

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Ariane Alves Mendes

**Análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra no município de Caputira (MG)
e o avanço da produção cafeeira sobre áreas de restrição ambiental**

Juiz de Fora

2026

Ariane Alves Mendes

**Análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra no município de Caputira (MG)
e o avanço da produção cafeeira sobre áreas de restrição ambiental**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Faculdade de Engenharia da Universidade
Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial
à obtenção do grau de bacharel em Engenharia
Ambiental e Sanitária.

Área de concentração: Gestão e Impactos
Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Jonathas Batista Gonçalves Silva

Coorientador: Prof^a. Dr^a. Fernanda Ribeiro do Carmo Damasceno

Juiz de Fora

2026

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Mendes, Ariane Alves.

Análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra no município de Caputira (MG) e o avanço da produção cafeeira sobre áreas de restrição ambiental / Ariane Alves Mendes. -- 2026.

103 f. : il.

Orientador: Jonathas Batista Gonçalves Silva
Coorientadora: Fernanda Ribeiro do Carmo Damasceno

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2026.

1. Uso e cobertura da terra. 2. Geoprocessamento. 3. Café. 4. Áreas de Preservação Permanente. 5. Bacia Hidrográfica. I. Silva, Jonathas Batista Gonçalves, orient. II. Damasceno, Fernanda Ribeiro do Carmo, coorient. III. Título.

Ariane Alves Mendes

**Análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra no município de Caputira (MG)
e o avanço da produção cafeeira sobre áreas de restrição ambiental**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Área de concentração: Gestão e Impactos Ambientais.

Aprovada em 4 de setembro de 2026

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jonathas Batista Gonçalves Silva – Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª. Dr^ª. Fernanda Ribeiro do Carmo Damasceno – Coorientadora
Universidade de Brasília

Alessandro Salles Carvalho
Universidade Federal de Juiz de Fora

Fernanda Raphaela Pantojo de Souza
Engenheira Ambiental e Sanitarista – Âmbar Soluções em Engenharia e Meio Ambiente

Dedico este trabalho à Laura,
minha irmã, e aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Inicio os agradecimentos ressaltando a importância da firmeza e da resiliência daqueles que me acompanham. Acredito que, em um plano incompreensível e indescritível, há quem olhe por mim.

Aos meus pais e à Laura, agradeço pelo apoio e pelo suporte ao longo da minha caminhada universitária. Obrigada por nunca deixarem de me incentivar e por não desistirem de mim.

Aos meus avós, agradeço pelo cuidado, zelo e afeto. Vocês me moldaram como pessoa. Com vocês, aprendi o que é a empatia, a determinação, a readaptação. De vocês, senti o amor em sua forma mais orgânica e pura.

Aos meus tios e tias, Rejane, Lelé, Bruno, Ulisses e Rafa pelo encorajamento e amor incondicional. Às tias Aurinha e Bárbara por serem o maior exemplo de companheirismo, lealdade, humanidade e ética individual, mútua e coletiva. Aos meus primos, Caio, Yuri, Edu e Larissa, agradeço pela renovação nos momentos orgânicos da vida em minhas idas a Caputira.

À Samara, agradeço por ter me mostrado que o amor pode ser palpável e metafísico, concomitantemente. Agradeço pelo cuidado e por ter acreditado em mim, sobretudo nos momentos mais difíceis e dolorosos. Você é o amor da minha vida.

Agradeço às minhas companheiras de república em JF, Carol e Larissa, pessoas ímpares e tão diferentes de mim, que me deram força e doses de alegria diária em todos os anos de convivência. Agradeço aos amigos de vida, em especial ao Gabriel e à Gertrudes, por sempre acreditarem em mim e, mesmo distantes, não terem soltado a minha mão.

Agradeço aos amigos da faculdade pelas trocas diárias, desabafos e incentivos.

Agradeço aos professores Jonathas e Fernanda por confiarem em mim nesta etapa

Agradeço ao GET-ESA e à professora Maria Helena pelo acolhimento e engrandecimento proporcionados pelo grupo. Sem dúvidas, o GET-ESA representou uma virada de chave profissional e acadêmica em minha vida.

Agradeço às experiências nos estágios que realizei durante a graduação, em especial à Fernanda Pantojo pelo acolhimento e pelos conhecimentos compartilhados.

Agradeço à banca presente neste trabalho, Jonathas, Fernanda Damasceno, Alessandro e Fernanda Pantojo, obrigada por toparem essa empreitada. Sempre admirei muito cada um de vocês e foi uma honra tê-los comigo neste momento.

RESUMO

As transformações no uso e cobertura da terra constituem importantes indicadores da dinâmica espacial e das pressões exercidas sobre os recursos naturais em um município. Este estudo teve como objetivo analisar as mudanças ocorridas no uso e cobertura da terra no município de Caputira (MG) entre 1985, 2008 e 2025, com ênfase na evolução da cobertura florestal, das atividades agrossilvipastoris e na ocupação de Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Áreas de Uso Restrito (AURs). A partir de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, foram elaborados mapas temáticos para os três períodos analisados, utilizando classificação supervisionada pelo método da Máxima Verossimilhança (MaxVer). A acurácia das classificações foi avaliada por meio de matrizes de confusão, acurácia global e índice Kappa. A caracterização física do município e da bacia hidrográfica do ribeirão da Cabeluda foi realizada como análise complementar, contemplando parâmetros morfométricos, hipsometria e declividade. Os resultados demonstraram a redução da área de formação florestal de 30,21% para 15,03% do território municipal e o aumento da cafeicultura de 9,61% para 30,13% entre 1985 e 2025, enquanto a pastagem permaneceu como a principal classe de ocupação de área no território. Nas APPs e AURs, os usos classificados como conflitantes corresponderam à 27,69 km² em 1985 e à 34,42 km² em 2025. A análise ambiental evidenciou ainda a ausência de Unidades de Conservação (UCs) instituídas no território municipal, embora Caputira esteja inserido em zonas de Amortecimento e de Transição da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA), além de apresentar proximidade com áreas protegidas e corredor ecológico na região. Os resultados evidenciam a reconfiguração da paisagem municipal, caracterizada pela redução da cobertura florestal e pelo avanço das atividades agropecuárias, especialmente da cafeicultura, reforçando a necessidade de fortalecer os instrumentos de planejamento territorial, fiscalização e gestão ambiental para a conservação dos recursos naturais no município.

Palavras-chave: Uso e cobertura da terra; Geoprocessamento; Sensoriamento remoto; Áreas de Preservação Permanente; Caputira.

ABSTRACT

Changes in land use and land cover are important indicators of spatial dynamics and the pressures exerted on natural resources in a municipality. The objective of this study was to analyze changes in land use and land cover in the municipality of Caputira (MG) between 1985, 2008, and 2025, with an emphasis on the evolution of forest cover, agrosilvopastoral systems, and the occupation of Permanent Preservation Areas (PPAs) and Restricted Use Areas (RUAs). Using geoprocessing and remote sensing techniques, thematic maps were created for the three periods analyzed, employing supervised classification via the Maximum Likelihood Estimation (MLE) method. The accuracy of the classifications was assessed using confusion matrices, overall accuracy, and the Kappa Index. A physical characterization of the municipality and the Ribeirão da Cabeluda watershed was conducted as a complementary analysis, including morphometric parameters, hypsometry, and slope. The results showed a reduction in forest cover from 30.21% to 15.03% of the municipal territory and an increase in coffee cultivation from 9.61% to 30.13% between 1985 and 2025, while pasture remained the primary land-use class in the territory. Within the PPAs and RUAs, land uses classified as conflicting covered 27.69 km² in 1985 and 34.42 km² in 2025. The environmental analysis also revealed the absence of established Conservation Units (UCs) within the municipal territory, although Caputira is located within the Buffer and Transition Zones of the Atlantic Forest Biosphere Reserve (RBMA) and is situated near a few protected areas and an ecological corridor. The results highlight the reconfiguration of the municipal landscape, characterized by a reduction in forest cover and the expansion of agricultural and livestock activities, particularly coffee cultivation, reinforcing the need to strengthen instruments for territorial planning, enforcement, and environmental management to conserve natural resources in the municipality.

Keywords: Land use and land cover; Geoprocessing; Remote sensing; Permanent Preservation Areas; Caputira.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Os principais aspectos do CFB de 2012 a respeito de APPs e de RL.....	25
Figura 2 - Incidência da energia solar sobre um objeto-alvo e sua reflexão captada pelo sensor remoto.	30
Figura 3 - Espectro eletromagnético, suas faixas ou intervalos de comprimento de onda (em metros) e de frequência (em hertz).	31
Figura 4 - Comportamento espectral da água, do solo e da vegetação.....	31
Figura 5 - Comparação entre a banda 4 (infravermelho próximo), com resolução espacial de 30 m, e a banda pancromática, com resolução espacial de 15 m, do Landsat 7 ETM+.	32
Figura 6 - Representação de uma mesma área a partir de diferentes bandas e resoluções espectrais.....	33
Figura 7 - Diferença entre duas resoluções radiométricas sobre a mesma imagem.	33
Figura 8 - Esquema geral de funcionamento de um SIG.....	38
Figura 9 - O modelo digital de elevação no formato raster, com resolução espacial de 30 m.	45
Figura 10 - A classificação dos cursos de água, segundo Strahler.	48
Figura 11 - Localização do município de Caputira (MG).	51
Figura 12 - Histograma de precipitação média e temperaturas mínima e máxima do município de Caputira, a partir de uma série histórica de 30 anos.	53
Figura 13 - Vista geral das áreas classificadas em risco alto e muito alto (vermelho) na área da sede do município de Caputira (MG).	56
Figura 14 - Mapas de a) geodiversidade, b) pedologia e c) regiões fitoecológicas do município de Caputira.....	57
Figura 15 - Fluxograma da delimitação da BH do ribeirão da Cabeluda no ArcGIS Pro.	59
Figura 16 - Fluxograma do PDI aplicado à classificação supervisionada de uso e cobertura da terra do município de Caputira (MG).	64
Figura 17 - Mapa de hierarquia fluvial da BH do ribeirão da Cabeluda.	69
Figura 18 - Mapa a) hipsométrico e b) de declividade da BH do ribeirão da Cabeluda.	71
Figura 19 - Curva hipsométrica da BH do ribeirão da Cabeluda.	72
Figura 20 - Mapa de uso e cobertura da terra no município de Caputira (MG) no ano de 1985.	74

