão orogénica (~600 Ma.) entre os crátons São Francisco-Congo e Amazónico, a Província Borborema ocupa a porção nordeste do Brasil (Silva Filho et al. 2014). Ela é integrada por rochas do Paleoproterozoico fortemente deformadas e resquícios Arqueanos, justapostos a cinturões metavulcanossedimentares do Neoproterozoico e crosta continental (Toniano a Ediacarano) intrudida por granitos brasilianos (Figura 12).

Figura 12: Encarte tectônico da Província Borborema.



Fonte: Modificado de Santos et al. (2021).

A Província Borborema ocupa uma área de cerca de 440.370 km², coincidindo com a faixa de dobramentos do Nordeste desenvolvida durante o Ciclo Orogenético Brasiliano (Santos et al., 2021; Almeida, 1981). Os seus limites estão definidos a oeste pela Bacia do Parnaíba e ao sul pelo Cráton ou Província do São Francisco, enquanto a Leste e a norte encontram-se, respectivamente, as Províncias sedimentares da Margem Continental Atlântica e Equatorial. Ela se estrutura como um mosaico de terrenos alóctones/exóticos, subdividida pelos seguintes domínios tectônicos: Médio Coreaú, Ceará Central, Jaguaribeano, Rio Piranhas-Seridó, São José do Campestre, Zona Transversal, Pernambuco-Alagoas, Dobramento Sergipano e Riacho do Pontal (Van Schmus et al., 1995, 2011).

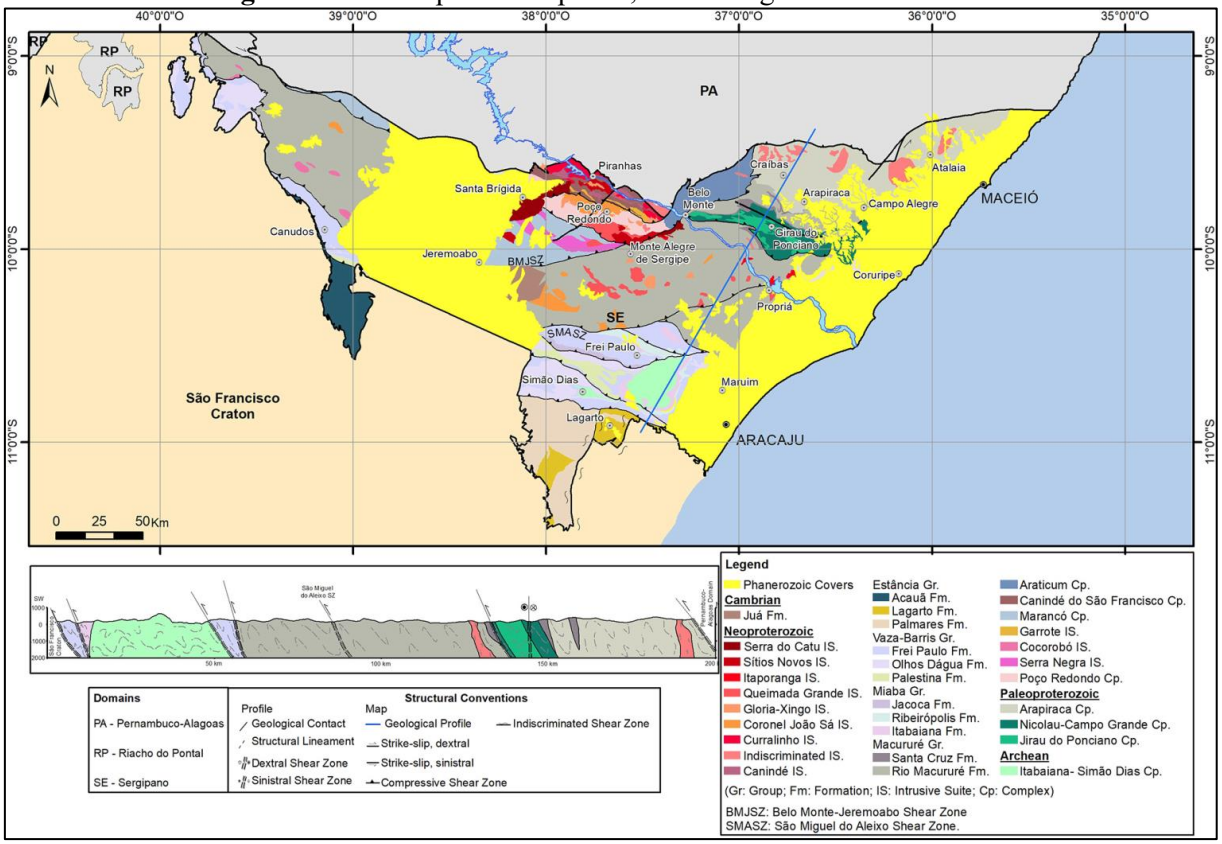
A área de estudo está inserida, sobre o embasamento geológico do Domínio Sergipano, unidade integrante da Província Borborema e caracterizada por expressiva deformação tectônica (Santos et al., 2023). No município de Arapiraca, este domínio está representado pelas formações geológicas do Grupo Macururé (Formações Rio Macururé e Santa Cruz), que predominam no setor sul, com destaque para a bacia hidrográfica do Rio Perucaba. Adicionalmente, o Complexo Arapiraca compõe o arcabouço estrutural que circunda as porções centrais, estendendo-se dos limites nordeste e oeste até o extremo sul da municipalidade. Esse embasamento cristalino encontra-se localmente recoberto por depósitos colúvio-eluviais recentes, bem como por unidades da Bacia Sedimentar Sergipe-Alagoas (Sub-bacia Alagoas), aqui representada pelas coberturas cenozoicas da Formação Barreiras (Figura 13).

O Domínio Sergipano interpretado como uma faixa orogênica de geometria triangular e direção ESE-WNW, limita ao norte pelo Domínio Pernambuco-Alagoas e ao sul pelo Cráton do São Francisco. Sua gênese está associada à colisão entre placas e arcos continentais marginais a esses domínios durante o ciclo Brasiliano/Pan-Africano (Brito Neves et al., 1977; Davidson & Santos, 1989; D'el-Rey, 1995; Schmus et al., 2015; Santana et al., 2024). Com base em dados geológicos, estruturais e geocronológicos, Oliveira (2010) atribui a origem da faixa a um Ciclo de Wilson completo, intrinsecamente vinculado à aglutinação do supercontinente Gondwana Oeste.

Tradicionalmente, a Faixa Sergipana subdivide-se em cinco domínios (ou subdomínios) que apresentam grau de metamorfismo crescente de sul para norte: Estância, Vaza-Barris, Macururé, Marancó-Poço Redondo e Canindé (Oliveira, 2010; Santana et al., 2024). Em uma abordagem mais recente, Oliveira et al. (2023) pormenoriza essa compartimentação ao distinguir cinco subdomínios compostos por sequências metassedimentares ou metavulcanossedimentares neoproterozoicas, com níveis variados de deformação, e três

unidades que representam o embasamento arqueano-paleoproterozoico: o Cráton do São Francisco, ao sul, e os complexos Jirau do Ponciano e Rio Coruripe, ao norte. Estes últimos são atribuídos a fragmentos de escudos cristalinos adjacentes, que se encontram expostos no Domínio Sergipano em decorrência de cavalgamentos neoproterozoicos (Figura 13).

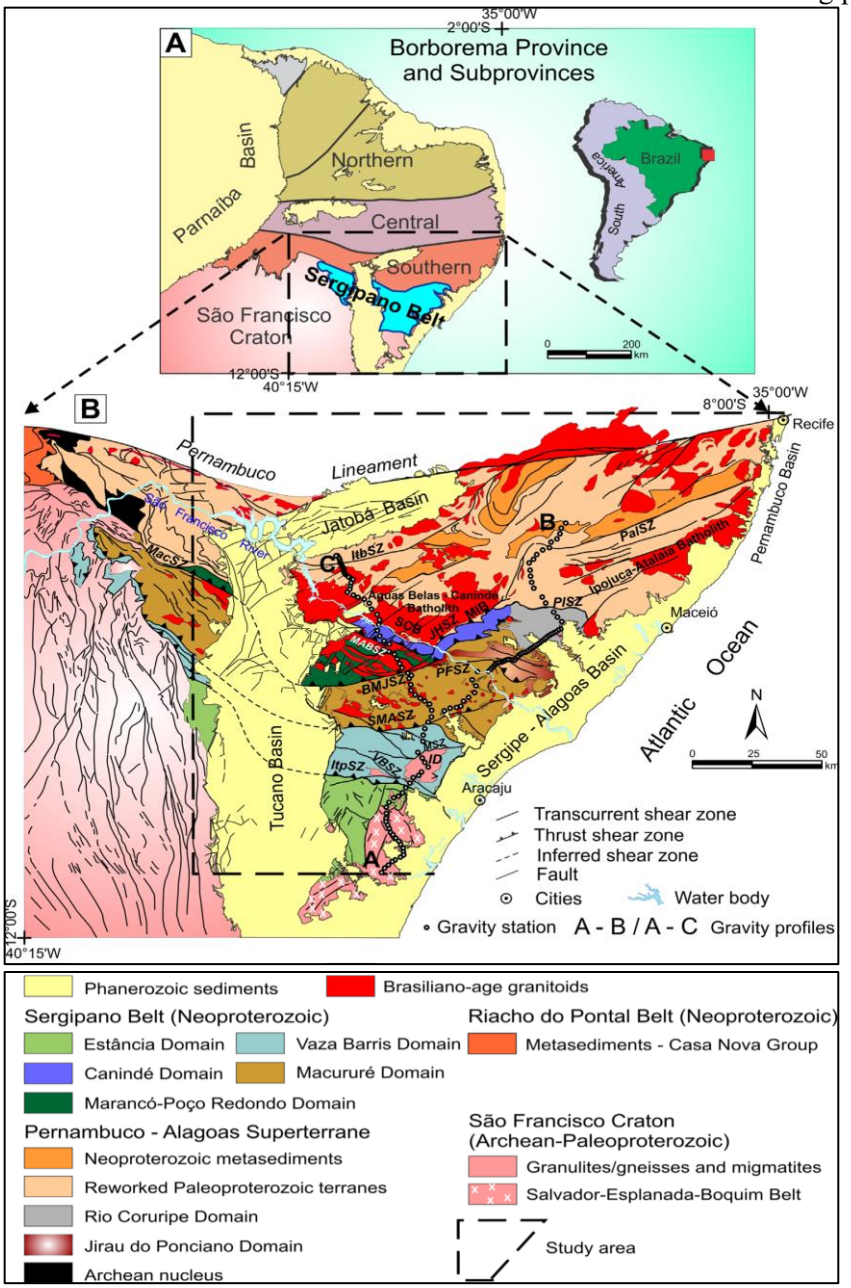
Figura 13: Município de Arapiraca, Contexto geotectônico - 2024.



Fonte: Santana et al. (2024).

Com base na análise de perfis gravimétricos e magnéticos, Oliveira et al. (2023) demonstraram que as rochas dos domínios Jirau do Ponciano (Complexos Nicolau-Campo Grande e Jirau do Ponciano) e Rio Coruripe (Complexo Arapiraca) representam exposições do Domínio Pernambuco-Alagoas (PEAL) inseridas na faixa de deformação do Domínio Sergipano. Embora integrem geologicamente essa zona de deformação neoproterozóica, tais unidades apresentam correlação genética com o PEAL. Todavia, para fins do presente estudo, o subdomínio Rio Coruripe (Complexo Arapiraca) foi mantido como integrante da Faixa Sergipana, respeitando a compartimentação tradicional da área (Figura 14).

Figura 14: Província Borborema e Contexto da Faixa de Dobramentos Sergipana.



Fonte: modificado de Oliveira et al. (2023).

Segundo o modelo geodinâmico de Oliveira et al. (2010, 2023), no início do Neoproterozoico, a margem norte do Cráton do São Francisco encontrava-se distanciada do Domínio Pernambuco-Alagoas a ponto de permitir a formação de crosta oceânica, processo decorrente da fragmentação do supercontinente Rodínia (e não Colúmbia/Paleoproterozoico, conforme a cronologia do evento). Esse cenário foi sucedido, ainda no Mesoproterozoico, pelo desenvolvimento de um arco continental (Poço Redondo/Marancó, 980-950 Ma) composto por

blocos graníticos e sequências sedimentares associadas, posicionado na margem sudoeste do bloco continental do PEAL.

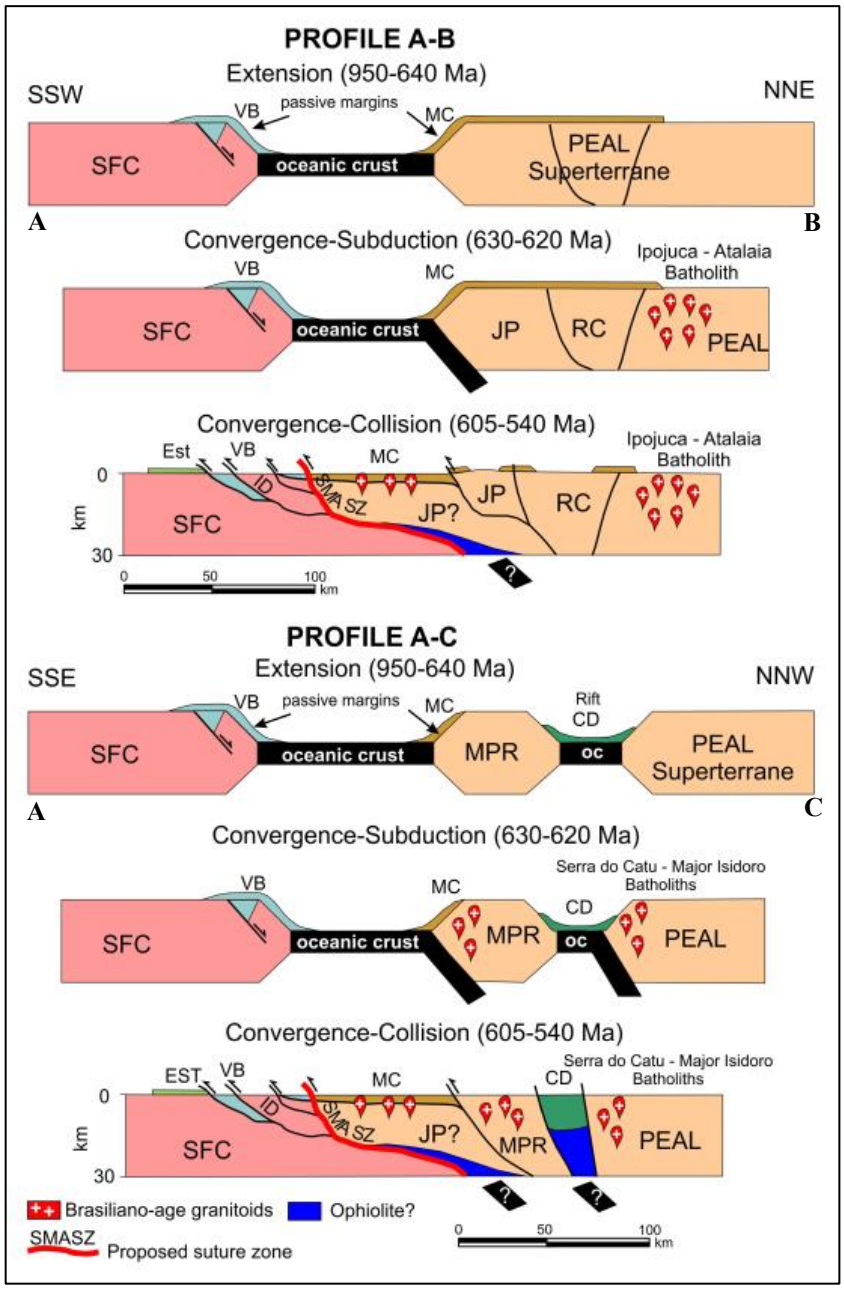
Subsequentemente, ainda na margem sudoeste, a região situada entre o arco continental do subdomínio Poço Redondo/Marancó e o Domínio Pernambuco-Alagoas (PEAL) sofreu novo processo extensional, originando a sequência rift de rochas vulcano-sedimentares do Domínio Canindé. Simultaneamente, na margem passiva sudeste do PEAL, depositaram-se as sequências de quartzitos basais da Formação Santa Cruz e os paragnaisses e metamorfitos da Formação Rio Macururé (Subdomínio Macururé), acompanhados pela deformação dos domínios Macururé e Rio Coruripe e pelo soerguimento do domo/inlier Jirau do Ponciano (Oliveira et al., 2023).

A convergência entre o bloco PEAL e o Cráton do São Francisco promoveu a deformação dos sedimentos de plataforma e a estruturação de um arco magmático continental entre 630 e 620 Ma (Oliveira et al., 2010; 2023). Esse processo, impulsionado pela subducção da crosta oceânica sob o PEAL, resultou na intrusão de corpos graníticos nos subdomínios Poço Redondo-Marancó, Canindé, Macururé e no próprio maciço Pernambuco-Alagoas (Figura 15). Durante a convergência, o PEAL atuou como um anteparo rígido, comprimindo as unidades do Domínio Sergipano contra o Cráton do São Francisco e gerando importantes falhas de cavalgamento com vergentia sul, o que culminou no fechamento do oceano na região (Santos et al., 2021; Oliveira et al., 2023).

No contexto de Arapiraca, as sequências quartzíticas das Formações Santa Cruz e Rio Macururé afloram na bacia hidrográfica do Rio Perucaba (setor da AL-485) e no vale do Rio Piauí. Já nas bacias dos rios Coruripe e Salgado (tributário do Rio Traipu), além do alto curso do Rio Perucaba, predominam as litologias de metassedimentos gnaissificados e migmatizados do Complexo Arapiraca (Subdomínio Rio Coruripe).

A fragmentação do supercontinente Gondwana, iniciada no Mesozoico, impôs ao Nordeste brasileiro uma série de eventos tenciono-magmáticos e a formação de bacias sedimentares intracontinentais e marginais, momento em que a margem leste brasileira assumiu um regime de margem passiva clássica (Matos, 1999). Segundo Morais Neto et al. (2009), a estruturação das margens Equatorial e Leste decorreu de um intenso estiramento crostal, originando, no Neocomiano (145-130 Ma), os sistemas de riftes Recôncavo–Tucano–Jatobá, Sergipe-Alagoas e o Trend Cariri–Potiguar, todos condicionados por zonas de cisalhamento proterozoicas preexistentes (Figura 15).

Figura 15: Evolução tectônica da Faixa de Dobramentos Sergipana proposta por Oliveira (2023). Mesoproterozoico (ca. 1000 Ma.) ao Neoproterozoico (ca. 570 Ma.). As principais zonas de cisalhamento são indicadas pelas suas siglas: MSZ (Zonas de Cisalhamento Marancó.

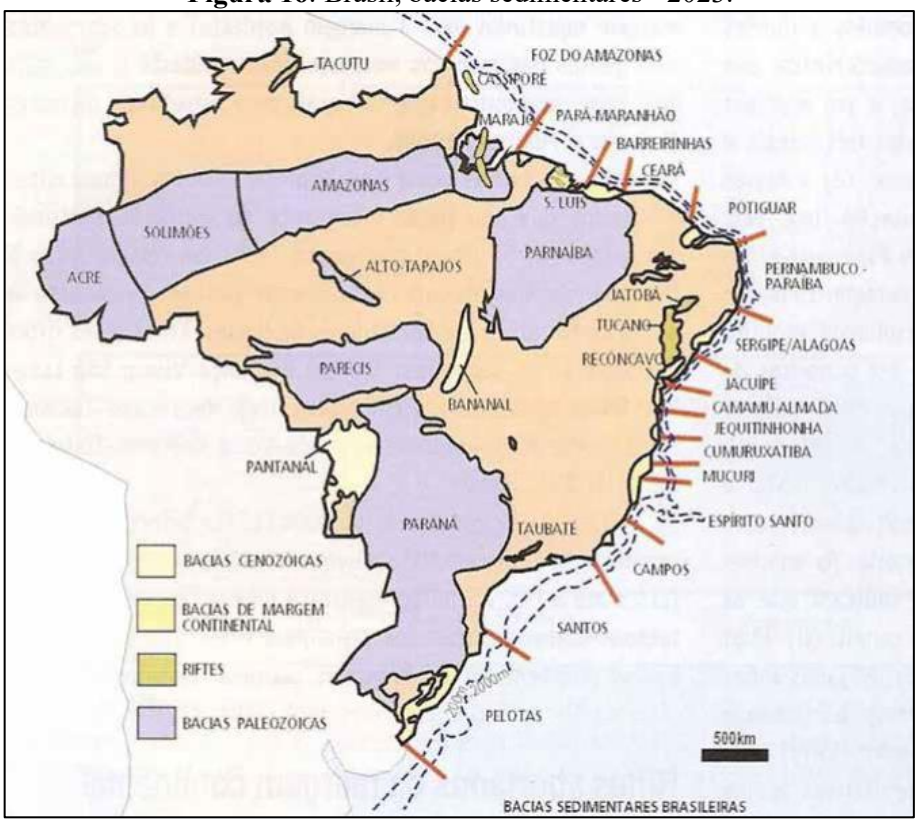


Fonte: Modificado de Oliveira et al. (2023).

A Bacia Sedimentar Sergipe-Alagoas, que recobre parcialmente a área de estudo, situa-se na margem continental nordeste (Figura 16). Originada no estágio rifte (Pré-Aptiano), representa o flanco emerso de um graben alongado na direção NE-SW, com mergulho para SE sob o Oceano Atlântico (Fontes et al., 2017). Conforme Mendes et al. (2017), a bacia é limitada ao norte pelo Alto de Maragogi e ao sul pelo sistema de falhas do Vaza-Barris. Sua arquitetura

compreende 23 sequências deposicionais correlacionadas aos estágios evolutivos que culminaram na abertura do Atlântico Sul (Campos Neto et al., 2007).

Figura 16: Brasil, bacias sedimentares - 2023.



Fonte: Bizzi et al. (2003).

As múltiplas fases do regime extensional na margem continental originaram as sequências deposicionais das províncias sedimentares da costa brasileira, dentre as quais destaca-se a Bacia Sergipe-Alagoas (Sub-bacia Alagoas). Esta unidade compõe por sucessões estratigráficas formadas durante os processos de sinéclise, pré-rifte, rifte e margem passiva (ou drifte) do Mesozoico ao Cenozoico (Campos Neto et al., 2007). Segundo Bezerra et al. (2014, 2017), o caráter diacrônico do processo rifte-drifte foi determinante para a evolução tectono-estratigráfica da margem atlântica, governando os episódios de soerguimento e subsidência que, consequentemente, controlaram a dinâmica erosiva e deposicional regional.

A Bacia Sergipe-Alagoas consolidou-se durante a fase rifte no Eocretáceo, período marcado pelo estiramento crustal, fraturamento e abatimento de blocos (Guazelli; Carvalho, 1981). Essa fase foi responsável pela instalação de vales em rifte e pela estruturação de feições do tipo horst, graben e meio-graben, além de falhas normais, flexuras (linhas de charneira) e estruturas transversais de grande relevância (Asmus, 1982).

Durante o Cenozoico, o soerguimento (uplift) da Província Borborema (Morais Neto et al., 2009; Luz et al., 2015) promoveu o recuo marinho em áreas marginais, favorecendo a deposição em ambientes continentais. Segundo Fontes et al. (2017), o Paleógeno foi caracterizado por um ambiente predominantemente marinho, alternando episódios de transgressão (Rupeliano e Mioceno) e regressão (Chatiano) (Campos Neto et al., 2007). Nesse cenário, as sequências continentais do Grupo Barreiras foram depositadas e, posteriormente, retrabalhadas por processos de erosão fluvial e costeira.

No território de Arapiraca, conforme Mendes & Brito et al. (2017) e Mendes et al. (2017), as coberturas superficiais cenozoicas estão representadas pelos sedimentos do Grupo Barreiras, de idade paleógena, bem como por depósitos colúvio-eluviais e aluvionares mais recentes (Figura 17).

Figura 17: Município de Arapiraca, Unidades Geológicas - 2024.

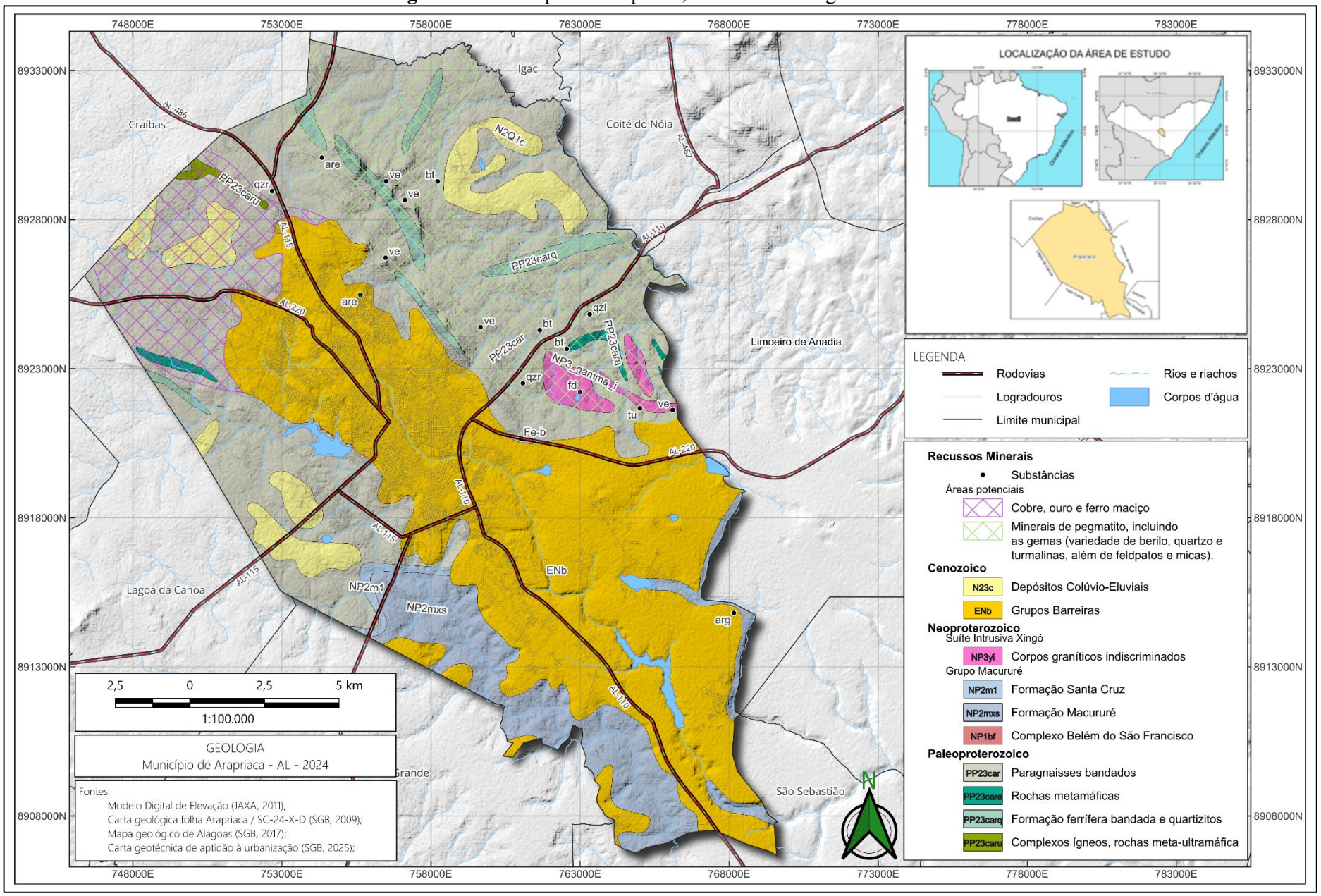
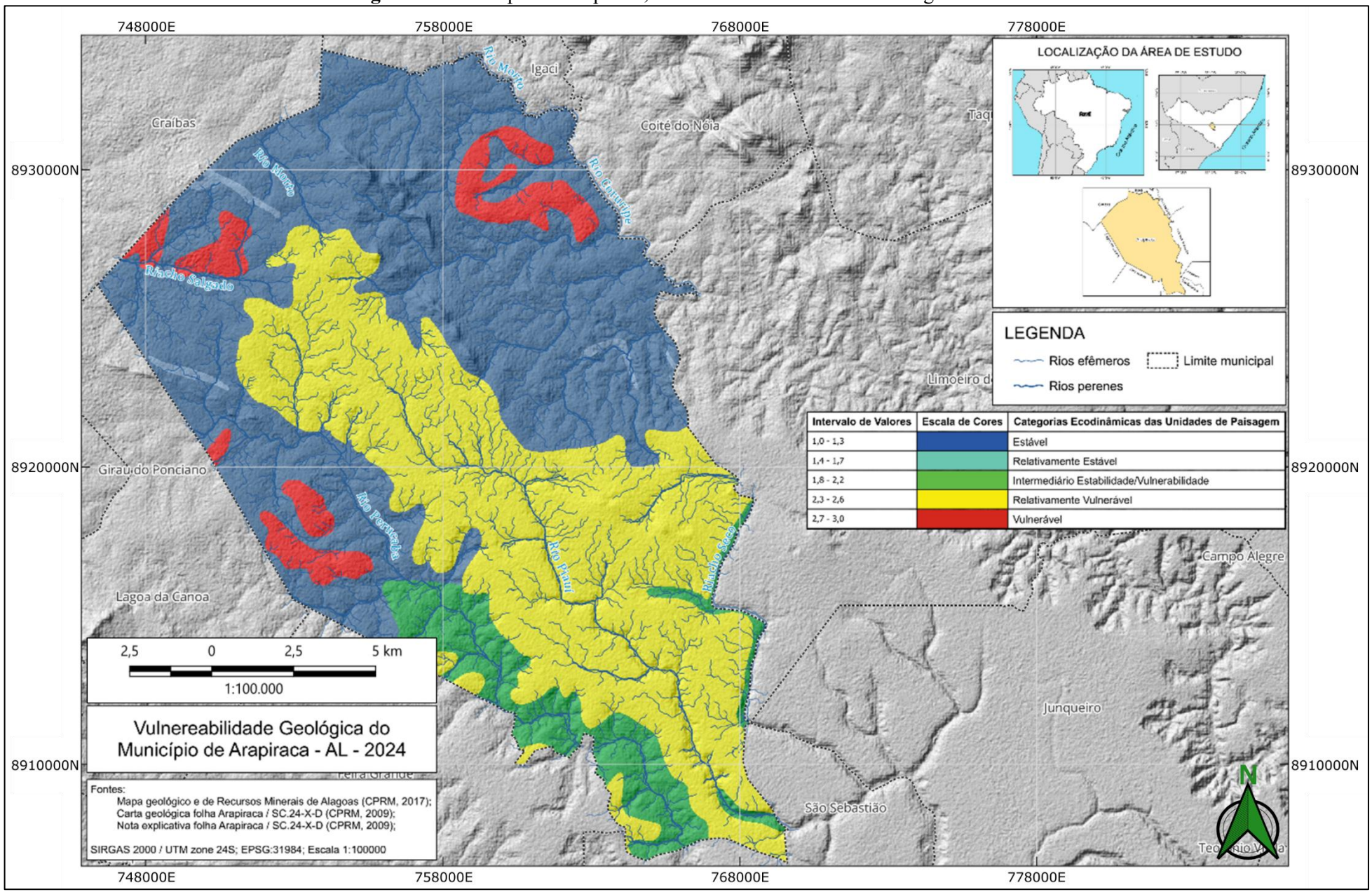


Figura 18: Município de Arapiraca, Níveis de Vulnerabilidade Geológica - 2024.



2.2.1. Aspectos litológicos

A geologia exerce papel central como condicionante ambiental, influenciando diretamente a vulnerabilidade do território, tanto no que tange à pedogênese quanto à disponibilidade de recursos naturais de interesse econômico. A natureza das rochas e dos solos, incluindo porosidade, composição mineralógica e competência estrutural, determina variáveis essenciais como as taxas de infiltração, o risco de erosão acelerada, a suscetibilidade a escorregamentos e o potencial de contaminação de aquíferos. Além disso, as limitações impostas pelo substrato rochoso balizam as possibilidades de uso e ocupação, tanto para fins agrícolas quanto para a expansão urbana.

A história geológica regional é a matriz que define o relevo e a distribuição dos recursos hídricos e minerais. No caso de Arapiraca, a coexistência de formações influenciadas por ciclos geodinâmicos distintos, do Paleoproterozoico ao Cenozoico cria um mosaico litológico heterogêneo. Este ambiente geológico antigo, retrabalhado por múltiplos eventos tectônicos e processos erosivos, resulta em um embasamento de composição complexa, como se verifica no detalhamento dos mapeamentos do Serviço Geológico do Brasil (2017; 2023).

A delimitação destas condicionantes geoambientais permite identificar áreas de fragilidade natural ou resiliência diante das pressões antrópicas e dos eventos climáticos extremos. Desta forma, as principais unidades litoestratigráficas que ocorrem na área de estudo, bem como as suas características composicionais e cronologia, encontram-se sintetizadas no Quadro 13 a seguir:

Quadro 13: Município de Arapiraca, Unidades litológicas - 2025.

Unidade Geológica (Cód.)	Era / Idade	Descrição e Composição Litológica	Registro Fotográfico
Complexo Arapiraca (PP23car)	Paleoproterozoico (2.5 - 1.6 Ga)	Embasamento de alto grau metamórfico (ciclo Transamazônico). Composto por paragnaisses bandados, formações ferríferas, quartzitos e rochas meta-ultramáficas, além de granitos e tonalitos metamorfizados. Circunda o núcleo urbano.	

Complexo Arapiraca (PP23car-q)	Paleoproterozoico (2.5 - 1.6 Ga)	Composição predominantemente química e siliciclástica: mármores dolomíticos, rochas calcissilicáticas e quartzitos. Estrutura o relevo de cristas e serras (Mangabeira, Corcunda e Serrote).	
Complexo Arapiraca (PP23car-a)	Paleoproterozoico (2.5 - 1.6 Ga)	Fácies máfica composta por intercalações de rochas ferro-magnesianas ricas em olivinas, piroxênios e anfibólios.	
Complexo Arapiraca (PP23car-u)	Paleoproterozoico (2.5 - 1.6 Ga)	Complexos ígneos de série básico-ultrabásica (gabros e anortositos). Apresentam alta coesão mecânica, porém baixa resistência ao intemperismo químico.	
Formação Santa Cruz (NP2m 1)	Neoproterozoico (1.0 Ga - 538 Ma)	Unidade do Grupo Macururé composta predominantemente por quartzitos puros, bandados, arcoseanos ou micáceos.	-
Formação Macururé (NP2mxs)	Neoproterozoico (1.0 Ga - 538 Ma)	Metarritmitos e xistos (granada-biotita-muscovita xistos), com presença local de silimanita e cianita. Inclui intercalações de quartzitos e leucogranitoides.	-
Suíte Intrusiva Xingó (NP3_gama_i)	Neoproterozoico (Brasiliano)	Corpos graníticos indiscriminados (monzogranitos a tonalitos). Ocorre na porção sudeste de Arapiraca (AL-110). Rochas equigranulares finas a médias.	

Grupo Barreiras (ENb)	Cenozoico (Paleógeno)	Depósitos sedimentares clásticos: arenitos argilosos a conglomeráticos e argilitos. Sustenta a maior parte da área urbana consolidada e as porções centro-sul do município.	
Depósitos Colúvio-Eluviais (N23c)	Cenozoico (Neógeno-Quaternário)	Materiais detríticos inconsolidados de granulometria variada. Acumulam-se em áreas de maior espessura de solo, associados ao retrabalhamento dos quartzitos.	

Fonte: MENDES et al. (2009) e Oliveira Filho et al. (2025).

2.2.2. Recursos minerais

Nos anos de 2014 e 2017, o Serviço Geológico do Brasil (SGB), outrora denominado Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), executou uma série de levantamentos geológicos no estado de Alagoas. Tais estudos descreveram a composição litológica do embasamento e as estruturas tectônicas que balizam o território alagoano, realizando, concomitantemente, prospecções dos recursos minerais associados a estas unidades (Figura 17).

Com base no mapeamento geológico e de recursos minerais de Arapiraca, identificam-se diversas áreas de potencial exploratório inseridas em distintos domínios geológicos, distribuídas majoritariamente no entorno do núcleo urbano.

O Complexo Arapiraca (Paleoproterozoico) associa-se a paragnaisses bandados, formações ferríferas, quartzitos e complexos ígneos. Estas litologias apresentam potencial para a ocorrência de minerais metálicos, como ferro e, acessoriamente, traços de cobre e ouro, além de corpos pegmatíticos. Estes últimos são fontes potenciais de gemas e minerais industriais fundamentais para o setor de construção civil e áreas correlatas.

Adicionalmente, no contexto Neoproterozoico e Cenozoico, ocorrem depósitos sedimentares recentes, como as coberturas colúvio-eluviais e as sequências do Grupo Barreiras. Estes depósitos destacam-se pelo potencial para minerais industriais, abrigando concentrações

de argilas, areias e cascalhos resultantes do intemperismo de rochas primárias e subsequente enriquecimento seletivo.

Quanto à distribuição litológica na área municipal de Arapiraca (considerando o perímetro densamente edificado), observa-se a seguinte compartimentação:

- 55% a 60% da área urbanizada sobrepõe-se a unidades deposicionais cenozoicas (Grupo Barreiras e colúvio-eluviões), favoráveis à exploração de minerais industriais devido aos processos de sedimentação e intemperismo recentes.

- 20% a 25% do tecido urbano incide sobre zonas do Complexo Arapiraca, com potencial para metálicos e pegmatitos que podem abrigar gemas como berilo, quartzo e turmalina, ocorrendo geralmente em bordas ou extensões periféricas.

- 15% a 20% restantes associam-se a zonas de transição ou corpos intrusivos menores, como a Suíte Intrusiva Xingó, com potencial para gemas e minerais de maior valor agregado.

Essa heterogeneidade reflete a complexa evolução geodinâmica regional, onde a reativação do embasamento paleoproterozoico e os eventos posteriores de sedimentação propiciaram ocorrências de vermiculita, quartzo (rosa e leitoso), formações ferríferas e agregados para construção civil (areia e brita). Tais materiais possuem relevância estratégica para a indústria, agricultura e remediação ambiental.

Vermiculita

A vermiculita ocorre de forma concentrada em Arapiraca, especificamente nas proximidades das Serras da Mangabeira e Corcunda, onde o SGB (2017) registrou a existência de atividades de garimpo (Figura 19).

Figura 19: Vermiculita em natura (a), vermiculita para uso agrícola (b).

Fonte: a) geologyscience.com, b) Google imagens.

Segundo Navarro et al. (2017), a vermiculita é um filossilicato originado pela alteração hidrotermal ou intemperismo químico de minerais primários ferro-magnesianos, como flogopita e biotita. De acordo com França et al. (2016), sua forma expandida (esfoliada) apresenta baixa densidade, elevado isolamento térmico e acústico, além de alta capacidade de absorção de líquidos. Tais propriedades difundem seu uso na construção civil (materiais isolantes), agricultura (condicionadores de solo) e no tratamento de efluentes (Guillermo, 2017; Siqueira, 2021).

Feldspato

Conforme Mendes et al. (2017), a ocorrência de feldspato verifica-se entre as rodovias AL-110 e AL-220 (setor oeste), próximo ao bairro Canafístula, associada aos corpos graníticos da Suíte Intrusiva Xingó (Figura 20).

Figura 20: Vista panorâmica de morros baixos em corpos graníticos em Arapiraca-AL.

Fonte: Autor (2024).

Os minerais feldspáticos perfazem cerca de 60% da crosta terrestre e são onipresentes em diversos ambientes petrogenéticos (Navarro et al., 2017). Quimicamente, dividem-se em feldspatos potássicos, sódico-cálcicos (plagioclásios) e de bário. O feldspato potássico é amplamente empregado na fabricação de porcelanatos, vidros e adubos, enquanto variedades mais puras são utilizadas como pedras ornamentais e gemas.

Ferro bandado

O mapeamento da CPRM (2014, 2017) indica ocorrências de Formações Ferríferas Bandadas (Fe-b) nas proximidades de Canafístula (AL-220), em uma zona de contato entre o Grupo Barreiras e o Complexo Arapiraca. O ferro ocorre na forma de óxidos (magnetita e hematita) disseminados em gnaisses do Complexo Arapiraca.

Estas formações são as principais fontes mundiais de minério de ferro para a siderurgia (Bekker et al., 2010). Além do valor econômico, as BIFs são objetos de estudo cruciais para a compreensão da evolução atmosférica e oceânica da Terra, refletindo eventos como o Grande Evento de Oxidação (GOE) há 2,4 bilhões de anos (Santosh, 2010).

Areias e Brita (agregados)

Mendes et al. (2017) destacam depósitos de areia associados a aluviões fluviais e aos arenitos do Grupo Barreiras, enquanto a brita é obtida do britamento de rochas duras (granitos e gnaisses) do Complexo Arapiraca (Figura 21).

Figura 21: Tipologia de agregados e suas utilizações.

Areia Artificial e Areia Natural	Assentamento de bloquetes, tubulações em geral, tanques, embolso, podendo entrar na composição de concreto e asfalto.
Pedrisco	Confecção de pavimentação asfáltica, lajotas, bloquetes, intertravados, lajes, jateamento de túneis e acabamentos em geral.
Brita 1	Intensivamente na fabricação de concreto, com inúmeras aplicações, como na construção de pontes, edificações e grandes lajes
Brita 2	Fabricação de concreto que exija maior resistência, principalmente em formas pesadas
Brita 3	Também denominada pedra de lastro utilizada nas ferrovias.
Brita 4	Produto destinado a obras de drenagem, como drenos sépticos e fossas.
Rachão, pedra de mão ou pedra marroada	Fabricação de gabiões, muros de contenção e bases.
Brita graduada	Em base e sub-base, pisos, pátios, galpões e estradas.

Fonte: Serna e Rezende (2009)

O consumo de agregados é um indicador do desenvolvimento econômico e planejamento urbano (Serna; Rezende, 2009). Por possuírem baixo valor unitário e alto custo de transporte, a proximidade entre as fontes de extração e os centros de consumo em Arapiraca é um diferencial competitivo estratégico para a infraestrutura local.

Quartzo

As ocorrências de quartzo estão vinculadas a províncias pegmatíticas e fluidos hidrotermais em zonas de fratura no domínio do Rio Coruripe (Mendes et al., 2017). Identificam-se depósitos de quartzo rosa (setores leste e noroeste) e quartzo leitoso. O quartzo,

constituindo cerca de 12% da crosta, possui aplicações que variam da construção civil à alta tecnologia, dependendo de sua pureza e características cristalográficas (Figura 16).

Tabela 16: Aplicações dos produtos de quartzo nas indústrias.

Setor da Indústria / Produto da Indústria	Automobilística	Bélica	Computação	Const. Civil	Elétrica	Eletrodoméstica	Eletrônica
Osciladores		x	x			x	x
Filtros		x					x
Sensores	x	x					
Transdutores	x	x					x
Tubos de sílica					x		
Fibra ótica	x						
Tubos para difusão							x
Vidraria especial	x						x
Bulbos					x		
Ampolas					x		
Lã de Sílica		x					
Aços especiais	x	x		x			
Transistores	x					x	x

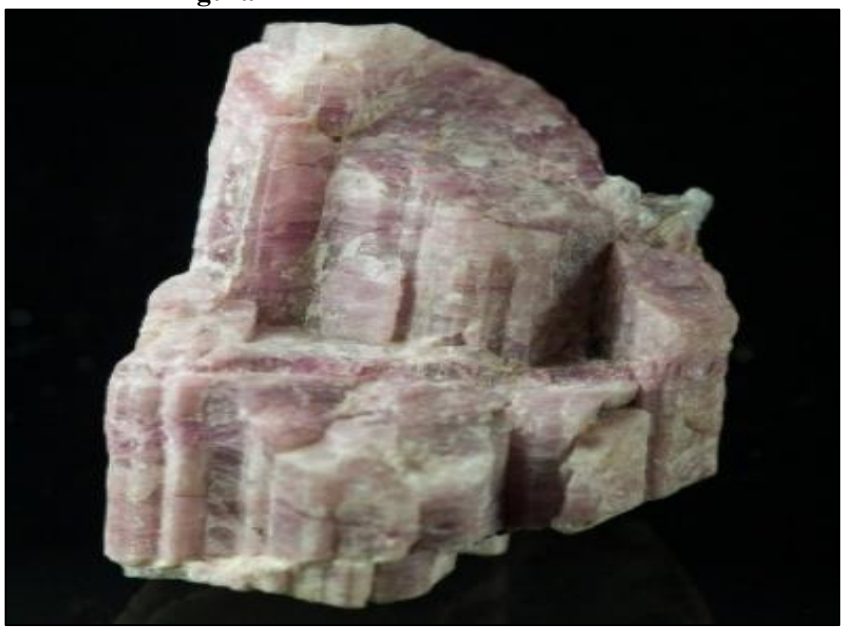
Fonte: adaptado de Luz e Braz (2000)

De acordo com Luz e Bras (2000), o emprego do quartzo na indústria depende de sua tipologia e grau de impurezas concentradas em sua composição, assim como pelos defeitos em sua composição e outras características que podem ser tomadas como padrão para cada seguimento produtivo.