Figura 21 - Mapa de uso e cobertura da terra no município de Caputira (MG) no ano de 2008.	76
Figura 22 - Mapa de uso e cobertura da terra no município de Caputira (MG) no ano de 2025.	78
Figura 23 - Mapas hipsométrico e de declividade do município de Caputira (MG).	85
Figura 24 - Mapa de conflitos de uso e cobertura da terra de APPs e AURs no município de Caputira (MG) no ano de 1985.	88
Figura 25 - Mapa de conflitos de uso e cobertura da terra de APPs e AURs no município de Caputira (MG) no ano de 2008.	89
Figura 26 - Mapa de conflitos de uso e cobertura da terra de APPs e AURs no município de Caputira (MG) no ano de 2025.	90
Figura 27 - Mapa de localização das UCs adjacentes e zonas da RBMA no município de Caputira (MG).	93

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 - Tipos de Áreas de Preservação Permanente, segundo a Lei nº 12.651/2012.....	24
Quadro 2 - Resoluções espectrais dos sensores Landsat.	36
Quadro 3 - Imagens adquiridas dos satélites Landsat, a partir do Earth Explorer.	62
Quadro 4 - Composições coloridas realizadas nas imagens de satélites Landsat.....	63
Gráfico 1 - Porcentagem por classe de uso do solo em relação à área total do município de Caputira nos anos de 1985, 2008 e 2025.	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Intervalo de desempenho, segundo o índice Kappa.	43
Tabela 2 - Produção de culturas agrícolas no município de Caputira no ano de 2024.....	54
Tabela 3 - Classes de declividade adotadas no estudo.	60
Tabela 4 - Parametros morfométricos utilizados na caracterização da BH do ribeirão da Cabeluda.	60
Tabela 5 - Características morfométricas da bacia hidrográfica do ribeirão da Cabeluda.	67
Tabela 6 - Classes de declividade da BH do ribeirão da Cabeluda.	70
Tabela 7 - Classes de hipsometria da BH do ribeirão da Cabeluda.....	71
Tabela 8 - Matriz de confusão da classificação supervisionada MaxVer do ano de 1985.....	73
Tabela 9 - Matriz de confusão da classificação supervisionada MaxVer do ano de 2008.....	75
Tabela 10 - Matriz de confusão da classificação supervisionada MaxVer do ano de 2025.	77
Tabela 11 - Matriz de transição do uso e cobertura da terra entre os anos 1985 e 2008 no município de Caputira (MG).	79
Tabela 12 - Matriz de transição do uso e cobertura da terra entre os anos 2008 e 2025 no município de Caputira (MG).	80
Tabela 13 - Matriz de transição do uso e cobertura da terra entre os anos 1985 e 2025 no município de Caputira (MG).	81
Tabela 14 - Classes de hipsometria do município de Caputira (MG).....	84
Tabela 15 - Classes de declividade do município de Caputira (MG).	85
Tabela 16 - Classificação de declividade no município de Caputira (MG), para delimitação de APPs e AURs, segundo o CFB.....	86
Tabela 17 - Resultados da análise de APPs de topo de morro, segundo o CFB.....	87
Tabela 18 - Área ocupada pelas classes de uso e cobertura da terra em APPs e AURs no município de Caputira (MG), nos anos de 1985, 2008 e 2025.	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AG	Acurácia Global
APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Preservação Permanente
AUC	Área Urbana Consolidada
BH	Bacia Hidrográfica
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CBH Piranga	Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Piranga
CFB	Código Florestal Brasileiro
Conab	Companhia Nacional de Abastecimento
Copam	Conselho Estadual de Política Ambiental
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Serviço Geológico do Brasil)
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETM+	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>
FBDS	Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
IDE-Sisema	Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
Landsat	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>
MaxVer	Máxima Verossimilhança
m	Metro
mm	Milímetro
MG	Minas Gerais
MS	Multiespectral
MSS	<i>Multispectral Scanner System</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
P_Acuracia	Acurácia do Produtor
Pan	Pancromática
PDI	Processamento Digital de Imagem
PIB	Produto Interno Bruto

RB	Reserva da Biosfera
RBMA	Reserva da Biosfera da Mata Atlântica
RBV	<i>Return Beam Vidicon</i>
RL	Reserva Legal
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural
SEMAD	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SICAR	Sistema de Cadastro Ambiental Rural
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SINISA	Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
U_Acuracia	Acurácia do Usuário
UC	Unidade de Conservação
UFV	Universidade Federal de Viçosa
UPI	Unidade de Proteção Integral
USGS	<i>U.S. Geological Survey</i>
UUS	Unidade de Uso Sustentável
t	Tonelada
TIR	<i>Thermal Infrared</i>
TIRS	<i>Thermal Infrared Sensor</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Objetivos.....	19
1.2 Objetivos específicos	19
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1 Expansão agrícola e degradação ambiental	20
2.1.1 A agricultura cafeeira	20
2.2 O Código Florestal Brasileiro: instrumentos legais de proteção ambiental e conflitos de uso do solo	22
2.3 As Unidades de Conservação e a Reserva da Biosfera.....	27
2.4 Sensoriamento remoto	29
2.4.1 Processamento Digital de Imagens	33
2.4.2 Os satélites Landsat	35
2.5 Sistemas de Informações Geográficas e Georreferenciamento	37
2.5.1. O papel do SIG na análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra e no diagnóstico de áreas degradadas	39
2.5.2 Classificação supervisionada pelo método da Máxima Verossimilhança	40
2.5.3 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada	41
2.5.4 Avaliação da acurácia da classificação de imagens de sensoriamento remoto	42
2.6 Análise morfométrica de bacias hidrográficas	44
2.6.1 Características geométricas	45
2.6.1.1. Área de drenagem	46
2.6.1.2 Perímetro.....	46
2.6.1.3 Coeficiente de compacidade	46
2.6.1.4 Fator de forma	46
2.6.2 Características da rede de drenagem	47
2.6.2.1 Ordem dos cursos de água	47
2.6.2.2 Densidade de drenagem.....	48
2.6.2.3 Índice de sinuosidade.....	48
2.6.3 Características do relevo.....	49
2.6.3.1 Altitude da bacia.....	49
2.6.3.2 Declividade da bacia.....	50

3 MATERIAL E MÉTODOS.....	51
3.1 Caracterização da área de estudo	51
3.1.1 Aspectos físicos e ambientais	52
3.1.2 Aspectos socioeconômicos	53
3.1.3 Aspectos de geodiversidade, pedologia e fitoecologia	56
3.2 Caracterização da bacia hidrográfica do ribeirão da Cabeluda	58
3.3 Análise espaço-temporal de uso e cobertura da terra do município de Caputira	61
3.3.1 Hipsometria e declividade do município de Caputira (MG)	61
3.3.2 Aquisição, seleção e pré-processamento de imagens	61
3.3.3 Índice NDVI, seleção de classes de uso do solo, classificação supervisionada e avaliação da acurácia	63
3.3.4 Conflitos de uso e cobertura da terra	65
3.3.4.1 Delimitação de Áreas de Preservação Permanente e Áreas de Uso Restrito.....	65
3.3.4.2 Unidades de Conservação e Reserva da Biosfera da Mata Atlântica	66
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	67
4.1 Análise morfométrica da bacia hidrográfica do ribeirão da Cabeluda	67
4.2 Análise espaço-temporal de uso e cobertura da terra do município de Caputira	72
4.2.1 Hipsometria e declividade do município de Caputira (MG)	83
4.2.2 Conflitos de uso e cobertura da terra	86
4.2.2.1 Áreas de Preservação Permanente e Áreas de Uso Restrito	86
4.2.2.2 Unidades de Conservação e Reserva da Biosfera da Mata Atlântica	91
5 CONCLUSÕES	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96

1 INTRODUÇÃO

A expansão agrícola no Brasil consolidou o setor agropecuário como um dos pilares da economia brasileira, desempenhando papel de influência no crescimento do Produto Interno Bruto (PIB). Segundo Moura (2026), o setor foi responsável por um terço do percentual de crescimento da economia nacional no ano de 2025.

Dentre as diversas culturas agrícolas presentes no país, a cafeicultura ocupa uma posição de destaque histórico e socioeconômico, mantendo o Brasil como o maior produtor e exportador mundial de café, com destaque para o estado de Minas Gerais que concentra, aproximadamente, 62% da área cultivada nacional (Conab, 2025).

A expansão nacional da cafeicultura, iniciada no período colonial e intensificada ao longo das décadas, é marcada pela geração significativa de impactos sobre os ecossistemas. O modelo de ocupação, historicamente baseado na substituição da cobertura vegetal nativa por monoculturas, sobrecarrega os recursos naturais essenciais, resultando em processos de degradação do solo que comprometem a resiliência e a capacidade produtiva das terras (Oliveira *et al.*, 2021).

A intensificação do manejo agrícola desassociado de práticas conservacionistas acelera o processo de erosão do solo, frequentemente exacerbado pela ocupação de áreas ambientalmente frágeis, levando a um processo de desequilíbrio ambiental (Barão, 2020; Wanderer, 2017).

Diante desse cenário, os estudos da evolução das funções sistêmicas do solo tornaram-se um ponto central das análises da dinâmica de uso e cobertura da terra. Para além de seu papel como suporte físico para as lavouras, o solo atua como um sistema dinâmico essencial para a regulação de ciclos hidrológicos, para a ciclagem de nutrientes e para o suporte à biodiversidade (Gomes; Lobo; Alvarenga, 2013).

A busca pela conciliação entre a exploração econômica e a conservação ambiental vem sendo amplamente discutida a nível mundial, fundamentada por legislações que exigem respeito aos limites ecológicos da terra. Entretanto, a aplicação e a fiscalização efetiva de normas como o Código Florestal Brasileiro (Brasil, 2012) e as diretrizes do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (Brasil, 2000) demandam recursos humanos e tecnológicos ampliados de monitoramento. Nesse contexto, a utilização das geotecnologias apresenta-se como um diferencial decisivo.

Como apontam Conceição e Costa (2013b) e Fitz (2008b), a utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e de Sensoriamento Remoto viabilizam o monitoramento contínuo e efetivo das transformações do território ao permitirem o melhor armazenamento e atualização de dados, a recuperação de informações de forma hábil, a produção de resultados mais precisos e a agilidade na análise de alternativas para a tomada de decisão.

A capacidade de processar dados digitais do território em larga escala, por meio de algoritmos de classificação supervisionada, como a Máxima Verossimilhança (MaxVer), e de índices de vegetação, como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), oferece aos gestores e produtores rurais ferramentas essenciais para o diagnóstico ambiental e o planejamento sustentável da atividade agrícola (Meneses; Almeida; Sano, 2025; Campanha *et al.*, 2018).

Por meio da aplicação de ferramentas de geoprocessamento e de sensoriamento remoto é possível compreender a dinâmica de uso e ocupação territorial de um município. Essas tecnologias permitem identificar os conflitos entre as atividades agrícolas e as áreas de preservação do meio ambiente, fornecendo embasamentos técnicos para o planejamento ambiental e para a promoção da sustentabilidade agrícola municipal.

Como análise complementar, a caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica presente em uma determinada região contribui para o entendimento da resposta hidrológica da área, considerando parâmetros como declividade, altitude e forma do relevo, obtidos a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE). Esses atributos são fundamentais para a identificação de áreas mais suscetíveis ao escoamento superficial, à concentração do fluxo hídrico e à ocorrência de inundações na bacia.

Diante disso, as análises da relação entre a expansão da cafeicultura e os conflitos de uso do solo em municípios do interior de Minas Gerais se tornam essenciais para o subsídio de estratégias para o aprimoramento das políticas de conservação e gestão ambiental, ordenamento territorial e adequação às normas legais vigentes.

A utilização integrada de ferramentas de geoprocessamento, do monitoramento espaço-temporal do território e da análise morfométrica de bacias hidrográficas contribui para o aprimoramento dos diagnósticos ambientais e subsídio de estratégias mais eficientes de conservação e preservação territorial.

1.1 Objetivos

Analisar a relação entre a expansão da cafeicultura e os conflitos de uso do solo no município de Caputira (MG), no período entre 1985 e 2025, por meio da aplicação de ferramentas de geoprocessamento e análise de imagens de satélite.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar a análise espaço-temporal do uso e ocupação no solo do município de Caputira (MG);
- Relacionar o uso e cobertura da terra no município à aplicação dos instrumentos legais do Código Florestal Brasileiro e do Sistema Nacional de Unidades de Conservação;
- Identificar áreas de conflito de uso do solo no município, evidenciando regiões inseridas em Áreas de Preservação Permanente e Áreas de Uso Restrito;
- Elaborar a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do ribeirão da Cabeluda a partir de MDEs com o intuito de analisar a propensão à inundação da bacia.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Expansão agrícola e degradação ambiental

O setor agrícola brasileiro tem sua origem marcada pela exploração acentuada das terras nacionais, características advindas do período colonial, no século XVI, em que o país foi transformado em capitanias hereditárias subordinadas à coroa portuguesa. Essas capitanias marcaram um período de intensificação da agricultura no território, associada ao processo de substituição da cobertura vegetal nativa por áreas destinadas à produção de culturas, herança que persiste até os dias atuais como principal modelo da expansão agrícola (Oliveira *et al.*, 2021).

Embora o advento do setor agrícola tenha contribuído para o desenvolvimento econômico e para o fortalecimento do agronegócio nacional, ele também intensificou mudanças expressivas no meio ambiente, promovendo a degradação dos solos no território brasileiro.

Segundo Gomes, Lobo e Alvarenga (2013), a degradação dos solos é o estado em que existe o comprometimento do desempenho básico das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, desencadeando a redução de sua capacidade produtiva. Já para Almeida (2016), a área degradada é definida como aquela que apresenta sua capacidade de resiliência baixa, isto é, a volta ao seu ecossistema natural e equilibrado pode ser lento ou não ocorrer, necessitando de ações antrópicas.

A maior causa de degradação dos solos no mundo é a erosão, decorrente da remoção da vegetação original, pelo manejo inadequado dos solos e pela ocupação de áreas ambientalmente frágeis, como encostas, margens de cursos d'água e áreas com elevada declividade (Barão, 2020; Guerra; Jorge, 2014).

As principais consequências da erosão são: perda de solo, de matéria orgânica, de nutrientes e de atividade biológica, além de carreamento de sedimentos que causam assoreamento dos cursos d'água.

2.1.1 A agricultura cafeeira

A agricultura cafeeira se destaca dentro do cenário econômico nacional, mantendo o Brasil como o atual maior produtor e exportador de café mundial (Brasil, 2025). Segundo dados da Conab (2025), o setor cafeeiro encerrou o ano de 2025 com a produção de 56,5 milhões de sacas de café beneficiadas, sendo 48,4 milhões de sacas beneficiadas somente na região

Sudeste. Desse valor, cerca de 46% da produção foi originária do estado de Minas Gerais, o maior produtor nacional.

O advento do café no Brasil se expandiu e se consolidou rapidamente, desde a sua chegada no século XVIII, transformando-o no maior expoente da prosperidade nacional. Isso se deve, principalmente, às condições territoriais e climáticas favoráveis à cultura cafeeira, culminando, por exemplo, no encerramento do ciclo do ouro mineiro (Marques, 2022). As duas espécies produzidas no país são o *Coffea arabica* (Arábica), que representa cerca de 63% da produção, e o *Coffea canephora* (Robusta/Conilon).

A atividade, em Minas Gerais, é caracterizada pelos expressivos sistemas de cultivo e manejo baseados, principalmente, na cafeicultura de montanha. O estado concentra a maior área cultivada do país com 1,4 milhão de hectares, equivalente a 62% da área cultivada com café no cenário nacional (Conab, 2025). A modalidade montanhosa da cultura é predominante em regiões como a Zona da Mata, onde o relevo acidentado exige o uso extensivo de mão de obra e gera desafios específicos para a sustentabilidade ambiental (Faria, 2015).

De acordo com Barros (2006), a expansão da cafeicultura foi um dos principais fatores de supressão da Mata Atlântica, do Cerrado e de florestas nativas em Minas Gerais, desde o início da implantação da cultura, ainda no período colonial. Esse modelo desencadeou processos severos de degradação dos recursos naturais devido ao manejo agrícola desassociado de práticas conservacionistas, acentuados pela ausência de embasamentos legais como medida preservacionista e punitiva, estabelecidos de forma tardia, notadamente pelas leis:

- a) Decreto nº 23.793, de 23 de janeiro de 1934 - o primeiro Código Florestal Brasileiro;
- b) Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934 - o Código de Águas;
- c) Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 - a Política Nacional do Meio Ambiente;
- d) Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 - a Lei de Crimes Ambientais.

A cafeicultura, quando expandida sobre áreas ambientalmente frágeis, como encostas, margens de cursos d'água e áreas de elevada declividade, pode intensificar a degradação do solo e o carreamento de sedimentos para os corpos hídricos.

Barão (2020), Lima *et al.* (2019) e Marques (2022) citam em seus trabalhos as principais consequências do avanço desordenado das lavouras de café sobre o meio ambiente: perda de fertilidade do solo, intensificação da erosão hídrica, assoreamento dos corpos d'água, aumento da classe de solo exposto em detrimento da vegetação nativa e contaminação do lençol freático.

O diagnóstico da transformação ambiental em municípios com forte influência da produção agrícola é crucial para a análise da cobertura e da ocupação do solo. Através da sistematização desse processo é possível realizar a identificação das alterações ambientais ao longo do tempo – especialmente em áreas sujeitas à expansão agrícola, à pressão antrópica e à degradação –, verificar a compatibilidade entre a ocupação e a capacidade natural da terra e subsidiar ações de planejamento ambiental.

O conceito de sustentabilidade ambiental vem permeando vários setores da sociedade nas últimas décadas, inclusive a agricultura cafeeira. Essa realidade vem sendo demonstrada através da criação e manutenção de legislações e certificações ambientais, além da conscientização dos agricultores para que percebam a sustentabilidade como um conjunto de técnicas que visam a ampliação e a qualidade da produção a longo prazo (Marques, 2022).

O cultivo sustentável e ambientalmente correto da cultura do café deve levar em consideração a proteção do meio ambiente e a utilização de tecnologias que refinem o manejo da produção. Dessa forma, busca-se minimizar os efeitos adversos das práticas agrícolas no solo, assegurando a conservação da sua capacidade ecossistêmica no meio físico, químico e biológico.

Marques (2022) descreve alguns exemplos de práticas sustentáveis na agricultura cafeeira, como: “técnicas que minimizam o risco de erosões, que não utilizam desmatamentos e queimadas ou, ainda que façam uso de sistemas agroflorestais, que não utilizem ou utilizem de forma limitada os produtos fitossanitários”.

2.2 O Código Florestal Brasileiro: instrumentos legais de proteção ambiental e conflitos de uso do solo

A legislação ambiental brasileira baseia-se na conciliação entre produção, conservação e qualidade ambiental, exigindo que o uso da terra respeite os limites ecológicos. Nesse sentido, o Código Florestal Brasileiro (CFB) constitui-se como o principal instrumento normativo de proteção da vegetação nativa e de ordenamento do uso do solo em áreas ambientalmente sensíveis.

Sua origem data do ano de 1934, através do Decreto nº 23.793, por meio do qual o então presidente Getúlio Vargas promulgou o primeiro CFB, focado em diretrizes e penalidades em relação à exploração madeireira.

Posteriormente, foi promulgada a Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, que instituiu o novo Código Florestal, tendo sua redação complementada pela Lei nº 7.511, de 7 de julho de 1986 e pela Lei nº 7.803, de 18 de julho de 1989. O então novo código e suas complementações estabeleceram conceitos importantes, como o de Área de Preservação Permanente (APP), e regulamentaram a proteção das matas ciliares e a Reserva Legal (RL), definidas, respectivamente, a partir das larguras dos corpos hídricos e do tipo de vegetação nativa (Brasil, 1965).

O Projeto de Lei nº 1.876/99 – que versava sobre APPs, RL, exploração florestal e outras providências – foi sancionado, com vetos parciais, como o Novo Código Florestal Brasileiro, por meio da Lei Ordinária nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Esse código permanece vigente até os dias atuais, tendo sofrido algumas alterações pontuais ao longo dos anos, notadamente pela Lei nº 12.727/2012 e Lei nº 14.285/2021.

O CFB de 2012 destaca as definições de cada tipo de APP, bem como os critérios para a proteção da vegetação de acordo com a sua classificação, conforme o Quadro 1.

Para a RL, o CFB versa que todo imóvel rural deve manter, no mínimo, 20% de sua área com cobertura de vegetação nativa. Para áreas localizadas na Amazônia Legal, esse percentual segue critérios próprios, de acordo com o apresentado na Figura 1.

Além disso, o CFB trouxe a definição de Área de Uso Restrito (AUR), como as áreas de pantanais e planícies pantaneiras, além de “áreas de inclinação entre 25° e 45°, onde são permitidos o manejo florestal sustentável e o exercício de atividades agrossilvipastoris” (Brasil, 2012). Ressalta-se que o texto veda a conversão de novas coberturas vegetais, mas permite a manutenção das áreas, desde que sejam adotadas boas práticas agronômicas.