Turmalina bicolor

A turmalina bicolor (ou melânica) é um ciclossilicato comum em ambientes metamórficos e pegmatíticos. Em Arapiraca, os depósitos associam-se ao contato entre corpos graníticos neoproterozoicos e o Complexo Arapiraca, especialmente na bacia do Rio Coruripe (Figura 22). Segundo Leme (2017), a variedade encontrada na região destina-se primordialmente à joalheria (gemas), embora o grupo das turmalinas possua aplicações em cosméticos e eletrônicos, devido às suas propriedades piroelétricas.

Figura 22: Turmalina bicolor ou melânica.



Fonte: Instituto de Geociência USP.

2.3. DOMÍNIOS AMBIENTAIS DA PAISAGEM GEOMORFOLÓGICA

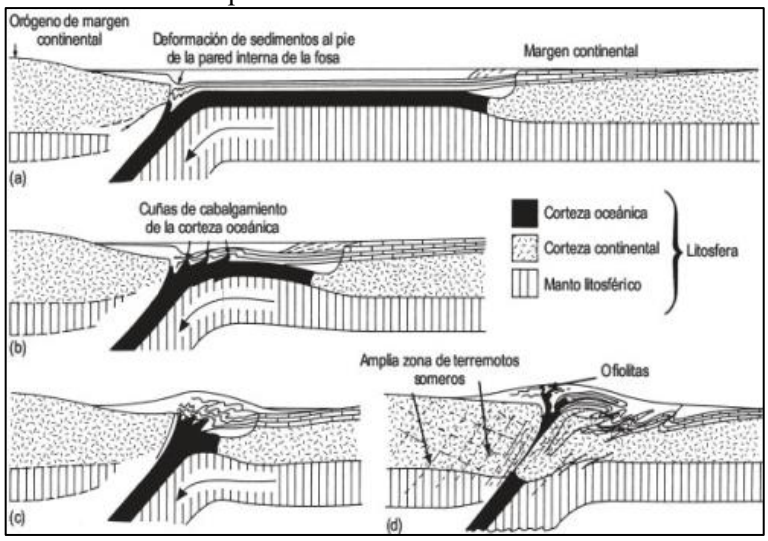
O município de Arapiraca apresenta um substrato geológico complexo, estruturado por rochas de distinta natureza petrogenética, resultantes dos variados processos geotectônicos que afetaram a região ao longo do tempo geológico. A interação entre esses sistemas tectônicos e as flutuações paleoclimáticas contribuiu decisivamente para a atual configuração do embasamento, a modelagem do relevo e o controle dos processos geodinâmicos locais.

A área de estudo situa-se no setor nordeste do Domínio Sergipano, composto por litologias de idade paleoproterozoica a neoproterozoica, inicialmente deformadas pelo regime compressivo associado à colisão continente-continente durante a Orogenia Brasiliana, evento responsável pela consolidação do supercontinente Gondwana Ocidental (Brito Neves et al., 1977; Davison, 1989; D'el-Rey, 1995; Mendes & Brito, 2017; Oliveira et al., 2023).

Com base no modelo evolutivo proposto por Oliveira (2010, 2012) e Oliveira et al. (2023), a região vivenciou um Ciclo de Wilson completo que se iniciou com a subducção de crosta oceânica, gerando intrusões ígneas no Terreno Pernambuco-Alagoas e nos domínios Rio Coruripe e Macururé, cujas expressões superficiais em Arapiraca manifestam-se como morros baixos no setor nordeste (Figura 24). Seguiu-se o fechamento do paleoceano e a subsequente colisão intercontinental que, de acordo com Hugget (2008) são responsáveis pela formação de orogêneses colisionais, onde grandes falhas de empurrão (*thrusts*) e nappes (mantos de carreamento) são direcionados para a placa convergente à medida que a crosta em uma zona

colisional se espessa por deformação dúctil e por subplacamento (*underplating*) com magmas máficos (Elorza, 2008; Condie, 2003); (Figura 23).

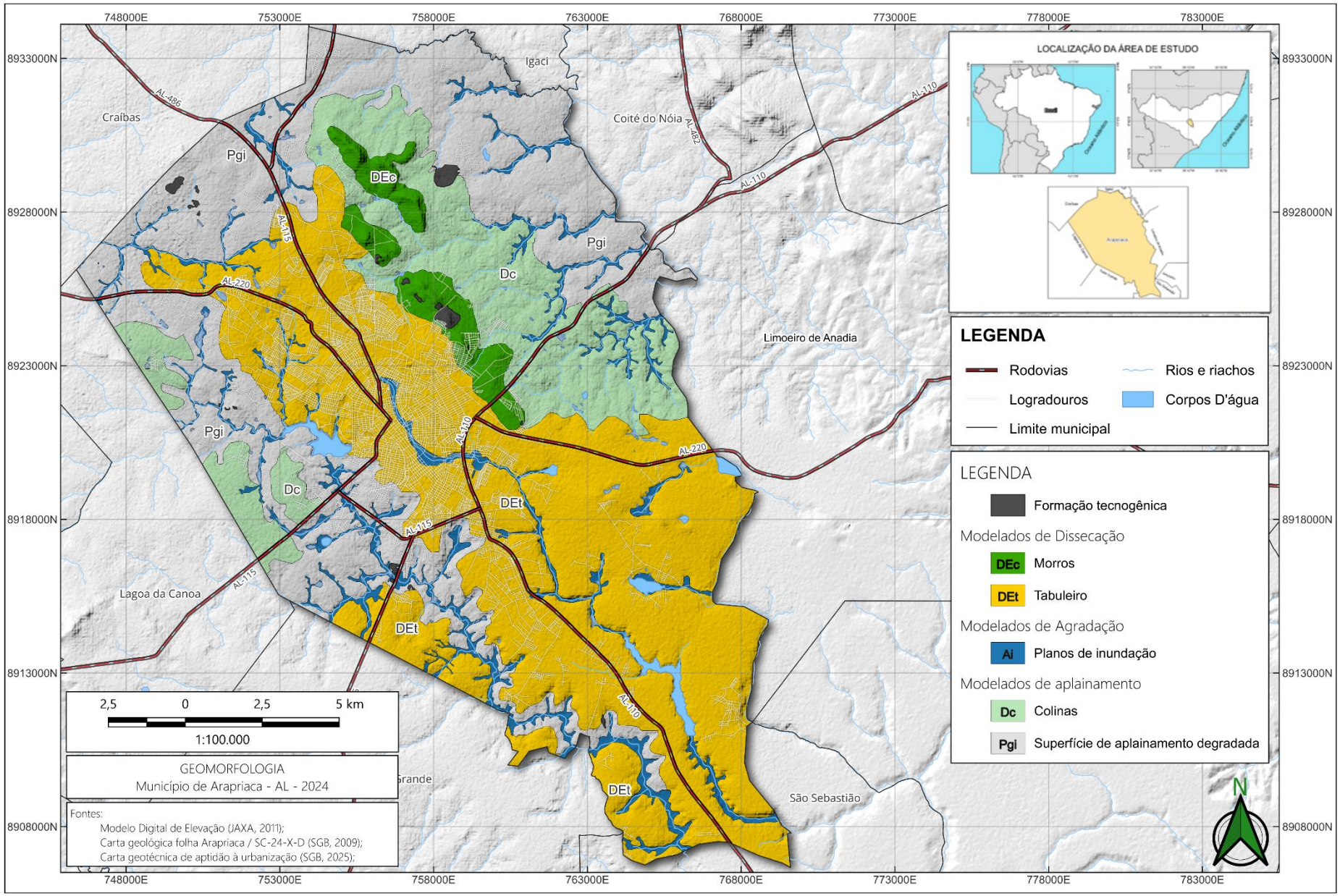
Figura 23: Modelo de sequência de eventos em colisão continente-continente.



Fonte: Condie (2003).

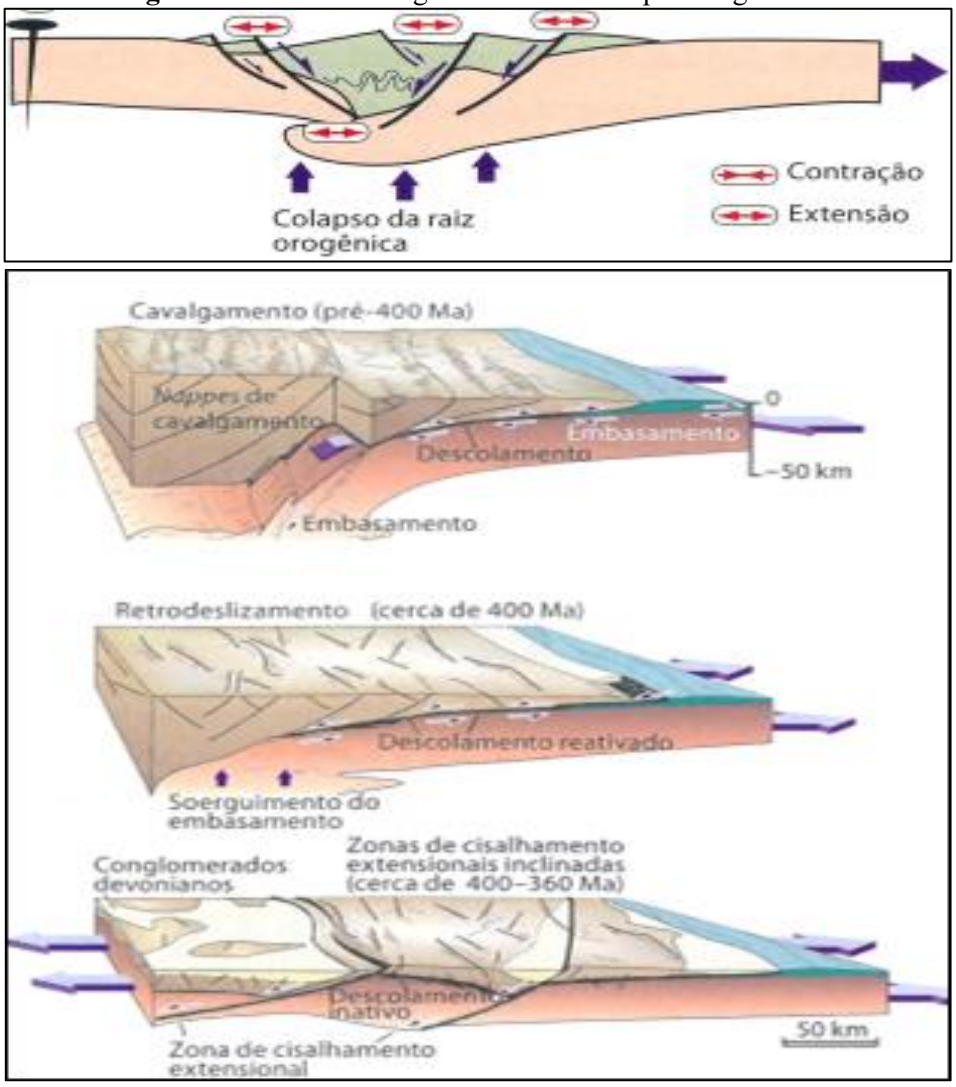
A fase orogênica foi sucedida por um soerguimento (uplift) magmático, no qual a crosta da Província Borborema foi submetida a estiramento e falhamento. As estruturas precambrianas herdadas passaram a ser controladas por novos arranjos tectônicos instalados durante o processo de rifteamento mesozoico, incluindo a formação de grabens, horsts e vales de rifte sob regimes transtracionais e transtensionais (Bezerra et al., 2014; Fontes et al., 2017). Este processo culminou na ruptura definitiva entre os escudos sul-americano e africano no Eocretáceo (Bezerra et al., 2001).

Figura 24: Município de Arapiraca, Geomorfologia - 2024.



Um dos modos de deformação extensional identificados na margem leste da Província Borborema refere-se à formação de zonas de cisalhamento que seccionam toda a crosta com mergulho em direção ao hinterland ("além-país"). Tais estruturas podem originar-se após o soerguimento crustal e a rotação dos cavalgamentos orogênicos prévios (Fossen, 2012; (Figura 25).

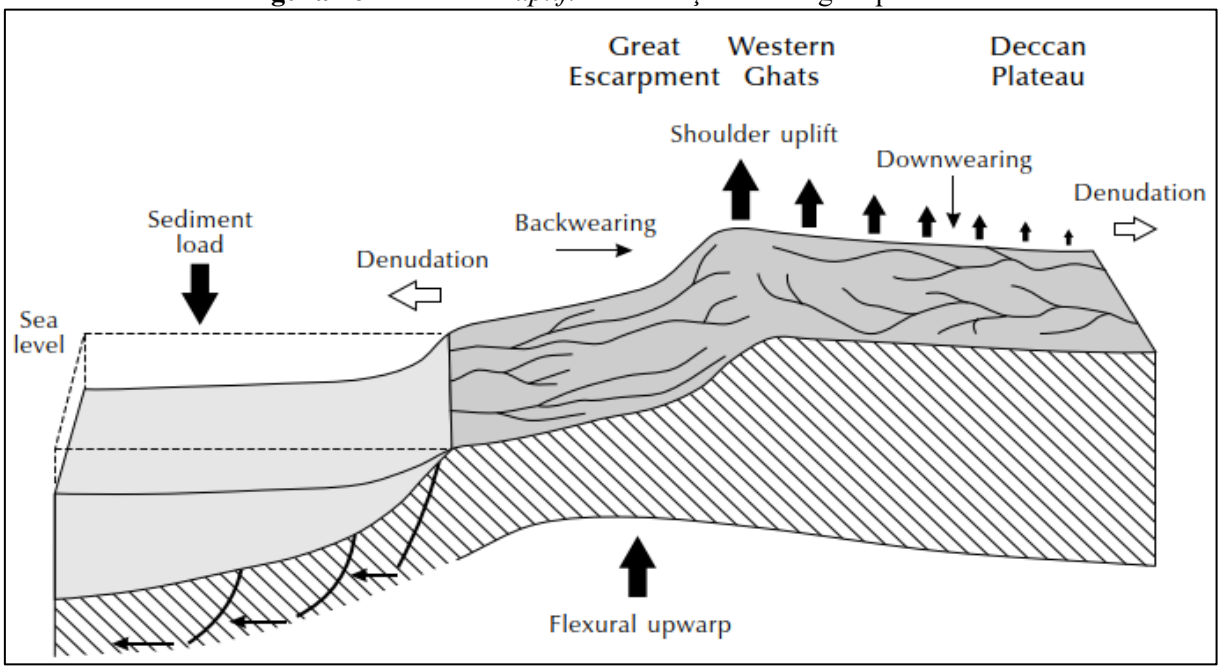
Figura 25: Modelo de regimes extensionais pós-orogenênica



Fonte: Adaptado de Fossen (2012).

A partir de então, a região assumiu um contexto de superfície cratônica estável, típica de margens continentais passivas. Embora o embasamento pré-cambriano permaneça majoritariamente inafetado por novas forças orogênicas, ele está sujeito a processos de epirogênese (Figura 26), que em escala regional resultam na formação de bacias, planaltos intumescidos, vales de rifte e vulcanismo intracontinental (Huggett, 2008).

Figura 26: Modelo de *uplift* e denudação de margem passiva.



Fonte: Adaptado de Huggett (2008).

De acordo com Morais Neto (1999), eventos epirogenéticos significativos ocorreram na Província Borborema a partir do Cretáceo. Dados de Traços de Fissão em Apatita (AFT) sugerem dois períodos principais de resfriamento e exumação: entre 100-90 Ma e 20-0 Ma. A atividade ígnea meso-cenozoica foi regulada pelas etapas de evolução do Atlântico, com pulsos magmáticos correlacionados às fases de rifteamento e deriva continental (Mizusaki et al., 2002).

Estudos de Turner et al. (2008) em margens conjugadas (Brasil e África) reforçam a ocorrência de episódios de exumação quilométrica muito posteriores à ruptura continental, evidenciando instabilidade tectônica e rejuvenescimento do relevo ao longo do Cenozoico. Oliveira (2008) sugere que o mecanismo causador desse magmatismo e soerguimento cenozoico seria a Convecção Induzida por Borda (Edge-Driven Convection – EDC), que gerou empuxo na crosta continental enquanto o Planalto da Borborema sofria aplainamento.

Em síntese, os eventos epirogênicos cenozoicos, aliados aos ciclos erosivos governados por flutuações climáticas e oscilações do nível do mar (Ab'Sáber, 1969; Campos Neto et al., 2007), configuraram o relevo atual de Arapiraca. O soerguimento do embasamento potencializou, por retroalimentação, as taxas de denudação, resultando na dissecação do Domínio Sergipano e na deposição de coberturas sedimentares. Esse dinamismo reflete-se na coexistência de superfícies de aplainamento sobre os metamorfitos do Complexo Arapiraca e Formação Macururé, pontuadas por relevos residuais (cristas, inselbergs e serras baixas) em

núcleos de quartzitos e granitoides, e, no setor centro-leste, pela erosão progressiva do capeamento sedimentar paleógeno.

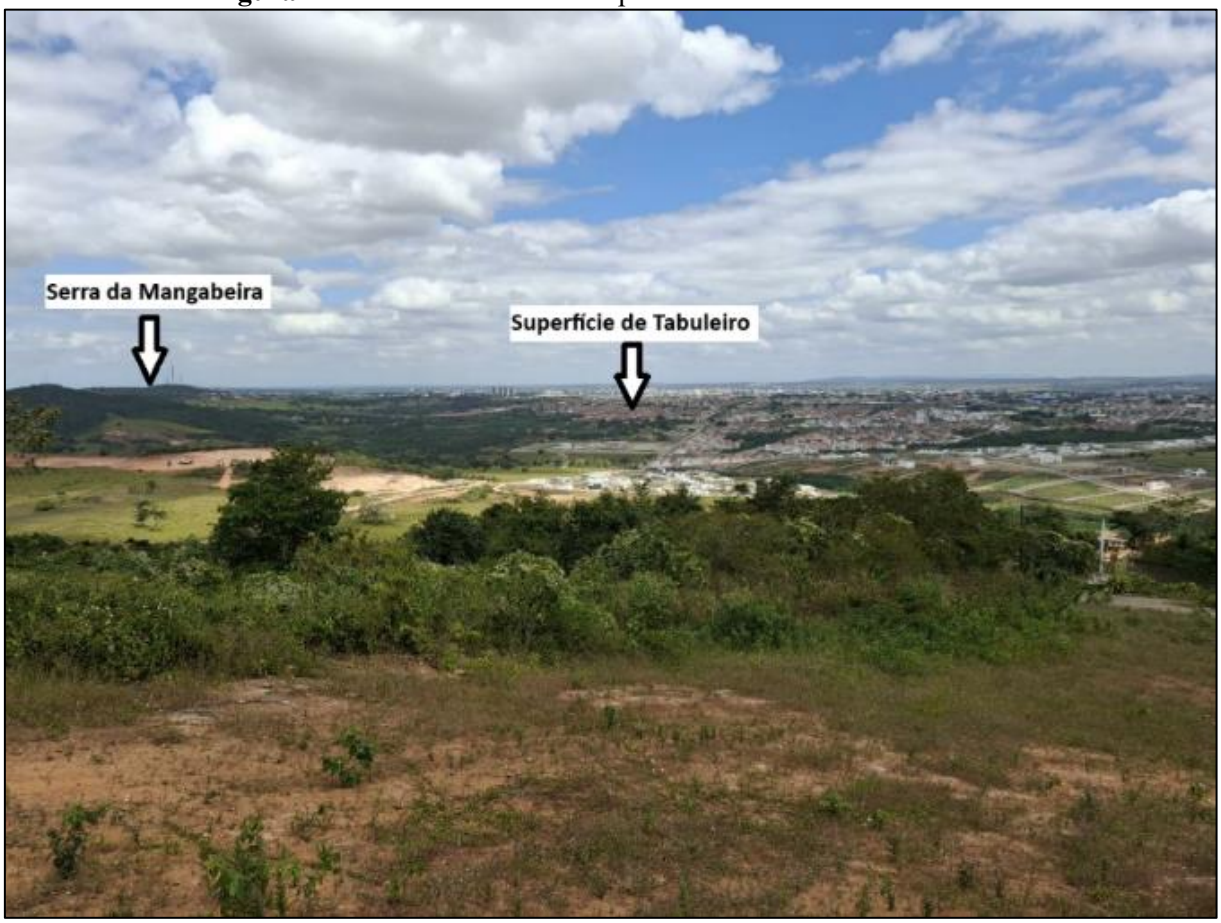
2.3.1. Planalto sedimentar costeiro

Esta unidade é definida como uma superfície tabular ligeiramente inclinada em direção ao litoral, resultante da acumulação de sedimentos flúvio-aluviais sobre o embasamento cristalino em um regime tectônico de margem passiva. De acordo com Ferreira et al. (2016), no estado de Alagoas, estas formas são subdivididas em duas tipologias funcionais, definidas pelo grau de dissecação a que foram submetidas: Tabuleiros Conservados e Tabuleiros Dissecados.

Estas formas de relevo estão estritamente associadas à litologia do Grupo Barreiras (Enb), constituído predominantemente por areias, argilas e cascalhos que exibem colorações avermelhadas ou amareladas, típicas de processos de pedogênese e laterização. Por tratar-se de um material sedimentar poroso e de baixa coesão, apresenta excelente escavabilidade para obras civis. Morfodinamicamente, seus topos planos possuem baixa suscetibilidade a processos erosivos; contudo, as áreas de borda e as rupturas de declive nas encostas apresentam alta vulnerabilidade (Ferreira et al., 2016), especialmente sob condições de remoção da cobertura vegetal e concentração do escoamento superficial.

Os Tabuleiros Conservados, predominam na porção sul de Alagoas e caracterizam-se por amplos interflúvios tabulares de topos planos, onde o longo processo de pedogênese resultou na formação de solos profundos e bem drenados (Ferreira et al.,2016). Em Arapiraca, esses relevos concentram-se no setor centro-leste do município, sendo dissecados em suas bordas pela dinâmica fluvial do Rio Piauí (centro-leste), do Rio Coruripe (norte) e do Rio Perucaba (sul) (Figura 27).

Figura 27: Visão da cidade de Arapiraca sobre relevo de Tabuleiro.



Fonte: Autor (2025).

Os vales entalhados sobre a cobertura sedimentar na bacia do Rio Piauí apresentam amplitude altimétrica em torno de 10 a 20 metros, com a incisão sobre o embasamento tornando-se mais pronunciada à medida que a drenagem avança em direção à zona rural. Suas vertentes, onde a dinâmica erosiva é mais intensa, exibem declividades que variam de onduladas a fortemente onduladas (8% a 45%), oscilando conforme a proximidade com o setor rural do município.

No setor sul Do município, na margem oeste do Rio Perucaba, os tabuleiros exibem topos de menor extensão e vales mais amplos em formato de "U". Nestes trechos, as vertentes são mais longas e possuem declividades suavizadas (8% a 20%), apresentando rupturas de declive localizadas, ocorrência de pedimentos em suas bases e, eventualmente, afloramentos do embasamento cristalino (Figura 28), denotando um estágio mais avançado de exumação do arcabouço geológico subjacente.

Figura 28: Área de tabuleiro na bacia do Rio Perucaba

Fonte: Autor (2025).

A compreensão da configuração espacial e do comportamento morfológico desta unidade está subsidiada pelos produtos cartográficos apresentados a seguir, que compreendem o Mapa Geomorfológico (Figura 24), o Mapa de Declividade (Figura 29) e o Mapa Hipsométrico de Arapiraca (Figura 30). Este conjunto de mapas permite correlacionar a altimetria, a inclinação das vertentes e a compartimentação das formas de relevo no território municipal.

Figura 29: Município de Arapiraca, Declividade – 2024.

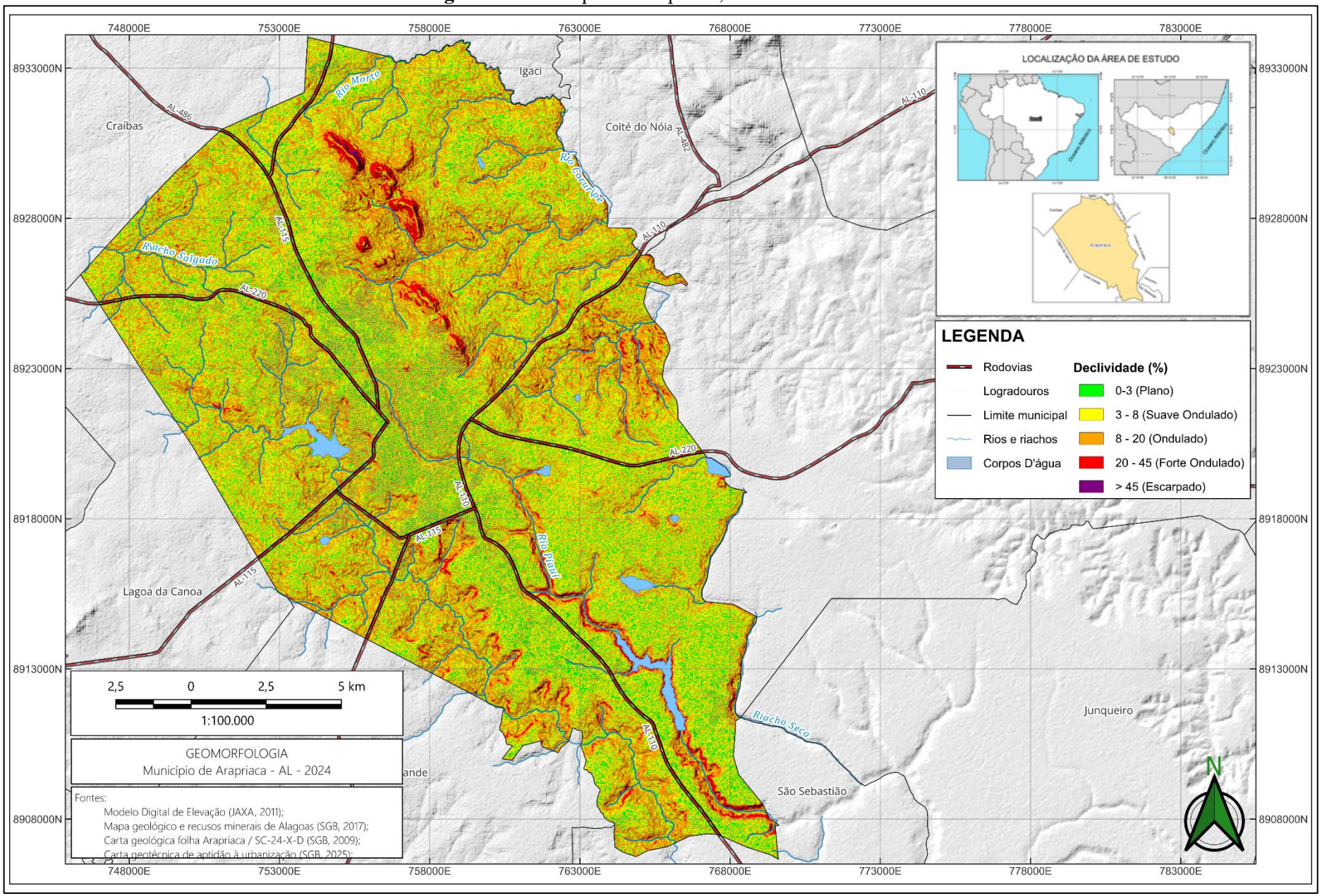


Figura 30: Município de Arapiraca, Hipsometria - 2024.

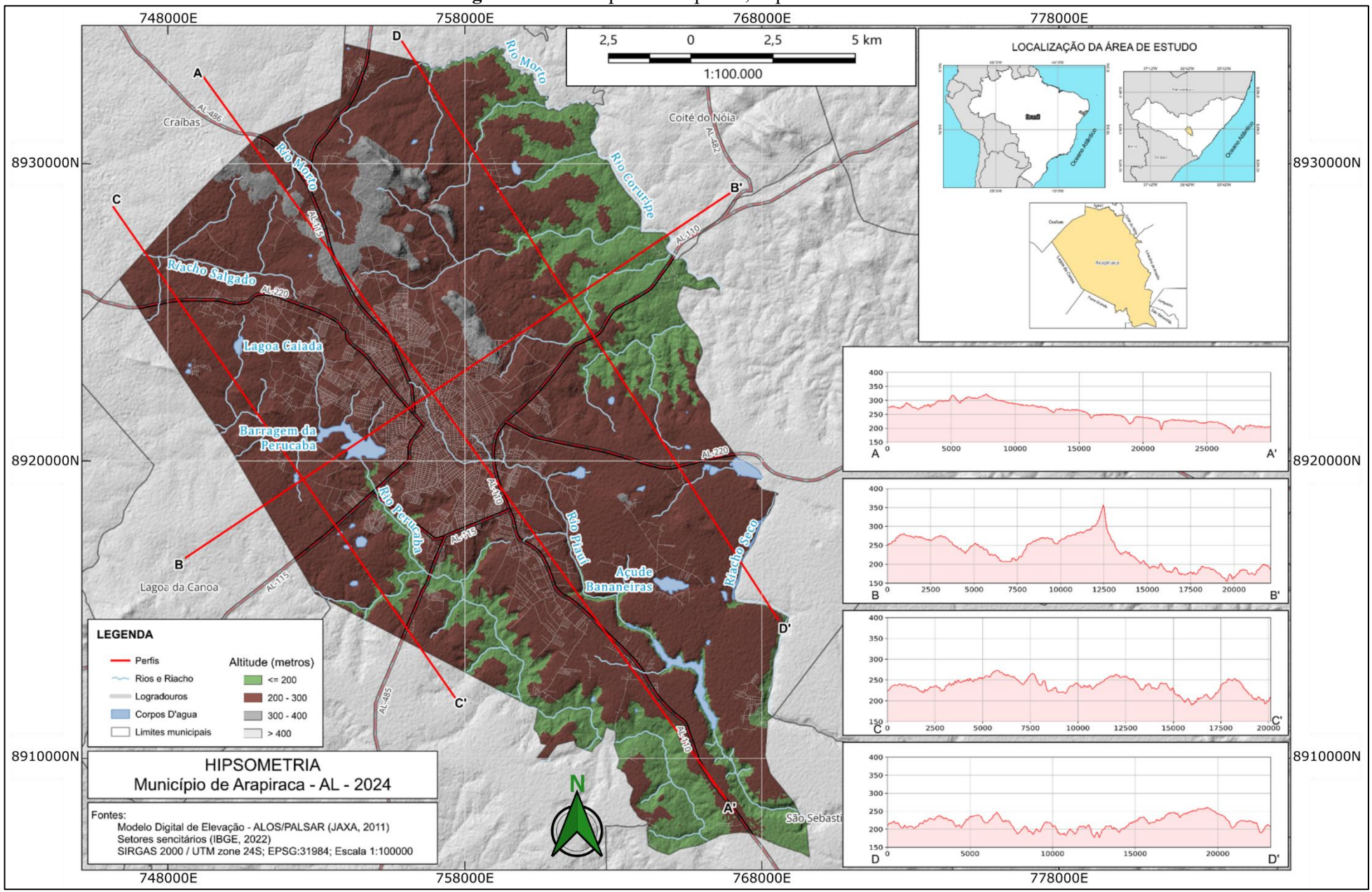
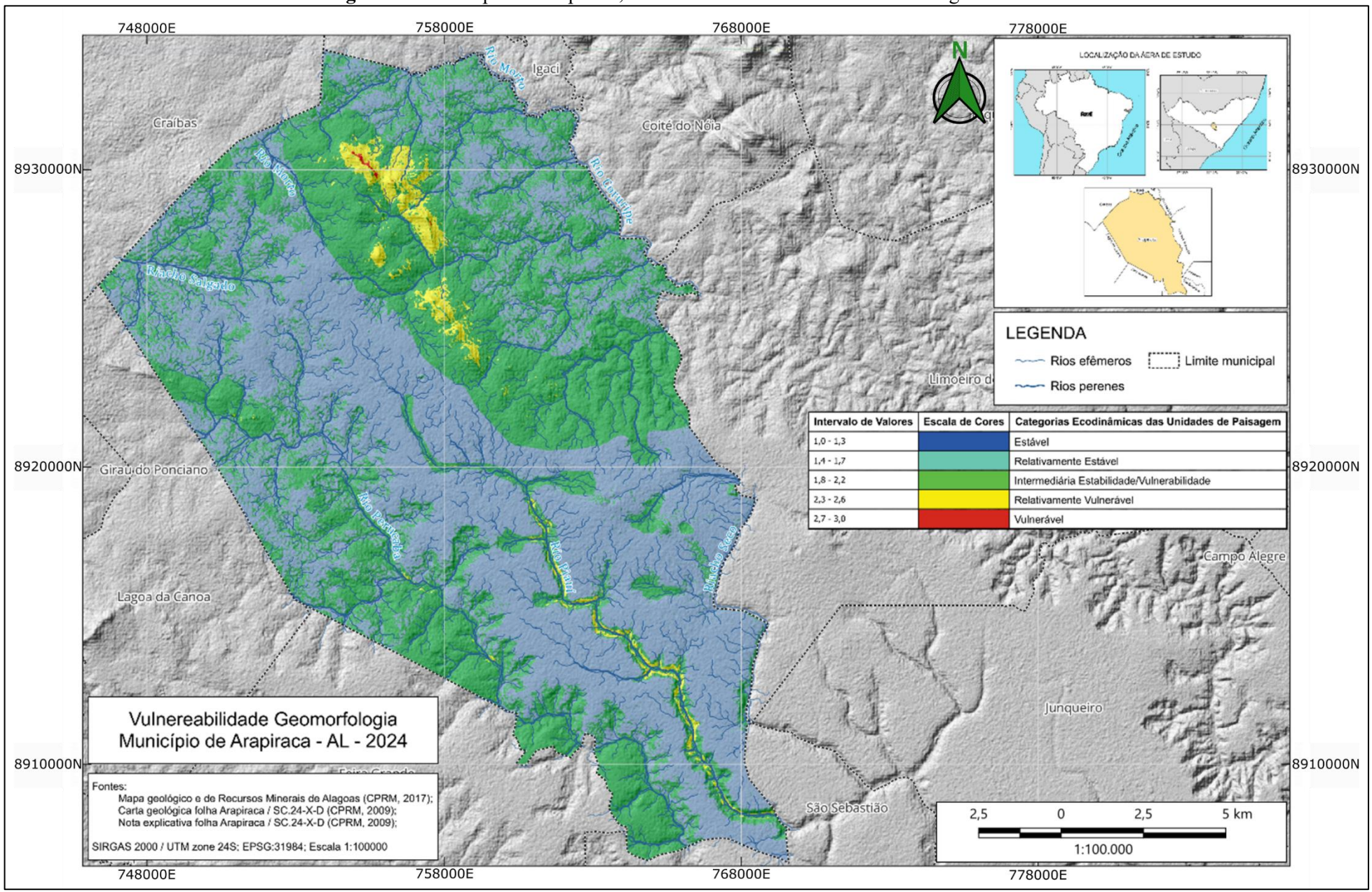


Figura 31: Município de Arapiraca, Níveis de Vulnerabilidade Geomorfológica - 2024.



Como se observa nos perfis topográficos derivados desta base cartográfica, especialmente no Perfil A-A', cuja seção transversal está espacializada no Mapa Hipsométrico, a superfície de tabuleiro em Arapiraca ocupa altitudes intermediárias, situadas entre 200 e 300 metros (Figura 32). A análise integrada com o Mapa de Declividade revela que o topo desses interflúvios apresenta um relevo plano a suavemente ondulado, com gradientes de declividade predominantemente baixos, em torno de 0% a 3% (Figura 29).

Figura 32: Perfil topográfico A-A'.

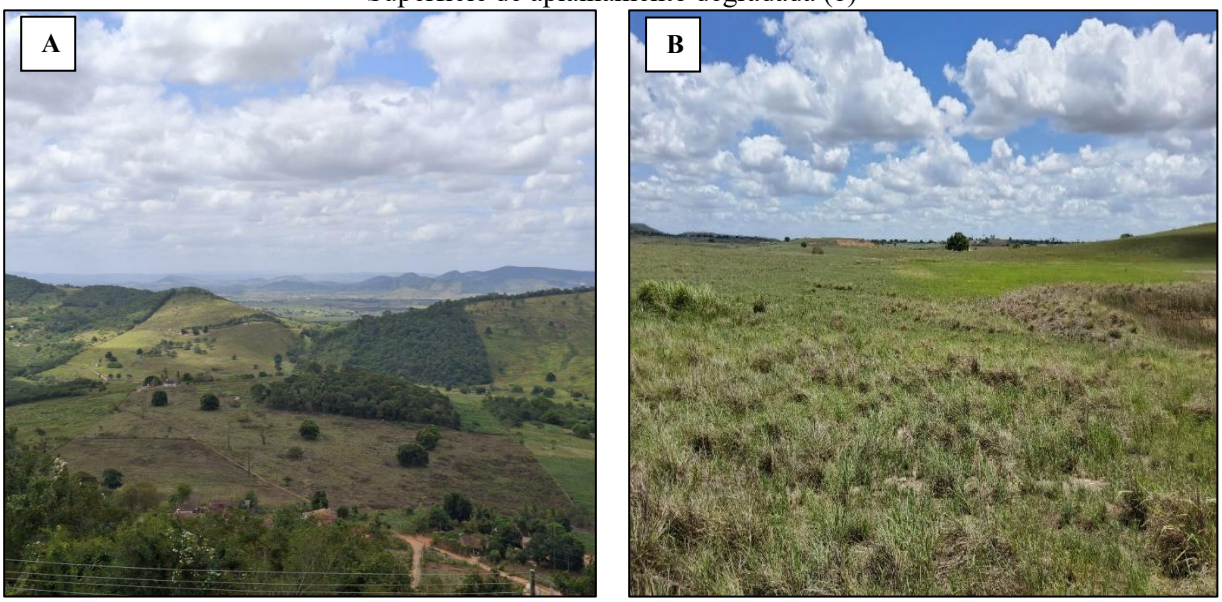
Fonte: MDE Alos-Palsar (2011).

2.3.2. Depressão da faixa do dobramento sergipano

Em regiões sob regimes hidrológicos úmidos, a Depressão da Faixa Sergipana apresenta modelados de topos convexos e inumados, evidenciando um forte controle estrutural (Cavalcanti, 2010). Exemplo disso, são as serras quartzíticas situadas nos setores nordeste e oeste do município, cujo alinhamento com elevações menores nos tabuleiros demonstra o processo de exumação do Complexo Arapiraca (Figura 33A).

Esta unidade geomorfológica representa a exposição do embasamento cristalino mais antigo e engloba três compartimentos que interagem dinamicamente: os Morros, as Colinas e as Superfícies de Aplainamento Degradadas (Figura 33B). Diferente do platô sedimentar, esta unidade é sustentada por rochas cristalinas do Complexo Arapiraca e do Grupo Macururé, onde a diversidade de formas é ditada pela denudação diferencial.

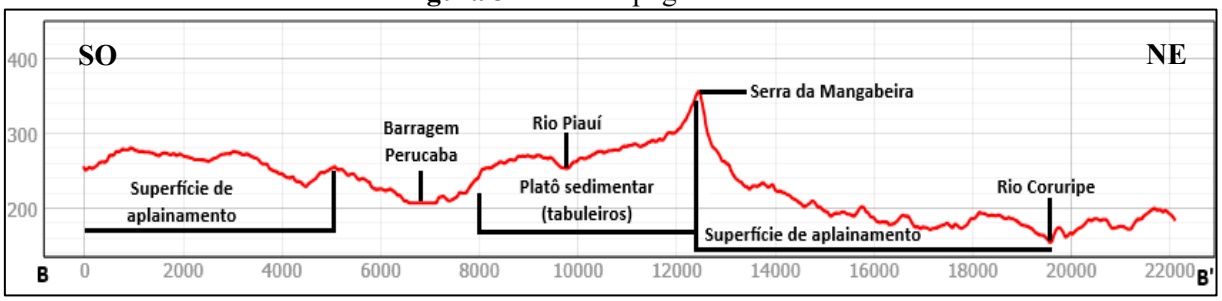
Figura 33: Morro do Santuário para a Serra da Massaranduba, a nordeste da cidade de Arapiraca (a). Superfície de aplainamento degradada (b)



Fonte: Autor (2025).

Os Morros detêm as cotas altimétricas mais elevadas e as encostas mais íngremes de Arapiraca, exemplificados pelas Serras da Massaranduba e da Mangabeira e pelo Serrote dos Dias. Sustentados por litologias competentes (quartzitos e granitos), estes relevos residuais apresentam encostas com declividades superiores a 20%. Como se constata no Perfil B-B', o topo da Serra da Mangabeira atinge cerca de 350 metros de altitude, situando-se 75 metros acima do topo do tabuleiro urbano e 150 metros acima da superfície de aplainamento ao norte (Figura 34).

Figura 34: Perfil topográfico B-B'.



Fonte: MDE Alos-Palsar (2011).

Imediatamente circundando esses relevos elevados, encontram-se as Superfícies de Aplainamento Degradadas (Figura 33B). Este compartimento, que compõe vasta parcela das terras agricultáveis das bacias adjacentes, estruturou-se sobre rochas metamórficas suscetíveis ao intemperismo, como os paragnaisses. São superfícies capeadas por espessas camadas de

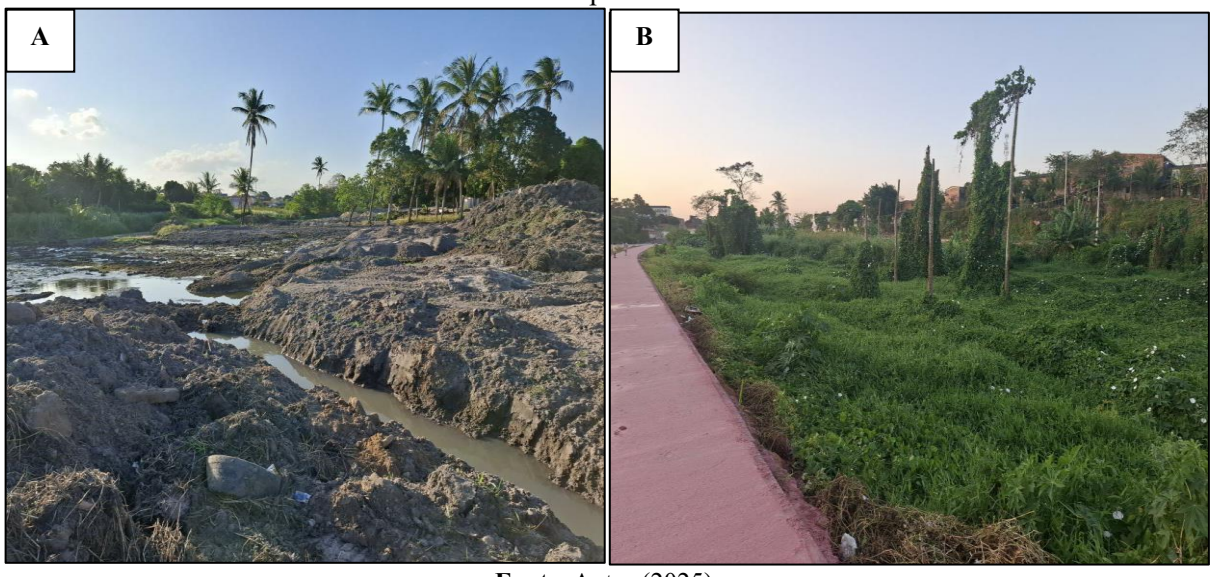
colúvio e solos residuais maduros, ocorrendo predominantemente no intervalo altimétrico entre 200 e 250 metros.

Neste setor de aplainamento, o relevo é suavemente ondulado com topos convexos. A declividade raramente excede os 20%, fator que, segundo Huggett (2008), favorece a percolação subsuperficial das águas pluviais em detrimento do escoamento superficial. Isso resulta em uma baixa incisão fluvial e no rebaixamento gradual dos topos, conferindo estabilidade à superfície, exceto em cenários de intervenção antrópica direta.

2.3.3. Superfícies de deposição

Correspondem às áreas de deposição sedimentar recente (Neógeno-quaternárias) que acompanham os fundos de vale da rede de drenagem. No Mapa Geomorfológico, estas unidades são identificadas como Planos de Inundação (Figura 35). Embora o mapeamento geológico, na escala de detalhamento apresentada, não individualize todos os depósitos aluvionares holocênicos, estas superfícies seccionam tanto o Grupo Barreiras quanto o embasamento cristalino, sendo preenchidas por sedimentos fluviais de granulometria variada, como areias, siltes e argilas.

Figura 35: Trechos do plano de inundação no Rio Piauí, nascente (A) e APA Bananeiras (B), em Arapiraca.



Fonte: Autor (2025).

Do ponto de vista pedológico, essa unidade geomorfológica é constituída por sedimentos de textura arenosa a argilosa, que dão origem a Neossolos Flúvicos ou Planossolos. Consequentemente, são áreas com deficiência de drenagem e que possuem o nível do aquífero

livre próximo à superfície (aflorante), configurando um ambiente de alta vulnerabilidade à contaminação do solo e das águas subterrâneas.

Topograficamente, os planos de inundação representam as cotas mais baixas do relevo local em cada setor. No Mapa Hipsométrico, estas áreas coincidem com as faixas de cor verde escuro, situando-se geralmente em altitudes inferiores a 200 metros. Caracterizam-se por um relevo predominantemente plano, o que é corroborado pelo Mapa de Declividade, que demonstra uma correlação direta com a classe de 0% a 3%. Esta configuração indica o leito maior dos rios (Piauí, Perucaba e tributários do Coruripe), onde o escoamento superficial é lento, favorecendo a deposição de sedimentos e a evolução de canais meandrantes.

2.3.4. Formações tecnogênicas

Esta unidade distingue-se essencialmente por sua gênese: não deriva estritamente de dinâmicas naturais, geológicas ou climáticas, mas resulta da interferência antrópica direta e incisiva sobre a morfologia original. Sua distribuição espacial não é aleatória, obedecendo a uma lógica socioeconômica de apropriação do território.

Observa-se que as formações tecnogênicas em Arapiraca não se distribuem sobre os Tabuleiros Sedimentares, concentrando-se quase exclusivamente sobre o Embasamento Cristalino (setor Norte/Noroeste). Estas intervenções incidem sobre rochas meta-ultramáficas, formações ferríferas (PP23carq) e intrusões graníticas, onde a rocha sã aflora. Tal padrão confirma que grande parte destas formações corresponde a cavas de mineração (pedreiras) destinadas à extração de agregados para a construção civil (brita e paralelepípedos) ou minérios metálicos.

Embora possuam extensão territorial limitada em comparação às unidades naturais, estas formações geram impactos topográficos e morfodinâmicos localmente severos, conforme evidenciado na Figura 36 (A e B):

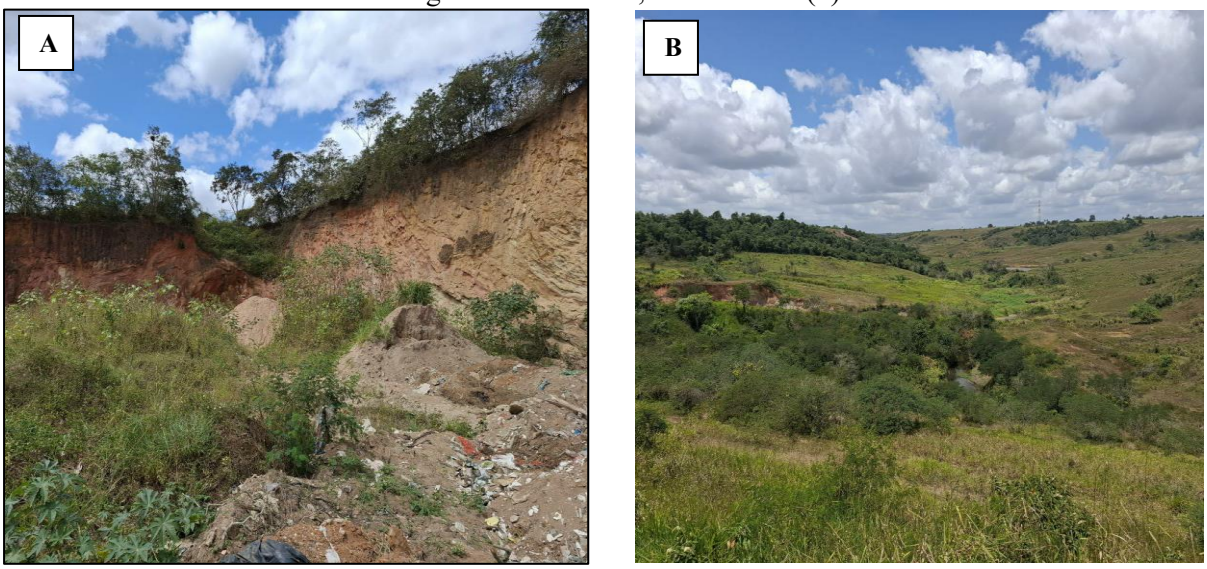
- Ruptura Crítica da Declividade: Enquanto as colinas e morros circundantes apresentam vertentes suavizadas ou convexas, a ação tecnogênica estabelece taludes artificiais (paredões verticais ou em degraus) e cavas profundas. Estas áreas manifestam-se como pontos de declividade "Escarpada" (>45%) criados artificialmente, alterando a estabilidade das encostas.

- Inversão do Relevo e Alteração Hidrológica: Onde originalmente existiam topos de morros ou encostas, a atividade extrativa cria depressões confinadas. Esse processo altera radicalmente a microdrenagem local, favorecendo o surgimento de lagoas artificiais no fundo das cavas por acúmulo de águas pluviais.

- Exposição do Substrato e Perda de Pedogênese: A remoção total da cobertura de solo e da vegetação expõe a rocha matriz diretamente aos agentes intempéricos, interrompendo os processos pedogenéticos naturais.

Produção de Sedimentos e Assoreamento: As pilhas de estéril e áreas de rejeito desprovidas de proteção vegetal tornam-se fontes massivas de sedimentos. Durante eventos de precipitação, esse material é carreado para os corpos hídricos adjacentes, provocando o assoreamento severo das Superfícies de Agradação (Ai) situadas a jusante, além de potencializar processos erosivos acelerados, como voçorocamentos.

Figura 36: Formação tecnogênica de mineração a norte de Arapiraca (a). Voçoroca em vertedouro de barragem da Bananeira, no Rio Piauí (b).



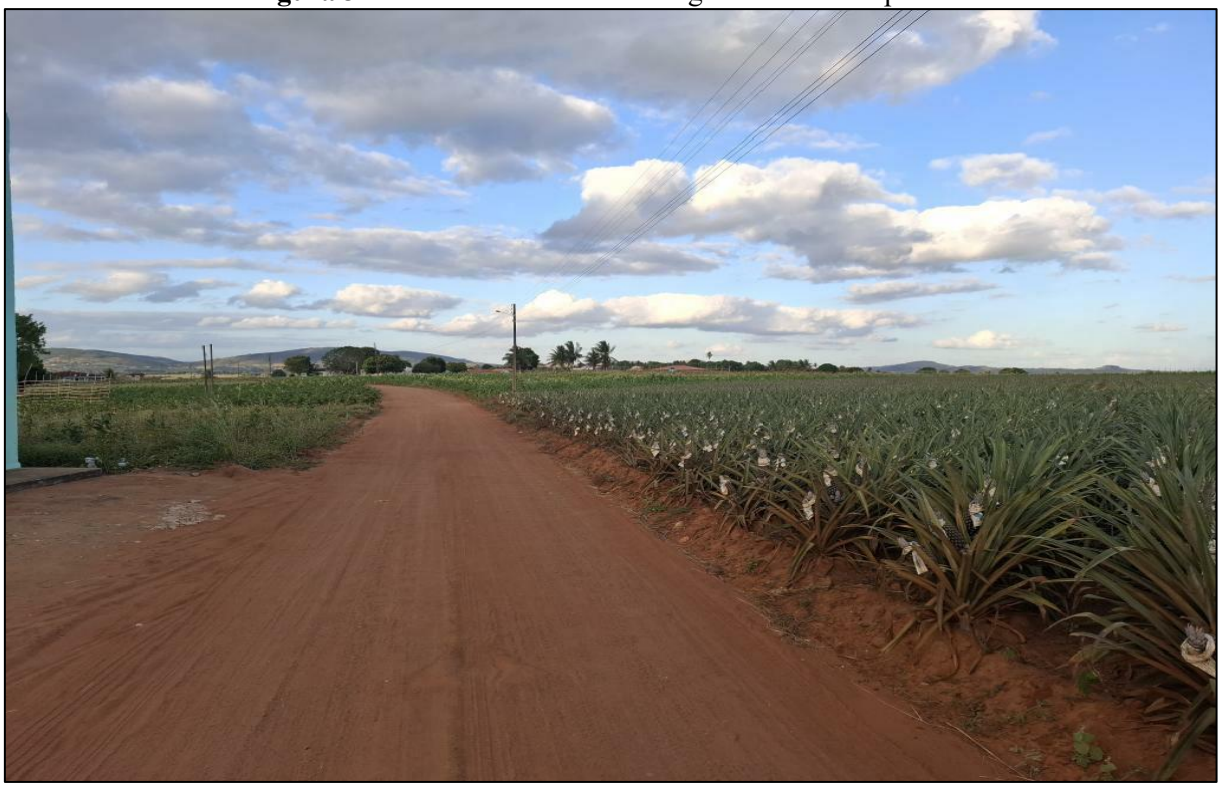
Fonte: Autor (2025)

2.4. SOLOS: AMBIENTE E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

No Zoneamento Agroecológico de Alagoas – ZAAL, consta a distribuição espacial dos tipos de solos predominantes no município de Arapiraca, os quais apresentam características intimamente vinculadas, tanto à geologia quanto à geomorfologia da região. Na área do município foram identificados sete tipos de solos (Figura 38), com diferentes níveis de vulnerabilidade (Figura 39), com maior parte da área composta por solos profundos e bem desenvolvidos (EMBRAPA, 2012).

Os latossolos, tipo de solo originário da deposição prolongada de sedimentos, foram submetidos a processos prolongados de intemperismo, sendo comuns em terrenos relativamente planos ou suavemente ondulado, cobrindo extensas áreas de tabuleiros e superfícies de aplainamento da região. O latossolo vermelho (LV), como se verifica na Figura 37, é um dos tipos de solo que cobrem a região. De acordo com a EMBRAPA (2012), apresenta cor vermelha acentuada devido ao maior teor de óxidos de ferro presentes no material originário em ambientes bem drenados. Por serem solos profundos e porosos, proporcionam condições favoráveis para o bom crescimento das raízes, especialmente quando possuem alta fertilidade (eutróficos) e não apresentam barreiras química.

Figura 37: Latossolo Vermelho na região leste de Arapiraca.



Fonte: Autor (2025).

Figura 38: Município de Arapiraca, Tipos de solo - 2024.

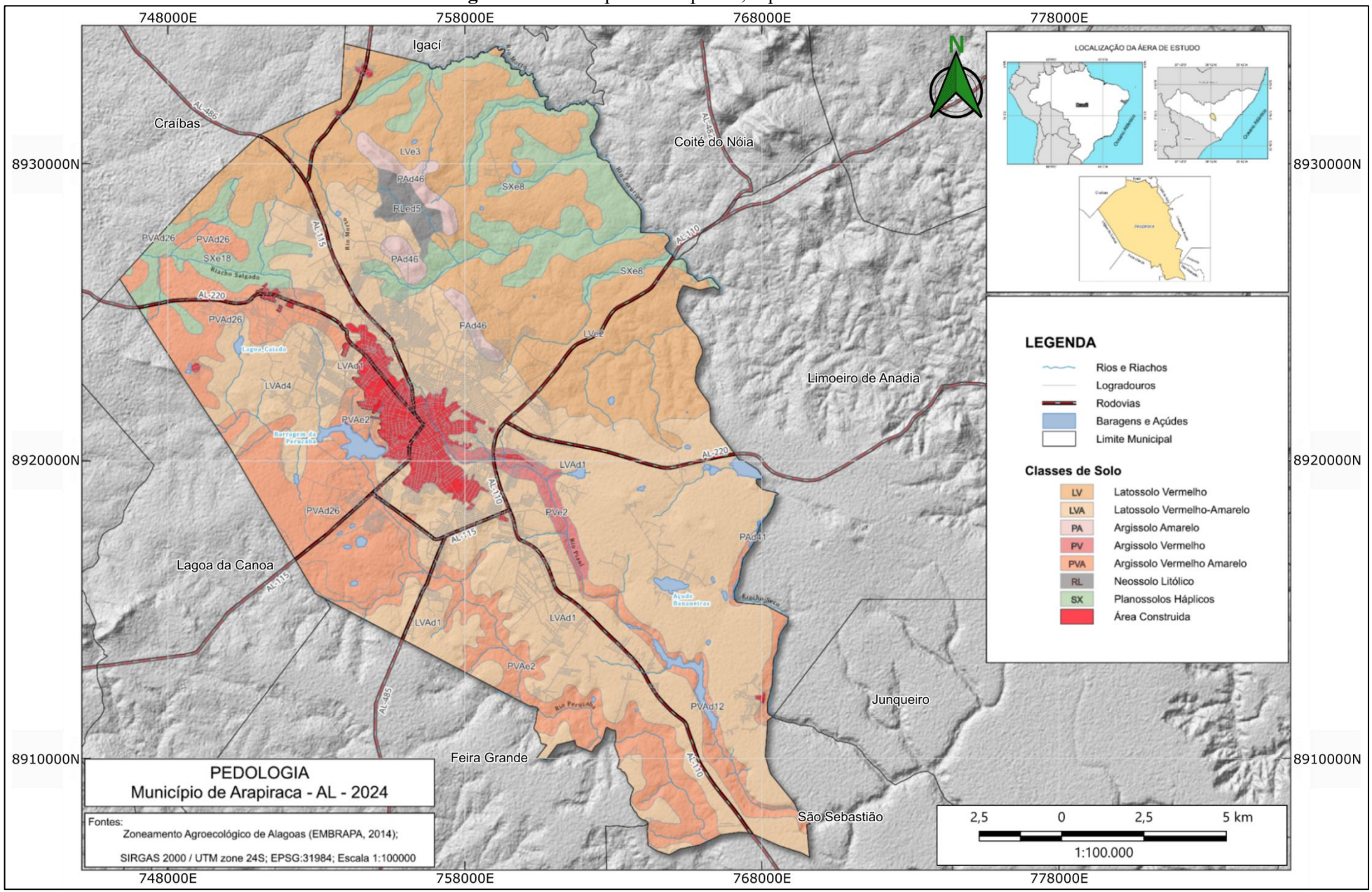
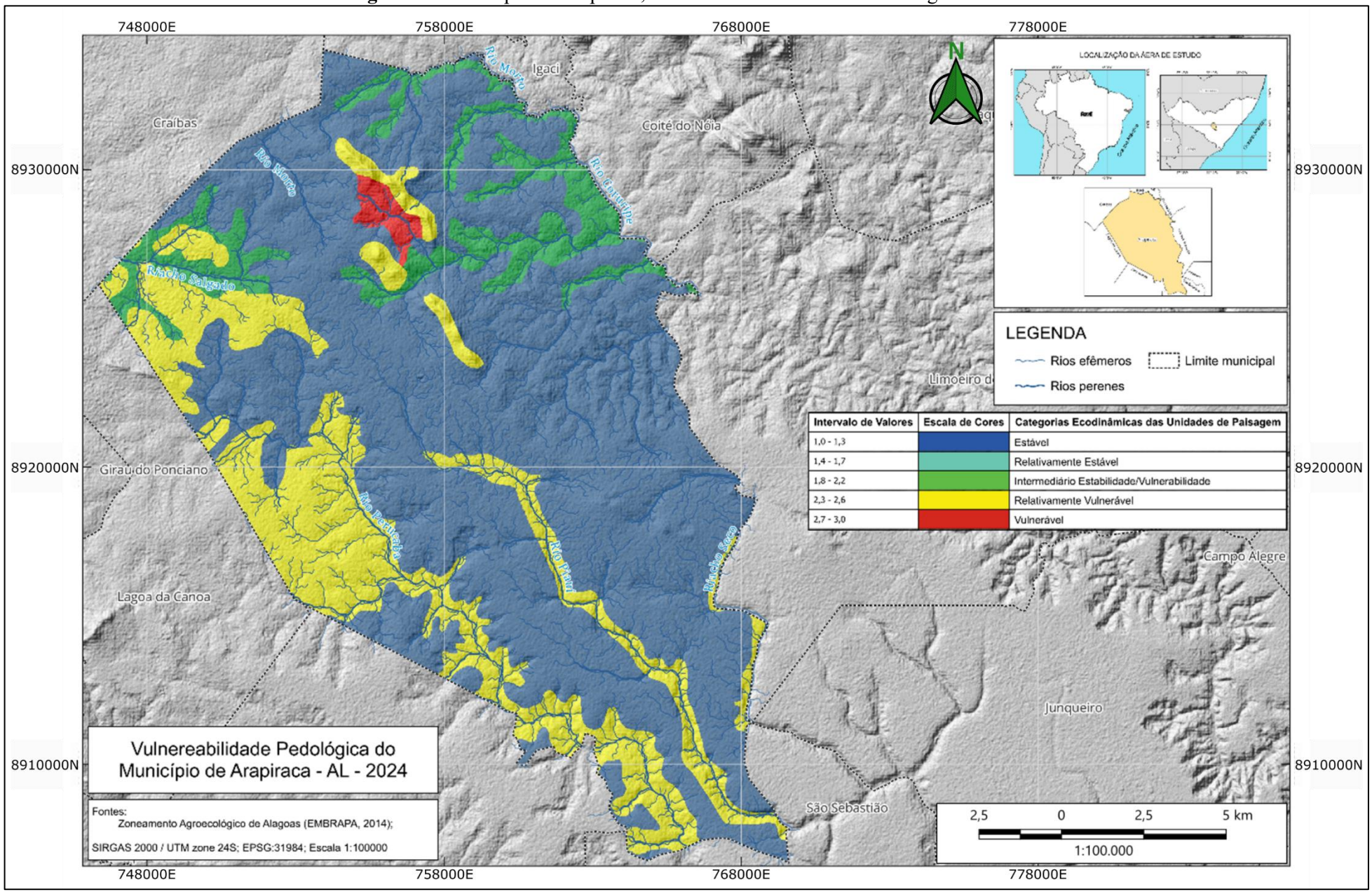


Figura 39: Município de Arapiraca, Níveis de Vulnerabilidade Pedológica - 2024.



Em Arapiraca, o Latossolo Vermelho predomina nas regiões leste e norte do município, ocorrendo, principalmente, nas superfícies de aplainamento da bacia hidrográfica do Rio Coruripe. Com base no mapeamento da Embrapa (2012), a região leste da cidade, próxima à AL-110 (LVe2), apresenta solos com desenvolvimento do horizonte **A** moderado a proeminente e textura argilosa, frequentemente associados ao Nitossolos Vermelho. Na porção norte (LVe3), o horizonte **A** é bem proeminente, com textura franco argilosa e associação frequente com Argissolo Vermelho e Planossolo Háplico. Ambos apresentam boa fertilidade e possibilidade de concentração de matéria orgânica.

Os Latossolos Vermelho-Amarelo (LVA) estão situados nas regiões centro-sul e oeste da área de estudo, no relevo plano a suavemente ondulado dos tabuleiros conservados e dissecados (Figura 40). Segundo a EMBRAPA (2012), os solos associados aos tabuleiros conservados e dissecados nas bacias do Piauí e Perucaba (LVAd1), apresentam um horizonte **A** moderado a proeminentemente desenvolvido, com coloração amarelada, devido a maior presença de alumínio, a avermelhada típicas de intemperismo prolongado, com presença de matéria orgânica. Geralmente associado a Argissolos Vermelho-Amarelo.

Figura 40: Latossolo vermelho-amarelo em área de tabuleiro.

Fonte: Autor (2025).

A porção de Latossolo Vermelho-Amarelo (LVAd4) que ocorre a oeste da cidade, no início da bacia do Rio Perucaba, possui uma textura sem predominância extrema entre as frações de areia-silte-argila, presença de matéria orgânica, horizonte **A** moderado a proeminente

desenvolvido e com frequente associação a Argissolos e Planossolos. Ambos são caracterizados como solos distrocoesos, ou seja, de baixa fertilidade e alta coesão.

Os Latossolos Vermelho-Amarelo da região também estão propensos ao desenvolvimento de horizonte frágil, caracterizado por uma camada endurecida. Esta camada é formada por processos físicos, químicos e mineralógicos, envolvendo elementos como sílica e alumínio que agem como agentes cimentantes, dificultando a infiltração de água, o crescimento das raízes e por consequência diminuindo a fertilidade (Moreau et al., 2006).

Outro tipo comum são os Argissolos Amarelo, Vermelho e Vermelho-Amarelo. Tipos de solos caracterizados pela presença de horizonte diagnóstico **B** textural, apresentando acúmulo de argila em profundidades devido à mobilização e perda de argila da parte mais superficial do solo, processo que influenciado pela variação do relevo, resultando em pequenas depressões ou ondulações que mobilizam e segregam partículas granulares.

Os Argissolos Amarelo (PAd46), ocorrem nas áreas de serras (Serras da Mangabeira e Corcunda) e morros (Santuário), a norte da cidade, podendo estar associado a afloramento rochoso. Sua textura é predominantemente franco-argilosa, com presença de matéria orgânica e horizonte **A** moderado a proeminente desenvolvido (EMBRAPA, 2012). Segundo a EMBRAPA (2012), devido à alta concentração de minerais ferruginosos, pode haver maior matéria orgânica e horizonte plíntico no solo, contribuindo para a diminuição de sua fertilidade. Os ciclos de umedecimento e secagem contínuos podem criar estruturas específicas no solo, afetando sua composição e características físicas. Estas condições influenciam a produtividade agrícola e necessitam de práticas de manejo do solo adaptadas para usar eficientemente terrenos com muitos desses minerais.

Os Argissolos Vermelho (PVe2), ocorrem no início do vale do Rio Piauí, nas proximidades do núcleo urbano de Arapiraca, associado a um relevo suave ondulado a ondulado. Esse solo apresenta um horizonte **A** moderadamente desenvolvido, com coloração vermelha intensa, resultado do intemperismo e da acumulação de óxidos de ferro. Possui uma textura predominantemente franco-arenosa a média, presença de matéria orgânica e boa fertilidade natural. As áreas com elevada presença de partículas finas que conferem coesão influenciam seu comportamento físico, como a drenagem e a retenção de água.

Os Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA) são solos profundos com horizonte **B** textural de coloração que varia do vermelho ao amarelo, tipicamente de baixa fertilidade e suscetíveis à erosão.

Na área ocorrem nas encostas da bacia do Rio Piauí (PVAd12) (Figura 41), mais ao sul da cidade, onde apresenta textura franco-argilosa, de baixa fertilidade e alta coesão, ocorrem associados a Gleissolos Háplico. Outra área é no vale do Rio Perucaba (PVAe2), onde apresenta boa fertilidade, textura franco-argilosa com presença de matéria orgânica e horizonte **A** moderado a proeminente, frequentemente associado a Planossolos Háplico (EMBRAPA, 2012).

Figura 41: Área de ocorrência de Argissolo Vermelho-Amarelo.

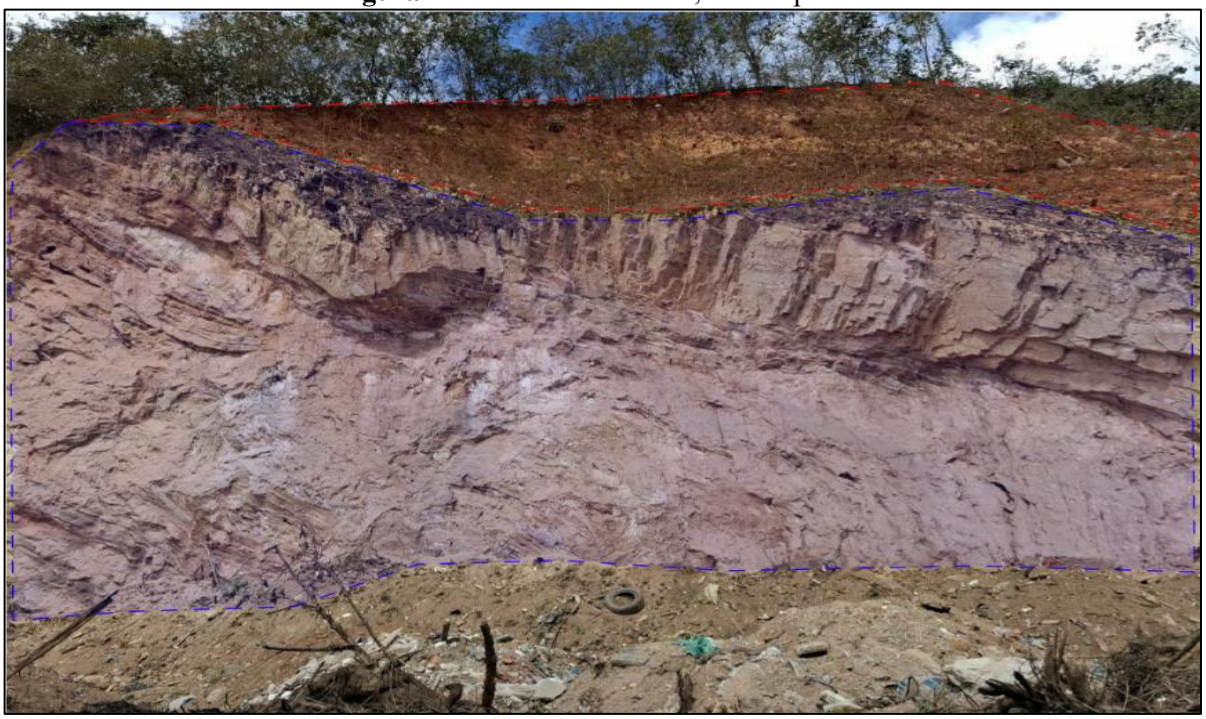
Fonte: Autor (2025).

A montante do Rio Perucaba, registra-se a ocorrência de Argissolos Vermelho-Amarelo (PVAd26), em relevo plano a suave ondulado, com horizonte **A** moderadamente desenvolvido, textura média e baixa fertilidade.

Os Neossolos Litólicos, de acordo com a Embrapa (2009), são solos formados por material mineral ou orgânico pouco espesso, sem os atributos diagnósticos dos processos de formação devido à resistência do material de origem (Figura 42). Esse tipo de solo mantém características herdadas do material original, sendo pouco evoluídos e sem horizonte diagnóstico.

Esses solos (RLed5), são identificados em parte restrita da região norte, diretamente relacionado à proximidade de maciços rochosos do Grupo Macururé, portanto, contando com a deposição coluvial na encosta de unidades geológicas que ainda não passaram por um processo de intemperismo prolongado. Geralmente apresentam textura média e boa fertilidade, com horizonte **A** pouco a moderadamente evoluído.

Figura 42: Neossolo Litólicos, em Arapiraca.



Fonte: Autor (2025).

Por fim, os Planossolos Háplico (SX), estão localizados nas porções nordeste (SXe8), na bacia hidrográfica do Rio Coruripe, apresentando textura média e arenosa, de boa fertilidade, e a noroeste (SXe18), na bacia do Riacho Salgado, apresentando boa fertilidade, textura média e argilosa com presença de cascalhos. As ocorrências dos dois tipos apresentam horizonte **A** pouco a moderadamente desenvolvidos

Esses solos são típicos de áreas mal drenadas, geralmente encontradas em vales ou depressões. A geomorfologia local, com a presença de regimes de fluxo de água que favorecem o acúmulo de sedimentos e a saturação do solo, é determinante para a formação desses solos, que embora sejam solos de baixa profundidade possuem alta fertilidade.

Em síntese, a distribuição dos solos em Arapiraca responde a uma interação complexa entre os processos de intemperismo (determinados pela composição das rochas e pelo clima) e a configuração do relevo. Em sua maior parte, o terreno de relevo estável e plano de Arapiraca favorece a formação de solos profundos e característicos de baixo potencial erosivo das águas pluviais.

A análise das diferentes características físico-químicas do solo como textura, fertilidade e coesão de suas partículas, é importante para entender suas potencialidades e suas fragilidades, contribuindo para um zoneamento equilibrado, dando-lhes o uso mais adequado.

2.5. HIDROGRAFIA

A hidrografia do município de Arapiraca está integrada por quatro bacias hidrográficas principais: as dos rios Traipu (via riacho Salgado), Perucaba e Piauí, pertencentes ao sistema do Rio São Francisco; e a do Rio Coruripe, que drena diretamente para a vertente atlântica (Figura 45). Cada uma dessas redes hidrográficas exerce um papel fundamental na manutenção dos ecossistemas, na regulação climática e na oferta de recursos para as atividades socioeconômicas urbanas e rurais.

2.5.1. Bacia do Rio Coruripe

O Rio Coruripe drena uma superfície total de 1.730 km², dos quais 126 km² situam-se em Arapiraca (36,4% do território municipal). Esta bacia é a principal responsável pela drenagem e irrigação do setor leste, estendendo-se dos limites nortes até os tabuleiros do Grupo Barreiras à leste (SEMARH, 2020),

As nascentes dos afluentes da margem direita, como o riacho Bananeira, localizam-se na vertente leste das serras ao norte do núcleo urbano. Na vertente oeste, destaca-se a nascente do riacho Novo que delimita as fronteiras com municípios vizinhos como Craíbas e Igaci (Figura 43). Os canais da bacia do Coruripe em Arapiraca exibem forte controle estrutural, com padrões de drenagem retilíneos que indicam condicionamento por falhas e juntas do embasamento, resultando em um terreno mais acidentado.

Figura 43: Face oeste da Serra da Corcunda, área de nascente do Riacho Novo.

Fonte: Autor (2024)

2.5.2. Bacia do Rio Perucaba

O Rio Perucaba, situado a sudoeste, drena aproximadamente 30,2% do território municipal (104,6 km²). Suas nascentes localizam-se na face leste das serras de Jirau do Ponciano, percorrendo superfícies aplainadas até atingir o curso principal, onde as margens são moldadas por tabuleiros dissecados e conservados.

Nesta bacia localiza-se a Barragem da Perucaba, com espelho d'água de 1 km² (Figura 44). Executada pelo DNOCS, a obra visou solucionar o abastecimento urbano e incentivar a piscicultura e irrigação (Santos et al., 2017). Contudo, estudos recentes (Brunet, 2019; Nemésio, 2022) alertam para a degradação da qualidade da água devido ao uso inapropriado da terra em seu entorno e à vulnerabilidade aos efluentes urbanos.

Figura 44: Barragem da Perucaba.

Fonte: Autor (2024).

2.5.3. Bacia do Rio Traipu

A bacia hidrográfica do Rio Traipu responde pela drenagem da porção noroeste do município de Arapiraca. Toda a bacia do Traipu possui uma área drenada de aproximadamente 2797 km², tendo apenas 26 km² dentro do município de Arapiraca, correspondendo a 7,5% de todo o território do município.

A área da bacia do Traipu compreendida por Arapiraca é a bacia do afluente Riacho Salgado, que nasce próximo ao povoado Canaã e drena uma superfície aplainada até o encontro com o Rio Traipu, entre Jaramataia e Jirau do Ponciano.

2.5.4. Bacia do Rio Piauí

O Rio Piauí possui importância estratégica e ambiental crítica para Arapiraca, uma vez que sua cabeceira está situada no coração da malha urbana densamente edificada (bairros Brasiliana, Baixa Grande e Teotônio Vilela). A bacia ocupa 25,8% do território municipal (89,4 km²) e o seu curso principal percorre inteiramente áreas de tabuleiros, fluindo com direção preferencial para sul e sudeste até atingir o domínio do delta do São Francisco.

Seu curso superior encontra-se severamente alterado por intervenções antrópicas, sofrendo com a impermeabilização do solo e o lançamento direto de efluentes (Silva, 2012 e Batista, 2017). No trecho rural, o rio torna-se vital para a irrigação de culturas de mandioca e cana-de-açúcar, tendo como principal infraestrutura de gestão a Barragem Bananeiras. Devido à complexidade do uso da terra e ao estado de conservação variável de suas margens, os principais aspectos lóticos do Rio Piauí encontram-se sintetizados no Quadro 14.

Quadro 14: Arapiraca, Quadro Socioambiental do Rio Piauí - 2024.

Segmento do Rio	Localização e Contexto	Estado de Conservação e Dinâmica Ambiental	Registro Fotográfico
Alto Curso (Nascentes Urbanas)	Bairros Brasiliana, Baixa Grande e Teotônio Vilela.	Áreas de recarga severamente comprometidas pela ocupação urbana. Restam fragmentos de vegetação que sofrem com a impermeabilização do solo circundante.	
Trecho Urbano Consolidado	Área central (ex: Parque Cecí Cunha).	Curso d'água completamente alterado por obras de canalização rígida. Apresenta avançado estado de degradação devido ao lançamento de efluentes e descarte de resíduos (SILVA, 2012).	

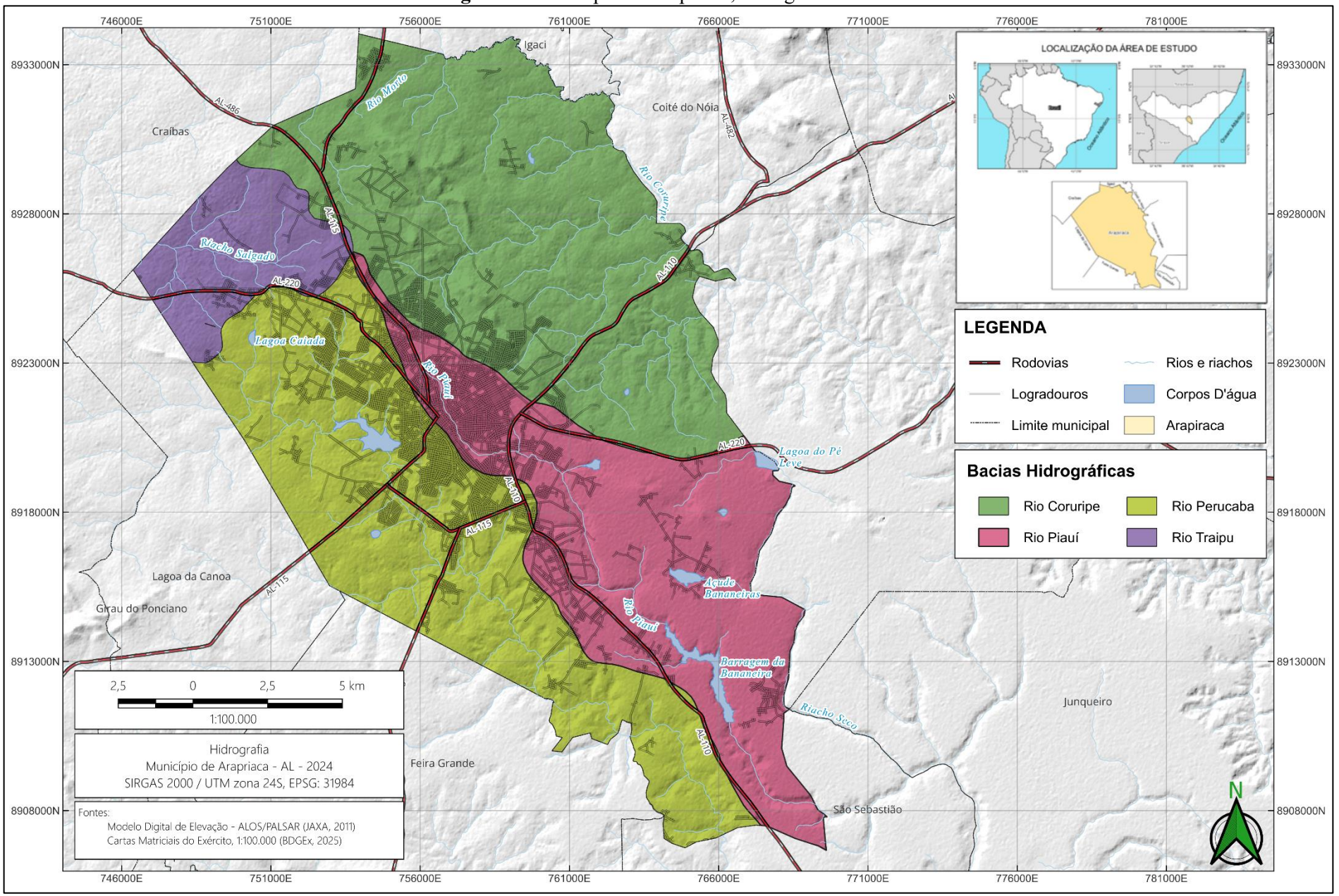
Trecho de Transição (Periurbano)	Áreas de expansão e margens da zona urbana.	Início da recuperação da morfologia natural, porém sujeito a impactos por atividades agropastoris imediatas e descarte de efluentes domésticos sem tratamento.	
Baixo Curso (Zona Rural)	Povoado Bananeiras e setor sul do município.	O rio assume papel vital para a irrigação de subsistência e comercial (mandioca e cana). Presença da **Barragem Bananeiras**, essencial para a gestão hídrica em áreas de tabuleiros.	

Fonte: Autor (2024)

Ao longo de todo seu percurso no território de Arapiraca, ocorrem formações de cursos d'água intermitentes com direção de fluxo perpendicular ao canal principal, associados a olhos d'água em suas cabeceiras. Atualmente, o estado de conservação deste sistema hidrográfico é classificado como crítico, apresentando avançada degradação ambiental desde as nascentes até o trecho rural (Feitosa et al., 2020 e Santos & Santos, 2021).

.

Figura 45:Município de Arapiraca, hidrografia - 2024.



2.6. USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

O mapeamento dos múltiplos usos do território e das modalidades de exploração dos recursos naturais, pelos diversos agentes sociais, se constitui no pilar fundamental para embasar propostas de Ordenamento e Gestão Territorial. Este processo permite não apenas diagnosticar o estado atual dos componentes da paisagem, mas também avaliar, de forma criteriosa, a adequação técnica dos usos frente às fragilidades naturais do suporte geobiofísico.

Ademais, esta análise fornece subsídios essenciais para a formulação de políticas públicas voltadas à harmonização entre o desenvolvimento socioeconômico e a conservação ambiental. O entendimento aprofundado das dinâmicas de ocupação se torna indispensável para antecipar impactos socioambientais e planejar intervenções que assegurem a integridade dos ecossistemas locais, especificamente no que tange à preservação da vegetação, à conservação dos solos e à manutenção da qualidade dos recursos hídricos.

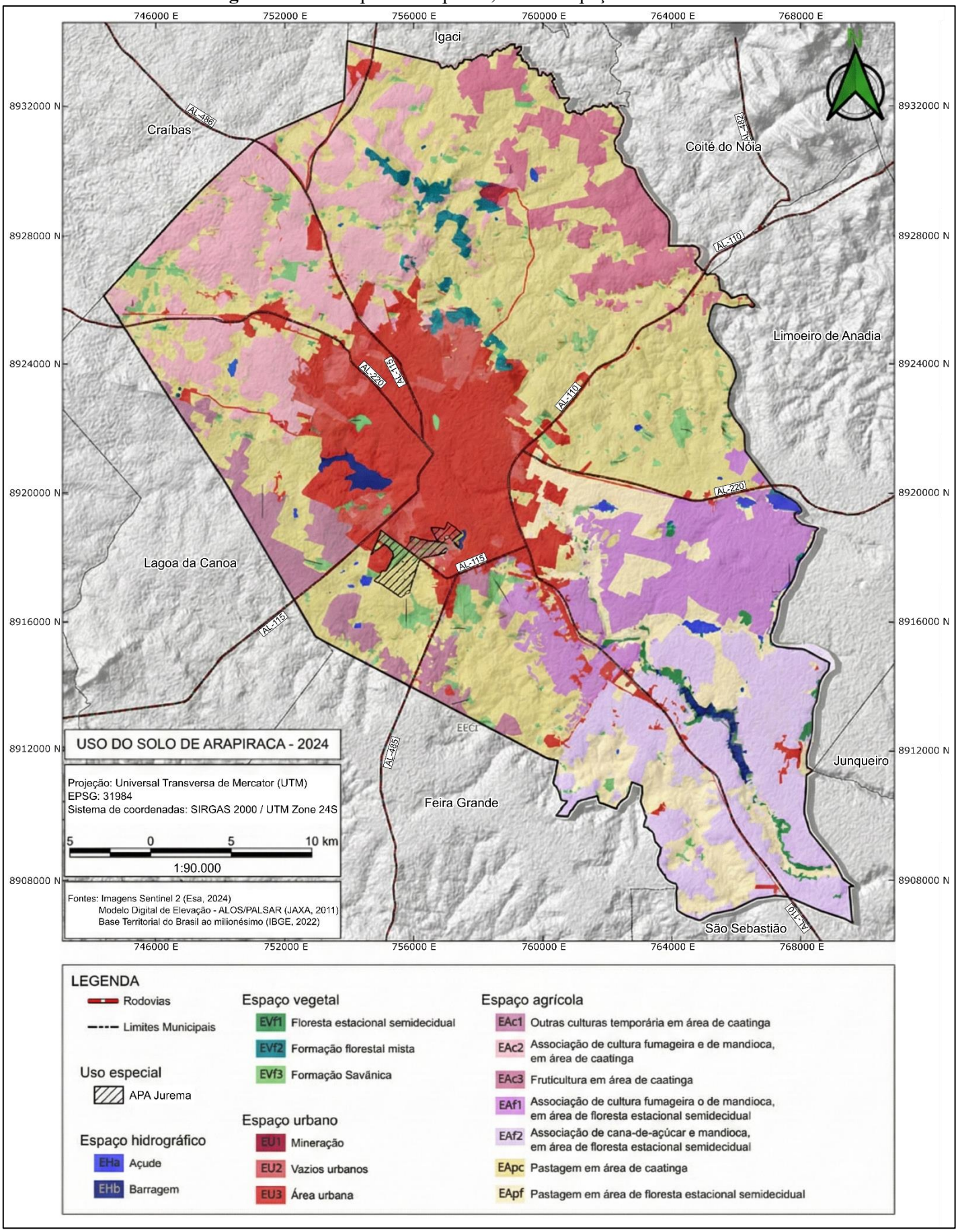
A área do município de Arapiraca abrange a zona de contato entre dois importantes biomas brasileiros. No setor sul-sudeste do território, predominantemente na bacia do Rio Piauí, os aspectos fitogeográficos associam-se à Mata Atlântica, sobrejacente aos tabuleiros conservados do platô sedimentar costeiro. Em contraste, a porção que abrange as bacias dos rios Coruripe, Traipu e o alto curso do Rio Perucaba caracteriza-se pela presença da Caatinga. Este bioma está frequentemente associado ao embasamento cristalino e a solos com elevada suscetibilidade a processos erosivos durante eventos de pluviosidade intensa (enxurradas).

A mesorregião do Agreste Alagoano, onde Arapiraca está inserida, configura-se como um ecótono, apresentando características transicionais entre os biomas supracitados. Historicamente, essa região sofreu intensa supressão da vegetação nativa, tendo sua extensão original drasticamente reduzida pela expansão da agropecuária. Na configuração atual, constata-se a hegemonia de culturas temporárias, pecuária extensiva, crescimento da mancha urbana consolidada e atividades extrativistas minerais.

A partir da análise das formas de ocupação do município, foram identificadas 12 categorias de uso distribuídas pelo território (

Figura **46**). Para fins analíticos, essas categorias foram agrupadas em cinco principais: Espaço Urbano, Espaço Agrícola, Espaço Vegetal, Espaço Hidrográfico e Espaço de Uso Especial.

Figura 46: Município de Arapiraca, Uso e ocupação da terra- 2024.



2.6.1. Espaço vegetal

O mapeamento da cobertura vegetal nativa de Arapiraca revela um cenário de severa fragmentação e supressão, reflexo de ciclos históricos de exploração agrícola e da recente expansão urbana. O território exibe uma configuração fitogeográfica típica de ecótono, onde os remanescentes não formam mais manchas contínuas, mas resistem em nichos específicos condicionados pelo relevo e pela rede de drenagem.

Nos setores oeste, norte e noroeste, associados ao relevo colinoso, predominam fragmentos isolados de Caatinga (Figura 47), frequentemente imersos em matrizes de pastagem e fumicultura. A persistência dessas manchas deve-se, primariamente, à declividade acentuada e ao difícil manejo agrícola de certas encostas. Estes fragmentos funcionam como refúgios vitais, embora sofram com o "efeito de borda" e a ausência de conectividade, comprometendo o fluxo gênico das espécies.