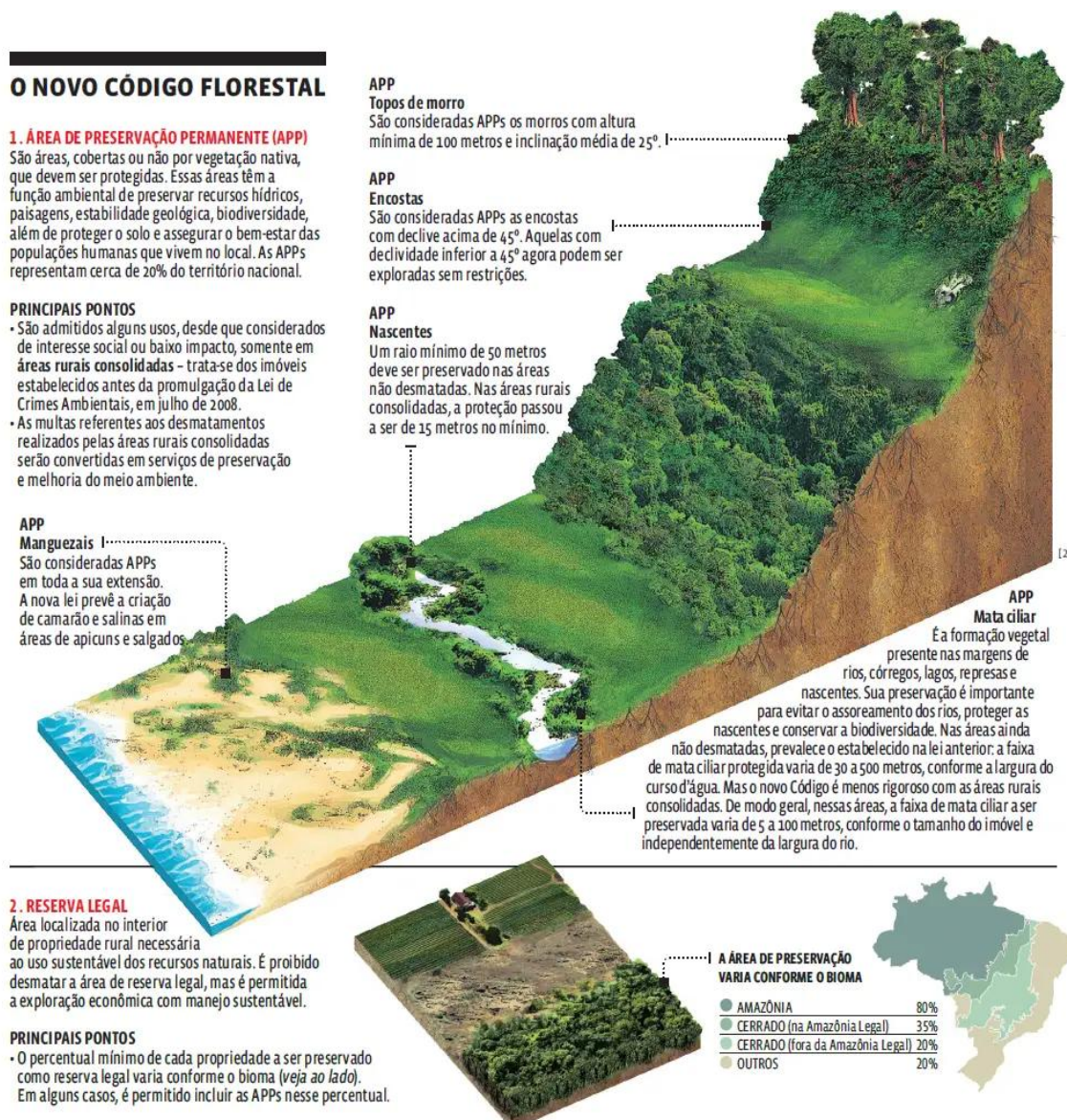
O atual Código Florestal Brasileiro apresenta pontos dúbios quanto à eficácia da preservação ambiental. Um dos exemplos mais controversos é a questão presente no artigo 3º, inciso IV, que trata de área rural consolidada definida como a “área de imóvel rural com ocupação antrópica preexistente a 22 de julho de 2008, com edificações, benfeitorias ou atividades agrossilvipastoris, admitida, neste último caso, a adoção do regime de pousio”. Nesse caso, as diretrizes para a recomposição das faixas marginais seguem regras específicas e variam de acordo com os módulos fiscais da propriedade rural.

Quadro 1 - Tipos de Áreas de Preservação Permanente, segundo a Lei nº 12.651/2012.

Tipo de APP	Definição e critérios técnicos, segundo a legislação
Cursos d'água	Faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene ou intermitente, medidas a partir da borda da calha do leito regular. A largura varia de 30 m (rios < 10 m de largura) até 500 m (rios > 600 m de largura).
Nascentes e olhos d'água	Áreas no entorno de nascentes e olhos d'água perenes, independentemente da situação topográfica, em um raio mínimo de 50 m.
Lagos e lagoas naturais	Em zonas rurais, a faixa é de 100 m, exceto para corpos d'água com até 20 hectares de superfície, onde a faixa é de 50 m. Em zonas urbanas, a faixa é de 30 m.
Reservatórios artificiais	Áreas no entorno de reservatórios decorrentes de barramento ou enquadramento de cursos d'água naturais, conforme estabelecido no licenciamento ambiental.
Encostas	Áreas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% de inclinação na linha de maior declive.
Topos de morros, montes, montanhas e serras	Áreas no terço superior, com altura mínima de 100 m e inclinação média superior a 25°.
Bordas de tabuleiros ou chapadas	Faixa de 100 m de largura a partir da linha de ruptura do relevo, em projeção horizontal.
Restingas	Faixas situadas nas restingas, quando exercem função de fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues.
Manguezais	Faixa de APP em toda a sua extensão.
Altitudes elevadas	Áreas situadas em altitudes superiores a 1.800 m, independentemente da vegetação presente.
Veredas	Faixas marginais, em projeção horizontal, com largura mínima de 50 m a partir do espaço permanentemente brejoso e encharcado.

Fonte: Adaptado de Brasil (2012).

Figura 1 - Os principais aspectos do CFB de 2012 a respeito de APPs e de RL.



Fonte: Abril (2018).

Outras questões polêmicas foram acrescentadas através de incisos no CFB, por meio da Lei nº 14.285/2021, a respeito da definição de área urbana consolidada (AUC) e da preservação de APPs de faixas marginais a rios e lagos em AUCs, respectivamente, no artigo 3º, inciso XXVI, e no artigo 4º, parágrafo 10:

Art. 3º [...]

XXVI – área urbana consolidada: aquela que atende os seguintes critérios:

- estar incluída no perímetro urbano ou em zona urbana pelo plano diretor ou por lei municipal específica;
- dispor de sistema viário implantado;
- estar organizada em quadras e lotes predominantemente edificados;
- apresentar uso predominantemente urbano, caracterizado pela existência de edificações residenciais, comerciais, industriais, institucionais, mistas ou direcionadas à prestação de serviços;

e) dispor de, no mínimo, 2 (dois) dos seguintes equipamentos de infraestrutura urbana implantados:

1. drenagem de águas pluviais;
2. esgotamento sanitário;
3. abastecimento de água potável;
4. distribuição de energia elétrica e iluminação pública; e
5. limpeza urbana, coleta e manejo de resíduos sólidos.

[...]

Art. 4º [...]

§ 10. Em áreas urbanas consolidadas, ouvidos os conselhos estaduais, municipais ou distrital de meio ambiente, lei municipal ou distrital poderá definir faixas marginais distintas daquelas estabelecidas no inciso I do caput deste artigo, com regras que estabeleçam:

I – a não ocupação de áreas com risco de desastres;

II – a observância das diretrizes do plano de recursos hídricos, do plano de bacia, do plano de drenagem ou do plano de saneamento básico, se houver; e

III – a previsão de que as atividades ou os empreendimentos a serem instalados nas áreas de preservação permanente urbanas devem observar os casos de utilidade pública, de interesse social ou de baixo impacto ambiental fixados nesta Lei (Brasil, 2021).

Essas alterações no CFB permitem aos municípios a redução das faixas marginais de qualquer curso d'água natural, possibilitando até a supressão total dessas APPs na zona urbana. De acordo com Maia (2022), a Lei nº 14.285/2021 é inconstitucional devido à violação ao princípio da vedação do retrocesso na proteção ambiental, à violação da proteção dos recursos hídricos sob domínio da União e estados e à violação da Constituição Federal, que confere competência à União da fixação de diretrizes e parâmetros básicos de atuação, destacando a largura mínima de 30 metros para APPs de cursos d'água constante no CFB.

Apesar dos pontos supracitados da Lei nº 12.651/2012 e suas alterações, Barão (2020) ressalta, também, o avanço positivo promovido pela lei quanto ao monitoramento ambiental, instrumentado pelo Cadastro Ambiental Rural (CAR) e pelo Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SICAR).

O CAR e o SICAR são ferramentas estratégicas que permitem a integração e a centralização de informações ambientais das propriedades rurais, facilitando a identificação de conflitos de uso do solo em APPs, RL e demais áreas de interesse ambiental, por meio de ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto.

Ao centralizar esses dados, a capacidade do poder público de monitorar a regularização ambiental e subsidiar políticas de gestão territorial é intensificada. Nesse contexto, destaca-se o Programa de Regularização Ambiental do CFB, que estabelece as ferramentas de adequação dos imóveis rurais com passivos ambientais, instrumentando a recomposição, a regeneração ou a compensação das áreas degradadas conforme a situação ambiental de cada propriedade.

2.3 As Unidades de Conservação e a Reserva da Biosfera

As Unidades de Conservação (UCs) foram instituídas no Brasil através da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que regulamentou o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) e estabeleceu critérios e normas para a criação, implantação e gestão das UCs pelo poder público.

De acordo com a lei do SNUC, as UCs podem ser classificadas, quanto ao seu objetivo básico, em dois grupos: Unidades de Proteção Integral (UPIs) e Unidades de Uso Sustentável (UUSs).

As UPIs possuem o objetivo de preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus atributos naturais, com exceção dos casos previstos em lei. São consideradas UPIs as seguintes UCs: Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Nacional, Monumento Natural e Refúgio de Vida Silvestre.

Já as UUSs, visam conciliar a conservação da natureza e o uso controlado dos seus recursos naturais compreendendo as UCs de Área de Proteção Ambiental (APA), Área de Relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN).

Os mecanismos de proteção estabelecidos pela lei federal sobre as UCs, bem como pela Política Florestal de Minas Gerais – Lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013 –, estabelecem que toda atividade antrópica ou empreendimento que afete uma área de proteção ou sua zona de amortecimento está sujeito à autorização prévia da atividade pelo órgão gestor e/ou reconhecedor da UC e ao emprego de políticas compensatórias na área impactada.

Um outro módulo importante também definido pela lei do SNUC é o de Reserva da Biosfera (RB), definidas como áreas de alta relevância biológica, geológica e sociocultural, fundamentadas na gestão integrada, participativa e sustentável dos recursos naturais. As RBs foram introduzidas no Brasil, através do Programa Homem e Biosfera (*Man and Biosphere* – MaB) da UNESCO, regulamentado pelo Decreto nº 74.685, de 14 de outubro de 1974.