Figura 47: Vegetação de Caatinga próximo a Barragem da Perucaba.

Fonte: Autor (2024)

Por outro lado, os resquícios de Mata Atlântica concentram-se nos setores sul e sudeste, sobre os Tabuleiros das bacias dos rios Piauí e Perucaba. Aqui, a vegetação apresenta um padrão linear, restrita quase exclusivamente às Áreas de Preservação Permanente (APP), muitas vezes descontínuas devido ao avanço das pastagens até a calha do rio (Figura 48).

Figura 48: Vale do Rio Paiuí a sul de Arapiraca, com remanecentes de Mata Atlântica nas margens.

Fonte: Autor (2024)

A escassez da Formação Florestal Mista (EVf2), que deveria ocupar as áreas de transição como as serras da Massaranduba e Mangabeira, evidencia a drástica supressão antrópica. O Espaço Vegetal, portanto, perdeu sua função de matriz paisagística, restando apenas "ilhas" nos topos de morro e "filetes" nos vales, comprometendo a resiliência hídrica e agravando o microclima urbano (Figura 49).

Figura 49: Bacia Rio Coruripe, com vegetação no topo dos morros.

Fonte: Autor (2024)

2.6.2. Espaço agrícola

O Espaço Agrícola de Arapiraca constitui um mosaico complexo que ocupa a vasta maioria das superfícies de aplainamento. As culturas de mandioca, milho e fumo são dominantes, distribuindo-se desde a bacia do Rio Traipu (Norte) até as bacias do Perucaba e Piauí (Sul). Nota-se uma transição econômica: o fumo, embora ainda seja o motor da agricultura familiar e central em comunidades quilombolas como Pau D'Arco e Carrasco, vem cedendo espaço à horticultura e a culturas de subsistência (Figura 50).

Figura 50: Fruticultura de Abacaxi no Sítio Poção, leste de Arapiraca.

Fonte: Autor (2024)

No extremo sul, a presença da cana-de-açúcar sinaliza uma ruptura no padrão fundiário (Figura 51). Diferente da policultura familiar, esta cultura sugere propriedades maiores vinculadas a usinas regionais. Simultaneamente, as pastagens disseminadas atuam como o principal vetor de conversão da cobertura vegetal. Nos "Tabuleiros Dissecados", o pisoteio do gado associado ao uso extensivo funciona como gatilho para processos erosivos acelerados, como surgimento de voçorocas, reduzindo a infiltração e acelerando o escoamento superficial em direção aos canais fluviais.

Figura 51: Mosaico cana-de-açúcar, mandioca e fumo.

Fonte: Autor (2024)

2.6.3. Espaço urbano

O Espaço Urbano de Arapiraca apresenta-se como um polígono central robusto, caracterizado por uma densificação interna (núcleo) e uma franja de expansão fragmentada (periferia), avançando sobre o suporte físico dos Tabuleiros e invadindo as planícies fluviais.

A mancha urbana contínua exibe uma expansão tentacular, projetando-se agressivamente ao longo dos principais eixos rodoviários estruturantes de Arapiraca (AL-220, AL-110 e AL-115). Isso confirma que as rodovias (múltiplas conexões de Arapiraca) é o principal vetor de urbanização, induzindo o crescimento linear para fora do centro (Figura 52), buscando conexão com os pequenos aglomerados urbanos mais próximos.

Esta zona coincide com o topo dos Tabuleiros Conservados e parte do Pediplano. E ao selar o topo dos tabuleiros (áreas de recarga), a cidade reduz a infiltração de água que alimentaria as nascentes, ao mesmo tempo que aumenta o volume e a velocidade do escoamento superficial (enxurrada) para as áreas baixas, agravando o assoreamento e as cheias no vale do Rio Piauí e seus outros corpos d’água.

Figura 52: Obra de rodovia no centro urbano ligando a AL-110.

Fonte: Autor (2024)

As áreas classificadas como Vazios Urbanos formam um "cinturão de transição" entre a cidade consolidada e o espaço rural, além de preencherem interstícios dentro da própria malha urbana e apresentando uma série de sobreposições de uso nas margens periurbanas da cidade (Figura 53). Estes vazios possivelmente podem funcionar como reservas de valor (especulação fundiária) e loteamentos em implantação. O mapa mostra a área de vazios bastante expressiva, rivalizando em extensão com a área consolidada em alguns setores.

A presença massiva de vazios urbanos sinaliza um crescimento horizontal espraiado. O risco crítico é que a ocupação residencial nessas áreas (futuras casas) chegue antes da infraestrutura de saneamento. Se esses novos loteamentos adotarem o modelo de fossas/buracos, a mancha de contaminação subterrânea se expandirá na mesma proporção da mancha de ocupação vermelha do mapa.

A leitura do Espaço Urbano no mapa de 2024 corrobora o diagnóstico de um crescimento vigoroso, porém ambientalmente custoso, onde, por exemplo, a mancha urbana

ocupou toda a nascente e trecho inicial do canal do Rio Piauí, evidenciando uma ocupação de risco em áreas de várzea sujeitas a inundações.

Figura 53: Condomínios no bairro Senador Arnon de Melo, próximos a áreas de pastagem.

Fonte: Autor (2024)

2.6.4. Espaço hídrico

Esta categoria é a mais crítica para a sustentabilidade de Arapiraca. O mapa não mostra apenas onde tem água, mas revela a vulnerabilidade posicional dos recursos hídricos frente às pressões agrícolas e urbanas que já discutimos. De um modo geral, tanto as barragens e os grandes açudes no município de Arapiraca são utilizados para uso da agropecuária, o abastecimento da rede geral provém de adutoras que captam água do Rio São Francisco e, além dela, a cidade utiliza de outras fontes, como cacimbas e bicas (água do nível freático).

O mapeamento revelou um sistema hidrográfico altamente antropizado. Os cursos naturais dos rios foram represados em múltiplos pontos para garantir o abastecimento em uma região de clima de transição. O Espaço Hídrico apresentou-se dividido em duas categorias principais de reservatórios artificiais: as barragens e os açudes.

A oeste do núcleo urbano principal está localizado o reservatório da Barragem do Perucaba. Obra executada pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), que tinha como objetivo original ampliar a oferta hídrica para abastecimento e irrigação. No entanto, a salinidade natural do Rio Perucaba inviabilizou os fins projetados. Atualmente, o corpo d'água destina-se a usos menos restritivos e ao lazer, consolidando-se como uma atração turística que agrega valor paisagístico à região (Figura 54).

Figura 54: Pescadores na Barragem da Perucaba.

Fonte: Autor (2024)

Notou-se na barragem da Perucaba que em seu entorno não existe uma zona de floresta robusta, ela está quase que completamente envolta de áreas construídas ou descampadas. A ausência de vegetação no entorno permite um maior carreamento de material sedimentar ou de outras substâncias nocivas para o ambiente aquático da barragem, causando eutrofização.

A barragem de Bananeiras (Figura 55) fica localizada a sul da mancha urbana principal, na bacia hidrográfica do Rio Piauí. Diferente da Perucaba seu principal uso destina-se a agropecuária e outros usos de menor exigência. Ela possui pequenos corredores de floresta

típica de Mata Atlântica em seu entorno, nas áreas da encosta próxima do espelho d'água, entretanto, em muitas áreas ela se encontra circundada por pastagem e culturas temporárias.

Figura 55: Barragem da Bananeira.

Fonte: Autor (2024)

Em relação aos açudes, eles estão distribuídos por todo o território rural, funcionando como micro reservatórios para irrigação e dessedentação animal. Os maiores açudes identificados são os açudes da Bananeiras, do Pé Leve e o Lagoa Caiada, os três são grandes açudes locais que abastecem a agricultura e pecuária das comunidades onde eles se encontram (Figura 56).

Uma questão crucial a ser investigada, corroborada por trabalhos de campo e análise de imagens de satélite, é a localização de diversos açudes diretamente em cabeceiras de drenagem. Tal configuração sugere o barramento de nascentes de rios intermitentes e efêmeros, tributários importantes para as bacias dos principais cursos d'água que atravessam o município.

Figura 56: Açude do povoado Pé Leve.

Fonte: Autor (2024)

2.6.5. Espaço de uso especial

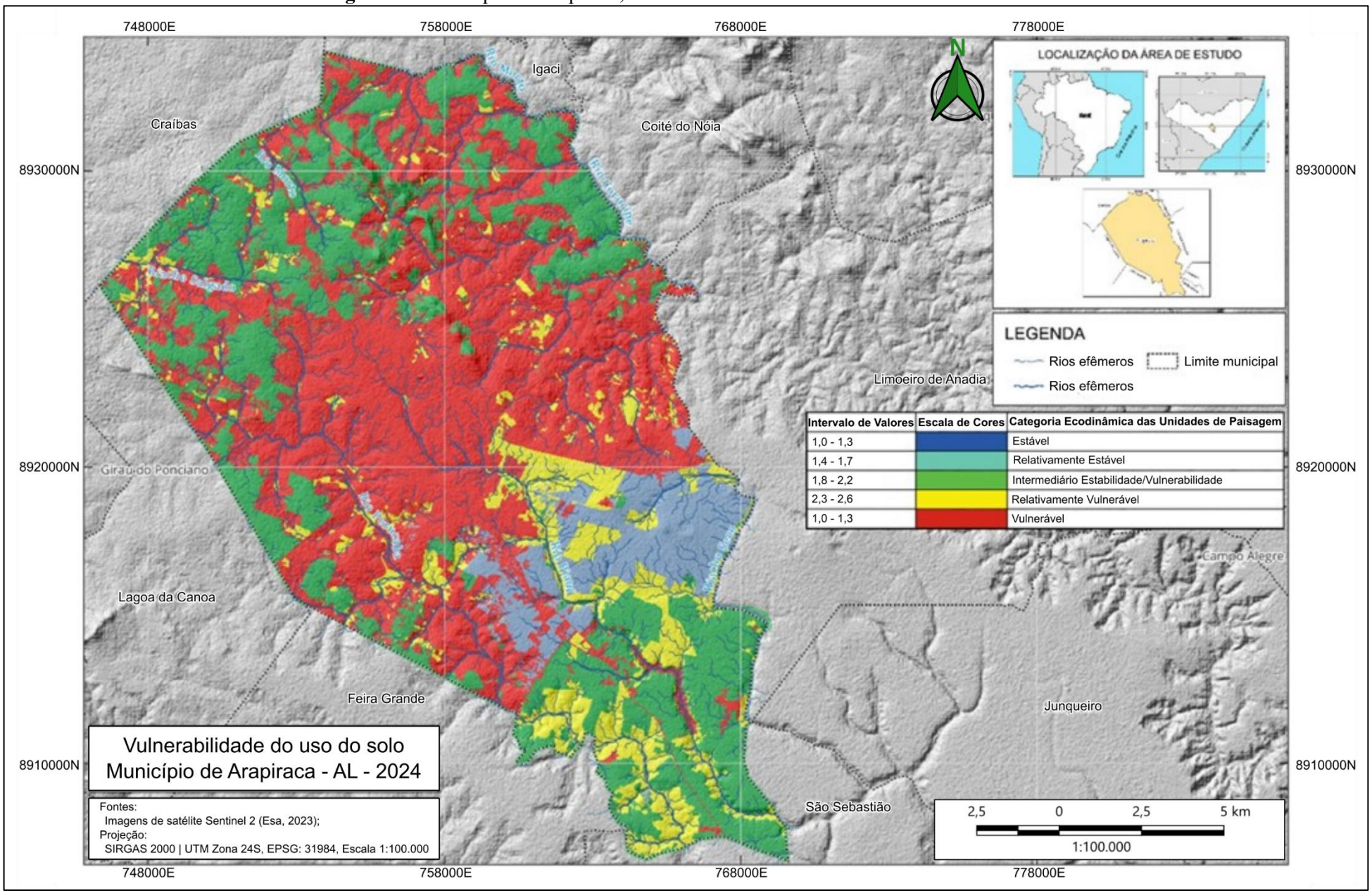
A APA Jurema, localizada no setor sudoeste, configura-se como um polígono isolado e sob forte pressão. Ao norte e leste, a unidade sofre o impacto direto da expansão urbana e dos vazios urbanos; ao sul e oeste, é pressionada pela matriz agrícola (Figura 57).

A ausência de conectores ecológicos que liguem a APA a outros fragmentos significativos a torna um "enclave verde" vulnerável. Como única unidade de conservação visível, sua condição de "ilha" reforça que a proteção ambiental em Arapiraca depende hoje da gestão de microterritórios e matas ciliares finas, que se mostram insuficientes para garantir a segurança hídrica e a conservação da biodiversidade em longo prazo.

Figura 57: Codomínio próximo à área da APA Jurema.

Fonte: Autor (2024)

Figura 58: Município de Arapiraca, Níveis de Vulnerabilidade do Uso da Terra - 2024.



3. CONDICIONANTES SOCIOAMBIENTAIS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO E ORGANIZAÇÃO ESPACIAL

A configuração territorial de Arapiraca, Alagoas, caracteriza-se por uma organização espacial abrangente, composta por aproximadamente 65 localidades, englobando bairros e comunidades rurais (Figura 59). O perímetro urbano principal distingue-se pela presença de um núcleo urbano adensado, em contraste com áreas periféricas e rurais de maior extensão.

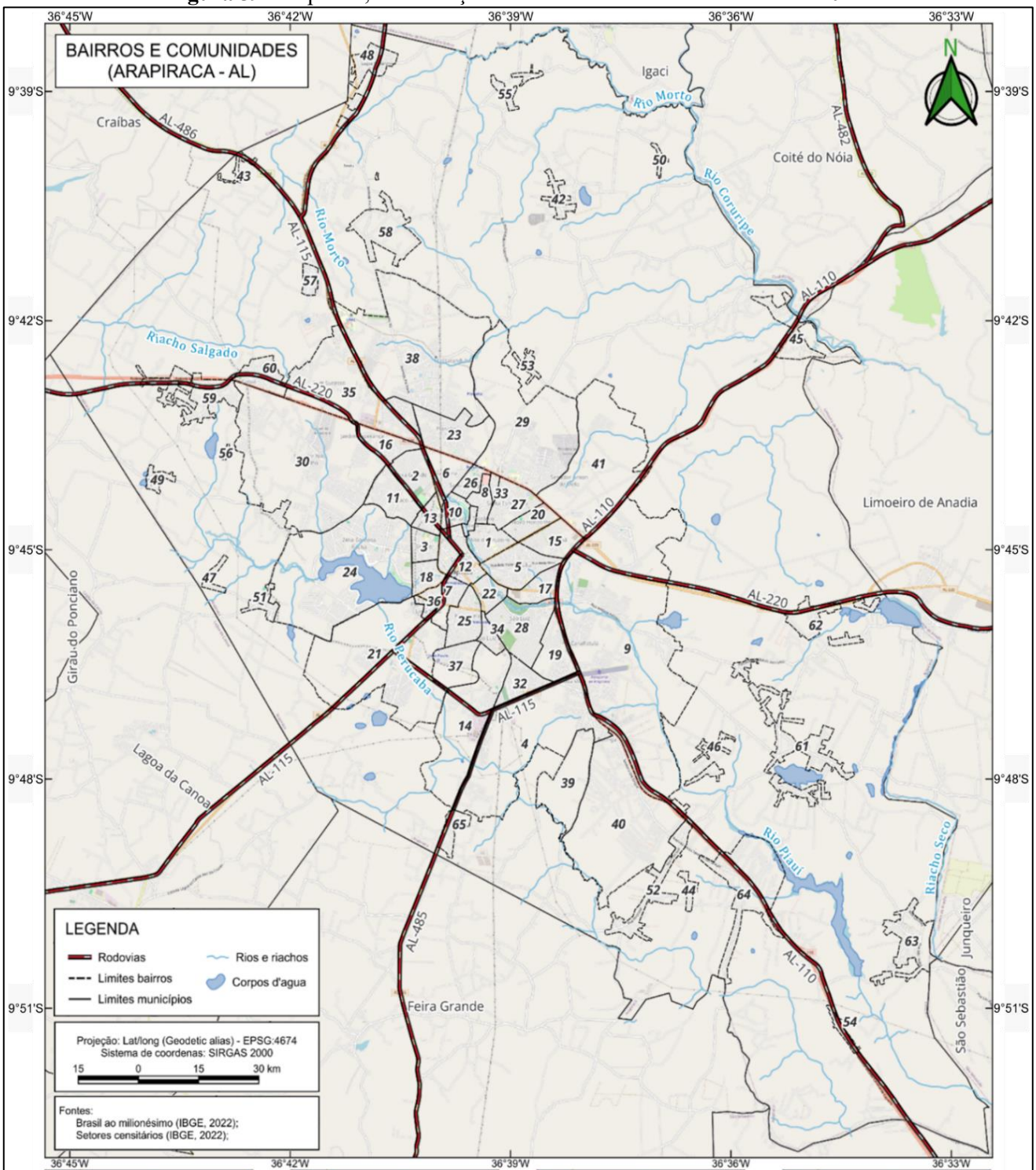
No centro geográfico do mapa, identifica-se uma concentração de bairros caracterizada por polígonos menores e em maior quantidade, que são áreas de grande densidade domiciliar, como será visto adiante. Áreas como Centro (12), Ouro Preto (22), Brasília (5), Caititus (8) e Alto do Cruzeiro (1) encontram-se nesta região central, configurando o núcleo urbano da cidade de Arapiraca.

Esta organização está fortemente estruturada por uma rede de rodovias que convergem para o núcleo urbano. As rodovias AL-110, AL-115 e AL-220 funcionam como eixos principais, partindo do centro em diferentes direções. Frequentemente, essas vias atuam como limites físicos claros entre os bairros, segmentando o território e sendo a principal estrutura de organização dos fluxos intraurbanos e interurbanos.

À medida que se afasta do núcleo urbano, os bairros da periferia tornam-se territorialmente mais extensos, a exemplo de Canafístula (9), Senador Nilo Coelho (30) e Massaranduba (38). Estas áreas representam zonas de transição urbana para comunidades rurais além dos limites urbanos.

Essas comunidades rurais ficam situadas fora do perímetro urbano principal de Arapiraca (identificadas no quadro do mapa pelos números 42 a 65), e constituem uma vasta rede de assentamentos rurais e periurbanos que circundam a cidade. As comunidades rurais apresentam um padrão de ocupação visivelmente mais disperso e pontual, espalhando-se por todo o território, estendendo-se até os limites municipais de Arapiraca com cidades vizinhas, como Feira Grande, Craíbas, Coira do Nóia e Limoeiro de Anadia.

Figura 59: Arapiraca, Distribuição dos bairros e comunidades rurais - 2024.



Núm.	Nome
1	Alto do Cruzeiro
2	Baixa Grande
3	Baixão
4	Boa Vista
5	Brasília
6	Brasiliana
7	Cacimbas
8	Caititus
9	Canafistula
10	Capiatã
11	Cavaco
12	Centro
13	Eldorado
14	Guaribas
15	Itapoã
16	Jardim Esperança

Núm.	Nome
17	Jardim Tropical
18	Manoel Teles
19	Nova Esperança
20	Novo Horizonte
21	Olho D'Água dos Cazuzinhas
22	Ouro Preto
23	Planalto
24	Zélia Barbosa Rocha
25	Primavera
26	Santa Edwiges
27	Santa Esmeralda
28	São Luiz
29	Senador Arnon de Melo
30	Senador Nilo Coelho
31	Senador Teotônio Vilela
32	Verdes Campos

Núm.	Nome
33	Jardim de Maria
34	São Luiz II
35	Bom Sucesso
36	Padre Antonio Lima Neto
37	João Paulo II
38	Massaranduba
39	Alazão
40	Batingas
41	Deputado Nezinho
42	Vila Aparecida
43	Umbuzeiro
44	Sítio Taquara
45	Sítio Poção
46	Sítio Flexeiras
47	Sítio Fernandes
48	São José

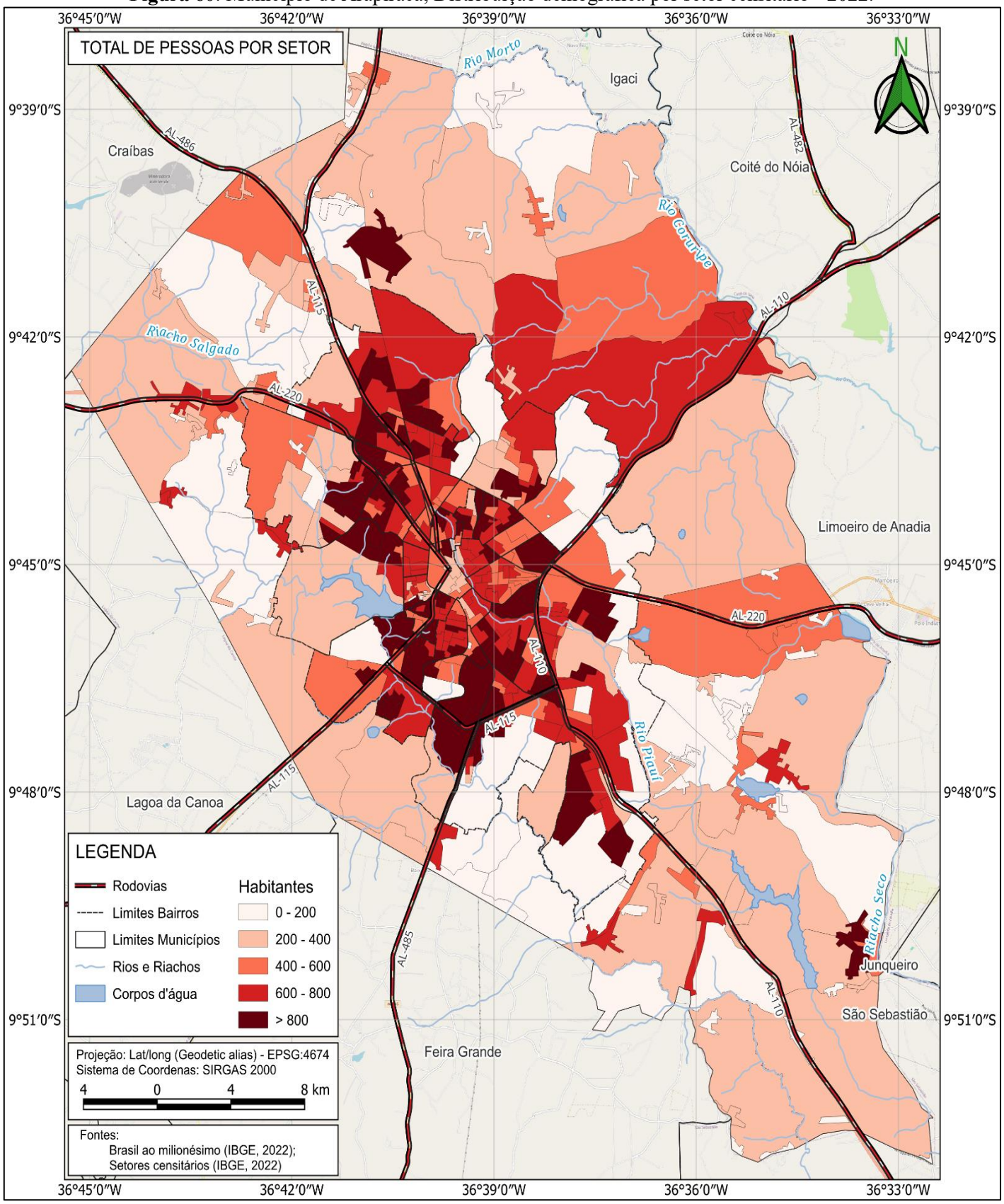
Núm.	Nome
49	São Francisco
50	Poço da Pedra
51	Pau Ferro dos Laranjeiros
52	Pau D'Arco
53	Mangabeira
54	Laranjal
55	Lagoa d'Água
56	Lagoa Cavada
57	Conjunto Residencial Agreste
58	Carrasco
59	Capim
60	Canaã
61	Cangandu
62	Bom Jardim
63	Bananeiras
64	Bálsamo
65	Baixa da Onça

3.1. DEMOGRAFIA

Constata-se, através dos dados do censo do IBGE (2022), que a população de Arapiraca totaliza cerca de 234.696 habitantes, com uma estimativa de 243.661 habitantes para o ano de 2024, ou seja, uma expectativa de crescimento de quase 4% em relação ao ano de realização do censo demográfico. O município de Arapiraca também exibe uma população majoritariamente urbana, com cerca de 92,21% dela vivendo na cidade.

A partir do mapeamento da população por setor censitário como se avista na Figura 60, observa-se que os estratos de maior densidade (> 800 habitantes) localizam-se, em sua maioria, nas áreas periféricas do núcleo urbano de Arapiraca e em aglomerados rurais específicos. Estas zonas de alta concentração demográfica situam-se no entorno da Lagoa da Perucaba e ao longo de alguns eixos rodoviários, como as conexões entre a AL-220 e a AL-115, e entre a AL-115 e a AL-485. Bairros como Jardim Esperança, Cavaco, Senador Nilo Coelho, Massaranduba, Planalto e São Luiz configuram-se como as áreas mais densamente habitadas, expandindo a malha urbana nos eixos norte e oeste

Figura 60: Município de Arapiraca, Distribuição demográfica por setor censitário - 2022.



Fonte: Censo demográfico IBGE (2022)

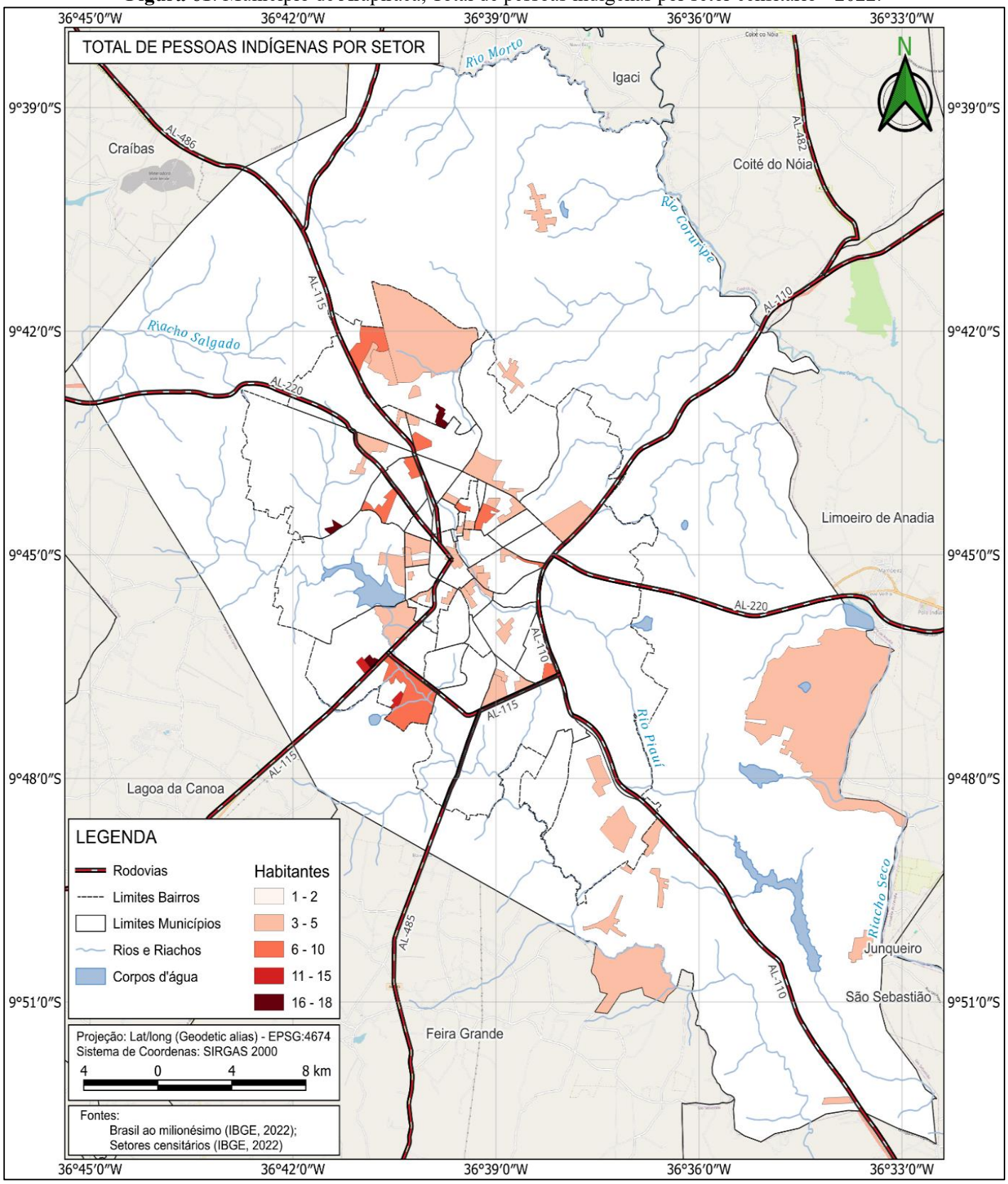
No setor sul e a leste da AL-110, a densidade demográfica elevada (> 800 hab.) apresenta uma distribuição mais dispersa, estendendo-se pela bacia hidrográfica do Rio Coruripe entre o bairro Deputado Nezinho e o Sítio Poção. Dados do Cadastro Ambiental Rural (SICAR) revelam que esta porção do território concentra o maior número de pequenas e médias propriedades rurais do município, conforme os parâmetros de módulo fiscal estabelecidos pela Lei nº 8.629/1993 (INCRA, 2025). Outros polos de alta densidade destacam-se no extremo sul, no aglomerado de Bananeiras, e na comunidade quilombola Carrasco, ao norte de Massaranduba.

Em contraste, as áreas de densidade intermediária (400 a 800 hab.) coincidem com os bairros centrais e consolidados, como Capiatã, Centro, Ouro Preto, Brasília e Alto do Cruzeiro. São zonas que concentram a maior oferta de serviços e equipamentos públicos e privados, incluindo centros hospitalares, estabelecimentos comerciais e espaços de lazer, conferindo uma valorização imobiliária distinta em relação às periferias. Além do perímetro urbano, comunidades como Pé Leve, Baixa da Onça, Canaã e o território quilombola Pau D'Arco também exibem esta densidade intermediária, enquanto os estratos de baixa densidade (0 a 400 hab.) predominam na vasta extensão da zona rural.

Para uma compreensão integral da diversidade demográfica local, torna imperativo analisar a distribuição das populações tradicionais. A Figura 61 espacializa o total de indivíduos autodeclarados indígenas por setor censitário. A análise cartográfica revela uma discrepância acentuada entre este grupo e a população total, evidenciando sua condição de minoria numérica no território.

Com contagens absolutas que variam entre 1 e 18 habitantes por setor, a população indígena encontra-se em números reduzidos e dispersos. Diferente da população geral, sua distribuição não obedece ao modelo centro-periferia, indicando uma lógica de ocupação espacial distinta que demanda políticas públicas de assistência e reconhecimento territorial específicos para evitar sua invisibilização diante dos grandes adensamentos urbanos.

Figura 61: Município de Arapiraca, Total de pessoas indígenas por setor censitário - 2022.



Fonte: Censo demográfico IBGE (2022)

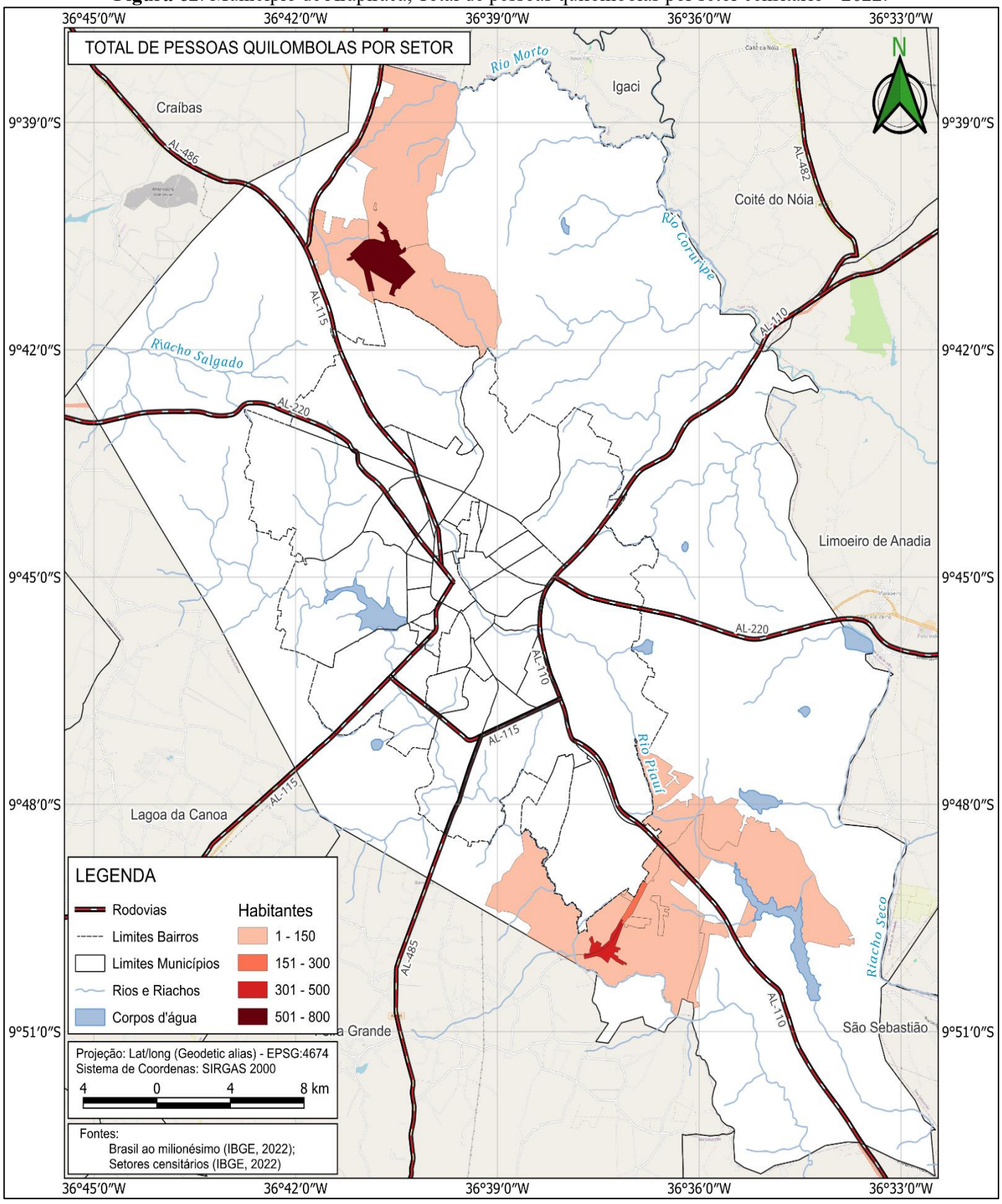
Diferente do padrão de adensamento observado na população geral, a distribuição da população indígena em Arapiraca encontra-se dispersa e pontual, ocorrendo em setores periféricos ao limite urbano consolidado. A grande maioria dos setores censitários registra presença ínfima ou nula (faixa de 0 a 2 habitantes), não se configurando um centro de concentração único, mas sim pequenos agrupamentos específicos.

A maior concentração de indivíduos autodeclarados indígenas situa-se em um conjunto de setores na porção oeste do limite urbano, nas proximidades do entroncamento das rodovias AL-220 e AL-115, adjacente à Lagoa da Perucaba. Um segundo agrupamento, de menor escala, localiza-se ao sul do núcleo central, fora do perímetro urbano. Adicionalmente, identificam-se setores isolados nas áreas periféricas ao norte e noroeste da cidade que apresentam valores nas faixas intermediárias (10 a 18 habitantes), evidenciando uma presença fragmentada que desafia a visibilidade deste grupo no planejamento territorial.

Em contrapartida, as comunidades quilombolas apresentam uma dinâmica de ocupação distinta, constituindo dois dos maiores aglomerados rurais de Arapiraca (Figura 62). Observa-se, primeiramente, que o contingente populacional quilombola é significativamente superior ao indígena (IBGE, 2022). Além disso, a espacialização revela que estas áreas correspondem a territórios historicamente estabelecidos.

Diferente da dispersão indígena, a população quilombola em Arapiraca exibe uma forte coesão territorial, concentrada em setores específicos que refletem processos históricos de resistência e permanência na terra. Esta densidade populacional quilombola, superior a indígena, reforça a necessidade de políticas públicas que considerem não apenas o número absoluto, mas a especificidade cultural e a regularização fundiária desses núcleos, especialmente frente ao avanço da fronteira agrícola e urbana discutida anteriormente.

Figura 62: Município de Arapiraca, Total de pessoas quilombolas por setor censitário - 2022.



Fonte: Censo demográfico IBGE (2022)

Com a espacialização da população quilombola no mapa, nota-se uma ausência quase absoluta deste grupo no perímetro urbano, tanto no centro quanto nas franjas periféricas. Este padrão de distribuição espacial representa uma inversão completa em relação à população autodeclarada indígena, pois enquanto esse segmento populacional apresenta dispersão periurbana, a população quilombola caracteriza-se por uma concentração robusta em aglomerados rurais específicos.

Essa organização territorial estrutura-se em dois grandes polos:

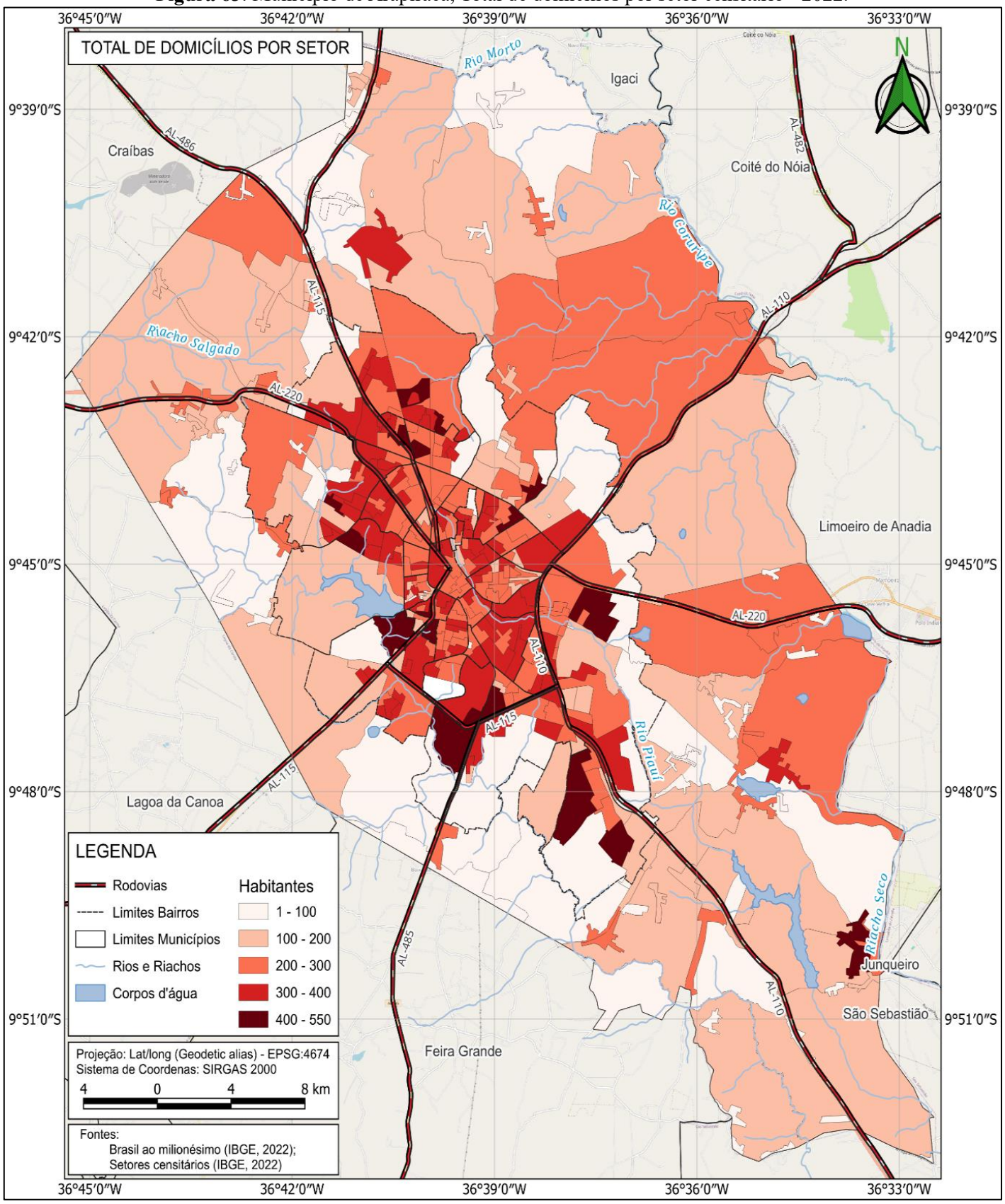
Quilombo do Carrasco: Localizado na porção noroeste de Arapiraca, próximo aos limites com Igaci e Craíbas. Este é o aglomerado mais denso, com setores censitários apresentando as maiores contagens populacionais da série, situando-se nas faixas de 300 a 500 e 500 a 800 habitantes.

Quilombo Pau D'Arco: Situado no setor sudeste do município, próximo às divisas com Feira Grande e São Sebastião. Este núcleo apresenta menor dimensão e densidade populacional quando comparado ao Carrasco, predominando na faixa de 150 a 300 pessoas.

A configuração desses territórios reforça a existência de "enclaves culturais" na zona rural, que mantêm sua coesão espacial e social frente à dinâmica urbana da sede municipal.

A análise da distribuição de domicílios por setor censitário revela uma convergência espacial significativa com os padrões de distribuição populacional anteriormente discutidos. Observa-se a formação de núcleos densos tanto no perímetro central quanto em setores periféricos de Arapiraca, evidenciando áreas de forte coesão espacial e consolidação urbana (Figura 63).

Figura 63: Município de Arapiraca, Total de domicílios por setor censitário - 2022.



Fonte: Censo demográfico IBGE (2022)

Os setores com maior densidade domiciliar (entre 400 e 550 unidades habitacionais) localizam-se nas franjas periféricas da cidade. Este fenômeno de adensamento periférico está condicionado pelos principais eixos de mobilidade (AL-115, AL-220, AL-485 e AL-110), que funcionam como indutores da ocupação habitacional. No núcleo central e em grande parte da periferia consolidada, predominam contagens entre 200 e 400 domicílios, configurando uma mancha urbana contínua e morfologicamente coesa.

No espaço rural, destacam-se dois aglomerados com expressividade habitacional:

- Riacho Seco: Situado no extremo sul, próximo aos limites com os municípios de Junqueiro e São Sebastião.
- Quilombo Carrasco: Localizado ao norte, mantendo sua relevância como polo de fixação populacional.

Interessante é notar que, nas áreas quilombolas e indígenas, a contagem de domicílios (200-400) em relação ao total de habitantes sugere uma maior densidade de moradores por residência, uma característica demográfica distinta das áreas centrais urbanas. Em contrapartida, as extremidades norte, oeste e sudeste apresentam as menores densidades ocupacionais (0-100 unidades por setor), refletindo o caráter extensivo da zona rural.

A compreensão da estrutura sociológica e morfológica de Arapiraca demanda uma investigação que transcenda a descrição estatística, alcançando os processos de formação do espaço. Dessa forma, ao considerar a estrutura organizacional do município de Arapiraca, levanta-se questões relacionadas aos processos de formação do espaço.

Segundo Corrêa (2012), no contexto das cidades capitalistas, os processos espaciais atuam como intermediários entre as relações sociais e as formas materiais. Assim, a distribuição e organização urbana observadas em Arapiraca são o reflexo da transformação da estrutura social materializada no território. A investigação do fenômeno urbano exige, portanto, a articulação entre:

1. Estruturas Morfológicas: O sítio, os imóveis, a malha viária e os espaços públicos.
2. Estruturas Sociológicas: A distribuição demográfica, perfis de idade, sexo e as dinâmicas da população ativa.

3. Processos Socioespaciais: Notadamente a centralidade, que atua como o motor de construção e reconstrução desigual dos espaços urbano e rural (Lefebvre, 2002).

A partir deste prisma, analisa-se a organização territorial de Arapiraca como o produto da ação de diversos agentes modeladores do espaço, que ao longo do tempo moldaram a região central e suas periferias sob a lógica da fragmentação e da funcionalidade econômica.