De acordo com a lei do SNUC, as Reservas da Biosfera podem ser integradas por Unidades de Conservação já criadas pelo Poder Público. No Brasil, existem sete Reservas da Biosfera: Mata Atlântica, Cinturão Verde da Cidade de São Paulo, Pantanal, Amazônia Central, Cerrado, Caatinga e Espinhaço.

A Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA), considerada a mais extensa Reserva da Biosfera na rede global do programa MaB-UNESCO, possui abrangência territorial em dezessete estados brasileiros.

Segundo os dados da Rede Brasileira de Reservas da Biosfera (20--), os principais mecanismos brasileiros de proteção da RBMA são:

- a) Designação da RBMA pelo Governo Brasileiro/UNESCO, em 1974;
- b) Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), de 2000;
- c) Lei Federal da Mata Atlântica, de 2006;
- d) Código Florestal Brasileiro, de 2012;
- e) Áreas protegidas nacionais, estaduais e municipais.

As RBs apresentam restrições quanto ao uso e ocupação do solo, que variam de acordo com a sua classificação em área-núcleo, zona de amortecimento e zona de transição, a saber:

Art. 41:

§ 1º A Reserva da Biosfera é constituída por:

- I - uma ou várias áreas-núcleo, destinadas à proteção integral da natureza;
- II - uma ou várias zonas de amortecimento, onde só são admitidas atividades que não resultem em dano para as áreas-núcleo; e
- III - uma ou várias zonas de transição, sem limites rígidos, onde o processo de ocupação e o manejo dos recursos naturais são planejados e conduzidos de modo participativo e em bases sustentáveis (Brasil, 2000).

Adicionalmente, em relação às modalidades de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais no estado de Minas Gerais, a RB – excluídas as áreas urbanas – e as RPPNs são critérios locacionais de enquadramento da Deliberação Normativa Copam nº 217, de 06 de dezembro de 2017, atribuídas com peso um (Minas Gerais, 2017).

Vale destacar que a existência de leis de proteção ambiental da vegetação, como o Código Florestal Brasileiro e a lei do SNUC, serve como um embasamento jurídico amplo para a proteção do meio ambiente, conforme destacado por Antunes (2013):

[...] a legislação geral, Lei nº 12.651/2012, visa assegurar o chamado desenvolvimento sustentável, não se confundindo com normas aplicáveis aos locais nos quais o poder público, no cumprimento de determinações constitucionais, estabeleceu regimes próprios de tutela, mediante a instituição de UCs, através da Lei do SNUC [...]. Portanto, a lei do SNUC deveria ser

empregada como um regime jurídico específico de proteção diferenciada (Antunes, 2013, p. 101).

No âmbito do Direito Ambiental, Antunes (2013) e Munhoz (2024), ressaltam que as leis supracitadas deveriam possuir uma interpretação conjunta, complementar e sistêmica em suas aplicações, visando a proteção efetiva de áreas de interesse ambiental.

Entretanto, na prática, o que existe são sobreposições e colisões entre as legislações – tratando-se das legislações federais Lei nº 9.985/2000 e Lei nº 12.651/2012 –, em que cada uma versa sobre critérios e parâmetros diferentes sobre uma mesma área, sem análise de suas especificidades, acarretando em pouca eficiência na proteção da vegetação.

A respeito das UUSs existe ainda o Plano de Manejo a ser estabelecido pelo órgão encarregado da gestão ambiental da UC, compreendendo-se como uma lei específica que engloba a realidade ambiental e definindo os usos possíveis e desejáveis para a área protegida.

Dessa forma, com inúmeras legislações vigentes e concomitantes que incidem sobre a mesma área, Antunes (2013) destaca que: “a proteção do bem ambiental passa a ficar em um limbo jurídico entre o regime de propriedade privada e o de bem público”.

Todavia, vale ressaltar que, o presente trabalho não possui o objetivo de aprofundar na análise de conflitos das legislações ambientais, uma vez que esta exige uma abordagem específica e extrapola os limites propostos para esta pesquisa.

2.4 Sensoriamento remoto

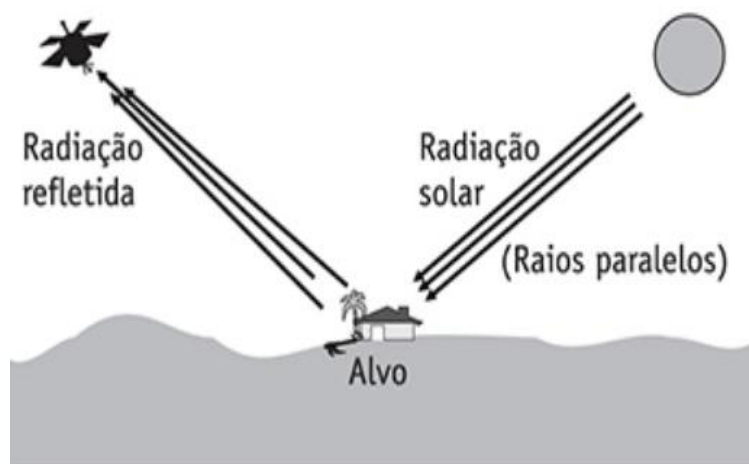
De acordo com Conceição e Costa (2013b), o sensoriamento remoto consiste na obtenção e registro de dados sobre um determinado objeto ou fenômeno sem que haja a necessidade de contato direto com ele. Já Florenzano (2011) define o conceito de sensoriamento remoto como uma tecnologia que permite a aquisição de imagens e informações diversas da superfície terrestre à distância, através da detecção e do registro da energia eletromagnética refletida ou irradiada pela própria superfície.

A caracterização de sensoriamento remoto também aborda o processamento, a análise e a interpretação das imagens obtidas para fins de diagnóstico de uma ampla variedade de informações sobre a superfície terrestre, desde aplicações militares até o rastreamento de padrões climáticos globais, geologia, atividades tectônicas, vegetação, geomorfologia, meio ambiente, entre outros aspectos (Paranhos Filho *et al.*, 2021).

As imagens da superfície terrestre são tratadas como dados brutos que captam informações em diversas faixas do espectro eletromagnético. Estruturadas em matrizes de pixels, essas imagens registram valores numéricos proporcionais à energia refletida ou emitida por cada componente do solo, tais como vegetação, corpos d'água, culturas agrícolas e afloramentos rochosos.

Cada um desses elementos possui uma "assinatura" de radiação eletromagnética específica – a assinatura espectral –, baseada em seu padrão de refletância ou emissão (Fitz, 2008a), que é captada pelos sensores presentes nos satélites, por exemplo, conforme demonstrado na Figura 2. As matrizes geradas são submetidas a processos de interpretação e/ou classificação, passando, então, a constituir uma base de informações geográficas (Florenzano, 2011).

Figura 2 - Incidência da energia solar sobre um objeto-alvo e sua reflexão captada pelo sensor remoto.

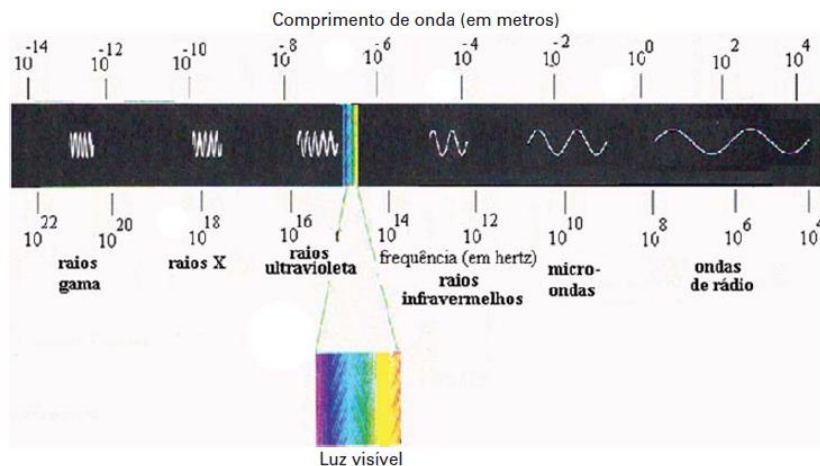


Fonte: Fitz (2008b).

A radiação de energia eletromagnética pode ser proveniente de uma fonte natural, como a luz do sol, ou de uma fonte artificial, como os flashes utilizados em máquinas fotográficas. O registro da energia eletromagnética ocorre através do espectro eletromagnético a partir do comprimento de onda ou frequência dos objetos, formado pelas bandas ou faixas espectrais (Fitz, 2008b; Florenzano, 2011). A Figura 3 aborda a relação entre os comprimentos de onda, a frequência e as bandas espectrais.

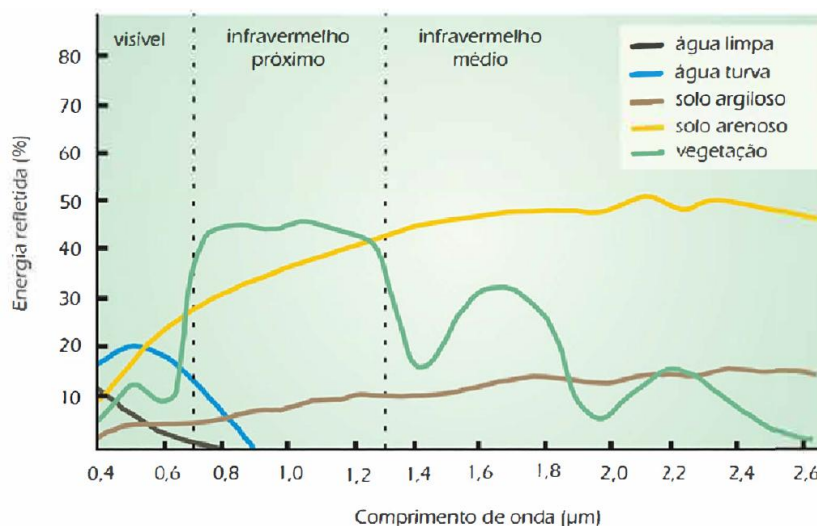
A assinatura da radiação eletromagnética varia conforme o objeto-alvo da análise, devido ao comportamento espectral variável (Figura 4). Por exemplo, a vegetação sadia reflete bem na faixa do visível e muito bem na faixa do infravermelho próximo, porém, no infravermelho médio tende a absorver a energia.

Figura 3 - Espectro eletromagnético, suas faixas ou intervalos de comprimento de onda (em metros) e de frequência (em hertz).



Fonte: Conceição e Costa (2013b).

Figura 4 - Comportamento espectral da água, do solo e da vegetação.



Fonte: Florenzano (2011).

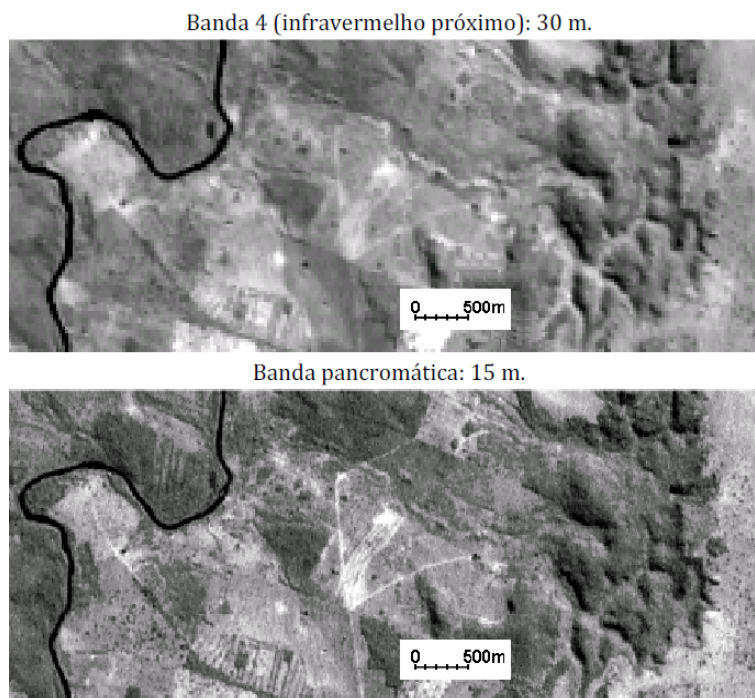
Entre os principais fatores que podem influenciar o comportamento espectral dos objetos, Florenzano (2011) destaca o método de aquisição de dados, as condições do ambiente, o estágio e vigor das vegetações, a localização do alvo em relação ao sensor remoto e a atmosfera.

A qualidade e o tipo de informação extraível de uma imagem de sensoriamento remoto dependem, principalmente, de quatro tipos clássicos de resolução: espacial, espectral, radiométrica e temporal.

A resolução espacial se refere ao tamanho da menor área da superfície terrestre representada por um pixel na imagem, isto é, à capacidade do sensor de discriminar objetos em

função de suas dimensões. Um sensor remoto pode ter a resolução espacial variável em função de suas bandas (Figura 5).

Figura 5 - Comparação entre a banda 4 (infravermelho próximo), com resolução espacial de 30 m, e a banda pancromática, com resolução espacial de 15 m, do Landsat 7 ETM+.



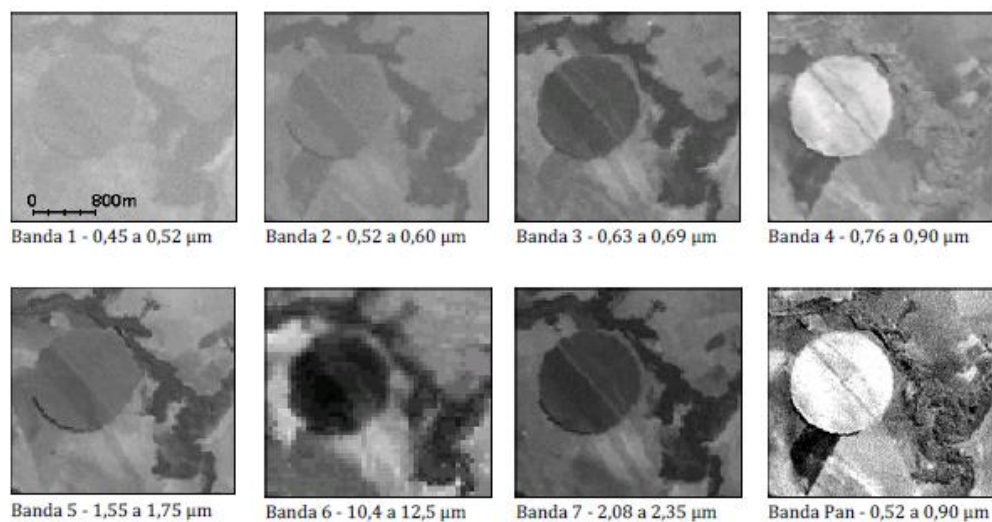
Fonte: Paranhos Filho *et al.* (2011).

Já a resolução espectral é a capacidade de um sensor em diferenciar os objetos a partir da absorção da energia eletromagnética em função dos comprimentos de onda. A quantidade de bandas do sensor determina a sua resolução espectral (Figura 6).

A resolução radiométrica está relacionada à sensibilidade do sensor em distinguir variações nos níveis de energia refletida ou emitida pelos objetos em *bits*, expressos em valores binários, em que cada *bit* representa potências de 2 (Figura 7).

A resolução temporal aborda o intervalo de tempo que um satélite leva para revisitar e reamostrar o mesmo ponto da superfície terrestre, denominado similarmente de *cena*. O satélite Landsat 5, por exemplo, possuía a resolução temporal de 16 dias, enquanto o satélite CBERS-4A, possui o tempo de revisita de 31 dias.

Figura 6 - Representação de uma mesma área a partir de diferentes bandas e resoluções espectrais.



Fonte: Paranhos Filho *et al.* (2011).

Figura 7 - Diferença entre duas resoluções radiométricas sobre a mesma imagem.



Fonte: Fitz (2008b).

2.4.1 Processamento Digital de Imagens

O Processamento Digital de Imagens (PDI) pode ser entendido como o conjunto de técnicas aplicadas sobre uma imagem, que passa a ser entendida pelos softwares como uma representação matricial (Costa, 2019). Essa representação ocorre por meio dos valores correspondentes à quantificação da energia refletida ou emitida por objetos na superfície terrestre, entendidos como pixels (Florenzano, 2011).

Dessa forma, as imagens adquiridas dos satélites, que eram apenas dados brutos, passam a ser imagens que permitem a extração de informações, análises e interpretações dos alvos na superfície terrestre.

O PDI pode ser subdividido em três grupos: o pré-processamento, o processamento e o pós-processamento. Previamente ao PDI, existe a etapa de aquisição e organização da base de dados.

No pré-processamento, ocorrem correções e/ou conferências acerca dos efeitos radiométricos, atmosféricos e geométricos – georreferenciamento da imagem ou registro –, além de reprojeção para o sistema de coordenadas desejado, eliminação de ruídos e recorte da imagem adquirida para a área de interesse, a fim de otimizar o tempo de processamento computacional durante as análises (Conceição; Costa, 2013b).

Já na etapa de processamento, ocorrem as composição coloridas da imagem em falso-cor, em que os três canais RGB (*Red, Green and Blue*) podem ser colocados em outras bandas do espectro eletromagnético diferentes do vermelho, verde e azul, com o intuito de realçar e facilitar a definição das classes dos diferentes alvos na superfície (Paranhos Filho *et al.*, 2011).

Além disso, é na etapa de processamento em que são calculados os índices espectrais, como os índices de vegetação, e em que são realizadas as classificações da imagem, categorizando os pixels da imagem em classes temáticas. As classificações da imagem podem ser do tipo supervisionada, como distância mínima e máxima verossimilhança, ou não-supervisionada, como Isodata e K-médias.

Na classificação supervisionada, o analista fornece amostras de treinamento das classes, a partir de áreas conhecidas na imagem, para que o algoritmo aprenda os padrões espectrais de cada classe (Florenzano, 2011).

Já a classificação não-supervisionada é ideal quando não se tem conhecimento prévio sobre as classes-alvo ou quando se busca uma análise exploratória rápida, pois não utiliza pixels de treinamento para estimar as classes (Meneses; Almeida; Sano, 2025). Nesse processo, os agrupamentos resultantes são baseados na similaridade estatística e podem não corresponder diretamente às categorias de interesse do analista.

Por último, tem-se a etapa de pós-processamento do PDI, compreendido como o processo de refinamento dos resultados da classificação, como a conversão dos resultados matriciais em polígonos vetoriais, e o processo de avaliação da exatidão dos produtos gerados em comparação a dados de referência, por meio da construção da matriz de confusão e o cálculo de índices estatísticos, como o índice Kappa e o teste Z, por exemplo.

2.4.2 Os satélites Landsat

Um dos programas de maior destaque já lançados é o dos satélites Landsat – *Land Remote Sensing Satellite* – pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Iniciado em 1972, o primeiro satélite possuía o nome de ERTS 1, e hoje conta com um acervo de dados globais consolidados no sensoriamento remoto. A partir do lançamento do segundo satélite, em 1975, o projeto alterou o nome para Landsat (Paranhos Filho *et al.*, 2021).

O ERTS 1, foi o primeiro sensor digital orbital dedicado ao monitoramento ambiental terrestre, inaugurando, a partir de então, uma série de satélites que hoje somam nove missões (Crawford *et al.*, 2023). A operação dos satélites Landsat é compartilhada pela NASA, responsável pelo desenvolvimento e lançamento, pelo *U.S. Geological Survey* (USGS), com as operações de voo, arquivamento, processamento em solo e distribuição, além de contar com uma equipe científica própria que atua no âmbito científico e técnico do programa.

Desde 2008, a USGS disponibiliza o acesso gratuito e aberto aos produtos do programa, fato que impulsionou o programa como uma das maiores fontes de dados para análise de impactos ambientais, estudos de desmatamento, expansão agrícola, planejamento territorial e mapeamentos multitemporais de uso e cobertura do solo. As imagens podem ser adquiridas através do site USGS Earth Explorer.

Durante os programas ERTS-1, Landsat 2 e 3 os sensores utilizados eram o *Multispectral Scanner System* (MSS) e o *Return Beam Vidicon* (RBV), que permitiam a aquisição de dados em quatro faixas espectrais, sendo três do visível e uma do infravermelho próximo (Conceição e Costa, 2013b).

Com o lançamento dos Landsats 4 e 5, em 1982 e 1984, respectivamente, o sistema RBV foi substituído pelo *Thematic Mapper* (TM), que trabalhava com sete bandas: três no visível, três no infravermelho próximo e médio, com uma resolução espacial de 30 m, além de uma no infravermelho termal – *Thermal Infrared* (TIR) –, com 120 m (Florenzano, 2011).

O Landsat 6 foi perdido no mar após o lançamento por não ter atingido a sua órbita. No Landsat 7, o sensor adotado foi o *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+), mantendo as sete bandas multiespectrais (MS) a 30 m e introduzindo uma banda pancromática (pan) de 15 m, o que ampliou o detalhamento espacial e a qualidade radiométrica dos produtos.

Os satélites Landsat 8 e 9, ainda em operação, possuem 11 bandas, com os sensores *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), conforme o Quadro 2. O

próximo lançamento está previsto para 2031, com o Landsat 10, projetado para operar com 26 bandas espectrais.

Quadro 2 - Resoluções espectrais dos sensores Landsat.