Como se observa em Arapiraca, a região dos bairros do Centro, Alto do Cruzeiro, Brasília e Capiatã estão a priori intimamente ligadas aos antigos vilarejos e assentamentos de camponeses que deram origem a Arapiraca (Figura 64), desde antes do ápice da cultura fumageira, onde Arapiraca era apenas um distrito do município de Limoeiro de Anadia e tinha como base econômica o milho, feijão, mandioca e algodão, e a posteriori aos loteamentos privados das famílias abastadas da cultura do fumo.

Figura 64: Áreas centrais de Arapiraca. A - Catedral Nª. Sª. Do Bom Conselho (Centro); B - Praça Bosque das Arapiracas (Sen. Teotônio Vilela).

Fonte: A - Google Earth (2024); B - Autor (2025)

O ápice da economia fumageira, ocorrido entre as décadas de 1960 e 1970, foi o catalisador de profundas transformações sociodemográficas em Arapiraca (GUEDES, 1999). Esse período foi marcado por um intenso fluxo migratório de camponeses em direção ao núcleo urbano e pelo surgimento de uma elite agrária local. Paralelamente, o Estado promoveu a infraestruturação do território para dar suporte ao comércio crescente, destacando-se a implantação da primeira adutora (1973), a instalação do Banco do Brasil e a consolidação de eixos logísticos como a linha ferroviária e as rodovias BR-316, AL-110, AL-115 e AL-220, que integraram a cidade aos fluxos regionais.

Na década de 1960, a feira livre de Arapiraca consolidou-se como uma das três maiores do Nordeste. A intensificação comercial nos anos 1970 provocou uma especialização funcional do bairro Centro. A proliferação de estabelecimentos comerciais absorveu o estoque imobiliário das vias centrais, resultando na expulsão do uso residencial e na consolidação de uma área central exclusivamente terciária (Romão et al., 2008).

Com o declínio subsequente da cultura fumageira, o excedente populacional do campo migrou definitivamente para o centro urbano. No entanto, essa transição ocorreu de forma desigual, ocasionando o surgimento de áreas de vulnerabilidade socioespacial, como favelas e cortiços. O comércio, então, substituiu a agricultura como a principal matriz econômica e fonte de subsistência para as populações deslocadas (Romão et al., 2008).

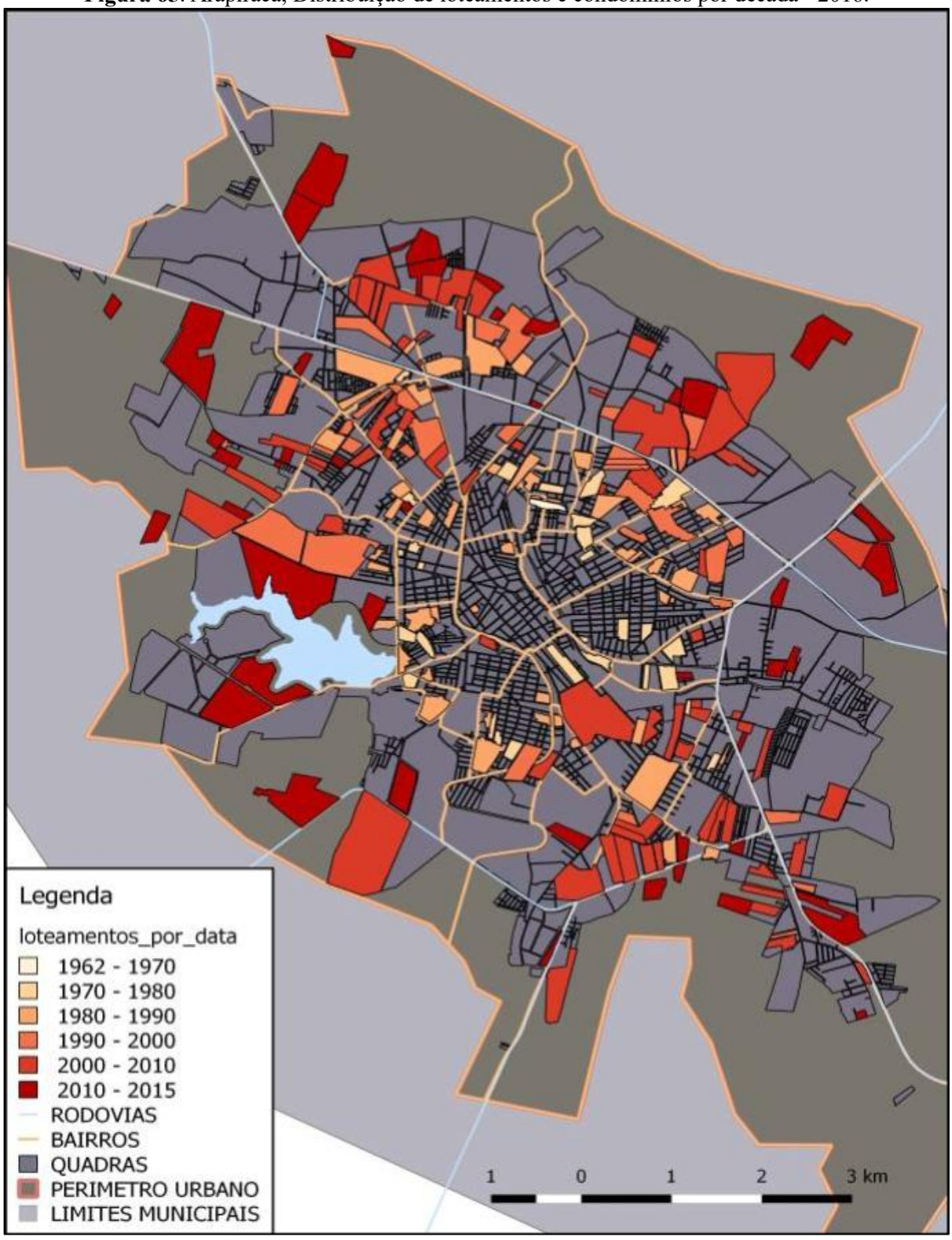
A crise do setor fumageiro reconfigurou a morfologia urbana: estruturas ocupadas por multinacionais do fumo foram reaproveitadas por empresas de outros segmentos e a feira livre perdeu sua proeminência regional original. Arapiraca, contudo, demonstrou resiliência ao adaptar-se rapidamente a novas atividades econômicas (Silva et al., 2021). Atualmente, o município vivencia um processo de espraiamento horizontal, impulsionado pela instalação de Loteamentos Residenciais Isolados em áreas periféricas, redefinindo a relação entre o centro funcional e as áreas periurbanas (Damasceno et al., 2016), (Figura 65).

De acordo com Damasceno et al. (2016), as áreas centrais de Arapiraca atravessaram períodos distintos de reestruturação, tendo o intervalo entre 1990 e 2004 como um marco de modernização. Nesse período, o município implementou ações de higienização e ordenamento do centro, como a realocação de assentamentos precários da região central, a construção de parques lineares e a transferência estratégica da feira livre para zonas periféricas. O surgimento do calçadão comercial e a pavimentação de bairros e antigos vilarejos (Canafístula, Bananeiras e o Quilombo Pau d'Arco) consolidaram a integração desses núcleos à dinâmica urbana principal.

Entre 2005 e 2012, Arapiraca vivenciou uma aceleração no processo de urbanização, impulsionada por novos vetores de indução e infraestrutura. Destaca-se o desvio do canal do bairro Manoel Teles, que interrompeu o despejo de efluentes no Lago da Perucaba, permitindo a exploração do seu potencial paisagístico e atraindo condomínios fechados de alto padrão. A implantação da Avenida Ceci Cunha, a expansão da rede elétrica e a construção de uma terceira adutora supriram as demandas desse crescimento, culminando na chegada do primeiro Shopping Center da cidade e na explosão do mercado imobiliário. Como consequência, houve

um intenso deslocamento habitacional para as áreas periféricas, tal como na Lagoa da Perucaba (Figura 66).

Figura 65: Arapiraca, Distribuição de loteamentos e condomínios por década - 2016.



Fonte: Damasceno (2016)

Figura 66: Loteamento próximo a Lagoa da Perucaba.

Fonte: autor (2024)

Recentemente, Neves et al. (2025) propuseram uma síntese da configuração urbana de Arapiraca em quatro fases evolutivas:

- 1924: Ocupação dispersa e irregular.
- 1950-1972: Reestruturação via modal ferroviário, introduzindo o traçado ortogonal e a modernização econômica.
- 1972-2001: Deslocamento do eixo de crescimento para as rodovias estaduais e o Distrito Industrial, fomentando a periferização.
- 2001-2019: Fragmentação do espaço urbano, agravada pela especulação imobiliária e pela segregação socioespacial em condomínios fechados.

Neves et al. (2025), enfatizam ainda a necessidade de integrar grupos historicamente invisibilizados, como indígenas, quilombolas e mulheres, na análise da formação urbana, indo além das grandes obras públicas.

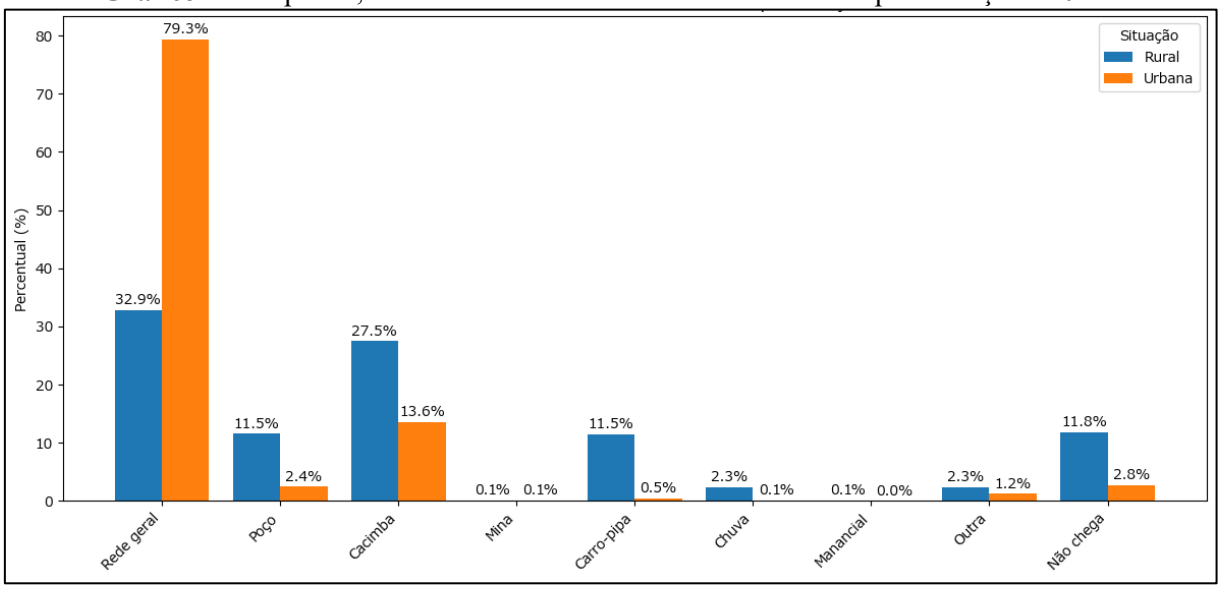
Arapiraca apresenta um crescimento horizontal acelerado desde a década de 1950, beneficiado por sua posição geográfica estratégica no Agreste e pela expansão da malha rodoviária. No entanto, esse crescimento, muitas vezes desprovido de planos de urbanização

eficazes para o núcleo central, resultou em problemas típicos das cidades médias brasileiras: o abandono de áreas históricas, a degradação do patrimônio natural e a poluição hídrica e edáfica. Estes impactos de aglomeração potencializam as desigualdades socioespaciais e comprometem a qualidade de vida da população.

3.2. REDE DE DISTRIBUIÇÃO E SANITÁRIA

Os dados de abastecimento, revelam disparidades acentuadas no desenvolvimento da infraestrutura ao longo do território de Arapiraca (IBGE, 2022). Essa desigualdade reflete o estágio de fragmentação socioespacial e econômica do município, atingindo de forma mais severa as comunidades em situação de vulnerabilidade (Gráfico 11).

Gráfico 11:Arapiraca, Percentuais de Métodos de Abastecimento por Situação - 2022.



Fonte: Censo demográfico IBGE (2022)

Na Zona Urbana, verifica-se uma predominância absoluta da rede geral de distribuição, que atende 79,3% dos domicílios. Como fontes complementares, destacam-se as cacimbas (13,6%), seguidas por métodos com representatividade residual, como a ausência de rede (2,8%), poços profundos (2,4%) e outras fontes (1,2%). Métodos como carro-pipa, captação de águas pluviais ou minas registram índices inferiores a 1%.

Em contraste, o cenário na Zona Rural revela-se mais heterogêneo e precário. Embora a rede geral ainda seja a fonte principal, seu alcance atinge apenas 32,9% dos domicílios, menos da metade da cobertura observada na área urbana. A dependência de soluções alternativas é expressiva e diversificada: as cacimbas (poços rasos) suprem 27,5% das residências, enquanto

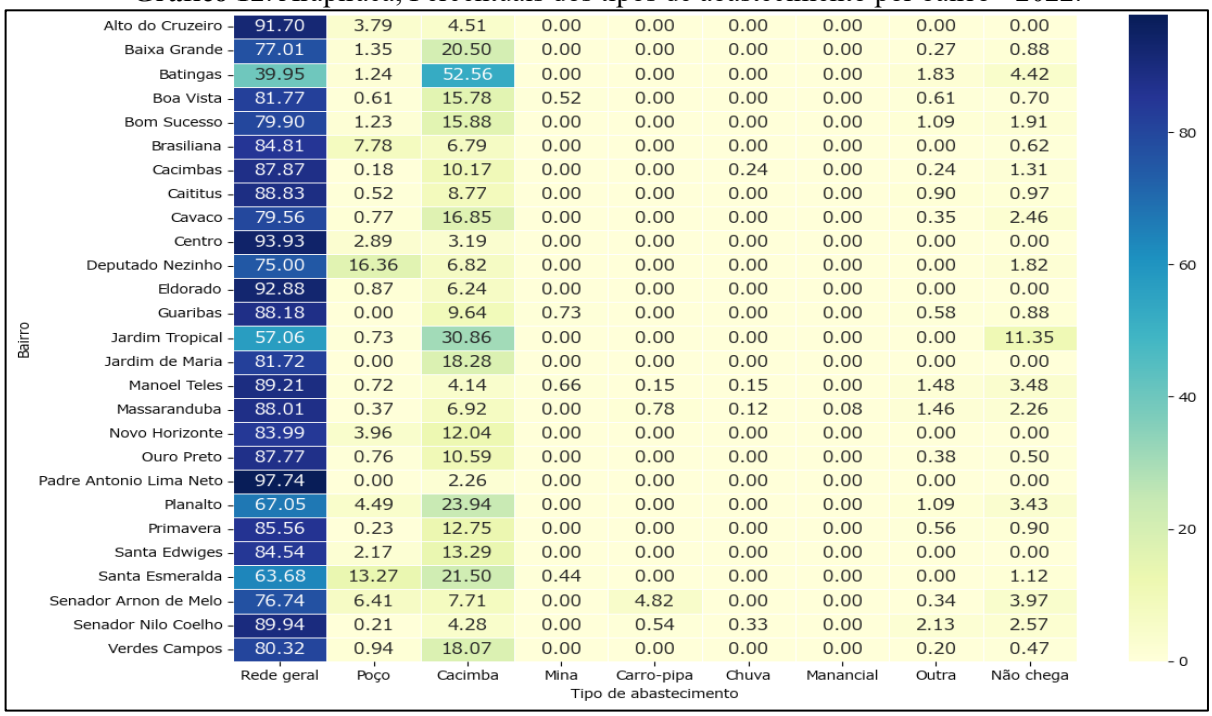
as categorias "poço", "carro-pipa" e a situação de desabastecimento absoluto ("não chega") apresentam percentuais equivalentes, em torno de 11,5% cada.

A disparidade territorial evidencia-se pelo fato de a cobertura da rede formal ser 2,5 vezes superior na zona urbana em relação à rural. Além disso, a insegurança hídrica extrema (residências aonde a água "não chega") é aproximadamente 5 vezes maior no campo, indicando um déficit estrutural que obriga a população rural a recorrer a métodos de abastecimento considerados menos seguros e passíveis de contaminação.

Através dos dados de rede de distribuição de água e de esgotamento sanitário, disponibilizados pelo censo IBGE (2022), foi possível observar a desigualdade do desenvolvimento da infraestrutura na zona urbana e rural ao longo do território de Arapiraca, o que pode refletir uma série de questões socioambientais e econômicas, principalmente para as comunidades mais vulneráveis (IBGE, 2022), (Gráfico 11).

O mapa de calor referente aos percentuais dos tipos de abastecimento por bairro detalha a matriz hídrica de 29 bairros da zona urbana de Arapiraca, evidenciando profundas desigualdades socioespaciais (Gráfico 12). Na escala adotada, a cor azul-escura denota a predominância da rede formal (tendendo a 100% dos domicílios), enquanto os tons de verde e amarelo sinalizam percentuais decrescentes e a dependência de fontes alternativas.

Gráfico 12: Arapiraca, Percentuais dos tipos de abastecimento por bairro - 2022.



Fonte: Censo demográfico IBGE (2022)

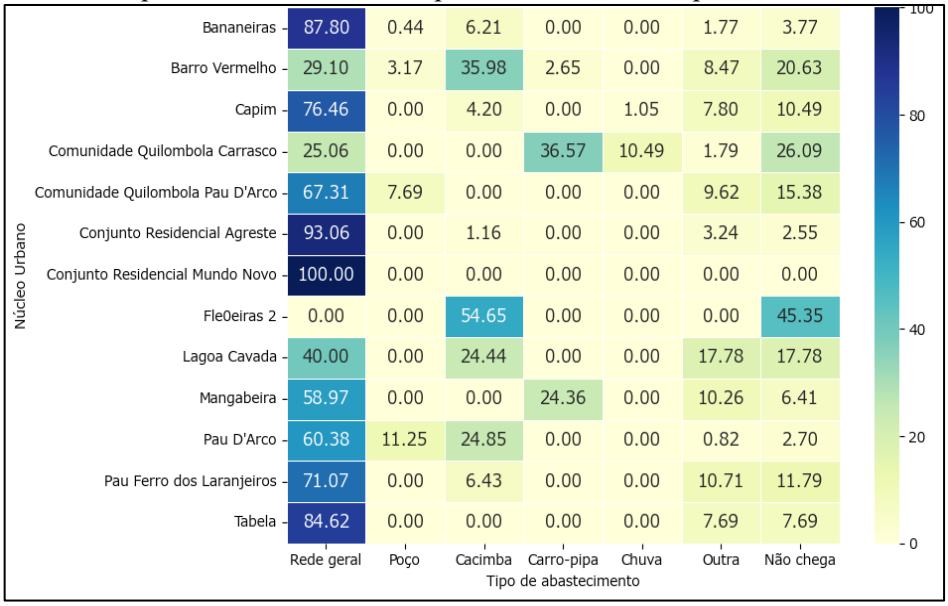
A maioria dos setores analisados apresenta uma cobertura elevada da rede geral, com destaque para bairros consolidados como Padre Antônio Lima Neto (97,74%), Eldorado (92,88%) e Alto do Cruzeiro (91,70%), onde o serviço beira a universalização. Da mesma forma, bairros centrais e de ocupação histórica, como Brasília, Cacimbas, Ouro Preto e Senador Nilo Coelho, mantêm índices de atendimento superiores a 80%.

Contudo, identificam-se vetores de precariedade mesmo dentro do perímetro urbano. O bairro Batingas apresenta a situação mais crítica, com apenas 39,95% dos domicílios conectados à rede geral. Outros setores com déficits infraestruturais significativos incluem Jardim Tropical (57,06%), Santa Esmeralda (63,68%) e Planalto (67,05%).

Além da baixa conectividade, o bairro Jardim Tropical destaca-se negativamente pela desassistência absoluta, com 11,35% dos domicílios relatando que a água "não chega", o índice mais elevado entre os bairros listados. Seguem este padrão os bairros Planalto (3,43%) e Senador Arnon de Melo (3,97%), este último apresentando ainda uma dependência atípica de carros-pipa (4,82%). Esses indicadores denunciam falhas estruturais, intermitência severa e a necessidade urgente de expansão e manutenção da malha de abastecimento de Arapiraca para garantir a segurança hídrica urbana.

O Gráfico 13 também revela as estratégias de sobrevivência hídrica que suprem a ausência da rede pública. O método da cacimba (poço raso) consolida-se como a principal alternativa, abrangendo 52,56% das residências em Batingas, 30,86% no Jardim Tropical e aproximadamente 24% e 21% nos bairros Planalto e Santa Esmeralda, respectivamente.

Gráfico 13: Arapiraca, Percentuais dos tipos de abastecimento por núcleo urbano - 2022.



Fonte: Censo demográfico IBGE (2022)

Ao analisar os percentuais de distribuição nos núcleos urbanos isolados, comunidades rurais e territórios quilombolas, a disparidade no acesso à água torna-se ainda mais evidente. O cenário revela uma segregação social acentuada, onde enclaves de cobertura universal coexistem com áreas de exclusão absoluta da rede geral de abastecimento.

Os núcleos (Gráfico 13) com melhor atendimento apresentam índices comparáveis aos setores urbanos mais consolidados (Gráfico 12). O Conjunto Residencial Mundo Novo atinge 100,00% de cobertura, seguido pelo Conjunto Residencial Agreste (93,06%), o povoado Bananeiras (87,80%) e Tabela (84,62%). Nestas áreas, a rede formal é a fonte quase universal, garantindo maior segurança hídrica aos residentes.

Em contrapartida, observa-se uma situação de exclusão hídrica absoluta em diversas comunidades. O caso de Flexeiras é o mais alarmante: a cobertura da rede geral é nula (0,00%) e 45,35% dos domicílios sofrem com o desabastecimento total. As comunidades tradicionais também apresentam índices críticos de desassistência: a Comunidade Quilombola Carrasco registra 26,09% de domicílios aonde a água "não chega", seguida por Barro Vermelho (20,63%), Lagoa Cavada (17,78%) e a Comunidade Quilombola Pau D'Arco (15,38%).

Nesses locais, a carência de infraestrutura força a adoção de fontes precárias e emergenciais. Em Flexeiras e Barro Vermelho, a cacimba (poço raso) é a fonte primária para 54,65% e 35,98% dos domicílios, respectivamente. O Quilombo Carrasco exibe um perfil de vulnerabilidade hídrica sistêmica: com apenas 25,06% de acesso à rede geral, a comunidade depende majoritariamente de carros-pipa (36,57%) e da captação de águas pluviais (10,49%). Já Pau D'Arco e Lagoa Cavada apresentam uma dependência mista entre a rede formal e soluções individuais (poços e cacimbas).

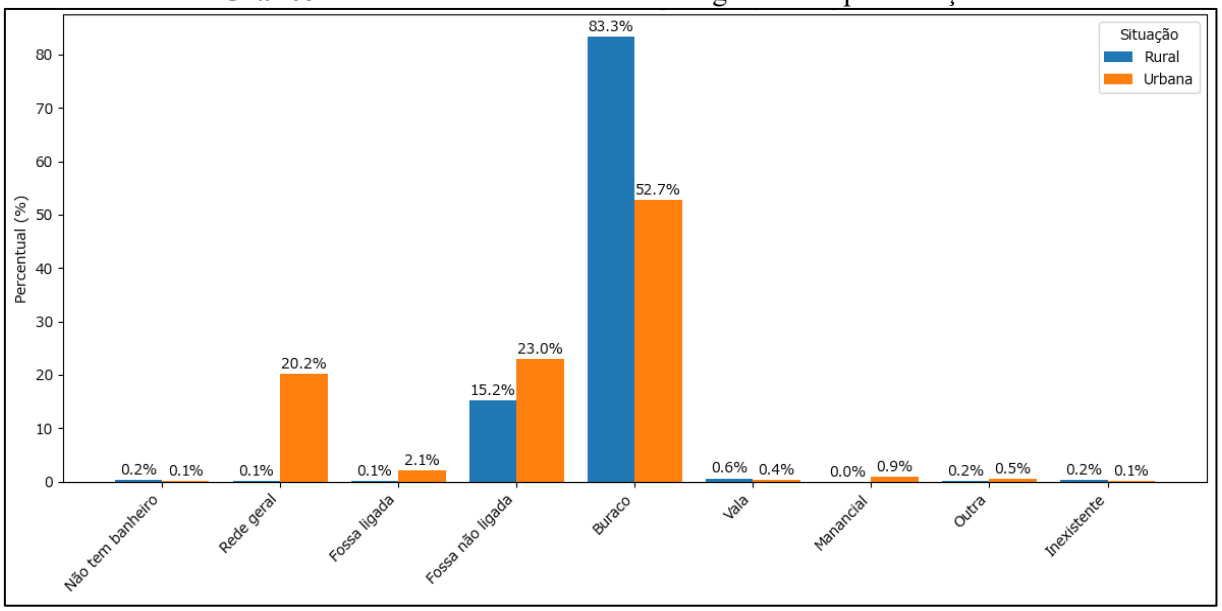
Os números oficiais divulgados pelo IBGE (2022) demonstram que, embora a zona urbana de Arapiraca caminhe para a consolidação do serviço público (80% de cobertura), a universalização ainda enfrenta o desafio de incluir os 13,6% dependentes de cacimbas e os 2,8% em situação de desassistência total.

A zona rural, contudo, enfrenta uma realidade de vulnerabilidade sistêmica. Com menos de um terço da população atendida pela rede formal, a maioria (67,1%) submete-se a soluções paliativas e de elevado risco sanitário. A dependência excessiva de cacimbas (27,5%) e poços (11,5%), muitas vezes sem o devido controle de potabilidade, levanta sérias preocupações sobre a saúde pública. Ademais, o uso de carros-pipa (11,5%) como solução estrutural é um indicador inequívoco de estresse hídrico severo. A expansão da rede geral faz-se urgente não apenas para

garantir a dignidade e a saúde dessas populações, mas também para reduzir os custos da produção agrícola familiar e promover o desenvolvimento rural sustentável.

Outro indicador fundamental das desigualdades socioespaciais em Arapiraca refere-se aos métodos de esgotamento sanitário. Os percentuais de cada modalidade revelam um cenário de precariedade estrutural, caracterizado pela dependência massiva de soluções individuais rudimentares em ambas as situações de domicílio (Gráfico 14).

Gráfico 14: Percentuais de métodos de esgotamento por situação.



Fonte: Censo demográfico IBGE (2022)

Na Zona Urbana, o método predominante denomina-se "Buraco" (fossa rudimentar ou fossa negra), utilizado por mais da metade dos domicílios (52,7%). A fossa séptica não ligada à rede pública aparece como a segunda solução mais comum (23,0%), enquanto a rede geral de esgotamento atende apenas 20,2% da população urbana, um índice criticamente baixo para um polo regional. Outras formas de descarte apresentaram representatividade estatística inexpressiva.

Na Zona Rural, a vulnerabilidade atinge níveis extremos. O "Buraco" configura-se como a solução quase universal, sendo o destino dos efluentes de 83,3% dos domicílios. A fossa não ligada à rede é a segunda opção (15,2%), enquanto a infraestrutura de rede geral é virtualmente inexistente (0,1%). O descarte direto em valas (0,6%) ou mananciais (0,9%), embora residual, agrava a degradação dos corpos d'água locais.

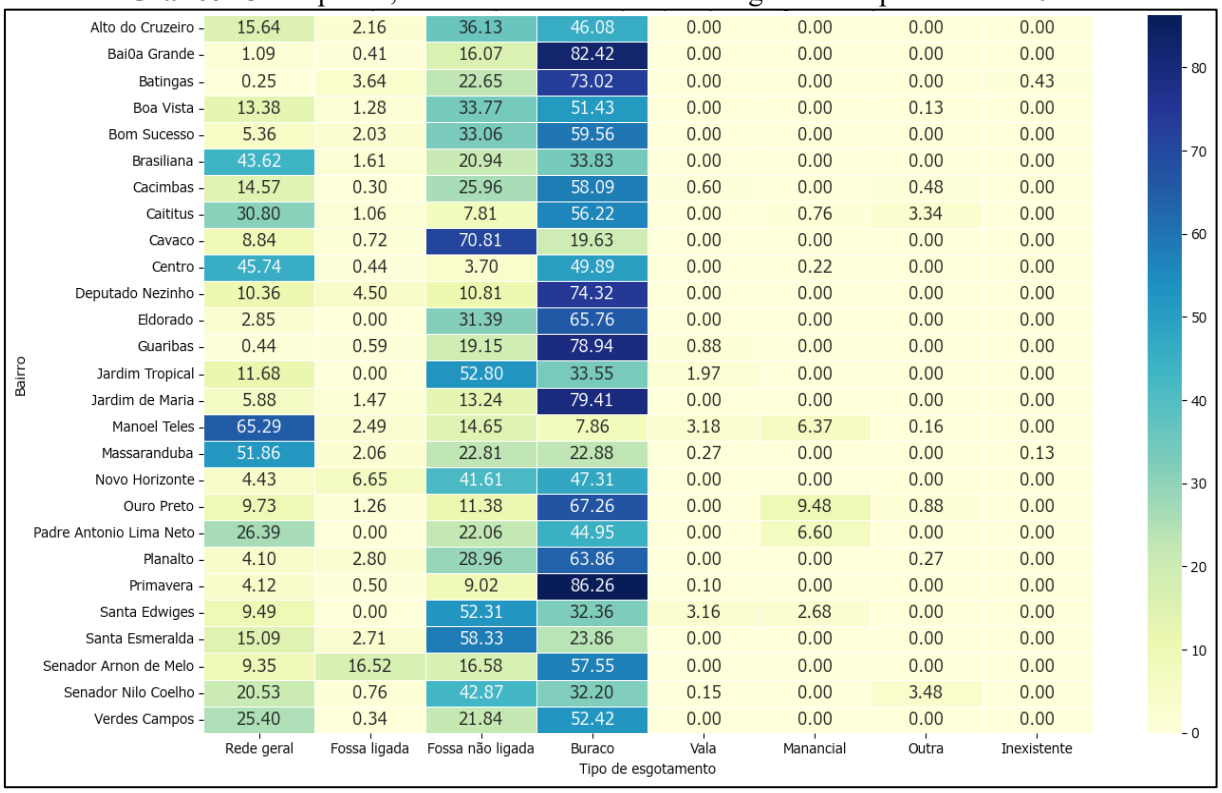
A cobertura de esgoto deficitária ocorre em todo o território. Mesmo no contexto urbano consolidado, os 20,2% de atendimento revelam uma urbanização incompleta. O que supre a

ausência do Estado é a prática do "buraco", com predominância absoluta no campo e uma presença surpreendente alta na cidade. Esse cenário atesta o abandono do sistema de saneamento frente ao crescimento horizontal e desorganizado das últimas décadas. Como frisa Damasceno (2016), intervenções sanitárias estruturantes foram pontuais, como o desvio do canal do bairro Manoel Teles, que historicamente degradava a Lagoa da Perucaba.

A convergência desses dados sinaliza um grave risco à saúde pública e ao meio ambiente. Em bairros como Batingas, onde a população depende massivamente de cacimbas (poços rasos) para o consumo hídrico, o despejo simultâneo de esgoto bruto via fossas rudimentares no mesmo substrato geológico cria um ciclo de contaminação direta. A proximidade física entre os pontos de extração de água e os de infiltração de efluentes representa uma ameaça severa, potencializando a propagação de doenças de veiculação hídrica e gerando um passivo ambiental de difícil remediação nos aquíferos de Arapiraca.

A análise detalhada do Gráfico 15 confirma a espacialização da precariedade da infraestrutura da malha urbana de Arapiraca, revelando que o déficit de esgotamento sanitário não é apenas generalizado, mas atinge níveis críticos em setores específicos. A cobertura por Rede Geral é a exceção no território: mesmo nos bairros com melhores índices, como Manoel Teles (65,29%), beneficiado por investimentos recentes para a despoluição da Lagoa da Perucaba, Massaranduba (51,86%), Centro (45,74%) e Brasília (43,62%), o atendimento está longe da universalização.

Gráfico 15: Arapiraca, Percentuais de métodos de esgotamento por bairro - 2022.



Fonte: Censo demográfico IBGE (2022)

Em contrapartida, a infraestrutura é virtualmente inexistente em bairros como Batingas (0,25%), Baixa Grande (1,09%) e Guaribas (0,44%). Nestes locais, a fossa rudimentar ("Buraco") consolida-se como a solução hegemônica, com percentuais de cobertura alarmantes: Primavera (86,26%), Baixa Grande (82,42%), Jardim de Maria (79,41%), Guaribas (78,94%) e Batingas (73,02%).

A "Fossa não ligada", embora represente uma solução técnica intermediária superior ao buraco, predomina em bairros como Cavaco (70,81%), Santa Esmeralda (58,33%), Jardim Tropical (52,80%) e Santa Edwiges (52,31%). Outro dado preocupante é o descarte direto em mananciais, observado em Ouro Preto (9,48%) e Manoel Teles (6,37%), indicando a persistência de lançamentos de efluentes *"in natura"* nos cursos d'água urbanos.

A integração dos dados de abastecimento (Gráfico 11) e esgotamento (Gráfico 14) revela uma interface geobiofísica de altíssimo risco. O bairro Batingas exemplifica o caso mais extremo: enquanto 52,56% dos domicílios dependem de cacimbas (poços rasos) para o suprimento hídrico, 73,02% utilizam o método do "buraco" para o descarte de esgoto.

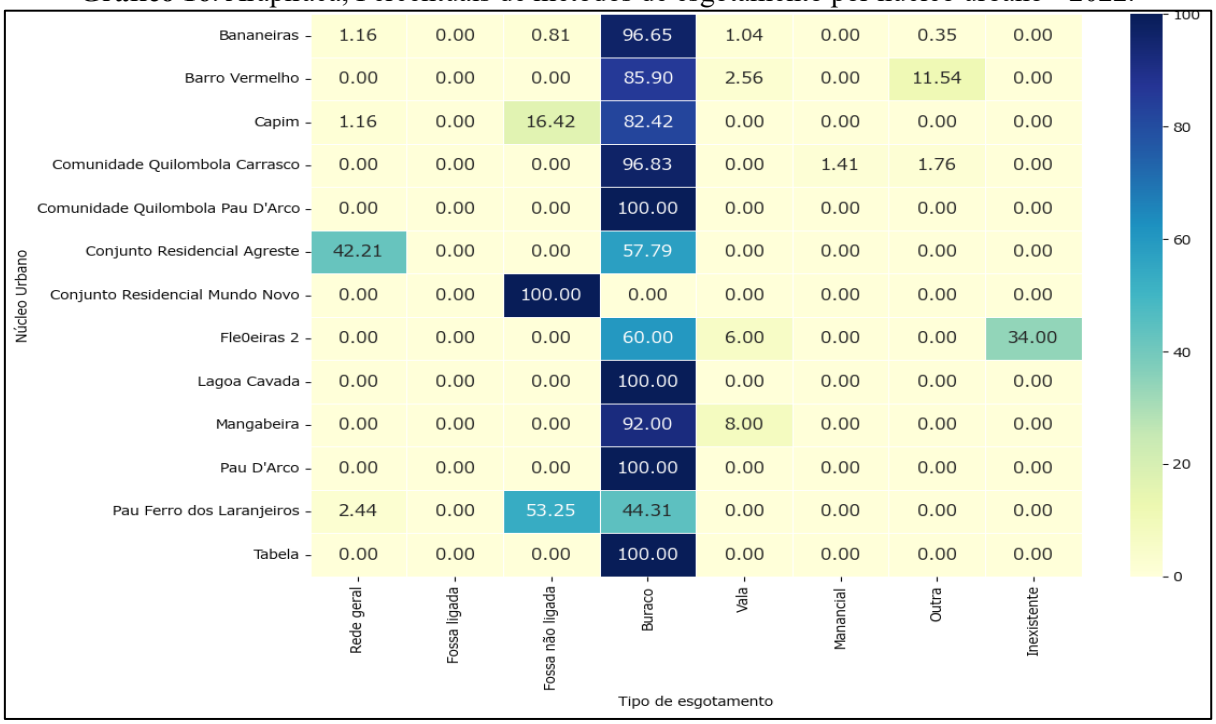
Essa configuração implica que a população está extraindo água para consumo de um lençol freático alimentado diretamente por efluentes não tratados, infiltrados no mesmo solo sedimentar poroso. Este cenário configura um ciclo de contaminação fecal-oral direto,

representando uma emergência de saúde pública com risco iminente de surtos de doenças de veiculação hídrica. Este padrão de risco se replica em Santa Esmeralda, Baixa Grande, Jardim Tropical e Planalto, onde a coexistência de fossas e cacimbas cria um **passivo sanitário** sistêmico.

Conclui-se que a política de saneamento em Arapiraca apresenta uma disfunção estrutural: o foco histórico na expansão da rede de água (entrada) não foi acompanhado pela gestão de efluentes (saída). É imperativo que o planejamento municipal estabeleça como prioridade absoluta a erradicação do binômio "Buraco-Cacimba", especialmente em bairros como Batingas e Santa Esmeralda, através da universalização das redes integradas de abastecimento e esgotamento sanitário.

Nas comunidades rurais e núcleos urbanos situados para além do centro principal, a precariedade do esgotamento sanitário atinge níveis alarmantes. O mapa de calor dos métodos de esgotamento demonstra a inexistência quase total de saneamento básico formal nas 13 localidades analisadas, revelando um cenário de exclusão social sistêmica (Gráfico 16).

Gráfico 16: Arapiraca, Percentuais de métodos de esgotamento por núcleo urbano - 2022.



Fonte: Censo demográfico IBGE (2022)

De acordo com o levantamento, o método do "Buraco" (fossa rudimentar) será a solução padrão e hegemônica. As comunidades de Pau D'Arco, Lagoa Cavada e Tabela registram 100,00% de dependência deste método. Padrão semelhante observa-se na Comunidade

Quilombola Carrasco (96,83%), Bananeiras (96,65%), Mangabeira (92,00%) e Barro Vermelho (85,90%), onde o descarte de efluentes ocorre sem qualquer tratamento ou isolamento do solo.

Em contrapartida, a Rede Geral de Esgoto é virtualmente inexistente nessas áreas. A única exceção notável é o Conjunto Residencial Agreste (42,21%), onde o planejamento habitacional prévio permitiu a instalação de rede coletora. Em todas as outras 12 localidades, a infraestrutura pública de esgotamento é estatisticamente nula, evidenciando que o crescimento desses núcleos não foi acompanhado por políticas de saneamento.

A análise integrada entre a oferta de água e os métodos de esgotamento em Arapiraca revela disparidades gritantes que comprometem o desenvolvimento pleno e a qualidade de vida. Os casos de Barro Vermelho, Pau D'Arco, Lagoa Cavada e Flexeiras são críticos: a sobreposição entre o abastecimento via cacimbas e o descarte de efluentes em "buracos" cria um vetor de contaminação direta do solo e dos reservatórios de água subterrânea. Este fenômeno de vulnerabilidade aquífera também se manifesta no núcleo urbano principal, em bairros como Batingas, Planalto, Santa Esmeralda, Baixa Grande e Jardim Tropical, este último, mesmo próximo ao centro consolidado, ainda padece de urbanização incompleta.

Os dados reforçam a necessidade de estratégias territoriais diferenciadas. Na Zona Urbana, o foco deve ser a otimização e expansão da malha existente, a regularização de fontes alternativas e a implementação de políticas sociais para erradicar a exclusão hídrica absoluta (2,8%). Na Zona Rural, a prioridade deve ser o investimento massivo em infraestrutura primária, substituindo a dependência de cacimbas e carros-pipa (Figura 67) por soluções regulamentadas e seguras, como poços artesianos com sistemas de tratamento integrados, assim como a adoção de outras alternativas de sistemas ecológicos de baixo custo, como seriam as fossas biodigestoras e vermifiltros, para o reaproveitamento de determinados efluentes.

No que tange ao saneamento básico global de Arapiraca, urge um aporte expressivo de investimento público para superar a dependência histórica de soluções arcaicas. É fundamental promover a substituição das fossas rudimentares por redes coletoras ou, em áreas isoladas, por tecnologias individuais seladas (fossas sépticas biodigestoras). Tais medidas são cruciais para romper o ciclo de contaminação fecal-oral e proteger o lençol freático, especialmente em territórios de alta criticidade como Batingas, Santa Esmeralda, Pau D'Arco, Carrasco e Flexeiras, garantindo, assim, a justiça territorial e a segurança sanitária da população de Arapiraca.

Figura 67: Abastecimento de carro-pipa próximo a nascente do Rio Piauí, no bairro Capiatã.

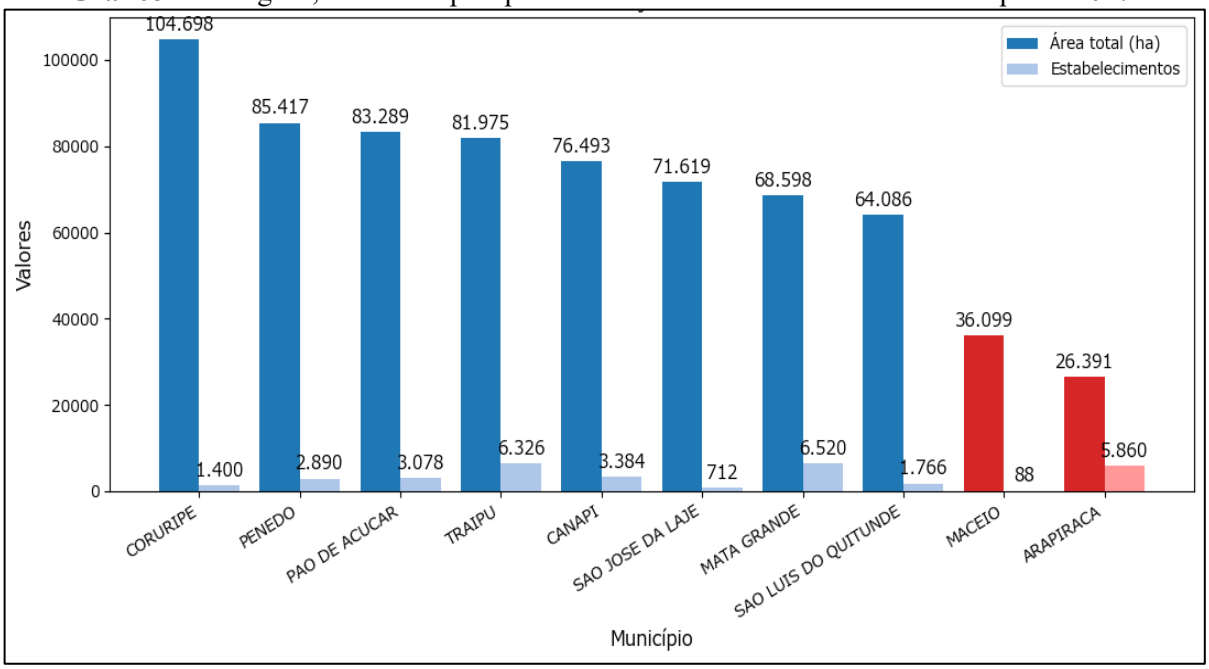
Fonte: Autor (2024)

3.3. DIVISÃO DO SOLO E POTENCIAL ECONÔMICO

Os 10 municípios de maior relevância econômica em Alagoas, apresentam diferenças significantes em relação a sua característica econômica mais básica e a divisão do solo para produção (Gráfico 17). Essa diferença na divisão da propriedade da terra, além de refletir diferenças na origem dos municípios e no seu desenvolvimento produtivo, também refletem ciclos produtivos atuais e importantes para o sustento da população e dos diferentes setores de seus respectivos territórios.

Os primeiros oito municípios listados no Gráfico 17 (Coruripe a São Luís do Quitunde) são apresentados em ordem decrescente conforme a soma da área total em hectares de suas respectivas propriedades. São municípios com grande extensão territorial, começando com Coruripe (104.698 há.), seguido por Penedo (85.417 há.) e Pão de Açúcar (83.289 há.). Maceió (36.099 há.) e Arapiraca (26.391 há.), destacados no final do gráfico possuem as menores áreas totais do grupo, mas representam casos do extremo oposto em relação a divisão da terra.

Gráfico 17: Alagoas, Área total por quantidade de estabelecimentos em municípios - 2017.