Satélites	Sensores	Quantidade de bandas	Resolução espacial	Resolução radiométrica	Anos de operação
ERTS-1; Landsat 2 e 3	MSS e RBV	4	80 m MS	6 <i>bits</i>	1972-1978; 1975-1982 e 1978-1985
Landsat 4 e 5	MSS e TM	7	30 m MS; 120 m TIR	8 <i>bits</i>	1982-2001 e 1984-2013
Landsat 7	ETM+	8	30 m MS; 15 m pan; 60 m TIR	8 <i>bits</i>	1999-2025
Landsat 8	OLI+ e TIRS	11	30 m MS; 15 m pan; 100 m TIRS	12 <i>bits</i>	2013-presente
Landsat 9	OLI-2 e TIRS-2	11	30 m MS; 15 m pan; 100 m TIRS	14 <i>bits</i>	2021-presente

Fonte: Adaptado de USGS (2026).

Com o aumento do uso do Landsat, a preocupação com inconsistências no processamento levou à recomendação da equipe científica do programa de processar os dados de forma consistente para facilitar a criação de produtos de informação de alta qualidade (Crawford *et al.*, 2023). Atendendo a essa demanda, o USGS estabeleceu o processamento baseado em coleções.

A Coleção 1 foi lançada em 2016, para garantir que todos os produtos Landsat de Nível 1 fornecessem um arquivo coerente com qualidade de dados conhecida, possibilitando o aprimoramento contínuo dos registros, bem como a democratização do acesso às informações conforme a sua disponibilização.

Recentemente, em 2020, foi lançada a Coleção 2, que substituiu a anterior. Essa coleção conta com melhorias na acurácia das correções geométricas e atmosféricas, além da otimização da calibração radiométrica dos sensores. Para as imagens da Coleção 2, *Tier 1*, a ortorretificação é precisa, com erro de registro inferior a 12 metros (USGS, [2020]).

2.5 Sistemas de Informações Geográficas e Georreferenciamento

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) são importantes instrumentos de monitoramento e planejamento ambiental. Esses sistemas possibilitam a identificação de áreas de conflito do uso do solo em comparação à legislação ambiental, facilitam a gestão territorial, a fiscalização e a tomada de decisões a partir do acompanhamento temporal da superfície terrestre, de fenômenos climáticos, sociais e econômicos.

Segundo Hamada e Gonçalves (2007), um SIG pode ser definido como uma ferramenta computacional que manipula dados georreferenciados em uma plataforma digital, com rapidez na manipulação e atualização dos dados, nas análises matemáticas e estatísticas, simplificando as tomadas de decisões.

Para Fitz (2008b), os SIGs são constituídos por uma série de sistemas associados que realizam operações específicas de acordo com a finalidade desejada pelo operador, desde a aquisição e edição de dados, ao gerenciamento, análise geográfica e representação dos dados.

Já para Conceição e Costa (2013b), o SIG é uma ferramenta de geoprocessamento que integra bancos de dados espaciais e numéricos georreferenciados em um único local, permitindo a extração de informações geoespaciais.

Em virtude da ampla abrangência dos SIGs, que compreendem a integração de hardwares, softwares, interfaces on-line, bases de dados geográficos e recursos humanos, nota-se a ausência de uma definição consensual e universal acerca dos Sistemas de Informação Geográfica.

O mais próximo de uma definição genérica sobre os SIGs seria a sua caracterização como uma ciência multidisciplinar de informação, análise e modelagem espacial, que permite a integração de informações geográficas em uma base de dados centralizada (Garcia, 2014; Câmara *et al.*, 1996; Miranda, 2015). Alguns dos principais SIGs utilizados no Brasil são: TerraView, QGIS, ArcGIS Pro, ArcMap, IDE-Sisema e SPRING.

Sob uma perspectiva analítica e abrangente, os componentes fundamentais de um SIG compreendem: a interface com o usuário; os mecanismos de entrada e integração de dados; as funções de processamento espacial; os recursos de saída, como visualização e plotagem; e os sistemas de armazenamento e recuperação de informações (Câmara *et al.*, 1996; Conceição; Costa, 2013b; Fitz, 2008b; Hamada; Gonçalves, 2007), conforme exposto na Figura 8.

Figura 8 - Esquema geral de funcionamento de um SIG.



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Um dos maiores diferenciais e destaques dos SIGs é utilização de dados georreferenciados, conforme já mencionado. Nesse sentido, é imprescindível que, no ambiente do SIG, sejam utilizados sistemas de referência.

Os sistemas de referências variam desde o sistema de coordenadas, como latitude e longitude (coordenadas geográficas) ou a Universal Transversa de Mercator (UTM), caracterizado pelas coordenadas planas, até a escolha do GNSS e do *datum*.

O GNSS – *Global Navigation Satellite System* – é o termo utilizado para definir sistemas de posicionamento baseados em constelações de satélites artificiais, como o GPS (americano), o GLONASS (russo), o Galileo (europeu) e o BeiDou (chinês), que permitem determinar a posição de qualquer objeto na Terra por meio de uma estruturação tridimensional – latitude, longitude e altitude (Monico, 2008).

O *datum* se refere ao sistema de referência geodésico, no formato de elipsoide, utilizado para estabelecer uma superfície de referência da superfície terrestre, que possui formato de geoide, chamado de *datum* horizontal ou planimétrico. Já o *datum* vertical ou altimétrico é caracterizado pela representação da origem vertical (Garcia, 2014).

No Brasil, desde 2015, o *datum* horizontal oficial é o SIRGAS 2000, sendo possível encontrar bases cartográficas oficiais anteriores a esse período utilizando os sistemas SAD 69 e Córrego Alegre. O *datum* vertical utilizado no país é de Imbituba (Santa Catarina), com exceção do Amapá que utiliza o *datum* de Santana (Paranhos Filho *et al.*, 2021).

2.5.1 O papel do SIG na análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra e no diagnóstico de áreas degradadas

O monitoramento da superfície terrestre associado à utilização de ferramentas de sensoriamento remoto, como os SIGs, forma uma importante combinação que amplia as análises e permitem a tomada de decisões técnicas e administrativas no planejamento de áreas urbanas e rurais.

Conceição e Costa (2013a), por exemplo, destacam o papel do mapeamento de uso do solo em áreas rurais, a partir da geração de mapas qualiquantitativos que permitem a definição da distribuição dos cultivos na área de interesse, a avaliação da qualidade da plantação através de índices de vegetação, entre outras análises.

Sob essa perspectiva, os SIGs permitem o acompanhamento das transformações da paisagem, do uso do solo, bem como a evolução de suas funções sistêmicas. Através de mapas e dados estatísticos, é possível analisar os conflitos de uso e cobertura da terra, evidenciando os locais onde as práticas antrópicas e o ecossistema comprometem, naturalmente ou não, a proteção do solo, dos recursos hídricos e da cobertura vegetal.

Gonçalves, Francisco e Vieira (2013) avaliaram a degradação da vegetação no município de Taperoá, por meio de análise espaço-temporal e utilização de índice de vegetação, entre os anos de 1987 e 2009. A partir de análises em SIG das imagens do satélite Landsat 5, os autores observaram um aumento nas classes de vegetação densa e de transição e diminuição das classes solo exposto e vegetação esparsa e rala.

Inacio (2022) utilizou imagens de satélite CBERS-4A, Landsat 8 e Sentinel-2 para realizar a classificação do uso do solo no município de Seropédica, utilizando o método de classificação *Random Forest*. O estudo evidenciou que para o ano de 2022, o território apresentou predominância da classe de pastagens, com valores iguais ou acima de 60% da área total do município para todos os três satélites.

Em estudos de sensoriamento remoto, o café aparece como uma cultura que pode ser mapeada por sua assinatura espectral e pela dinâmica temporal observada nas imagens de

satélite, o que reforça a importância do SIG para análises de expansão agrícola, conforme observado por Campanha *et al.* (2018). Neste trabalho, os autores analisaram a área do entorno do Parque Nacional do Caparaó, a partir da composição falsa-cor de imagens de satélite Landsat 8 e classificação supervisionada dividindo o território analisado em classes de café (35% da área total) e não café (65% da área total).

2.5.2 Classificação supervisionada pelo método da Máxima Verossimilhança

A classificação de imagens digitais pode ser definida como a associação de seus pixels a uma determinada classe, permitindo o reconhecimento automático dos objetos que apresentam resposta espectral semelhante (Fitz, 2008; Florenzano, 2011).

A classificação pode ser supervisionada ou não supervisionada. No caso da classificação supervisionada, o analista define as classes temáticas anteriormente ao início do processo e deve fornecer amostras que serão utilizadas como treinamento no algoritmo de classificação. Dessa forma, é imprescindível que o analista conheça a área de interesse, podendo ou não realizar a coleta das amostras de treinamento em campo, uma vez que as amostras de treinamento influenciam na acurácia do produto da classificação (Barros, 2006).

Um dos algoritmos de classificação automática e supervisionada de imagens orbitais mais utilizados é o da Máxima Verossimilhança. Nesse algoritmo, os pixels são classificados a partir da sua probabilidade mais alta de pertencimento a uma classe.

Brittes (1995) destaca que a Máxima Verossimilhança é vantajosa por considerar a média espectral e a variabilidade interna das classes, otimizando a distinção de alvos similares. Embora consolidado em estudos de uso e cobertura da terra, sua eficácia depende da qualidade das amostras e da distinção espectral entre as classes, uma vez que podem haver classificações errôneas entre alvos semelhantes, como pastagens e culturas, ou vegetação nativa e culturas perenes.

Na classificação supervisionada pelo método MaxVer, Kiel (2008) recomenda o número mínimo de amostras de treinamento para cada classe como sendo o de cem vezes o número de bandas utilizadas. Nesse caso, se o analista utilizar três bandas, o número mínimo de amostras será de 300 para cada classe. Já Barão (2020), define que a qualidade das amostras de treinamento é mais importante para a acurácia da classificação do que a quantidade, fundamentando que a seleção de classes e amostras sejam bem distintas para que não haja confusão ou sobreposição entre elas.

Faria (2015) utilizou diversas metodologias de classificadores de uso do solo, com enfoque na classe café, concluindo que uma amostra de 80 pixels por classe apresenta resultados estatisticamente satisfatórios para o mapeamento de uma região.

Em estudos realizados em Minas Gerais e Rio de Janeiro, a classificação pelo método da MaxVer alcançou altos índices de exatidão – com índice Kappa superior a 0,87 – na classificação de uso e cobertura da terra (Inacio, 2022; Moreira *et al.*, 2013).

2.5.3 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, do inglês *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), é um dos índices mais utilizados para estudos de sensoriamento acerca da cobertura vegetal de uma determinada área.

Proposto originalmente por Rouse *et al.* (1973), o NDVI é uma ferramenta fundamental para analisar o vigor e a saúde da vegetação, estimar a biomassa, identificar mudanças no uso e cobertura da terra e em áreas degradadas com solo exposto.