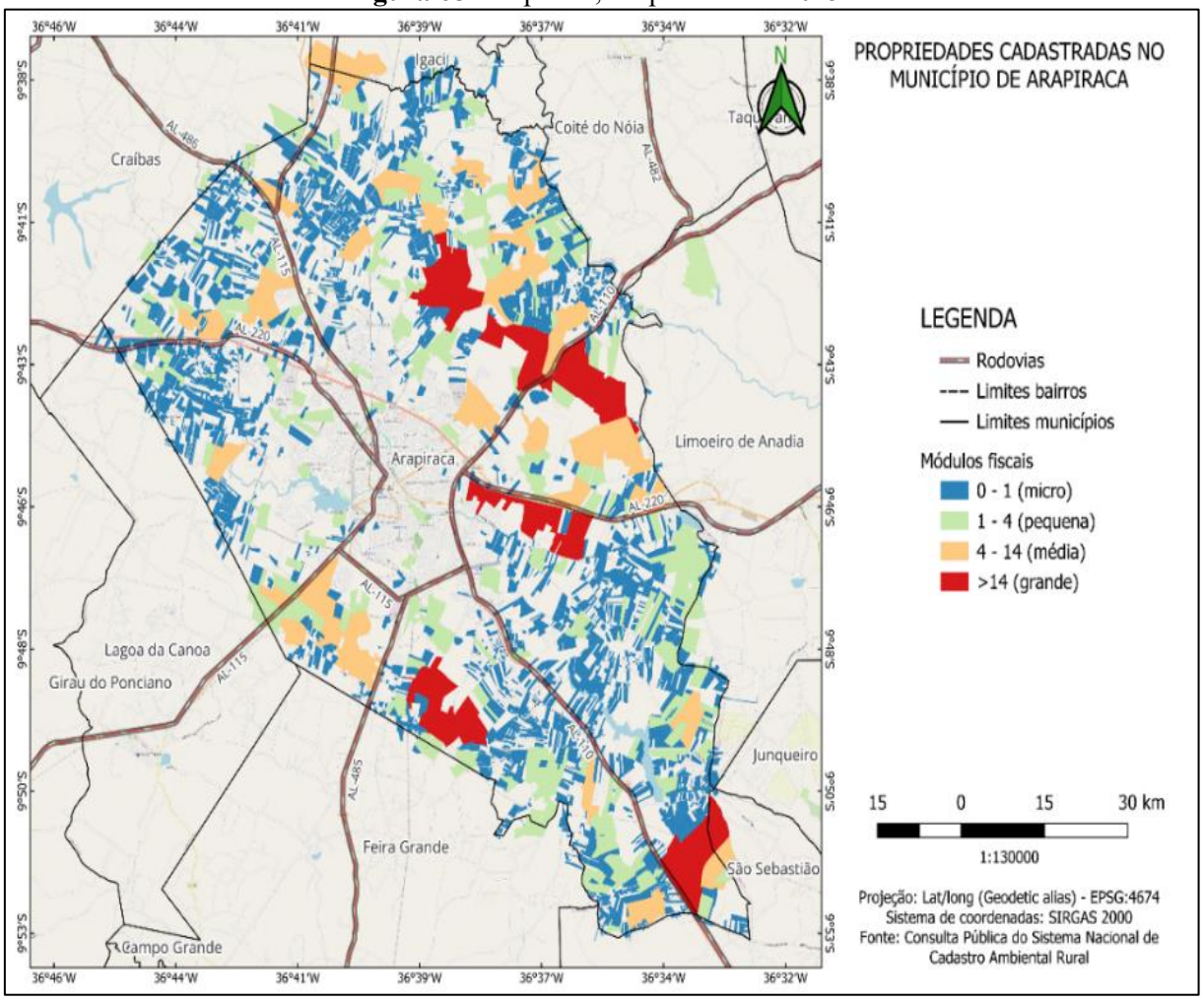
Fonte: Censo agropecuário IBGE (2017)

A Zona da Mata alagoana foi historicamente dominada pela monocultura da cana-de-açúcar, portanto, em sua maioria formada por latifúndios voltados para o cultivo da matéria prima do açúcar e atualmente também do álcool, gerando, assim, municípios como é o caso de Maceió, que se destaca de forma absoluta, com o menor número de estabelecimentos, totalizando 88, em uma área total que supera a de Arapiraca.

Municípios como Penedo, São Luís do Quitunde, Coruripe e São Jose da Laje, também pertencentes a Zona da Mata, possuem um número baixo de estabelecimentos em proporção à sua vasta área de propriedades, oriundo de um modelo agrário-extensivo da cana. Outros municípios do Sertão de Alagoas como, Mata Grande e Traipu possuem um número elevado de estabelecimentos, superando inclusive Arapiraca, proveniente do grande número de médias, pequenas e micro propriedades superior a população de Arapiraca e Maceió.

Já Arapiraca, sendo o município com a menor área agrícola total do grupo, seu número de estabelecimentos é comparável ou maior do que municípios com grandes áreas agrícolas. No entanto, sua importância econômica deriva da natureza desses estabelecimentos, que são formados em sua maioria por micro, pequenas e médias propriedades de cultura mais diversificada (Figura 68), com um grande potencial e ligação com a indústria alimentícia local. Legado direto da cultura do fumo.

Figura 68: Arapiraca, Propriedades - 2025.



Fonte: Sicar INCRA (2025).

A predominância de micro e pequenas propriedades rurais em Arapiraca evidencia uma intensa fragmentação fundiária, resultado histórico da cultura do fumo e da agricultura familiar. Onde, inicialmente, a produção de fumo se dava pelo arrendamento de terras por famílias, mas a partir da década de 1960, com a expansão do setor, o modelo mudou para contratação de trabalhadores por produção (Romão et. al., 2008),

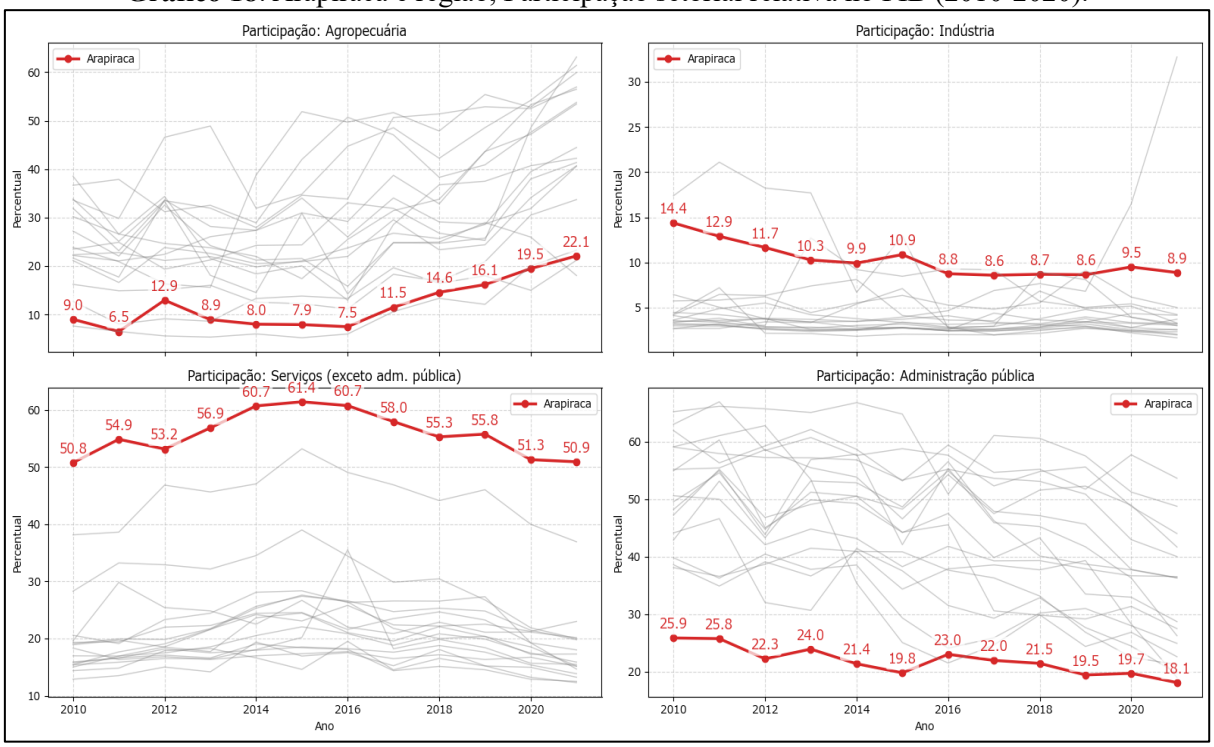
Esta estrutura fundiária foi o motor que alimentou e alimenta o polo de comércio e serviços de Arapiraca. Apesar da força de sua indústria em Alagoas, a força econômica da cidade de Arapiraca não vem apenas de sua indústria, mas da sinergia com a sua base rural e a dos municípios ao seu entorno, tendo substituído o fumo por hortaliças, frutas e outras culturas, que abastecem a Feira de Arapiraca, sua indústria e os mercados da região.

Além do predomínio da agricultura familiar, propriedades médias e grandes (> 4 MF) coexistem em áreas com maior concentração de lotes maiores, especialmente nas regiões

Noroeste, Nordeste e Sul. Essas propriedades tendem a envolver atividades capitalizadas, como horticultura moderna, pecuária ou especulação imobiliária próxima à cidade (Figura 68).

O crescimento agrícola e econômico no passado de Arapiraca transformou o município não apenas em um importante polo produtor, mas também no principal centro urbano da região. Como se constata no Gráfico 18, o setor de serviços de Arapiraca se mostra como a base da economia do município, respondendo por mais da metade do PIB, onde, possivelmente, a população dos municípios vizinhos consome serviços em Arapiraca inflando o setor.

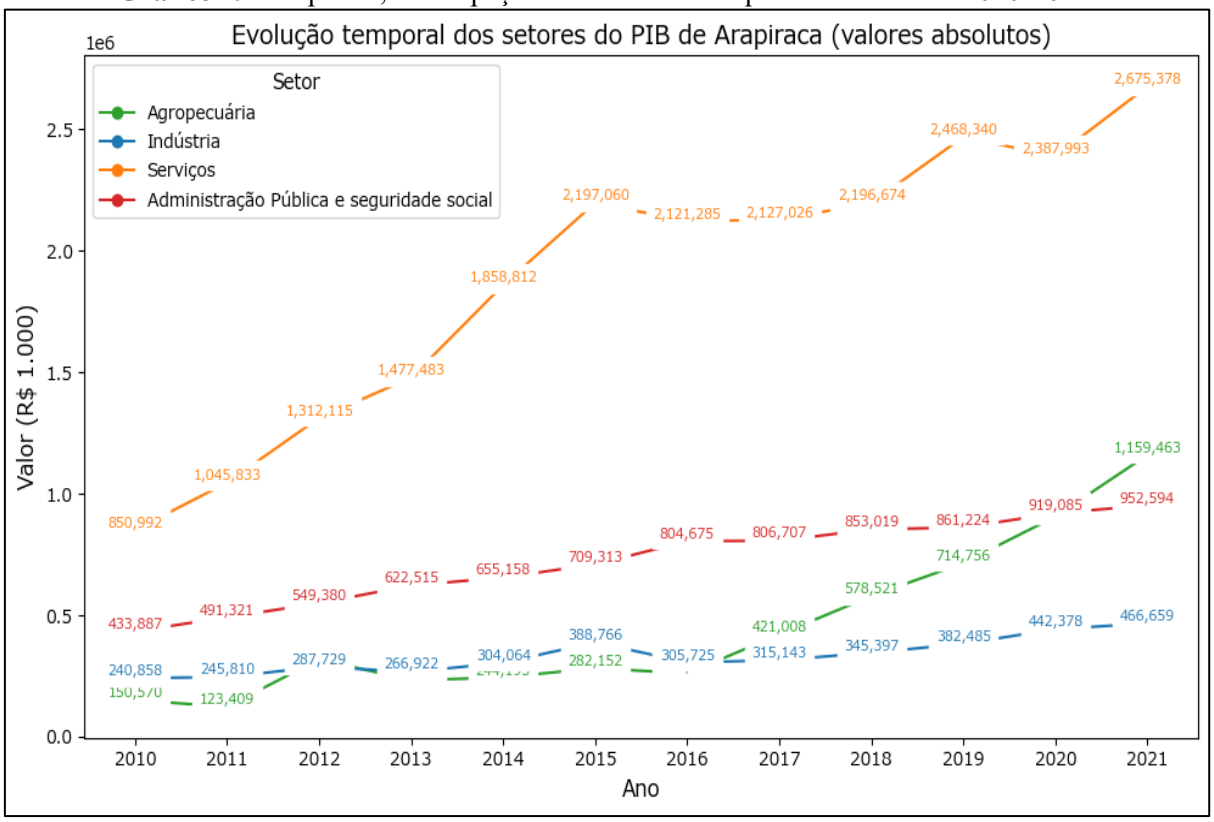
Gráfico 18: Arapiraca e região, Participação setorial relativa no PIB (2010-2020).



Fonte: PIB dos municípios (IBGE, 2021).

Conforme dados do Censo Agropecuário do IBGE (2017), Entre 2010 e 2021, a indústria sofreu um declínio relativo claro ao longo das décadas, caindo de 14,4% (2010) para 8,9% (2021). Embora ainda esteja acima da média de seus vizinhos (que são ainda menos industrializados), sua importância relativa vem diminuindo. De maneira absoluta, a participação da indústria no PIB de Arapiraca ocorreu devido a sua progressão mais lenta que os demais setores e ao significativo aumento de outros setores da economia, principalmente do setor de serviços e da Agropecuária (Gráfico 19).

Gráfico 19: Arapiraca, Participação setorial absoluta por setor no PIB - 2010-2021.



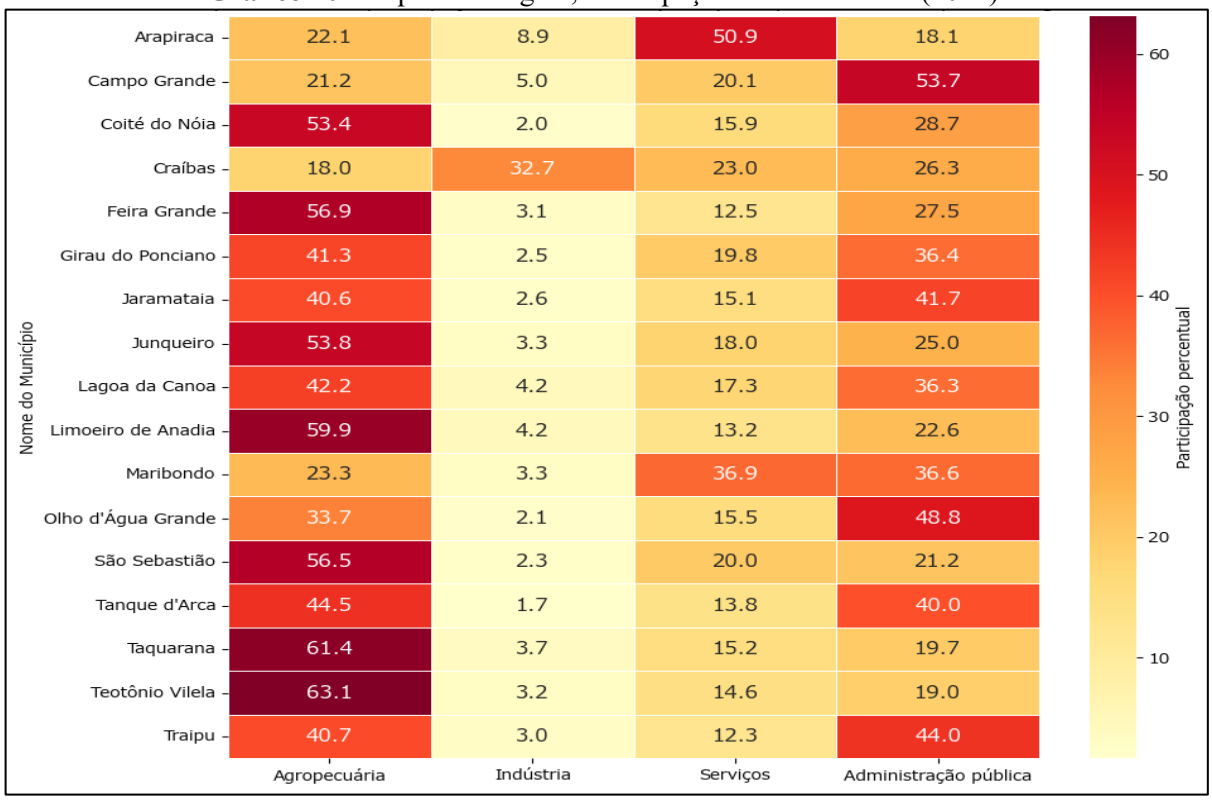
Fonte: PIB dos municípios (IBGE, 2021).

O setor da Agropecuário foi o que teve o crescimento mais significativo a partir de 2018, com os milhares de micro propriedades rurais (o legado do fumo) se transformaram em um motor econômico de mais de 1 bilhão de reais por ano, provavelmente através da horticultura e outras culturas de maior valor.

Mendes (2020), em seu estudo sobre a indústria de alimentos de Arapiraca e Maceió, salienta o sucesso de empresas que surgiram ou cresceram durante o ciclo do fumo, em Arapiraca, e que hoje atuam em mercados regionais e nacionais, como o Grupo Coringa (derivados de milho e café), a Indústria Camarão (vinagres) e a Indústria Popular (doces e snacks), mostrando o potencial de vínculo entre a agropecuária e a indústria do município.

Em 2021 na região próxima a Arapiraca, o município que apresenta a maior participação da indústria no PIB é Craíbas, impulsionado principalmente pela atividade de mineração de cobre realizada pela Mineradora Vale Verde, a qual representa, provavelmente, a maior parcela do valor adicionado industrial do município. Os demais municípios possuem economias altamente baseadas na agropecuária e dependentes de empregos públicos, mostrando valores acima de 50 ou até 60 % de participação do setor em sua produção total (Gráfico 20).

Gráfico 20: Arapiraca e região, Participação setorial do PIB (2021):



Fonte: PIB dos municípios (IBGE, 2021).

Dessa forma, grande parte das riquezas de Arapiraca está dominada pelo setor de Serviços (R$ 2,67 bilhões), que age como o grande centro comercial. No entanto, a grande história da última década é o "boom" da Agropecuária (R$ 1,15 bilhão), que se tornou o novo e dinâmico segundo pilar da economia, ultrapassando um setor público (R$ 952 milhões) de crescimento lento e uma indústria estagnada (R$ 466 milhões), mas ainda muito distante dos serviços.

Sua função como polo regional, atraindo consumidores dos municípios vizinhos (cujas economias são dependentes do setor público e agrícola), lhe confere uma vitalidade econômica urbana (vista no número de estabelecimentos do gráfico anterior) diretamente alimentada e sustentada por sua base rural fragmentada e produtiva.

Portanto, a importância de Arapiraca como 'Capital do Agreste' não como um centro industrial, nem um centro de grandes propriedades. Ela é um polo de serviços e comércio que evoluiu historicamente para atender a uma base rural hiper fragmentada e altamente produtiva de sua zona rural e dos municípios do entorno. Esta sinergia é o cerne da organização territorial e econômica do município.

3.4. EVOLUÇÃO DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE

Neste tópico, são discutidos os resultados dos Índices de Sustentabilidade ao longo de diferentes anos no município de Arapiraca, com base nos 9 indicadores previamente estabelecidos para as dimensões sociais, econômicas e ambientais, e posteriormente classificados por níveis de sustentabilidade (Araujo, 2015; Sobral et al., 2013; Martins & Candido, 2012; Daniel et al., 2001; Daniel, 2000; Calorio, 1997).

Os indicadores selecionados foram definidos para abranger as complexas interações entre a exploração e o controle de recursos, o crescimento econômico e os efeitos resultantes sobre as comunidades locais ao longo dos anos de 1990, 2000 e 2010. A análise destes períodos específicos visa estimular uma reflexão aprofundada sobre a evolução ou retrocesso dos princípios de sustentabilidade, explorando como essas dinâmicas têm moldado o cenário ambiental e social da região ao longo do tempo, oferecendo base analítica para estudos mais detalhados de diferentes indicadores populacionais, econômicos e de infraestrutura, assim como suas interrelações, em período mais recentes e futuro do espaço urbano/rural do município de Arapiraca.

O alinhamento e disposição de cada eixo foram definidos para otimizar a relação e influência entre os indicadores, ressaltando que diferentes arranjos poderiam igualmente resultar no mesmo índice final. De acordo com a metodologia utilizada, os indicadores normalizados (Vpn) juntamente com os lados desconhecidos de cada triângulo (Dn), o semiperímetro (Pn) e a área (Sn) de cada triângulo estão apresentados na Tabela 17 seguinte, incluindo a sequência de distribuição dos indicadores e os anos contemplados pelo estudo (1990, 2000 e 2010).

Tabela 17: Arapiraca, Índice de sustentabilidade no período de 1990, 2000 e 2010.

Ordem	Indicadores	VPn			Dn			Pn			Sn		
		1990	2000	2010	1990	2000	2010	1990	2000	2010	1990	2000	2010
IS4	Taxa de desemprego (18 +)	8,32	8,72	9,16	6,03	5,93	5,91	8,97	9,70	10,78	9,60	13,34	19,11
IE2	IDHM	3,59	4,76	6,49	3,53	4,49	6,13	6,27	8,09	11,05	6,25	10,61	19,75
IA1	População em domicílios com água encanada	5,42	6,93	9,47	3,85	4,75	6,11	7,53	9,32	11,66	10,09	15,50	23,60
IS1	Taxa de analfabetismo (15 +)	5,80	6,96	7,76	4,51	4,47	5,32	6,10	8,35	10,44	3,54	11,76	19,44
IS3	Mortalidade Infantil	1,90	5,26	7,80	8,98	6,06	6,30	10,62	10,19	11,94	6,33	15,31	24,53
IE3	Renda per capita	10,36	9,06	9,79	8,92	7,24	6,87	10,64	9,47	10,70	6,63	7,70	14,89
IS2	Vulnerável a pobreza	1,99	2,64	4,74	7,01	7,84	6,83	8,71	10,08	10,65	5,39	8,22	14,82
IA2	População em domicílios com coleta de lixo	8,42	9,68	9,74	8,35	7,69	6,42	8,43	10,14	11,09	0,24	9,02	18,84
IE1	Renda até 1 salário-mínimo	0,09	2,90	6,02	8,26	6,76	5,97	8,33	9,19	10,58	0,24	8,13	17,73

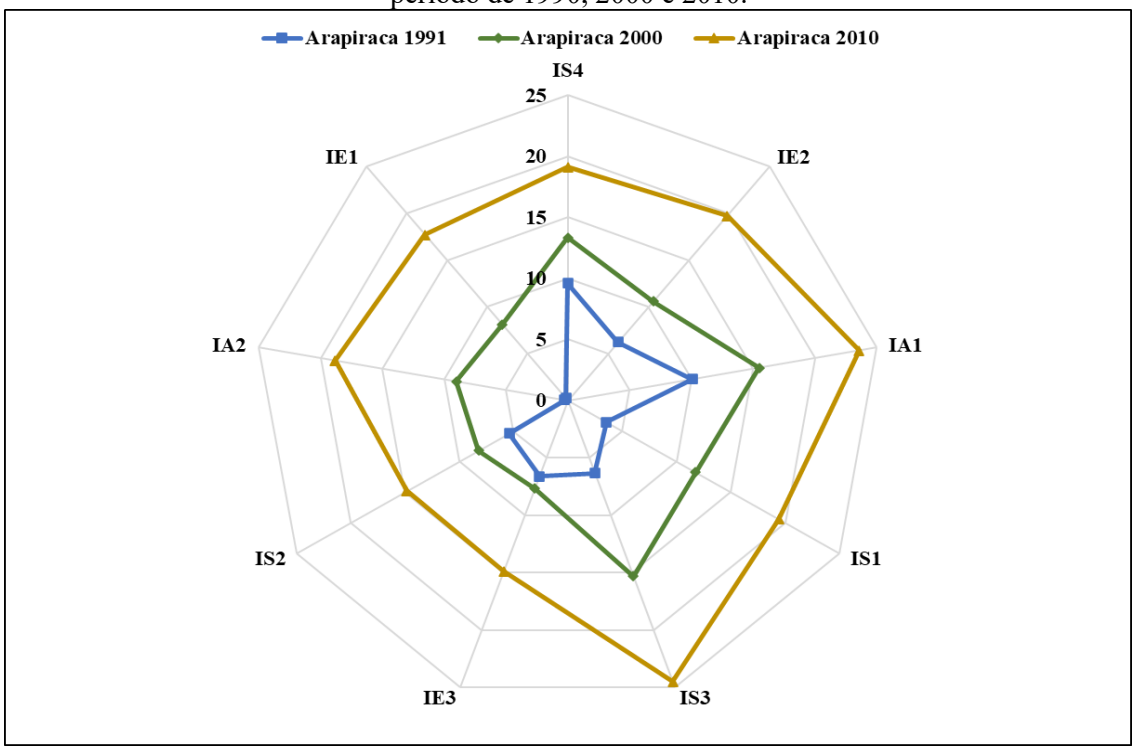
Fonte: Autor (2024).

No ano de 1990, os indicadores de sustentabilidade revelaram uma situação alarmante, especialmente em aspectos como a renda até 1 salário-mínimo (IE1), a presença de coleta de lixo nos domicílios (IA2) e a taxa de analfabetismo (IS1). Esses indicadores se destacaram negativamente, registrando valores críticos de 0,24 para IE1, 0,24 para IA2 e 3,54 para IS1, conforme detalhado na Tabela 17. Esses resultados apontam para desafios significativos que precisam ser enfrentados para melhorar as condições de sustentabilidade na época.

Apesar disso, os indicadores referentes à renda per capita (IE3), taxa de desemprego (IS4) e a presença de água encanada nos domicílios (IA1), embora tenham sido classificados como péssimos ou ruins, mostraram desempenhos relativamente melhores em comparação aos outros indicadores analisados.

A Figura 69 apresenta o gráfico de radar contendo os resultados do índice de sustentabilidade em níveis individuais no período compreendido deste estudo, cada eixo corresponde a um indicador específico, conforme sua distribuição e padronização. Ao analisar o gráfico, evidencia-se a melhora gradual ao longo dos anos. Essa melhoria é particularmente perceptível à medida que a área total formada entre os indicadores se expande, sinalizando melhores relações nos âmbitos econômico, social e ambiental, tendo como base os indicadores utilizados.

Figura 69: Arapiraca, Resultados do Índice de sustentabilidade, suas dimensões e interações no período de 1990, 2000 e 2010.



Fonte: Autor (2024).

Tabela 18: Arapiraca, Níveis de sustentabilidade individuais no período de 1990, 2000 e 2010.

Ordem	Indicadores	Péssimo (0 – 10)			Ruim (10 – 20)			Regular (20 – 30)			Bom (30 – 40)			Ideal (40 – 50)		
		1990	2000	2010	1990	2000	2010	1990	2000	2010	1990	2000	2010	1990	2000	2010
IS4	Taxa de desemprego (18 +)	9,60				13,34	19,11									
IE2	IDHM	6,25				10,61	19,75									
IA1	População em domicílios com água encanada				10,09	15,50				23,60						
IS1	Taxa de analfabetismo (15 +)	3,54				11,76	19,44									
IS3	Mortalidade Infantil	6,33				15,31				24,53						
IE3	Renda per capita	6,63	7,70				14,89									
IS2	Vulnerável a pobreza	5,39	8,22				14,82									
IA2	População em domicílios com coleta de lixo	0,24	9,02				18,84									
IE1	Renda até 1 salário-mínimo	0,24	8,13				17,73									

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Analisando os resultados de 1990, identifica-se diversos obstáculos ou problemas que afetaram o desenvolvimento e o crescimento socioambiental de Arapiraca. As interações entre os indicadores IS2, IA2 e IE1, com os seus respectivos valores de IS foram os mais baixos e, portanto, considerados um entrave para a sustentabilidade naquela época.

No ano 2000, os índices de sustentabilidade apresentaram uma melhora considerável em relação ao ano de 1990, ainda que, na maioria dos casos, os valores permanecessem na faixa de 10 a 20, classificados como ruins. Entre os indicadores sociais, a Taxa de Desemprego (IS4), a Mortalidade Infantil (IS3) e a Taxa de Analfabetismo (IS1) registraram valores de 13,34, 15,31 e 11,76, respectivamente. O indicador econômico relacionado ao Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IE2) e o índice ambiental referente aos Domicílios com água encanada (IA1) também exibiram desempenhos similares, com valores superiores a 10. No entanto, outros índices como a renda per capita (IE3), a vulnerabilidade à pobreza (IS2), a porcentagem de domicílios com coleta de lixo (IA2) e a renda de até um salário mínimo (IE1) permaneceram na mesma classificação observada em 1990, sendo classificados como péssimos, com valores variando entre 0 e 10.

Para o ano de 2010, observou-se uma continuidade no padrão e na tendência de melhoria em todas as relações dos indicadores de Arapiraca. Destacam-se, especialmente, o indicador ambiental de Domicílios com água encanada (IA1) e o indicador social de Mortalidade Infantil (IS3), que alcançaram valores de 23,60 e 24,53, respectivamente, sendo classificados como nível de sustentabilidade regular (20 - 30). Além disso, os indicadores de Taxa de desemprego (IS4), Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IE2), Taxa de Analfabetismo (IS1) e População em domicílios com coleta de lixo (IA2) também mostraram melhorias significativas, com valores próximos à classificação regular, registrando 19,11; 19,75; 19,44 e 18,84, respectivamente. Esses dados refletem um avanço contínuo na sustentabilidade do município, evidenciando melhorias nas áreas econômica, social e ambiental, confirmadas pelos indicadores avaliados.

Santos et al. (2020) ressaltam a variação positiva ao longo dos anos em Arapiraca. De acordo com tais pesquisadores, em 2000, a cidade apresentava um nível de vulnerabilidade média e após uma década de implementação de medidas para melhorar a oferta de serviços públicos (como saúde e educação) e programas de distribuição de renda, Arapiraca alcançou um nível de baixa vulnerabilidade em 2010.

Compreende-se, portanto, que o aumento dos índices pode ser atribuído aos efeitos das políticas sociais de inclusão e distribuição de renda implementadas ao longo dos anos (Santos et al. 2020). No entanto, quando se analisa especificamente a renda per capita de Arapiraca em comparação com a média do estado de Alagoas, observa-se um decréscimo nesses números (Tabela 19). Essa discrepância revela as distorções presentes entre as políticas públicas governamentais e a real distribuição de renda. Além disso, essa situação envolve a atuação da iniciativa privada, que frequentemente contribui para a concentração de riquezas em vez de promover uma distribuição mais equitativa.

Essa análise evidencia que, apesar dos avanços proporcionados pelas políticas de inclusão, ainda existem desafios significativos a serem superados para garantir um desenvolvimento econômico mais justo e igualitário em Arapiraca e em todo o estado de Alagoas.

Tabela 19: Arapiraca e estado de Alagoas, Renda per capita no período de 1990, 2000 e 2010.

Área	Renda per capita		
	1990	**2000**	**2010**
Alagoas	R$ 211,98	R$ 285,29	R$ 432,56
Arapiraca	**R$ 219,56**	R$ 258,45	R$ 423,28

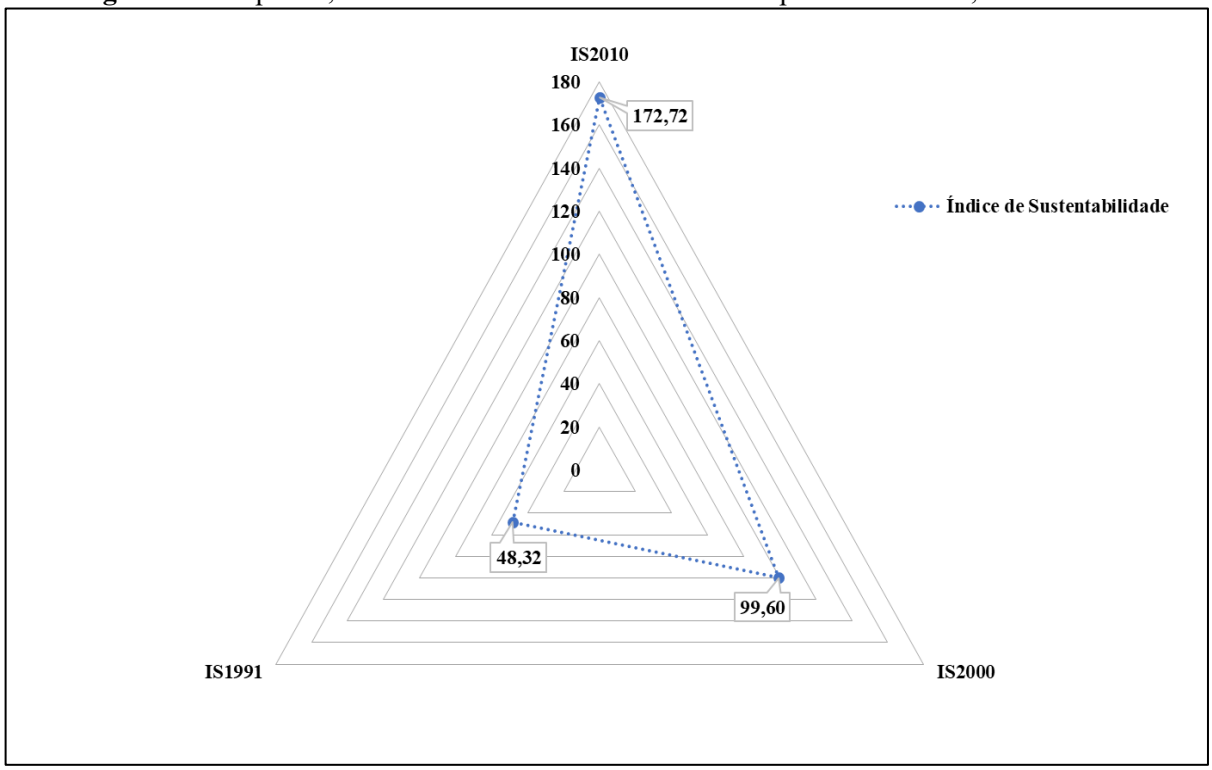
Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

A Figura 70 ilustra o índice de sustentabilidade geral para os anos de 1990, 2000 e 2010 no município de Arapiraca. Ao analisar os resultados com base nas classificações de sustentabilidade propostas por Martins & Cândido (2012) e Araújo (2015), observa-se uma evolução significativa. Em 1990, o índice de sustentabilidade era de 48,32, sendo classificado como ruim. Como já mencionado anteriormente, o resultado evidencia os desafios socioambientais e econômicos enfrentados pela cidade naquela época, incluindo baixos níveis de infraestrutura, serviços públicos insuficientes e uma economia pouco diversificada.

No decorrer da década seguinte, houve uma melhoria substancial, com o índice de sustentabilidade subindo para 99,60 em 2000, alcançando assim uma classificação considerada boa. Esse avanço indicou progressos significativos nas políticas e práticas adotadas para promover o desenvolvimento sustentável em Arapiraca.

Em 2010, ocorreu um avanço ainda mais notável, com o índice de sustentabilidade atingindo 172,72, representando um nível ideal de sustentabilidade. Esse aumento significativo reflete o impacto positivo das iniciativas contínuas voltadas para a melhoria da qualidade de vida, proteção ambiental e desenvolvimento econômico sustentável na cidade (Figura 70).

Figura 70: Arapiraca, Índices de Sustentabilidade Geral no período de 1990, 2000 e 2010.



Fonte: Autor (2024).

A evolução do índice de sustentabilidade ao longo dessas três décadas evidencia os esforços e investimentos estratégicos realizados por Arapiraca. A cidade não apenas melhorou suas condições ambientais e sociais, mas também fortaleceu sua economia e aumentou a resiliência de sua comunidade.

4. ANÁLISE SOCIOAMBIENTAL INTEGRADA DAS UNIDADES DE PAISAGEM

4.1. AVALIAÇÃO DAS UNIDADES DE PAISAGEM DE ARAPIRACA

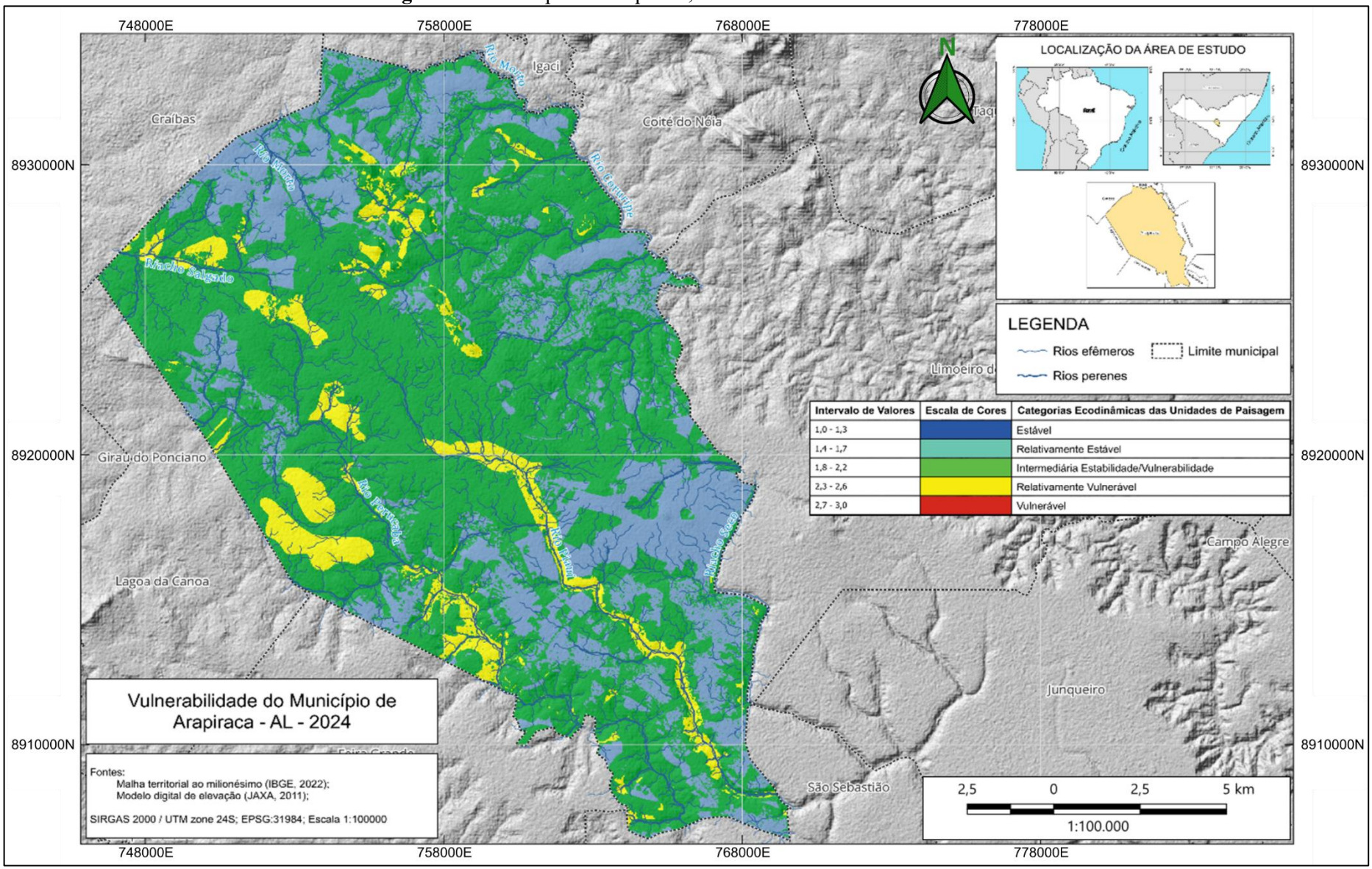
A organização do espaço geográfico deve ser compreendida como o produto dinâmico e histórico da interação constante entre a base físico-natural e os processos socioeconômicos de apropriação do território. Nesse contexto, o município de Arapiraca desempenhando uma função de centralidade urbana de serviços com uma base rural caracterizada por sua dinâmica agrícola, estruturada fundamentalmente na agricultura familiar. No entanto, a sustentabilidade e a eficiência desse arranjo territorial dependem das condições e das limitações impostas pelas unidades de paisagem do município.

As características geoambientais, notadamente a geomorfologia, a geologia e a pedologia, atuam simultaneamente como suporte e condicionante para a ocupação humana. O território de Arapiraca apresenta uma compartimentação geomorfológica distinta, onde superfícies de aplainamento coexistem com superfícies de dissecação sedimentar e áreas de agradação fluvial. Esta diversidade litológica e pedológica não apenas define a aptidão agrícola, mas também dita a lógica da expansão urbana e a distribuição espacial de comunidades tradicionais, que historicamente ocupam nichos territoriais específicos.

Contudo, a sobreposição da mancha urbana e das atividades rurais sobre unidades de paisagem com diferentes graus de vulnerabilidade (Figura 71) revela um passivo ambiental crítico, especialmente no que tange ao saneamento básico e à segurança hídrica. A interação entre formas de ocupação precárias e características pedológicas específicas, criam cenários de risco iminente que ameaçam a qualidade dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais.

Portanto, através da correlação dos dados demográficos, indicadores de infraestrutura e métricas econômicas com a base cartográfica de relevo, solos e vulnerabilidade ambiental, busca-se ultrapassar a descrição setorial isolada. Possibilitando compreender como a estrutura física do território influencia e é impactada pelas dinâmicas sociais, identificando as fragilidades e fornecendo subsídios técnicos para um ordenamento territorial que concilie a produtiva do município com o necessário cuidado ambiental.

Figura 71: Município de Arapiraca, Níveis de Vulnerabilidade - 2024.



4.1.1. Unidades de paisagem de superfície de aplainamento

Esta é a maior unidade de paisagem morfológica da zona rural de Arapiraca, que concentra as principais atividades produtivas e sociais fora do centro urbano. Ela se estende pelas cabeceiras dos Rios Coruripe, Perucaba e Traipu, ocupando grande parte das áreas a oeste, leste e norte da zona rural e periurbana do município de Arapiraca.

Compõe-se por relevo de superfície plana a suave ondulada, de solos firmes e coesos, demonstrando suscetibilidade baixa a moderada a processos erosivos e movimento de massa, resumindo-se a áreas de pedimentos (Pp) rasos e pouco laterizados e a colinas (Dc) de solos espessos e bem desenvolvidos (Latossolos e Argissolos).

Pedimentos (Pp)

As áreas de pedimento estão associadas a um embasamento cristalino de rochas de Paragnaisses bandados e Migmatitos. Em superfície este embasamento ocorre sob uma camada de solo coluvionar, poroso, pouco lateritizado, de alta fertilidade natural e pouco erosivo (Oliveira Filho et. al., 2025). Subjacente a este horizonte superficial ocorrem horizontes constituído por camadas silto-arenosas que guardam características da rocha de origem, pouco friáveis e geralmente mais suscetíveis a erosão (Figura 72).

Figura 72: Solo coluvionar.

Fonte: Autor (2024)

Nessas áreas se formaram associações entre Planossolo e Neossolos litólicos (eutróficos), ambos de boa fertilidade, onde as camadas mais superficiais apresentam boa percolação e as camadas subjacentes são mais coesas. As áreas de pedimento em Arapiraca possuem solos quimicamente ricos (eutrófico), sendo essa característica geofísica a que sustenta o modelo das pequenas e médias propriedades onde o pequeno agricultor consegue uma produtividade relevante em pequenas parcelas de terra sem grandes custos proibitivos de correção de solo.

Classifica-se a vulnerabilidade destas formas aos processos morfogenéticos como intermediária estabilidade/vulnerabilidade (Figura 71), pois, embora o solo silte-arenoso seja suscetível a processos erosivos, o baixo declive favorece a infiltração e baixa energia no escoamento, com a possibilidade de se tornarem mais vulneráveis à medida que sofrem alterações indiscriminadas, como corte e aterro.

O uso dessas áreas tem siso intenso e diversificado, principalmente na agricultura com culturas de ciclo curto, a exemplo do cultivo de mandioca, fumo e fruticultura, nas áreas mais a norte e nordeste do município de Arapiraca. Algumas áreas são mais urbanizadas, como é o caso das áreas próximas a Lagoa da Perucaba, onde obras de drenagem mal executadas ou inacabadas podem submeter esse substrato a um processo erosivo mais intenso, oferecendo risco para as próprias edificações próximas.

A alta permeabilidade dos solos dessas unidades juntamente a falta de saneamento em no município de Arapiraca é uma circunstância perigosa, fazendo com que os efluentes lançados em "buracos" (83% da zona rural e 52% da zona urbana) possa contaminar tanto o lençol freático quanto riachos e açudes, criando uma "zona de contaminação difusa" que prejudica águas subterrâneas e superficiais.

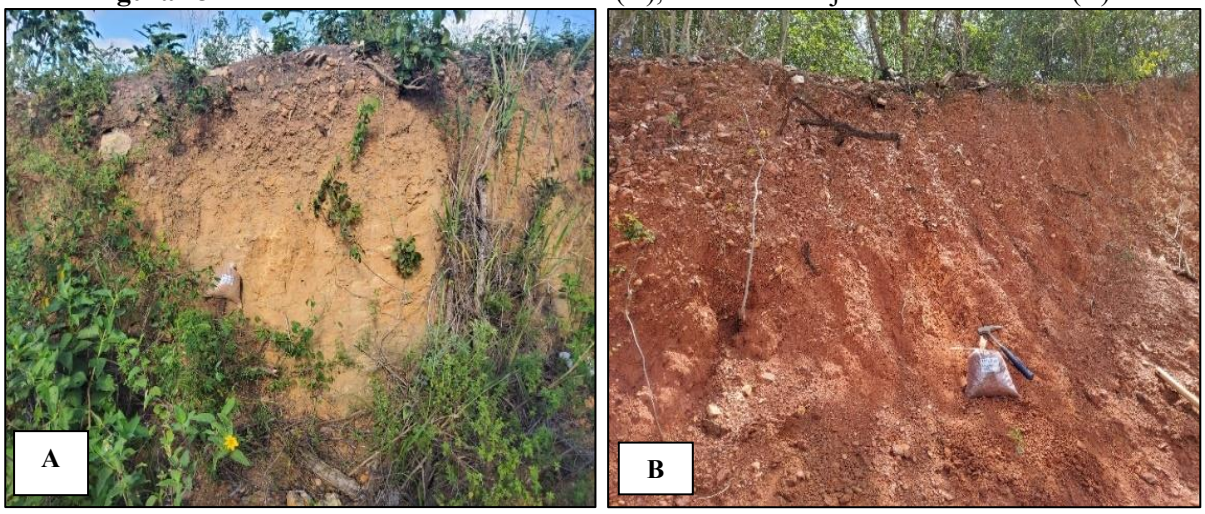
Colinas (Dc)

As colinas, assim como as áreas de pedimento, exibem uma superfície de relevo suave compostas por pacotes sedimentares de maior profundidade do que nos solos das áreas de pedimento, geralmente de boa fertilidade (eutróficos). Essas áreas funcionam como uma extensão produtiva dos Pediplanos e são integradas à malha de pequenas e médias propriedades que produzem alimentos para a feira e indústria de Arapiraca.

Sob o ponto de vista geológico, esse tipo de relevo está associado ao embasamento cristalino composto por paragnaisses bandados, migmatitos e quartzitos, coberto por um solo residual maduro com granulometria variando entre arenosa e areno-argilosa (Latossolo ou Argissolo vermelho). As áreas de relevo colinoso também apresentam embasamento de granitos e granitoides, geralmente recobertos por substrato arenoso a pedregoso, com presença de afloramentos e fragmentos rochosos dispersos na superfície.

Em localidades de embasamento de paragnaisses e Migmatitos do complexo Arapiraca, ocorrem substratos composta por uma intercalação de solo coluvionar seguida por camada de solo residual maduro, amarelado, e por camadas de solo residual jovem, avermelhado, apresentando configurações da rocha de origem (rocha metamórfica). Encontrados principalmente a nordeste, norte e oeste do município de Arapiraca (Figura 73 A e B).

Figura 73: Solo residual maduro amarelado (A), Solo residual jovem avermelhado (B).



Fonte: SGB (2025)

Apesar do potencial agrícola oferecido por essa unidade de paisagem, com solos de boa fertilidade, a heterogeneidade de seus horizontes demonstra uma maior vulnerabilidade a processos morfogenéticos, principalmente ao sofrerem com escavações em seus horizontes, potencializando o surgimento de feições erosivas e até mesmo perda em seu potencial de fertilidade.

Em áreas de ocorrência de rochas de quartzito (nordeste do município), predominam solos arenosos a areno-argilosos (Figura 74). Nas regiões de granitos e granitoides (a Leste do município), os solos são rasos, de granulometria areno-argilosa a pedregosa (Figura 75). Ambos

apresentam coloração entre amarelo e marrom, indicando maturidade, boa lixiviação e presença de afloramentos ou blocos rochosos na superfície.

As áreas de Granitóides podem apresentar desafios consideráveis para realização de obras urbanas, como rodovias e sistemas de drenagem ou esgoto, devido à presença de blocos rochosos e saprólito pouco alterado, que dificultam a escavação. Por outro lado, possuem relevo suave e solo estável, sem materiais argilosos expansivos que possam causar deformações no nível da superfície, que venham a provocar recalques em edificações sobrejacentes.

Figura 74: Solos arenoso a areno-argilosos.

Fonte: Autor (2024) e SGB (2025)

Esta unidade de paisagem demonstrou relativa estabilidade à intermediária estabilidade/vulnerabilidade, fortemente condicionada pelo grau de declividade do terreno. Tal estabilidade pode ser comprometida em caso de intervenções antrópicas por retirada de vegetação nativa e corte na encosta sem a devida estabilização do talude, vindo a tornar esse ambiente mais suscetível a processos morfogenéticos da paisagem taludes.

Figura 75: Solos de embasamento de granitoides.

Fonte: Autor (2024) e SGB (2025)

Nessa unidade morfológica, estão localizadas a maior parte das pequenas, médias e grandes propriedades rurais de Arapiraca, com o predomínio de uso para pastagens, principalmente para criação de bovinos, mostrando sua alta favorabilidade a múltiplos usos (Figura 76).

Figura 76: Áreas de pastagem em relevo colinoso.

Fonte: Autor (2024).

As formações geológicas formadoras desse relevo colinoso, que compreende os territórios de Arapiraca, Taquarana, Limoeiro de Anadia e Craíbas mostram indícios da presença de minerais e rochas valorizados economicamente e amplamente utilizados na indústria, como quartzo, vermiculita, berilo, feldspato e água-marinha (SGB, 2021).

Atualmente existem pontos de feições tecnogênicas geradas pela atividade de mineração explorados por três grandes mineradores na região: a Minerado Vale Verde (MVV), responsável pela exploração de cobre próximo ao povoado Serrote dos Dias (entre Craíbas e Arapiraca), a Mineradora Mibasa, responsável pela exploração de rochas para construção civil e aditivo agrícola com sede administrativa em Arapiraca e com principal área de atuação no município de Belo Monte, e a Mineradora Triunfo das Pedras com exploração de brita em Arapiraca, próximo a comunidade quilombola Carrasco.

Portanto, trata-se de um ambiente de substrato heterogêneo, de baixa vulnerabilidade e com alto potencial econômico, mas que também necessita de atenção a algumas questões de fundamental importância para a qualidade de vida de comunidades rurais de Arapiraca, pois os conflitos recentes ocorridos no município são decorrentes da atividade mineradora e imobiliária.

4.1.2. Unidade de paisagem de superfície de dissecação

Sob a ótica geológica, essa unidade exibe considerável heterogeneidade litológica, pois inclui dois tipos distintos de litologia: uma de origem sedimentar, caracterizada por textura predominantemente areno-argilosa e consolidação intermediária a fraca, referente à formação Barreiras, de idade Paleógena, e outra de origem metamórfica, composta por rochas calcissilicáticas e quartzitos pertencentes ao complexo Arapiraca, de idade Paleoproterozoica.

A dissecação em rochas cristalinas deu origem a formas de relevo residual de Morros localizada na região leste do município de Arapiraca, enquanto a de dissecação em rochas sedimentares deu origem aos Tabuleiros conservados e dissecados, que foram responsáveis por abrir espaço para o principal núcleo urbano do município, assim como para extensas áreas de atividade agropecuária.

Morros

Esta forma de relevo agrupa as elevações que interrompem o perfil suave das colinas no setor Norte/Noroeste de Arapiraca. Na paisagem morfológica, elas são representadas pelas Serras da Massaranduba e a Serra da Mangabeira, pontos culminantes do município de maior amplitude altimétrica e encostas mais íngremes, refletindo numa maior vulnerabilidade a erosão.

Esse relevo resulta da combinação de materiais inconsolidados e silicosos sobre rochas quartzíticas inclinadas de idade Paleoproterozoica, apresentando amplitudes acima de 100 metros e declividade superior a 20 graus (Oliveira Filho et al., 2025).

Os solos desta unidade são uma combinação de materiais inconsolidados, pedregosos, predominantemente constituído por material silicoso, rasos a medianamente profundos, com alta suscetibilidade à erosão, baixa retenção de água e poucos nutrientes, tornando-os inadequados para a agricultura (Figura 77).

Figura 77: Solo em área de morro (Argissolo vermelho-amarelo distrófico).

Fonte: SGB (2025).

As "áreas edificadas" citadas no Quadro 15, nesta forma de relevo materializam, por um lado, parte da história quilombola de Arapiraca (na Serra da Massaranduba) e, por outro, a

expansão urbana de Arapiraca das últimas duas décadas (na Serra da Mangabeira), marcado pela difusão de loteamentos fechados nas áreas periféricas da cidade.

O ambiente caracteriza-se por ser Intermediário a Moderadamente Vulnerável, devido sua maior inclinação, apresentando alta suscetibilidade a movimentos de massa, sendo extremamente favorável ao desenvolvimento de escorregamento e rastejo, sobretudo quando a inclinação e os cortes das encostas são concordantes com a direção de mergulho de suas camadas quartzíticas.

A base desse relevo está ocupada por pastagem e mosaicos de uso agrícola, além de áreas edificadas na zona periurbana da cidade de Arapiraca. São nessas áreas que estão os principais remanescentes de vegetação nativa, onde sua retirada das encostas dos morros pode potencializar a suscetibilidade a movimento de massa e erosão, pois submete o talude a fluxos mais rápidos das águas pluviais, tornando o solo mais vulnerável à erosão linear e à ocorrência de deslizamentos e enchentes relâmpago nas áreas mais baixas.

A litologia específica, constituída de rochas calcissilicáticas e ferríferas sugere que, estas áreas também podem ter potencial de extração mineral, podendo gerar um novo conflito de uso da terra com as comunidades tradicionais ali instaladas (quilombolas).

Tabuleiros Conservados e Dissecados

Esse subambiente da paisagem morfológica exibe relevo constituído em sua litologia por sedimentos pouco a moderadamente consolidados da Formação Barreiras com substrato composto basicamente por camadas areno-argilosos, pouco a moderadamente coesas e intercaladas por lentes arenosas e friáveis (SGB, 2025) (Figura 78).

Nesse recorte da paisagem, predominam os Latossolos Vermelho-Amarelo e Amarelo, de baixa fertilidade (distrocoesos). Por serem quimicamente ácidos e apresentarem endurecimento quando secos (coesão), possuem aptidão agrícola limitada, exigindo correção de acidez e fertilização. Apesar dessas restrições, têm sido amplamente utilizados para o cultivo de cana-de-açúcar, mandioca, milho, sorgo e fumo, sobretudo nas áreas ao norte e sul do município.

O relevo apresenta em sua morfologia topos muito favoráveis para a construção civil, onde a cidade de Arapiraca se consolidou, visto que funcionam como plataformas naturais

planas, altas e estáveis, caracterizando-se como um ambiente seguro contra inundações e movimentos de massa.

Figura 78: Perfil de solo da Formação Barreiras.

Fonte: SGB (2025).

Embora apresentem topos estáveis, as encostas dos tabuleiros possuem suscetibilidade moderada a alta à erosão por escoamento difuso ou concentrado. Intervenções como cortes, impermeabilização inadequada ou supressão da vegetação nativa que desconsidere as características geotécnicas locais, podem desencadear a formação de ravinas e voçorocas.

Em decorrência da topografia do relevo e outras condições naturais do ambiente associadas, as áreas de tabuleiro são as mais urbanizadas, principalmente no curso superior da bacia hidrográfica do Rio Piauí, onde se localizam nascentes de cursos d'água importantes na rede hidrográfica. O crescimento urbano, sem dúvida, desprovido de um planejamento eficaz para o uso da terra, pode interferir na dinâmica de sistemas naturais importantes dentro do território da bacia, prejudicando a recarga do aquífero em áreas que estejam sob o efeito da

impermeabilização ou, até mesmo, contaminando a água e o subsolo, especialmente se considerar que a cidade conta com apenas 20% de suas residências atendidas pela rede geral e 52% por fossa rudimentar, injetando esgoto diariamente em um solo poroso. De igual modo, na zona rural, onde a contaminação dos poços e cacimbas de abastecimento de água para consumo humano, se constitui na principal questão.

As áreas dos Tabuleiros Dissecados, localizadas ao sul da bacia do Rio Perucaba, são voltadas para as atividades agropecuárias. Essas áreas compartilham características geoambientais com os tabuleiros preservados por estarem na mesma unidade de paisagem morfológica, distinguindo-se, contudo, pela exibição de um relevo mais colinoso, que propicia, naturalmente, o escoamento laminar difuso. Quando submetidas à intervenção, com os cortes e/ou remoção da vegetação nativa, intensificam-se os processos erosivos desencadeando a formação de ravinas e voçorocas que contribui para a degradação do solo em graus diferenciados (Figura 79).

Figura 79: Pastagem exibindo feição erosiva em área de tabuleiro dissecado.

Fonte: Autor (2024)

4.1.3. Unidades de paisagem de superfície de agradação

Esta unidade de paisagem corresponde às áreas das planícies de inundação dos rios Perucaba e Piauí das principais bacias hidrográficas do município de Arapiraca (Figura 80 A e B). Nessas áreas ocorrem a predominância de sedimentos aluvionares, formando um relevo plano a suavemente ondulado, com declividade variando entre 1 e 5 graus, e amplitude altimétrica inferior a 5 metros.

Na região de Arapiraca as superfícies de depósitos aluvionares são constituídas predominantemente por sedimentos clásticos de granulometria variada fina, média e grossa. Sua composição litológica abrange blocos e seixos de rochas, grânulos de quartzo, areias de diferentes espessuras e pelitos (Mendes et al., 2017).

As planícies de inundação drenadas pelos Rios Piauí e Perucaba são formadas por Neossolos Flúvicos e Planossolos, além de serem constituídas por materiais provenientes da deposição fluvial ao longo da rede de drenagem e terraços baixos, compostos por sedimentos de textura arenosa de cor marrom, siltosa acinzentada e argilosa cinza a cinza-escuro (Oliveira Filho et al., 2025).

Figura 80: Planície do Rio Perucaba (A). Planície do Rio Piauí (B).

Fonte: Autor (2024)

Planos de Inundação do Rio Piauí

Na região de Arapiraca, essa feição topográfica do relevo está constituída por sedimentos variáveis de textura arenosa a argilosa de cor acinzentada, com a possibilidade de ocorrência de horizonte Glei (Figura 81). Esses sedimentos formam as planícies e terraços fluviais do rio Piauí, assentados sobre o embasamento de depósito sedimentar aluvial de arenitos da Formação Barreiras, datados do Paleógeno.

Figura 81: Sedimentos da planície de inundação do Rio Piauí.

Fonte: SGB (2025)

Entre os dois principais ambientes deposicionais do município de Arapiraca, a planície de inundação do Rio Piauí é a que se encontra em situação de maior degradação ambiental (Figura 82). A sua vulnerabilidade a processos morfogenéticos na paisagem pode variar localmente conforme a textura do substrato.

A presença de níveis arenosos permeáveis e de alta condutividade hidráulica nessas áreas potencializa a contaminação do lençol freático, principalmente onde o nível d'água se encontra a pouca profundidade, diminuindo no período chuvoso. Atrelado a essa condição, as baixas taxas de saneamento em bairros adjacentes à nascente, como Baixa Grande, Eldorado e Cavaco, com baixo percentual de cobertura da rede de esgoto por residência de 1,09%, 2,85% e 8,84%, respectivamente, podem comprometer a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, principalmente nos bairros mais dependentes desse recurso, como o próprio Baixa Grande (15%).

Figura 82: Galeria de água pluvial do Rio Piauí, no bairro Centro.

Fonte: Autor (2024)

Os baixos percentuais de residências atendidas pela rede geral de saneamento básico, contribuindo para o lançamento de efluentes domésticos no meio ambiente, se intensifica pela rede de águas pluviais que também provoca o surgimento de esgotos a céu aberto, possibilitando o surto de doenças de veiculação hídrica, principalmente em eventos climáticos extremos para a área.

As planícies de inundação do Rio Piauí caracterizam-se por um ambiente cujo grau de vulnerabilidade varia de intermediário a relativamente elevado, mesmo em áreas de baixa declividade. O solo dessas regiões apresenta propriedades que favorecem processos de subsidência, principalmente quando submetidas ao peso de construções, resultando em recalques nas próprias (Figura 83), e suscetibilidade moderada a alta para ocorrência de inundações (Oliveira Filho et al., 2025).

Figura 83: Deformação da superfície em área de planície de inundação do Rio Piauí.

Fonte: Autor (2024)

As áreas verdes na planície do Rio Piauí, foram drasticamente reduzidas, assim como em todo o município, que originalmente contava com um misto de vegetação de Caatinga, Mata Atlântica e Várzeas de vegetação rasteira. Atualmente, essas formações vegetais deram espaço

para a urbanização e áreas de pastagem, restando pequenos remanescentes em áreas mais íngremes na porção sul do município e na área urbana (Figura 84).

Figura 84: Rio Piauí na zona rural de Arapiraca (Povoado Pé Leve).

Fonte: Autor (2024)

Planos de Inundação do Rio Perucaba

As planícies de inundação do Rio Perucaba também são compostas por sedimentos variáveis de textura predominantemente areno-argilosos (Oliveira Filho et al., 2025) com coloração variando de amarelo a marrom, como pode ser observado na Figura 85.

Figura 85: Sedimentos de planície de inundação do Rio Perucaba.

Fonte: SGB (2025)

No território de Arapiraca, a bacia do Perucaba está assentada sobre o embasamento cristalino do Complexo Arapiraca, composto por metagrauvacas com intercalações de quartzitos, e trechos de formações do Grupo Macururé com litologia constituída por xistos metagrauváquicos e quartzitos bandados, intercalados com níveis de quartzitos arcoseanos ou níveis micáceos (CPRM, 2009).

Na planície do Rio Perucaba predominam Planossolos Háplico (sódico), com ocorrências de afloramentos rochosos ao longo do leito, e algumas associações com Argissolos vermelho-amarelo (eutróficos). De maneira geral, os Planossolos são de boa fertilidade, mas quando possuem uma maior concentração de sódio, necessitam de correções para agricultura, o que justificaria seu principal uso na atualidade para a criação de animais e para o avanço da área urbanizada (Figura 86 A e B).

Figura 86: Pastagem em Pau D'Arco (A), condomínio próximo a área vegetada (B).

Fonte: Autor (2024)

As planícies do Rio Perucaba, tal como as do Piauí, configuram um cenário que oscila entre intermediário, em locais com vegetação remanescentes de Caatinga, e relativamente vulnerável, em áreas de pastagem ou uso urbano. Nestas últimas, observa-se maior variação de declividade e predominância de solos argilosos (próximo a comunidade quilombola Pau D'Arco.

Observou-se vulnerabilidades semelhantes às que existem nas planícies do rio Piauí, variando de acordo com as características geotécnicas do solo e do embasamento geológico, podendo apresentar dificuldades para escavar, devido a surgência de água e/ou solo pedregoso, possibilitando ocorrência de recalques em edificações e solapamento das encostas e terraços em caso da retirada da vegetação de suas margens, o que acontece de forma generalizada no município de Arapiraca, além da maior possibilidade de contaminação do lençol freático em áreas de afloramento e de substrato mais arenoso (Quadro 15).

Quadro 15: Arapiraca, Síntese das condicionantes geoambientais por Unidade de Paisagem e Subunidades com a avaliação da Vulnerabilidade Ambiental - 2025.

UNIDADE DE PAISAGEM	CORRELAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS				
	FORMAS	LITOLOGIA	SOLO	USO E COBERTURA	VULNERABILIDADE
Paisagem de superfícies de aplainamento	Pediplano degradado (Bacias do Coruripe, Perucaba e Traipu)	**N23C** - Depósitos Colúvio-Eluviais;	LATOSSOLO VERMELHO OU ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELO (Eutróficos), PLANOSSOLOS HÁPLICO ou NÁTRICO (Eutrófico) + NEOSSOLO LITÓLICO (Eutrófico)	Remanescentes de vegetação de caatinga, com presença de pastagem, mosaicos de uso agrícola de culturas temporárias (mandioca, fruticultura, fumo);	Ambiente **Intermediário** a **Relativamente Vulnerável** devido a suscetibilidade do solo a processos erosivos de escoamento e percolação, associado a uso do terreno para pastagem e culturas temporárias.
	Colinas	**PP23car** - Paragnaisses bandados migmatizados ou granulitizados.	LATOSSOLO VERMELHO (Eutrófico) + AFLORAMENTO ROCHOSO	Remanescentes de vegetação de caatinga, com presença de pastagem, mosaicos de uso agrícola de culturas temporárias (mandioca, fruticultura, fumo).	Ambiente **Relativamente Estáveis** a **Intermediários**, mesmo com a baixa declividade do terreno e a coesão intermediária do solo, ocorre um amplo uso de pastagens para criação (gado), substituindo vegetação de caatinga.
Paisagem de superfícies de dissecação	Morros	**PP23carq** - Rochas calcissilicáticas, formações ferríferas bandadas, quartizitos.	ARGISSOLO AMARELO, VERMELHO-AMARELO (Distrófico) + AFLORAMENTO ROCHOSO	Remanescentes de floresta estacional semidecidual e caatinga, circundado por culturas temporárias e pastagem.	Ambiente **Intermediário** com tendência a **Relativamente Vulnerável**, devido a área de maior inclinação e ao forte estado de degradação da vegetação natural na base das encostas, substituída por culturas de mandioca, pastagens e áreas edificadas.
	Tabuleiros conservados (Bacia do Piauí)	**Enb** - Arenitos argilosos a conglomeráticos, argilitos puros a arenosos e conglomerados	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO E AMARELO (Distrocoesos)	Principal núcleo urbano de Arapiraca (montante); Predomínio de culturas temporárias fumo e mandioca, associado a áreas de pastagem (jusante).	A parcela ocupada por uso urbano apresenta um ambiente **Intermediária** com tendência a **Relativamente Vulnerável**, em área onde ocorre mudança do tipo do solo, topografia do terreno e na proximidade de nascentes. Em parcela de uso rural (sul), o ambiente se apresenta **Relativamente Estável** com algumas tendências a **Intermediário**.
	Tabuleiros dissecados (margem oeste à montante da Bacia do Perucaba)			Predomínio de culturas temporárias de mandioca, fumo e fruticultura, associadas a áreas de pastagem.	Apresenta um ambiente **Intermediário** devido a maior variação topográfica do terreno e predomínio de uso de pastagens, possuindo certo nível de suscetibilidade a erosão por fluxo concentrado.

Paisagens de superfícies de agradação	Plano de inundação do Rio Piauí	**Enb** - Arenitos argilosos a conglomeráticos, argilitos puros a arenosos e conglomerados	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO (Distrocoesos) + GLEISSOLO HÁPLICO (Distrófico)	Área densamente urbanizada, com presença de nascentes (montante); Vegetação remanescentes de floresta estacional semidecidual (jusante); Barragem para abastecimento de água (jusante).	Apresenta ambiente **Intermediário** a **Relativamente Vulnerável** devido a menor topografia e declividade, portanto são muito suscetíveis a inundações rápidas em períodos de chuva extrema, associado a criação de animais (pastagem) e uso urbano (próximo a nascente).
	Plano de inundação do Rio Perucaba	**NP2mxs** - metagrauvacas com intercalações de quartzitos, metarritmitos com lentes subordinadas e boudinadas de rochas calcissilicáticas.	ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELO (Eutrófico) + PLANOSSOLO HÁPLICO (Sódico) + AFLORAMENTO ROCHOSO	Remanescentes de vegetação de caatinga, com presença de áreas de pastagem.	Apresenta um ambiente **Intermediário** devido a maior presença de remanescentes de caatinga e topografia mais estável, com algumas áreas de tendência **Relativamente Vulnerável** pelo uso mais intenso para pecuária.

4.2. ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO E PERSPECTIVAS PARA GESTÃO DO TERRITÓRIO DO MUNICÍPIO DE ARAPIRACA

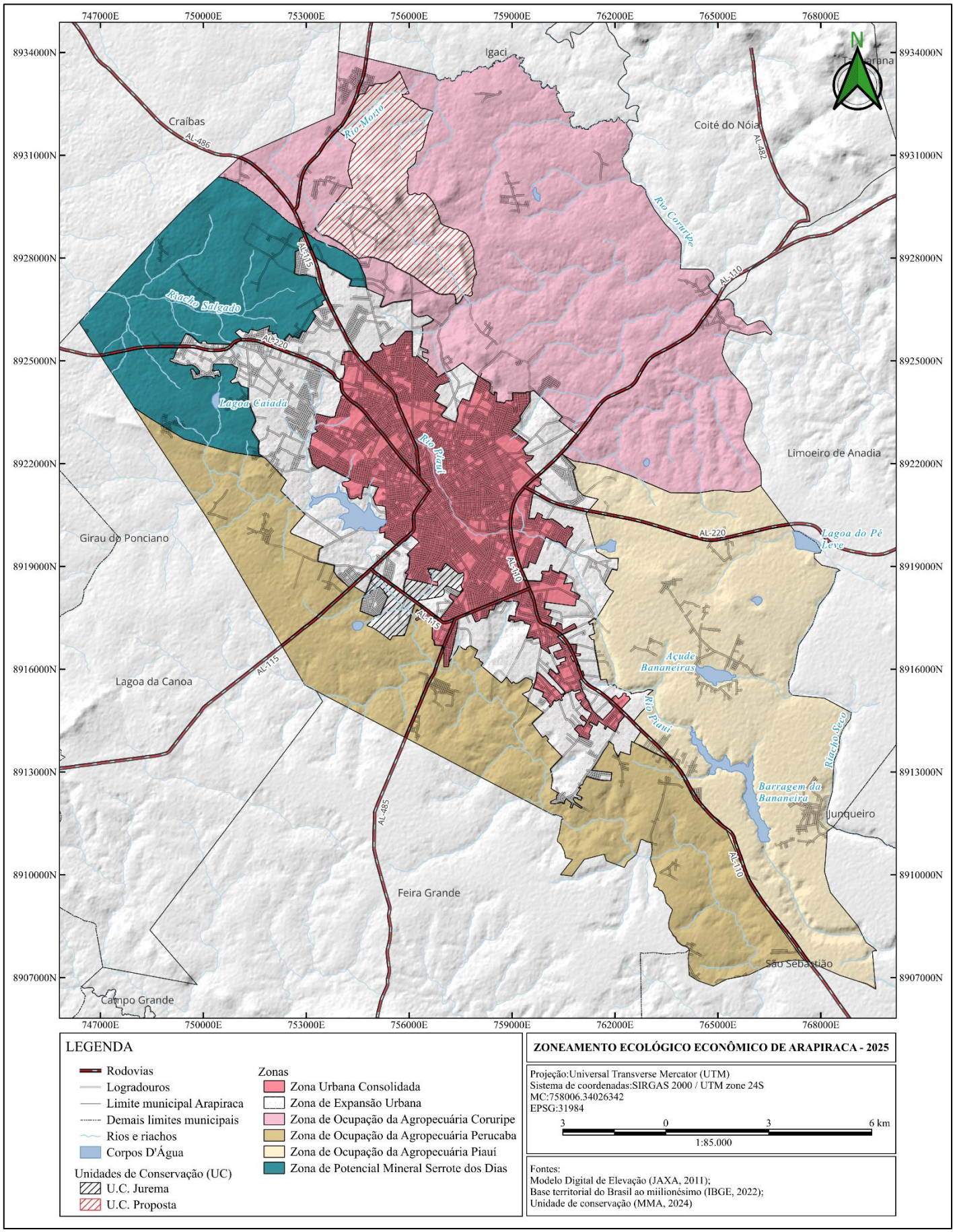
As análises das unidades de paisagens revelaram um município marcado por contrastes profundos e vitalidade econômica: um polo de serviços urbanos robustos assentado sobre tabuleiros sedimentares e uma base agrícola rural vibrante, sustentada por solos férteis em superfícies topográficas suaves. No entanto, revelaram vulnerabilidades críticas, como o déficit estrutural de saneamento básico, a alta permeabilidade dos solos urbanos e a pressão antrópica sobre os recursos hídricos.

O mapa de Macrozoneamento de Arapiraca de 2025, não deve ser visualizado apenas como um produto cartográfico, mas como a síntese espacial das diretrizes técnicas que visam ordenar o uso da terra (Figura 87). Ele representa a tentativa de compatibilizar a vocação produtiva de Arapiraca com a capacidade de suporte dos seus ecossistemas. A compartimentação proposta no ZEE reflete a heterogeneidade da paisagem arapiraquense, setorizando o município em macrozonas funcionais que obedecem a lógicas distintas: a consolidação e expansão do tecido urbano, a especialização produtiva das bacias hidrográficas rurais e a exploração de recursos minerais estratégicos.

Nesta proposta de ordenamento, o Sistema Urbano é delineado não apenas pela área consolidada, mas pelos vetores de expansão que avançam sobre o território rural, impondo desafios imediatos de infraestrutura e gestão de riscos. Simultaneamente, o espaço rural é reordenado sob a lógica das bacias hidrográficas Coruripe, Perucaba e Piauí, reconhecendo que a gestão da água é indissociável da produção agrícola. Além disso, o zoneamento introduz novas fronteiras econômicas ao delimitar Áreas de Potencial Mineral que inevitavelmente gera sobreposições com territórios de comunidades tradicionais e áreas de relevo acidentado.

Portanto, a análise que se segue buscou dissecar a proposta do ZEE à luz dos diagnósticos ambientais e sociais previamente estabelecidos. O objetivo é avaliar como cada zona dialoga com a realidade física do terreno (geomorfologia e solos) e com as carências infraestruturais da população (saneamento e abastecimento) e os usos já estabelecidos ao longo do território. Busca-se entender se o zoneamento proposto atua como um mecanismo eficiente de mitigação dos conflitos identificados, como a contaminação de aquíferos e a ocupação de áreas de risco ou se oficializa e consolida cenários de vulnerabilidade socioambiental.

Figura 87: Município de Arapiraca, Macrozoneamento ambiental - 2025.



4.2.1. Zona urbana consolidada

Esta área corresponde ao tecido urbano consolidado, onde a densidade construtiva e populacional dentro do municipal é alta. Ela fica localizada em seu centro geográfico e se estende ao longo do topo do tabuleiro central do município, cujo relevo constitui sua principal superfície, abrangendo também áreas das planícies do Rio Piauí na proximidade da cabeceira, além de uma pequena porção a oeste da Serra da Massaranduba.

Em termos gerais, o topo dos tabuleiros são áreas com elevado potencial para ocupação urbana, formadas por relevo predominantemente retilíneo a suave, sedimentos de coesão baixa a mediana, estável e de boa escavação, proporcionando maior facilidade construtiva, segurança para edificações e infraestrutura urbana, favorecendo o planejamento e o desenvolvimento da cidade.

As encostas dos tabuleiros, também possuem pequena amplitude altimétrica e inclinação entre 8 e 20 graus. A partir desse gradiente suave, os movimentos de massa deixam de ser dominantes na encosta e favorece a erosão por escoamento, levando a um declínio natural da declividade. Assim, apresentando uma boa estabilidade (Wallace *apud* Hugget, 2008).

Entretanto, faz-se necessário ressaltar algumas limitações pontuais referentes a pequenas parcelas, que atualmente se encontram ocupadas, visto que, no mapa de declividade foram observadas algumas parcelas de encosta, dentro da Zona Urbana Consolidada, que superam os 20° de declividade, na Serra da Mangabeira, podendo ser uma área de maior suscetibilidade a processos de rastejo ou pequenos deslizamentos.

Em outras porções da Zona Urbana Consolidada, a vulnerabilidade está atrelada às características geotécnicas do solo. Na planície aluvionar do Rio Piauí, cuja várzea da cabeceira da bacia hidrográfica foi totalmente ocupada pela malha urbana, ocorre a presença de Gleissolos (solos hidromórficos) e frequente saturação hídrica decorrente da oscilação do lençol freático e do nível do rio, podendo resultar em elevada suscetibilidade à processos de deformação da superfície quando submetida a carga construtiva (subsidência). Além de ser um vale de curso d'água perene é uma área de grande suscetibilidade a inundações.

A contaminação das águas do Rio Piauí também se constitui como um indicador alarmante a urbanização, Feitas (2020), ao analisar que correm pelo manancial constatou a

altíssima presença de bactérias do tipo *Escherichia Coli*, e como é diretamente mencionado pelo autor:

> "em todo o perímetro urbano e parte da área rural teve, nas amostras colhidas a presença de coliformes totais nos níveis mais elevados que o teste pudesse detectar e presença da bactéria Escherichia Coli." (Feitosa et al. 2020, p. 2236)

Juntamente com o despejo de efluentes e contaminação dos mananciais superficiais, o alto risco de contaminação do lençol freático e, consequentemente, transmissão de doenças de veiculação hídrica também é outra realidade na cidade de Arapiraca, constatada por Silva (2012), que ao realizar análise da qualidade da água do Rio Piauí e de alguns poços de bairros da cidade de Arapiraca, constatou a presença de coliformes totais no rio e coliformes termotolerantes nos poços de abastecimento. Assim como Galvão (2017), constatou a alta contaminação dos poços no bairro de Cacimbas, mostrando o alto índice de nitrato e coliformes fecais na água proveniente dessas fontes.

Adicionalmente aos impactos já observados na qualidade hídrica, Melo (2025) constata que as obras de urbanização deflagradas a partir de 2007 resultaram na redução da vazão média e no entulhamento do canal. Esse processo de degradação culminou na conversão de trechos da nascente em verdadeiras valas de esgoto a céu aberto. O estudo também aponta que os níveis de turbidez e de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) extrapolam os parâmetros aceitáveis para usos múltiplos da água, apresentando um quadro de comprometimento ainda mais severo na região do Bosque das Arapiracas.

O aumento da área construída e da impermeabilização do solo, também tem interferido na qualidade de vida da cidade de Arapiraca, em muitos casos, levando a alterações do microclima do ambiente urbano, sendo necessário maior aprofundamento em seu estudo microclimático, além de evidenciar a necessidade de revisões na legislação urbanística que influencia em seu padrão ocupacional (Costa et al. 2021; Santana et al. 2022; Brandão & Barbosa, 2023; Torres e Freitas, 2023).

Damasceno et al. (2016) destaca outros problemas urbanísticos, dessa vez frequentemente associados aos loteamentos fechados, como o isolamento de áreas residenciais, aumento na quantidade de vazios urbanos, homogeneidade e desigualdade social (Gomes et al. 2015; Lima, 2019; Lima, 2020), ausência de foco no investimento público em infraestrutura e a desvalorização de espaços públicos (Gomes et al. 2012).

Para Barros et al. (2014) e Santos et al. (2016), a persistência de vazios urbanos em Arapiraca evidencia um descompasso estrutural entre o planejamento territorial estabelecido pelo Plano Diretor de Arapiraca em 2005 e a gestão fática da cidade, impulsionado pela dinâmica de especulação imobiliária que, ao promover ampliações desnecessárias do perímetro urbano através das Leis municipais nº 2.470/2006 e nº 2.770/2011, gerou um crescimento descontínuo e fragmentado em detrimento do aproveitamento da infraestrutura já consolidada, refletindo o progressivo abandono da função social da propriedade em favor de interesses de mercado.

Diante disso, se faz necessária o restabelecimento de instâncias de controle social e a aplicação rigorosa de instrumentos técnicos de mapeamento e sensoriamento remoto que contribuam para realinhar a execução urbana às diretrizes legais de desenvolvimento, evitando a expansão horizontal desnecessária e a especulação imobiliária em áreas centrais de importância fundamental para a cidade. Também se vê necessário, um maior foco na implementação de infraestrutura de abastecimento, sanando as deficiências de abastecimento de água na zona urbana consolidada, e uma política de saneamento básico intensiva, uma vez que o centro urbano não possui boa cobertura e grande parte das residências ainda utiliza técnicas rudimentares de esgotamento sanitário.

4.2.2. Zona de expansão urbana

Esta área envolve a zona consolidada como um anel irregular, projetando-se para fora através dos eixos viários, formando a fronteira móvel da cidade. Nota-se que ela segue a direção das rodovias estaduais, crescendo nos sentidos:

- **Sul/Sudeste**, seguindo a **AL-110** em direção a São Sebastião;
- **Norte**, seguindo a **AL-115** em direção Igaci/Craíbas;
- **Oeste**, seguindo a **AL-115** em direção à Lagoa da Canoa
- **Noroeste**, seguindo a **AL-220** em direção a Craíbas;

Ela avança sobre áreas de Paisagem de Superfícies de Aplainamento e bordas de Tabuleiros, áreas que ao sofrerem intervenções de cortes indiscriminados podem se tornar mais vulneráveis a processos erosivos e de movimento de massa.

Ao sobrepor a delimitação da Zona de Expansão Urbana ao mapa do Cadastro Ambiental Rural visto na Figura 68, observa-se que o processo de urbanização tem feito com que as edificações avancem, preferencialmente, sobre as micro e pequenas propriedades rurais localizadas próximo a periferia da cidade de Arapiraca, transformando-as em loteamentos e conjuntos residenciais, absorvendo os aglomerados e núcleos urbanos mais próximos a zona periurbana da cidade .

Damasceno et al. (2016) e Valões (2019), mostraram que a expansão urbana de Arapiraca tem se intensificado desde a década de 1960, principalmente através da implementação de loteamento fechados distribuindo-se em um círculo concêntrico em torno de sua área urbana consolidada. Essa expansão horizontal pode ter como consequência o maior afastamento da produção de alimentos para áreas mais distantes, tornando a logística desses produtos mais difícil para as feiras próximas ao centro urbano principal.

Ao se expandir dessa forma, a cidade também exerce pressão sobre parcelas do ambiente que deveriam ser incondicionalmente preservadas, como seria o caso das margens dos rios Piauí, Perucaba e afluentes do Coruripe, das bordas de reservatórios (Bananeiras, Perucaba) e dos topos das Serras Massaranduba, Mangabeira e Serrote dos Dias, em áreas que necessitam de um plano de manejo mais rigoroso para o licenciamento ambiental e realização de empreendimentos, como a APA Jurema, pois o avanço urbano ao seu redor pode fazer com que ela deixe de funcionar como uma unidade de conservação de biodiversidade plena e passe a funcionar como um parque urbano isolado. Além de gerar conflitos por propriedade da terra entre empreiteiras e comunidades tradicionais, tal como a que é mostrada por Valões (2019), próximo a Lagoa da Perucaba.

É necessário um maior controle preventivo nas áreas periféricas da cidade, sobretudo em Áreas de Proteção Permanente, Áreas de Proteção Ambiental e possíveis áreas com presença de comunidades tradicionais, a exemplo das comunidades quilombolas Carrasco e Pau D'Arco, onde poderiam ser delimitados áreas com plano de manejo rigoroso que possibilitem o controle de novos empreendimentos e garanta a segurança socioambiental dessas comunidades.

É necessário também garantir a harmonia do uso do território conforme ocorrem a implementação de novos empreendimentos como loteamentos fechados, empreendimento industriais e comerciais, para que não sejam incorporados de forma conflitante com a área já estabelecida, exemplo da mobilidade, uso da terra, drenagem, ambiental.

Atualmente as tecnologias de mapeamento possibilitam o monitoramento regular do território, sem a necessidade da mobilização de grande quantidade de recursos financeiros. Portanto, é tão necessário quanto possível o monitoramento e detecção de novas áreas construídas garantindo harmonia, efetividade e evitando exposição a riscos ambientais.

4.2.3. Zona de potencial mineral serrote dos dias

Esta área representa a "fronteira extrativista" do município. Elas foram definidas pela estrutura geológica profunda (litologia) que afloram na superfície e pelos minerais estratégicos que foram mapeados pelo Serviço Geológico do Brasil a partir de diversos documentos entre relatórios e mapas produzidos, que evidenciam depósitos e ocorrências de minerais ou substâncias de interesse industrial (cobre, ouro, ferro e quartzo).

Ela ocupa uma área significativa no setor noroeste do município, a oeste da rodovia AL-115 e representa o maior e mais crítico polígono de mineração. Coincide com as formas de relevo colinoso e de pedimentos da bacia do Riacho Salgado, não ultrapassando os 20 graus de declividade. Seu substrato é composto por associações entre Latossolos e Argissolos seguidos por horizonte residual.

De acordo com a carta geológica da folha Arapiraca (2009) e o relatório de geologia e recursos minerais da folha Arapiraca (2016), evidencia-se a presença de formações ferríferas bandadas aflorantes associados a corpos máficos-ultramáficos do Complexo Arapiraca, com a presença de depósitos de minerais metálicos, tendo o cobre como produto principal e o ouro como produto secundário.

A Companhia Vale do Rio Doce S.A. conduziu a pesquisa de detalhe inicial e requereu a concessão de lavra em fevereiro de 1991, no entanto, desde 2018, tal direito foi outorgado à Mineradora Vale Verde. Maior parte da principal cavidade de mineração fica localizada no município de Craíbas e uma pequena parte em Arapiraca, porém o Serviço Geológico delimita as áreas a noroeste de Arapiraca como possíveis áreas de prospecção mineral, onde será necessário realizar novas pesquisas.

Apesar dos benefícios econômicos associados à mineração, essa atividade pode gerar conflitos significativos com as comunidades locais, uma vez que a região abriga um grande número de pequenas e micro propriedades rurais, pois entre os impactos ambientais previstos

pela mineração estão a degradação da qualidade do solo, dos recursos hídricos e do ar nas áreas próximas a sua operação, afetando inclusive a agricultura.

Um conflito socioambiental mais recente foi observado, conforme reportado pelo portal G1 (2024), na zona de influência da Mineração Vale Verde, entre Craíbas e Arapiraca, decorrente dos processos de desmonte de rochas por explosivos. Pois, acredita-se que a propagação de ondas de choque pelo substrato rochoso esteja gerando patologias estruturais, como fissuras e colapsos parciais nas edificações das comunidades circunvizinhas, notadamente no povoado Serrote da Laje (Craíbas-AL).

Com a complexidade das transformações socioeconômicas e culturais na região de implantação da mineradora Vale Verde, evidencia-se, segundo Alves (2025), que as políticas públicas e as estratégias de mercado frequentemente falham em atender às reais demandas da população, onde, as relações de poder estabelecidas entre empresa, Estado e comunidade revelam um profundo desequilíbrio, no qual a lógica econômica sistematicamente se sobrepõe às garantias socioambientais.

A porção a leste da Zona de Potencial Mineral Serrote dos Dias também detém substâncias e minerais de interesse econômico (SGB, 2016; 2021). Contudo, por tratar-se de território quilombola e abrigar o maior remanescente de vegetação nativa do município, impõe-se a necessidade de preservar e recuperar o patrimônio ambiental do município, sendo fundamental a implementação de um plano de manejo rigoroso que priorize a conservação do patrimônio natural da Serra da Massaranduba em detrimento da exploração.

4.2.4. Zonas de ocupação da agropecuária

Coruripe

Esta zona compreende a porção da bacia hidrográfica do Rio Coruripe que está inserida nos limites do município de Arapiraca. Ela ocupa todo o extremo Norte e Nordeste do município, delimita-se a leste pelo curso principal do Rio Coruripe, divisa com o município de Coité do Nóia, a norte pelo Rio Morto, afluente do Rio Coruripe, a noroeste pela Zona de Potencial Mineral Serrote dos Dias e a oeste pela Serra da Mangabeira e pela Zona Urbana Consolidade de Arapiraca.

A área está assentada sobre o embasamento de paragnaisses bandados de alto grau metamórfico, pertencentes ao Complexo Arapiraca, sobreposta por uma superfície de aplainamento composta pela associação entre Planossolos e Latossolos eutróficos.

A área é drenada por uma rede de cursos d'água de boa qualidade, abrangendo regimes intermitentes e perenes, exemplificados pelos rios Morto e Coruripe, respectivamente. Essa característica confere à região uma capacidade e qualidade de abastecimento hídrico superior à observada nas demais zonas de ocupação agropecuária.

Vale destacar que é nesta zona onde se concentram as maiores porções de terras férteis do município. Sua estrutura fundiária, fragmentada em micro, pequenas e médias propriedades, volta-se à agropecuária diversificada, indo da criação animal à hortifruticultura, sustentada hidricamente pelos rios locais, barramentos e açudes. Diante desse potencial, pode-se direcionar recursos de financiamento, além de pesquisas e ações técnicas de produtividade agrícola, em parceria com a EMBRAPA e autarquias locais, conferindo proteção a agricultura familiar proposta pelo Plano Diretor do ano de 2006.

Além disso, mapeamentos do Serviço Geológico do Brasil indicam ainda a ocorrência e depósitos de minerais e substâncias de interesse industrial, existindo, inclusive, atividades de mineração já ativas nessa zona. Entretanto, atividades de mineração em maior escala nessas localidades poderiam afetar drasticamente as atividades agropecuárias, pela poeira (particulados) gerada pelas explosões e moagem de pedras nas zonas minerais vizinhas, impactando negativamente a qualidade dos recursos ambientais de áreas adjacentes a onde a atividade minerária é exercida.

Na porção mais ao norte dessa zona há uma expressiva população de origem quilombola (IBGE, 2022), os maiores remanescentes de vegetação nativa (Serra da Massaranduba) e diversas nascentes de tributários do Rio Coruripe. Diante desses fatores, atribui-se à região uma relevância socioambiental ímpar para o município de Arapiraca.

Portanto, somando-se a outros fenômenos e áreas relevantes para o município, destaca-se a importância da região supracitada. Torna-se imprescindível realizar estudos sociais, antropológicos, históricos e ambientais (qualidade da água, nascentes, fauna e flora) com objetivo de delimitar uma unidade de conservação especial e corredores ecológicos. Tal ação serviria como medida mitigadora frente a atividades de mineração já existentes nas

proximidades e empreendimentos de potencial degradador equivalente, além de conservar e recuperar remanescentes de vegetação nativa e evitar possíveis conflitos socioambientais.

Perucaba

Considera-se visualmente, a zona de maior extensão da área estudada, se estende pelos setores Sul, Sudeste e Leste do município, abrangendo a bacia do Rio Perucaba, envolvendo a mancha urbana a sul e oeste, estendendo-se até os limites de Lagoa da Canoa, Feira Grande e São Sebastião. Ela abriga o curso de águas intermitentes do Rio Perucaba e um dos maiores reservatórios de água superficial do município: a Lagoa da Perucaba ou Açude do DNOCS, um reservatório de água salobra, atualmente utilizado para fins turísticos e de lazer.

Do ponto de vista pedológico, compõe-se de Latossolos distróficos nos topos, e por Argissolos e Planossolos eutróficos nas porções mais baixas. O uso da terra é diversificado, destacando-se o predomínio de pastagens nas margens do Rio Perucaba e o cultivo majoritário de mandioca, milho e fumo, com a presença de horticultura em escala inferior à observada na Zona do Coruripe.

Ao contrário da Zona do Rio Coruripe, isolada a nordeste por barreiras naturais das Serras da Massaranduba e Mangabeira, a Zona do Perucaba apresenta fronteira direta e extensa com as Zonas de Expansão Urbana e Urbana Consolidada. Tal contiguidade é um fator favorável ao vetor de crescimento da cidade que avança preferencialmente sobre esta área agropecuária, fato corroborado pela identificação de uma grande quantidade de loteamentos residenciais recentes, (Damasceno et al., 2016).

Nela está inserida a APA Jurema, uma pequena unidade de conservação localizada próxima à área de expansão urbana e leito do Rio Perucaba. A localização desta pequena Unidade de Conservação é estratégica: ela parece funcionar como um filtro entre a área de expansão urbana e o sistema hídrico do Perucaba, guardando remanescentes de vegetação nativa.

Devido às suas dimensões reduzidas e à pressão urbana e agrícola do entorno, esta unidade de conservação corre o risco de tornar-se uma ilha isolada de biodiversidade, vulnerável ao efeito de borda, com invasão de espécies exóticas, animais domésticos e descarte de resíduos. Para mitigar esse isolamento, é fundamental criar corredores ecológicos, através da recuperação de matas ciliares, que a reconectem ao restante da bacia.

Outra medida importante é o monitoramento de novas áreas urbanas através da detecção por sensoriamento remoto e com a criação de um banco de dados de imóveis, fazendo o controle da localização dessas novas áreas, combatendo de forma preventiva a supressão de vegetação nativa e degradação de áreas de borda dos tabuleiros.

Piauí

Esta zona ocupa o setor Sudeste de Arapiraca, abaixo da Zona Urbana Consolidada. É formada pela superfície plana a suavemente ondulada do tabuleiro central do município, com substrato basicamente composto por Latossolos Vermelho-amarelo e Amarelo distróficos, sendo, assim, uma área de solos de menor fertilidade que as demais zonas agropecuárias, por isso, necessita de correções agrícolas para plantios mais complexos.

Constatou-se em campo que o uso predominante do solo dessa área também é dado por culturas temporárias de macaxeira, feijão, milho e fumo, porém nela ainda ocorrem parcelas de plantio de cana-de-açúcar concentradas no extremo sul do município.

Nesta região situam-se importantes recursos hídricos: o Rio Piauí e a Barragem da Bananeira. O rio atravessa o centro da cidade, onde 52% das residências utilizam fossas rudimentares, despejando em seu curso uma imensa carga de poluentes antes de ingressar na zona rural e alimentar a barragem, que por sua vez é utilizada para abastecimento e irrigação local.

Xavier e Campos (2007) também analisou a água do Rio Piauí, durante a estação chuvosa, e constataram que, embora as águas do Rio Piauí apresentassem elevada contaminação por coliformes totais no trecho urbano, a Barragem da Bananeira não replicava os mesmos índices críticos. Contudo, o reservatório ainda exibia níveis de poluentes que tornavam a água imprópria para consumo direto sem prévio tratamento.

Silva (2012) analisou a qualidade da água do Rio Piauí (nos trechos urbano e rural) e de poços situados em bairros de Arapiraca, dessa vez durante a estação seca, constatando elevados índices de contaminação tanto no percurso urbano do rio quanto na Barragem da Bananeira, contraindicando seu uso até mesmo para fins de irrigação.

Os referidos autores alertam para um fato constatado nas visitas de campo: a presença de criação de animais às margens do curso d'água principal e de seus reservatórios, tal como ocorre em outras zonas (Perucaba) e em outros espelhos d’água da Zona de Ocupação da

Agropecuária Piauí, que também pode agravar consideravelmente a contaminação e a eutrofização dos corpos d'água.

Esta área rural tem uso intenso de pastagem e agricultura (agrotóxicos/fertilizantes) e um déficit sanitário gravíssimo (83% de buracos/fossas). O risco de contaminação e eutrofização, ou seja, a proliferação de algas tóxicas por excesso de nutrientes agrícolas e esgoto na Barragem da Bananeira, ou em outros corpos d'água e riachos é alto e constante.

Com o avanço da urbanização ao longo da AL-110, essas condições podem ter piorado significativamente, fazendo com que os agricultores locais ao utilizarem a água da barragem ou do rio para irrigar hortaliças ou dar de beber ao gado, esteja reintroduzindo contaminantes urbanos na cadeia alimentar, estando, assim, diante de um cenário de contaminação difusa. O ZEE precisa de diretrizes específicas para proteger seus corpos d'água, como monitoramento de qualidade da água e volume dos corpos hídricos, sob risco de ele virar um "brejo morto" por excesso de nutrientes.

4.2.5. Unidades de conservação e áreas protegidas

O município de Arapiraca apresenta uma escassez de Unidades de Conservação (UCs) oficialmente instituídas, figurando como exceção a APA Jurema, que delimita um remanescente de Caatinga localizado na porção centro-oeste do território de Arapiraca.

No que tange às áreas legalmente protegidas pelo Código Florestal, as Áreas de Preservação Permanente (APPs) associadas aos cursos d'água (perenes ou intermitentes) encontram-se amplamente degradadas. Tal cenário demanda ações urgentes de reflorestamento visando à formação de corredores ecológicos e à recomposição da vegetação nativa.

Em contrapartida, as APPs de topo de morro resguardam, atualmente, os remanescentes mais significativos de mata nativa do município. Destaca-se, nesse contexto, o Morro da Massaranduba: uma área de topo de morro inserida em território quilombola, que devido ao seu elevado valor socioambiental, apresenta potencial estratégico para a delimitação de uma área protegida formal, como uma área de amortecimento em relação as zonas de mineração, conservando mata nativa e protegendo a zona agricultável na bacia hidrográfica do Rio Coruripe (Quadro 16).

Quadro 16: Recomendações com base no macrozoneamento ambiental de Arapiraca.

ZONAS	POTENCIALIDADE	RECOMENDAÇÕES	ÁREA (Km²)
Zona Urbana Consolidada	**1-**Aptidão Geotécnica: Topo dos tabuleiros altamente favorável para ocupação (relevo retilíneo, sedimentos estáveis, boa escavação). **2-**Estabilidade: Encostas com pequena amplitude e estabilidade natural (exceto sob interferência humana inadequada). **3-**Centralidade: Área de máxima densidade construtiva e populacional, concentrando comércio e serviços.	**1-**Saneamento e Abastecimento: Implementação urgente de política intensiva de saneamento (eliminar fossas rudimentares) e sanar deficiências de água. **2-**Prevenção de Risco: Uso de modelagem ambiental e ações educativas para defesa civil, focando na planície aluvionar do Rio Piauí (risco de subsidência e inundações). **3-**Gestão Urbana: Uso de sensoriamento remoto para cadastro de vazios urbanos e contenção da especulação imobiliária. Mitigação de ilhas de calor e poluição hídrica.	58,8
Zona de Expansão Urbana	**1-**Crescimento Orientado: Expansão natural seguindo a lógica dos eixos rodoviários (AL-110, AL-115, AL-220). **2-**Conectividade: Fronteira móvel que conecta o centro urbano aos municípios vizinhos (São Sebastião, Craíbas, etc.).	**1-**Controle Preventivo: Monitoramento rigoroso em Áreas de Proteção Permanente (APPs) e bordas de tabuleiros para evitar erosão. **2-**Harmonia de Uso: Garantir que novos loteamentos/indústrias não conflitem com drenagem e mobilidade. **3-**Proteção Ambiental: Plano de manejo rigoroso para áreas sensíveis (APA Jurema) para evitar sua transformação em "parque urbano ilhado".	100,2
Zona de Potencial Mineral Serrote dos Dias	**1-**Riqueza Mineral: Presença comprovada de cobre, ouro, ferro e quartzo (Complexo Arapiraca). **2-**Interesse Econômico: Área de interesse industrial mapeada pelo Serviço Geológico do Brasil.	**1-**Mediação de Conflitos: Gestão rigorosa dos impactos (vibração, fissuras em casas) sobre comunidades circunvizinhas (ex: Serrote da Laje). **2-**Proteção Quilombola: Priorizar a conservação do patrimônio natural e sociocultural nas áreas a leste (Comunidade Quilombola e Serra da Massaranduba), com recuperação de áreas degradadas. **3-**Mitigação Agrícola: Controle da poluição (ar/solo/água) para não inviabilizar a agricultura familiar local.	65,6
Zona de Ocupação Agropecuária - Coruripe	**1-**Fertilidade Superior: Concentra as maiores porções de terras férteis (Planossolos e Latossolos eutróficos). **2-**Segurança Hídrica: Rede de drenagem de boa qualidade (Rios Morto e Coruripe). **3-**Diversificação: Estrutura fundiária de micro/pequenas propriedades voltadas à agropecuária diversificada.	**1-**Criação de U.C. Especial: Delimitar unidade de conservação e corredores ecológicos na porção norte (Serra da Massaranduba/Quilombolas). **2-**Apoio Técnico: Direcionar financiamento e pesquisa (Embrapa) para produtividade agrícola. **3-**Controle da Mineração: Mitigar impactos da mineração vizinha (poeira) sobre a produção agrícola.	31,3
Zona de Ocupação Agropecuária - Perucaba	**1-**Extensão e Recursos: Maior zona visualmente, abrigando a Lagoa do Perucaba (turismo/lazer). **2-**Solos Produtivos: Argissolos e Planossolos eutróficos nas partes baixas. **3-**Uso Diversificado: Cultivo de mandioca, milho, fumo e pastagens.	**1-**Conectividade Ecológica: Criar corredores ecológicos (matas ciliares) para reconectar a APA Jurema ao restante da bacia, evitando seu isolamento. **2-**Monitoramento Urbano: Uso de sensoriamento remoto e banco de dados imobiliário para controlar a expansão urbana sobre bordas de tabuleiros e áreas nativas.	46,8

Zona de Ocupação Agropecuária - Piauí	**1-**Recursos Hídricos: Abriga o Rio Piauí e a Barragem da Bananeira (abastecimento/irrigação). **2-**Culturas: Produção de macaxeira, milho, fumo e cana-de-açúcar (ao sul).	**1-**Proteção Hídrica Crítica: Diretrizes específicas para proteger a Barragem da Bananeira contra eutrofização e "morte" do espelho d'água. **2-**Controle de Contaminação: Combate à criação de animais nas margens dos corpos d'água e ao uso de fossas rudimentares. **3-**Estabilização: Técnicas de dispersão de energia evitando erosão do solo (ravinas e voçorocas), próximo as encostas.	37,6
		TOTAL	340,3

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da investigação dos fatores socioambientais do município de Arapiraca notou-se que a ocupação ao longo do território teve múltiplas fases evolutivas que seguiram a lógica produtiva do fumo, do comércio e distribuição e abastecimento de mercadorias para o mercado local e regional, seguindo uma tendência de acompanhamento dos meios de escoamento de produtos.

A expansão da cidade de Arapiraca apresenta uma nítida tendência a seguir o fluxo das rodovias estaduais indo de sudeste a noroeste, através da implementação de conjuntos habitacionais e loteamentos, ocupando as áreas de superfície mais estável nos tabuleiros, fazendo com que as áreas urbanas consolidadas da cidade se conectem com os aglomerados urbanos que estão ao longo dessas rodovias, como seria o caso das comunidades de Pau D'Arco e Sítio Flexeiras, próximas a AL-110 a sul da cidade, e das comunidades de Canaã, Capim e Lagoa Cavada, próximas a AL-220 e AL-115, a norte da cidade.

A expansão urbana baseada no modelo de urbanização observado na cidade de Arapiraca, sem grande controle ou coesão nas áreas construídas, priorizando condomínios e loteamentos fechados em áreas periféricas, tem gerado uma série de problemas para a gestão urbana, exigindo um custo cada vez mais alto para ações urbanísticas futuras.

O primeiro problema a ser pontuado é a quantidade de vazios urbanos, onde, observou-se, por imagem de satélite e também na literatura e trabalho de campo, que esse crescimento prioritariamente horizontal tem deixado uma quantidade considerável de espaços vazios em meio ao centro e periferia da cidade podendo favorecer a especulação imobiliária, gerando inflação no valor dos imóveis, apropriação da maior parcela dos recursos gerados pelos imóveis e lotes por parte dos agentes privados e aumentando o custo de vida.

O abastecimento das residências pela rede geral no município de Arapiraca possui um nível satisfatório, necessitando apenas alguns esforços para universalização do serviço de distribuição em alguns bairros, principalmente em áreas periféricas. Entretanto, em alguns casos como dos bairros de Santa Esmeralda e Jardim Tropical, o índice de abastecimento é menor do que em outros bairros mais distantes do centro da cidade, quando se compara ao

bairro Senador Arnon de Melo. Não coincidentemente o bairro Senador Arnon de Melo, embora esteja na periferia norte da cidade de Arapiraca, possui condomínios fechados mais recentes (2010-2015), mostrando que o segundo problema decorrente do modelo de urbanização é a desigualdade social que se desenha no ambiente urbano de Arapiraca, tanto entre diferentes bairros, quanto entre as próprias residências de cada bairro. Essa desigualdade também é corroborada pelos baixíssimos índices de esgotamento sanitário em toda a cidade de Arapiraca.

Essa segunda observação leva a algumas questões futuras a respeito do perfil e espacialidade dessa desigualdade: o quanto o índice de abastecimento tem a ver com a quantidade de condomínios e loteamentos fechados? A porção restante para a universalização em cada bairro corresponde a residências de mesma característica dos condomínios e lotes?

Um problema que deve ser tratado com urgência no município é a alta dependência das residências de Arapiraca, zona rural e urbana, de fossas rudimentares como a principal forma de esgotamento sanitário. A posição do município em um patamar erosivo de transição entre a bacia sedimentar Alagoas e a depressão do Dobramento Sergipano, define a região como área de cabeceira de algumas bacias hidrográficas, como a dos Rios Piauí e Perucaba. Tal característica está associada à níveis freáticos muito próximos a superfície, tornando o ambiente altamente suscetível à contaminação pelo descarte incorreto de efluentes.

Também se faz necessário a realização de ações de defesa civil, com o monitoramento dos fenômenos climáticos que influenciam o regime de chuva na região, assim como elaboração de planos de contingência para ações emergenciais visando cenários de ocorrência de inundação e rompimento, como determinam as Leis nº 12.608, de 10 de abril de 2012 e 14.750 de 12 de dezembro de 2023. Pois, apesar da pluviometria relativamente baixa, se comparada com a precipitação de municípios da mesorregião da Zona da Mata alagoana, os dados pluviométricos do modelo CHIRPS, corroborados por material jornalístico, apresentaram um histórico de ocorrências de eventos extremos de precipitação que afetaram a intensidade do fluxo e o nível do leito do Rio Piauí, causando uma inundação rápida e atingindo residências próximas.

De acordo com o índice de sustentabilidade aplicado a partir de índices socioambientais do município de Arapiraca observou-se, de um modo geral, que houve uma evolução nítida e constante na sustentabilidade do município ao longo das três décadas analisadas. O Índice de Sustentabilidade Geral saltou de um patamar classificado como ‘Ruim’ (48,32) em 1990, para ‘Bom’ (99,60) em 2000, atingindo o nível considerado ‘Ideal’ (172,72) em 2010.

A análise de 1990 revelou um cenário inicial ‘Ruim’, onde os principais entraves para o desenvolvimento eram a baixa renda, a falta de coleta de lixo e as altas taxas de analfabetismo, que apresentavam índices de sustentabilidade classificados como péssimos. A melhoria substancial observada nos anos 2000 e 2010 atribui-se diretamente à implementação de políticas sociais de inclusão e distribuição de renda, bem como à melhoria na oferta de serviços públicos essenciais, como saúde e educação. Valendo destacar o avanço nos indicadores de mortalidade infantil e acesso à água encanada, que atingiram níveis de sustentabilidade ‘Regulares’ em 2010, impulsionando a média geral.

Apesar da melhoria nos índices sociais é da boa base de análise oferecida pelo índice de sustentabilidade, para os fatores socioeconômicos e ambientais do município, ao se observar individualmente alguns indicadores importantes, como é o caso da renda per capita de Arapiraca, observa-se que ela apresentou um decréscimo relativamente baixo quando comparada à média do estado de Alagoas, a infraestrutura de esgotamento sanitário do município, que exibi valores alarmantes em todo o território. Isso sugere que, embora as políticas públicas tenham funcionado, a atuação da iniciativa privada pode estar favorecendo a concentração de riquezas em vez de promover uma distribuição equitativa, permanecendo como um desafio para o desenvolvimento justo do município.

Ao longo das décadas o município de Arapiraca teve sua vegetação nativa muito devastada. Existem poucos remanescentes de vegetação nativa, em um estágio avançado de fragmentação, cercados por áreas de cultivo ou pastagens, tornando de extrema importância realizar ações de recuperação do património natural do município, visto que se trata de área de elevada significância natural de área de ecótono, utilizando de recursos previstos no Artigo 20 do próprio Plano Diretor de Arapiraca (2006) nos Capítulos IV (seção 3), X, XII da Lei 12.651 de 25 de maio de 2012, aplicando ferramentas de estabelecimento de áreas verdes urbanas, incentivos à recuperação e preservação temporária ou perpétua do meio ambiente e regularizando atividades sustentáveis da agricultura familiar, considerando que a base fundiária do território municipal é de micro e pequenas propriedades.

Somado a essas ações regulamentadoras e de incentivo, são necessárias outras ações mais ativas, relacionadas as obrigações do poder público, como a criação de áreas protegidas, de preservação e conservação, que funcionem como zonas de amortecimento aos efeitos de

atividades de médio e auto impacto ambiental (mineração e barragens) como: demarcação de terras quilombolas, Área de Preservação Ambiental e Parques Municipais.

Apesar da grande área de vegetação nativa removida no município de Arapiraca, a maior parte das unidades de paisagem do município mostraram uma vulnerabilidade a perda de solo variando de Estável a Intermediário, pelas observações realizadas em campo, a topografia suave de maior parte do terreno contribui para uma menor intensidade dos processos morfogenéticos, mostrando assim poucos pontos de vulnerabilidade a erosão provocada pelas incisões fluviais e escoamentos.

Pelo que se observou no modelo utilizado para avaliação e zoneamento da área de estudo, a vulnerabilidade a perda de solo da paisagem se agrava à medida que ocorre o aumento ou variação da declividade do terreno associado a intervenções antrópicas mais agressivas, como é o caso das áreas de pastagem no flanco erosivo norte e nordeste do tabuleiro central, onde ocorre um relevo de colinas e morros baixos (Serras da Massaranduba e Mangabeira), e das pastagens ao longo das margens e encostas das áreas mais a sul na bacia hidrográfica do Rio Perucaba.

O município de Arapiraca mostrou área Relativamente Vulneráveis em alguns casos específicos. Na associação da alta declividade com solos mais suscetíveis a erosão, como é o caso de Neossolo litólico e Planossolos Háplico e em áreas de ocorrência de depósitos colúvio-eluviais. Em outros casos a declividade apresenta um peso tão significante que independentemente do tipo de cobertura que exista na área, o ambiente se apresentou Relativamente Vulnerável, como é o caso das encostas do vale encaixado da bacia hidrográfica do Rio Piauí, na área próximo as barragens.

De modo geral o município de Arapiraca possui um território muito favorável a ocupação urbana e atividades agrícolas, com solos férteis, relevo de baixa declividade, pouca amplitude altimétrica e baixa a média suscetibilidade a erosão, favorecendo a infiltração e percolação subsuperficial das águas das chuvas, com um fluxo de baixa energia. Conforme constatou-se, as únicas exceções são áreas de borda de tabuleiro, pois são muito vulneráveis ao escoamento linear e incisão pluvial, e margens dos rios perenes, pois são suscetíveis a inundações rápidas, erosão por abrasão do leito ou processos de subsidência, ou seja, deformação na superfície pelo peso das construções (Rio Piauí).

Apesar das contradições socioespaciais e dos problemas urbanos que marcam sua trajetória, Arapiraca reafirma sua centralidade como o principal polo de serviços e atividades industriais do interior de Alagoas. Essa dinâmica é potencializada por um modelo fundiário singular no Estado que, para além de sua origem histórica, demonstra flexibilidade e vocação para articular novos vínculos com a indústria alagoana, oferecendo um suporte territorial favorável a um novo modelo de desenvolvimento produtivo na região e em todo o estado.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. N. **Formas de Relevo**: Texto Básico. São Paulo: FUNBEC/Edart, 1975. 80 p.

AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil**: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology and disaster prevention. In: ALCÁNTARA-AYALA, I.; GOUDIE, A. (eds.). **Geomorphological Hazards and Disaster Prevention**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. p. 269-281.

ALMEIDA, F. F. M. de et al. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth-Science Reviews**, Amsterdam, v. 17, p. 1-29, 1981.

ALMEIDA DE LA SERNA, H.; REZENDE, M. M. **Agregados para a Construção Civil**. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Brasília: DNPM, 2010. Disponível em: https://sistemas.anm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=4008. Acesso em: 28 abr. 2025.

ALVES, E. B. de J.; PAPALI, M. A.; SILVA, F. F. do A. e. Expectativas, desencanto e temor nos relatos de moradores impactados pela implantação de uma mineradora de cobre em Craíbas - Alagoas. **Revista Geo Nordeste**, São Cristóvão, v. 36, n. 2, p. 62-82, jul./dez. 2025.

ALVES, N. M. de S. **Análise geoambiental e socioeconômica dos municípios costeiros do litoral norte do estado de Sergipe**: diagnóstico como subsídio ao ordenamento e gestão do território. 2010. 348 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Núcleo de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2010.

ANDERSON, J. R. **A land use and land cover classification system for use with remote sensor data**. Washington, D.C.: US Government Printing Office, 1976.

ARAUJO, S. S. **Apropriação dos recursos naturais e conflitos socioambientais no Baixo São Francisco em Sergipe e Alagoas**. 2015. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2015.

ASMUS, H. E. Geotectonic significance of Mesozoic-Cenozoic magmatic rocks in the Brazilian continental margin and adjoining emerged area. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA, 5., 1982, Buenos Aires. **Actas...** Buenos Aires: Servido Geológico Nacional, 1982. v. 3, p. 761-779.

BARBOSA, R. V.; ZACARIAS, V. S.; SILVA, I. A. G. A influência da densificação no comportamento microclimático urbano: estudo de caso em cidade de clima semiárido. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, v. 17, n. 1, p. 1298-1307, 2018.

BEKKER, A. et al. Iron Formation: The Sedimentary Product of a Complex Interplay among Mantle, Tectonic, Oceanic, and Biospheric Processes. **Earth-Science Reviews**, v. 102, p. 61-84, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.06.001. Acesso em: 26 abr. 2025.

BERTALANFFY, L. von. **General System Theory**: Foundations, Development, Applications. New York: George Braziller, 1968.

BERTALANFFY, L. von. **Teoria geral dos sistemas**: fundamentos, desenvolvimento e aplicações. Tradução de Francisco M. Guimarães. 5. ed. Petrópolis: Vozes, 2010.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física global: esboço metodológico. **RA'EGA**, Curitiba, n. 8, p. 141-152, 2004.

BEZERRA MAGALHÃES, G.; VICENTE DA SILVA, E.; ZANELLA, M. E. Análise geossistêmica: caminho para um entendimento holístico. **GeoPUC**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 5, 2024. Disponível em: https://geopuc.emnuvens.com.br/revista/article/view/58. Acesso em: 22 jul. 2024.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2003. v. 3.

BIZZI, L. A. (ed.) et al. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**: textos, mapas e SIG. Brasília: CPRM, 2003. 673 p.

BRANDÃO, L. K. de V. **Verticalização e ambiente térmico urbano**: análise de parâmetros urbanísticos integrados à abordagem bioclimática em Arapiraca, Alagoas. 2020. 149 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2020.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Noções Básicas em Proteção e Defesa Civil e em Gestão de Riscos**. Livro Base. 1. ed. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2017.

BRITO NEVES, B. B.; SILVA FILHO, A. F. Superterreno Pernambuco-Alagoas (PEAL) na Província Borborema: ensaio de regionalização tectônica. **Geologia USP, Série Científica**, v. 19, n. 2, p. 3-28, 2019.

BRUNET, L. T. **Avaliação da demanda química de oxigênio no Lago da Perucaba, Arapiraca – AL**. 2019. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2019.

BUENO, J. F. et al. U–Pb dating of granites in the Neoproterozoic Sergipano Belt, NE-Brazil: implications for the timing and duration of continental collision and extrusion tectonics in the Borborema Province. **Gondwana Research**, v. 15, n. 1, p. 86-97, 2009.

CALORIO, C. M. **Análise de sustentabilidade em estabelecimentos agrícolas familiares no vale do Guaporé-MT**. 1997. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 1997.

CAMPOS NETO, O. P. de A.; LIMA, W. S.; CRUZ, F. E. G. Bacia de Sergipe-Alagoas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 405-415, maio/nov. 2007.

CARDONA, O. D. Medición de la gestión del riesgo en América Latina. **Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología e Humanismo**, n. 3, p. 1-20, 2008.

CARLOS, A. F. A. **A Cidade**. São Paulo: Contexto, 1994.

CARLOS, A. F. A. **Espaço urbano**: novos escritos sobre a cidade. São Paulo: Contexto, 2007.

CARLOS, A. F. A. **O lugar no/do mundo**. São Paulo: Edusp, 2003.

CARVALHO, C. P. de. **Análise da reestruturação produtiva da agroindústria sucroalcooleira alagoana**. Maceió: Edufal, 2009.

CARVALHO, C. P. de. **Mudanças na agroindústria canavieira nordestina 2000-2012**. Maceió: Edufal, 2021.

CASSETI, V. **Ambiente e Apropriação do relevo**. São Paulo: Contexto, 1991. 147 p.

CAVALCANTI, L. C. de S. **Geossistemas no Estado de Alagoas**: uma contribuição aos estudos da natureza em geografia. 2010. 134 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

CHORLEY, R. J. **Geomorphology and general systems theory**. Washington: US Government Printing Office, 1962. 10 p. (Geological Survey Professional Paper, 500-B).

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

CORRÊA, R. L. Sobre agentes sociais, escala e produção do espaço: um texto para discussão. In: CARLOS, A. F. A. et al. **A produção do espaço urbano**: agentes e processos, escalas e desafios. São Paulo: Contexto, 2012.

COVELLO, V. T.; MERKHOFER, M. W. **Risk Assessment Methods**: Approaches for Assessing Health and Environmental Risks. New York: Plenum Press, 1993.

CREPANI, E. et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CREPANI, E. et al. Uso de sensoriamento remoto no zoneamento ecológico-econômico. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 8, p. 129-135, 1996.

CREPANI, E. et al. **Zoneamento ecológico-econômico**. [S. l.]: 2008.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação Ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 337-379.

CUTTER, S. **The Changing Nature of Risks and Hazards**. American Hazardscapes. Washington, D.C.: Joseph Henry Press, 2001.

DAMASCENO, A. et al. Análise espacial do desenho urbano contemporâneo: o processo de evolução da ocupação urbana a partir da expansão dos empreendimentos privados em Arapiraca/AL. In: **7º CONGRESSO LUSO BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL**. Anais... 2016. p. 1-12.

DANIEL, O. **Definição de Indicadores de Sustentabilidade para Sistemas Agroflorestais**. 2000. 113 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

DIAS, R. L.; PERES FILHO, A. Novas considerações sobre geossistemas e organizações espaciais em geografia. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 29, n. 3, p. 409-421, set./dez. 2017.

DICTORO, V. P.; GALVÃO, D. F.; HANAI, F. Y. O estudo das representações sociais e da percepção ambiental como instrumentos de análise das relações humanas com a água. **Ambiente & Educação**, v. 21, n. 1, p. 232–251, 2016.

FEITOSA, A. et al. O comprometimento das águas do riacho Piauí em Arapiraca/AL: causas e consequências. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 2227-2242, 2020.

FERREIRA, A. S.; CORREIA, J. A.; FEITOSA, A. O comprometimento das águas do riacho Piauí em Arapiraca/AL: causas e consequências. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 2227-2242, jan. 2020.

FERREIRA, R. V. et al. Origem das paisagens. In: VILLANUEVA, T. C. B.; MARTINS, V. de S. (org.). **Geodiversidade do estado de Alagoas**. Salvador: CPRM, 2016. p. 37-49.

FUNK, C. et al. The climate hazards infrared precipitation with stations: a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data**, v. 2, p. 150066, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66. Acesso em: 27 maio 2025.

G1 ALAGOAS. **Mineração em Craíbas**: impasse na Justiça impede instalação de sensores para avaliação de impactos. 2024. Disponível em: https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2024/10/16/mineracao-em-craibas-impasse-na-justica-impede-instalacao-de-sensores-para-avaliacao-de-impactos.ghtml. Acesso em: 06 dez. 2025.

GOMES, E. C.; MELO, V. de. **Mapa de reconhecimento de baixa e média intensidade de solos**: zoneamento agroecológico do Estado de Alagoas. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2012.

GOMES, M. A. S.; DA SILVA, R. N.; FERREIRA, R. V. Mudanças socioespaciais urbanas em Arapiraca-AL na aurora do século XXI. **Revista Espaço e Geografia**, v. 18, n. 1, p. 25-53, 2015.

GUAZELLI, W.; CARVALHO, J. C. Estrutura da margem continental leste brasileira e das áreas continentais e oceânicas adjacentes. In: **Aspectos estruturais da margem continental leste e sudeste do Brasil**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS/CENPES, 1981.

GUEDES, Z. **Arapiraca através do tempo**. Maceió: Mastergraphy, 1999. 164 p.

GUERRA, A. J. T. Geomorfologia e Planejamento ambiental – conceitos e aplicações. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 35, n. 4, p. 269-287, 2018.

GUERRA, A. T.; MARÇAL, M. S. dos. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

GUIMARÃES, F. S. et al. Uma proposta para automatização do Índice de dissecação do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 1, 2017.

HUGGET, R. J. **Fundamentals of Geomorphology**. London: Routledge, 2008.

IBGE. **Manuais Técnicos em Geociências** (Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso da Terra). Rio de Janeiro: IBGE, 2008-2022.

IBGE. **Manual técnico de geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182 p.

IPCC. **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation**. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. 582 p.

JACOBI, P. **Cidade e Meio Ambiente**: percepções e práticas em São Paulo. 2. ed. São Paulo: Annablume, 2006.

LEAL, L. P. S.; BARBOSA, R. V. R. Morfologia urbana e microclimas: estudo de frações urbanas na cidade de Arapiraca/AL. In: **ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**. Anais... João Pessoa, 2019.

LEFEBVRE, H. **A revolução urbana**. Tradução de Sérgio Martins. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1999. 181 p.

LUZ, A. B. da; BRAZ, E. **Quartzo**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2000. 22 p.

MARTINS, M. de F.; CÂNDIDO, G. A. Índices de Desenvolvimento para Localidades: uma proposta metodológica de construção e análise. **Revista de Gestão Social e Ambiental (RGSA)**, São Paulo, v. 6, p. 03-19, jan./abr. 2012.

MATOS, R. M. D. History of the northeast Brazilian rift system. In: CAMERON, N. R. et al. (eds.). **The Oil and Gas Habitats of the South Atlantic**. London: Geological Society, 1999. p. 55–73.

MELO, L. M. B.; CALHEIROS, A. S.; AIRES, T. L. B. Caracterização agropecuária e do uso do solo no município de Arapiraca-Alagoas. **Guaju**, v. 7, n. 1, p. 112-138, 2021.

MELO, W. M. A. *et al*. A importância do rio Piauí na cidade de Arapiraca e as consequências da urbanização de sua margem. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 15., 2025. **Anais do 15° Simpósio Nacional de Geomorfologia**. Natal: Realiza Editora, 2025.

MENDES, H. W. do N. **A indústria de alimentos em Alagoas e a formação dos mercados de Maceió e Arapiraca**. 2020. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2020.

MENDES, V. A. (org.). **Geologia e recursos minerais do estado de Alagoas**: escala 1:250.000. Recife: CPRM, 2017. 113 p.

MENDES, V. A. et al. **Programa Geologia do Brasil - PGB. Arapiraca**. Folha SC.24-X-D. Recife: CPRM, 2009. 1 mapa.

MEZZOMO, M. M.; NÓBREGA, M. T. Paisagem na Perspectiva Integrada: Alguns apontamentos. **Perspectiva Geográfica**, n. 4, p. 153-168, 2008.

MIGUEZ, M. G.; DI GREGÓRIO, L. T.; VERÓL, A. P. **Gestão de Riscos e Desastres Hidrológicos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

MIRANDA, V. C. E. **Filosofia y medio ambiente**: una aproximación teórica. México D.F.: Ediciones Taller Abierto, 1997. 190 p.

MIYAZAKI, L. C. P. **Dinâmicas de apropriação e ocupação em diferentes formas de relevo**: impactos e vulnerabilidades em ambientes urbanos. 2014. 265 f. Tese (Doutorado) – UNESP, Presidente Prudente, 2014.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. **Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 1–10, 2002. MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. **Perturbações oscilatórias no campo dos ventos**

alísios e suas influências sobre o Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. *Anais*... Rio de Janeiro: SBMET, 2000.

MORAIS NETO, J. M. et al. Timing and mechanisms for the generation and modification of the anomalous topography of the Borborema Province. **Marine and Petroleum Geology**, v. 26, p. 1070-1086, 2009.

NASCIMENTO, M. C. et al. Uso do geoprocessamento na identificação de áreas de risco de erosão na bacia hidrográfica do rio Piracicaba (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2005.

NAVARRO, G. R. B. et al. **Livro de referência de minerais comuns e economicamente relevantes**: tectossilicatos. Rio Claro: Museu Heinz Ebert, 2017.

NEMESIO, G. de F. **Impactos da implantação de condomínios residenciais no escoamento superficial em uma sub-bacia do Rio Perucaba no município de Arapiraca/AL**. 2022. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Arapiraca, 2022.

NOBRE, P.; MOLION, L. C. B. **The climatology of drought and drought prediction**. *Journal of Climate*, Boston, v. 1, n. 3, p. 343–356, 1988.

OLÍMPIO, J. L. S.; ZANELLA, M. E. Riscos Naturais: Conceitos, Componentes e Relações entre Natureza e Sociedade. **Revista Ra'e Ga**, v. 40, p. 94-109, 2017.

OLIVEIRA, E. P.; WINDLEY, B. F.; ARAÚJO, M. N. C. The Neoproterozoic Sergipano orogenic belt, NE Brazil: a complete plate tectonic cycle in western Gondwana. **Precambrian Research**, v. 181, p. 64-84, 2010.

OLIVEIRA, R. G. **Arcabouço geofísico, isostasia e causas do magmatismo cenozóico da Província Borborema**. 2008. 415 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

OLIVEIRA, R. G.; DOMINGOS, N. R. P.; MEDEIROS, W. E. Deep crustal structure of the Sergipano Belt, NE-Brazil. **Journal of the Geological Survey of Brazil**, v. 6, n. 1, p. 1-22, 2023.

OLIVEIRA FILHO, I. B. de et al. **Carta geotécnica de aptidão à urbanização: Arapiraca, AL**. Brasília: SGB, 2025.

PAES, R. P.; BRANDÃO, J. L. B. Flood Control in the Cuiabá River Basin, Brazil, with Multipurpose Reservoir Operation. **Water Resources Management**, v. 27, p. 3929-3944, 2013.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geoecologia das Paisagens**: uma visão geossistêmica da análise ambiental. 5. ed. Fortaleza: Edições UFC, 2017. 222 p.

ROMÃO, S. R. L. et al. O processo de urbanização de Arapiraca-AL: da cultura do fumo ao setor de comércio e serviços. In: **15º ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS**. Anais... São Paulo: AGB, 2008.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para o planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Bertrand Brasil, 2001.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 6, p. 17-29, 1992.

RUNNING, S.; MU, Q.; ZHAO, M. **MODIS/Terra Net Evapotranspiration 8-Day L4 Global 500m SIN Grid V6.1**. 2021. Disponível em: https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD16A2.061. Acesso em: 27 maio 2025.

SANTANA, J. R.; GOMES, H. G.; OLIVEIRA, M. F. A Ilha de calor: Relação entre o uso e cobertura do solo e a Temperatura de Superfície em Arapiraca-Alagoas. **Diversitas Journal**, v. 7, n. 4, 2022.

SANTANA, J. R.; GOMES, H. de F.; OLIVEIRA, M. F. de. Análise temporal de ilha de calor em Arapiraca-Alagoas, Brasil com base em geoprocessamento. **Diversitas Journal**, v. 7, n. 4, p. 2371-2390, 2022.

SANTANA, J. S. et al. Pernambuco-Alagoas, Riacho do Pontal and Sergipano domains of the Borborema Province: a synthesis. **Journal of the Geological Survey of Brazil**, v. 7, n. 3, p. 237-261, 2024.

SANTOS, C. G. dos et al. Solo em subsidência em bairros de Maceió-AL: emergências impostas aos agentes produtores do espaço urbano. **Revista Ímpeto**, n. 10, 2020.

SANTOS, F. G. et al. **Mapa Geológico da Província Borborema**. Escala 1:1.000.000. Recife: SGB-CPRM, 2021.

SANTOS, F. G. et al. **Mapa Geológico da Província Borborema**. Projeto Geologia e Potencial Mineral. Recife: SGB-CPRM, 2021. 1 mapa.

SANTOS, F. I.; DIAS, H. C. T. et al. Índice de sustentabilidade em zona ribeirinha na bacia hidrográfica do riozinho do Rôla, Rio Branco, Acre. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, Pombal, v. 7, n. 1, p. 47-55, 2013.

SANTOS, H. M. A synopsis of recent conceptual models on supercontinent tectonics. **Journal of Geodynamics**, v. 50, p. 116-133, 2010.

SANTOS, J. dos; OLIVEIRA, L. A. de; LOPES, J. L. de S. A dimensão socioambiental urbana de Arapiraca/AL sob a perspectiva de indicadores de vulnerabilidade. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 6, p. 2857-2873, 2020.

SANTOS, J. C. dos et al. Estudo da evolução da malha urbana de Arapiraca-AL, Brasil. In: **PLURIS 2016**. Anais... Maceió, 2016.

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço**: Técnica e Tempo, Razão e Emoção. 4. ed. São Paulo: Edusp, 2006.

SCHUTZER, J. G. **Dispersão urbana e apropriação do relevo na macrometrópole de São Paulo**. 2012. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). **Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial**: volume 4 - versão 1: cartas de padrões de relevo municipais (escala: 1:25.000). Brasília, DF: Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2021.

SEMARH. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Alagoas**. Maceió: SEMARH, 2020.

SILVA, F. A. Impactos do saneamento "in situ" nas águas da bacia hidrográfica do riacho piauí: perímetro urbano do município de Arapiraca (AL). **Revista Ambientale**, v. 3, n. 3, p. 99-107, 2012.

SILVEIRA, C. T. et al. Classificação automatizada de elementos de relevo no estado do Paraná por meio da aplicação da proposta dos geomorphons. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 1, 2018.

SIQUEIRA, M. N.; CASTRO, S. S.; FARIA, K. M. S. Geografia e ecologia da paisagem: pontos para discussão. **Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 3, p. 557-566, set. 2013.

SOBRAL, I. S. et al. Identificação de conflitos de uso da terra em Áreas de Preservação Permanente. **Revista Árvore**, 2013.

SOTCHAVA, V. B. **Introdução à Teoria do Geossistema**. Novasibéria: Nauka, 1978.

SOUZA, A. P. de; ROSS, J. L. S. **Dinâmica do relevo e fragilidade ambiental**. São Paulo: USP, 2019.

SOUZA, M. M. et al. Utilização de ferramentas de geoprocessamento para mapear as fragilidades ambientais na área de Belo Monte. **Espaço Plural**, v. 12, n. 25, p. 73-85, 2011.

SUERTEGARAY, D. M. A. **Geografia física e geomorfologia**: uma releitura. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2018. 126 p.

TOLENTINO, F. M. et al. Análise da Cobertura Vegetal na Bacia do Rio Jordão - MG. In: **ENCONTRO INTERNACIONAL DE VULNERABILIDADES E RISCOS SOCIOAMBIENTAIS**. Anais... Rio Claro, 2014.

TORGERSEN, G. et al. Correlation between extreme rainfall and insurance claims due to urban flooding – case study Fredrikstad, Norway. **Journal of Urban and Environmental Engineering**, v. 9, n. 2, p. 127-138, 2015.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: FIBGE/SUPREN, 1977. 91 p.

TRICART, J.; KIEWIET DE JONGE, C. **Ecogeography and rural management**. Essex: Longman, 1992. 267 p.

TRICART, J.; KILLIAN, J. L'eco-geographie et l'aménagement du milieu naturel. **Herodote**, Paris, 1979.

TROLL, C. **A paisagem geográfica e sua investigação**. Rio de Janeiro: Espaço e Cultura, 1977.

UNDRR. **The human cost of disasters**: an overview of the last 20 years 2000-2019. [S. l.]: 2020.

VALÕES, J. I.; GUERRA, L. D. Dinâmicas imobiliárias urbano-rurais: o Lago da Perucaba frente a expansão em Arapiraca-AL. **Raízes**, v. 39, n. 1, p. 179-198, 2019.

VAN LEEUWEN, C. J. City Blueprints: baseline assessments of sustainable water management. **Water Resources Management**, v. 27, p. 5191-5206, 2013.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: Instituto Nacional de Meteorologia, 2006.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Climatologia do Nordeste brasileiro**. Recife: INMET, 2001.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Editora UFV, 2000.

VASCONCELOS, N. A. J. **Organização espacial da Bacia Leiteira no Semiárido de Alagoas**. 2017. 225 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2017.

VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem geossistêmica e a bacia hidrográfica como unidade de planejamento. **Sociedade & Natureza**, 2003.

XAVIER, P. da C. D. da S.; CAMPOS, H. L. Efeitos do crescimento urbano na qualidade das águas do Riacho Piauí, Arapiraca-AL. **Revista de Geografia**, Recife, v. 24, n. 3, p. 167-177, 2007.

ZACARIAS, V. S. **Desenho urbano e arquitetônico**: sinergia necessária para adequação climática da cidade de Arapiraca. 2022. 163 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Arquitetura e Urbanismo) – [S. l.], 2022.

ZÊZERE, J. L. **Dinâmica de vertentes e riscos geomorfológicos**. Lisboa: Centro de Estudos Geográficos, 2005. (Relatório nº 41).