O NDVI é um índice espectral baseado nas propriedades ópticas das folhas das plantas, em que a vegetação saudável apresenta um comportamento espectral típico: a clorofila absorve intensamente a radiação vermelha (V) para a fotossíntese, enquanto a estrutura celular interna das folhas reflete fortemente o infravermelho próximo (IVP) – vide Figura 4. A fórmula do NDVI é expressa por:

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V}$$

O índice NDVI pode variar em um intervalo de -1 a +1 adimensional (Cândido; Silva; Barbosa, 2015; Wanderer, 2017), sendo:

- a) Valores próximos a -1, representando corpos d'água, nuvens, neve ou sombras, uma vez que estas superfícies refletem mais no vermelho do que no infravermelho próximo;
- b) Valores próximos a 0, indicando superfícies sem vegetação significativa, como solo exposto, rochas, áreas urbanas ou vegetação rala e degradada;
- c) Valores próximos a +1, correspondente a vegetação densa e saudável, com alta atividade fotossintética e grande acúmulo de biomassa, como lavouras vigorosas ou matas nativas.

Amorim, Albarici e Pino (2016) utilizaram o NDVI e o algoritmo da MaxVer na melhoria da classificação de uso e cobertura da terra. Como resultado, os autores observaram que o melhor resultado para a classificação foi obtido através da integração do NDVI à classificação MaxVer, quando comparada à utilização de outros índices de vegetação e outros métodos de classificação.

2.5.4 Avaliação da acurácia da classificação de imagens de sensoriamento remoto

A avaliação da acurácia da classificação digital de imagens de satélite visa medir o grau de concordância entre a classificação gerada e o conjunto de amostras de referência, descontando a concordância que poderia ocorrer ao acaso.

A acurácia pode ser expressa em termos de índices que são calculados a partir de matrizes de confusão, definidas como a comparação, classe por classe, da relação entre os dados de verdade terrestre e os correspondentes resultados da classificação (Barão, 2020; Costa, 2019; Pilatti, 2022) utilizam a matriz de confusão para avaliar a mudança do uso e cobertura da terra, em dois períodos distintos.).

Além disso, a acurácia depende de fatores como as resoluções espaciais e espectrais dos sensores dos satélites, o tipo de classificador utilizado, os conjuntos de classes adotadas no trabalho e o conjunto das amostras de referência (Meneses, Almeida e Sano, 2025).

Brites (1995) utilizou os índice de Exatidão Global, Kappa e Tau para a mensurar a exatidão na classificação de imagens orbitais do Landsat 5. O autor ressalta os testes estatísticos para determinar uma margem de erros permissível na classificação MaxVer, a partir de um número adequado de amostras reais das classes do solo.

Entre as medidas estatísticas mais utilizadas na avaliação da acurácia de classificadores de imagens de satélite, destaca-se o coeficiente *Kappa* (κ), calculado através da seguinte equação:

$$\kappa = \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e}$$

Sendo:

P_0 = proporção de amostras que concordam;

P_e = proporção de amostras que concordam por casualidade.

A interpretação dos valores do coeficiente κ , segundo Landis e Koch (1977), é:

Tabela 1 - Intervalo de desempenho, segundo o índice Kappa.

Valor do índice Kappa	Desempenho da classificação
Menor que 0,00	Péssimo
0,00 - 0,20	Ruim
0,21 - 0,40	Razoável
0,41 - 0,60	Bom
0,61 - 0,80	Muito bom
0,81 - 1,00	Excelente

Fonte: Adaptado de Landis e Koch (1977).

Para a construção da matriz de confusão, Meneses, Almeida e Sano (2025) recomendam um número mínimo de 50 pontos de validação para cada classe, sendo essas amostras diferentes das utilizadas para treinamento na classificação supervisionada.

A partir da matriz de confusão, também é possível se obter a Acurácia do Produtor (P_Acuracia), que representa a chance de um elemento real no campo ter sido classificado corretamente, e a Acurácia do Usuário (U_Acuracia), definida como a chance de pixel ter sido classificado corretamente de acordo com a verdade de campo (ESRI, 2022).

O cálculo da P_Acuracia é dado por:

$$P_Acuracia = \frac{N^{\circ} \text{ de acertos da classe na diagonal principal}}{\text{Total de amostras da coluna}}$$

Já o valor da U_Acuracia é obtido através da seguinte equação:

$$U_Acuracia = \frac{N^{\circ} \text{ de acertos da classe na diagonal principal}}{\text{Total de amostras da linha}}$$

A Acurácia Global (AG) é obtida, a partir da matriz de confusão, por meio da equação, a seguir, variando de 0 a 1:

$$AG = \frac{\Sigma \text{ diagonal principal}}{\text{número total de pontos de validação}}$$

2.6 Análise morfométrica de bacias hidrográficas

A bacia hidrográfica é uma área da superfície terrestre delimitada por divisores de águas, que funciona como um coletor natural da água da precipitação, por meio de uma rede de drenagem formada por rios e seus afluentes, e na qual toda a água converge para uma saída comum, denominada de exutório (Ferreira, 2022; Paranhos Filho *et al.*, 2021; Prochmann, 2014). De acordo com a Política Nacional de Recursos Hídricos, a BH é uma unidade territorial para a implementação de políticas de gestão das águas (Brasil, 1997).

A análise morfométrica de bacias hidrográficas constitui uma ferramenta fundamental para a compreensão da dinâmica física do espaço geográfico, especialmente no que se refere ao comportamento hidrológico, à suscetibilidade a processos erosivos e à ocorrência de inundações (Santiago *et al.*, 2015). Por meio dessa abordagem, é possível realizar a avaliação integrada do funcionamento de uma bacia hidrográfica como unidade de planejamento ambiental.

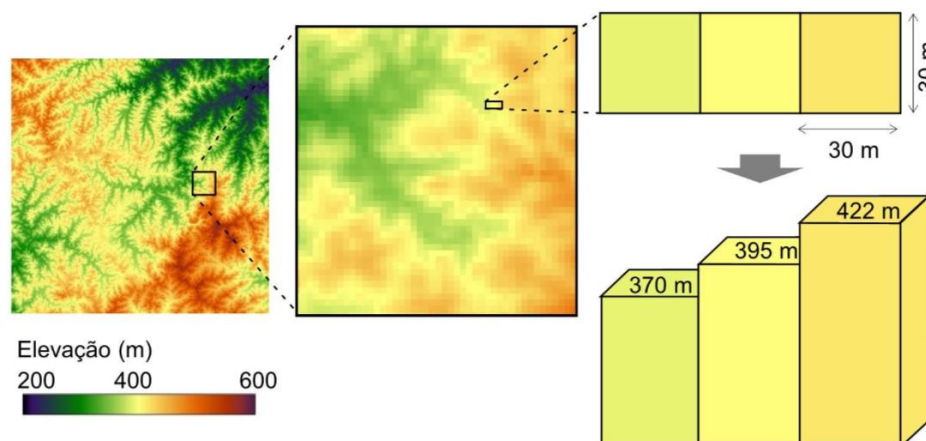
Nesse cenário, uma das bases da análise de caracterização de uma BH é a topografia da área de estudo, uma vez que ela influencia na movimentação das águas superficiais, na erosão da superfície, no transporte de sedimentos e deslizamentos de massas, além de ser o fundamento na investigação da área de contribuição de escoamentos (Paz, 2024).

Com o advento dos SIGs, os estudos aplicados às BHs vêm se transformando em processos automatizados, rápidos e precisos, que permitem análises multifatoriais e integradas, utilizando dados topográficos e hidrológicos para gerar diagnósticos completos que subsidiam a gestão ambiental (Lisboa *et al.*, 2015).

O SIG permite o estudo morfométrico das bacias hidrográficas, a partir da representação digital da topografia do terreno, isto é, a partir de um modelo digital de elevação. De acordo com Paz (2024), o MDE pode ser definido como “um conjunto ordenado de números que representam a distribuição espacial de elevação, medida em relação a um referente vertical”, conforme a Figura 9.

Um MDE pode ser classificado como Modelo Digital de Superfície (MDS), em que a representação digital da superfície do terreno inclui elementos sobre o terreno, como árvores e edificações, ou como Modelo Digital de Terreno (MDT), em que a representação exclui os elementos sobre a superfície.

Figura 9 - O modelo digital de elevação no formato raster, com resolução espacial de 30 m.



Fonte: Paz (2024).

Para as análises morfométricas de uma BH, é necessário que haja um pré-processamento do MDE, de forma a torná-lo um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC). Esse processo envolve processos de: recondicionamento do MDE para que os caminhos de fluxo gerados estejam em conformidade com os traçados de uma rede de drenagem conhecida (*stream burning*); remoção de depressões espúrias no terreno (*fill sinks*); determinação da direção de fluxo, geralmente pelo método D8, a partir da maior declividade entre oito direções possíveis (*flow direction*); cálculo da área de contribuição a montante de cada pixel (*flow accumulation*) e do exutório da bacia; e etapa de extração das redes de drenagem, que utiliza como base o raster de acúmulo de fluxo gerado no estágio anterior para traçar as linhas de escoamento (*stream to feature*).

A partir das análises do MDEHC e da delimitação do ponto de exutório no SIG, é possível se obter o traçado dos cursos d'água, a área da bacia hidrográfica (*watershed*) e uma série de outros parâmetros, que permitem estudos de propensão da BH à inundação, à erosão, além de respostas hidrológicas associadas ao uso e cobertura da terra da região alvo.

Para Prochmann (2014), os principais parâmetros de estudos morfométricos de uma bacia hidrográfica podem ser divididos em três categorias: características geométricas, características da rede de drenagem e características do relevo.

2.6.1 Características geométricas

As características geométricas de uma bacia hidrográfica descrevem o formato e a dimensão da bacia, sendo a base para o cálculo de quase todas as demais análises.

2.6.1.1 Área de drenagem

A área de drenagem da BH (A) é delimitada a partir da projeção horizontal entre os divisores topográficos da bacia, sendo expressa, comumente, em km² (Villela; Mattos, 1975).

2.6.1.2 Perímetro

O perímetro (P) de uma bacia hidrográfica corresponde ao comprimento da linha imaginária que contorna o divisor de águas da bacia (Cruz; Luiz; Nascimento, 2023), normalmente, expresso em km.

2.6.1.3 Coeficiente de compacidade

Segundo Villela e Mattos (1975), o coeficiente de compacidade (K_c) é um índice adimensional que relaciona o perímetro e a área da BH, com o intuito de comparar a forma da bacia a um círculo hipotético de mesma área e sua regularidade. O K_c pode ser calculado pela seguinte equação:

$$K_c = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Um valor de K_c igual a 1 (um) indica que a bacia é perfeitamente circular e tem alta suscetibilidade a picos de enchente e inundação, uma vez que a água de diferentes partes da bacia tende a chegar ao mesmo tempo no rio principal. Valores significativamente superiores a 1 (um) indicam bacias alongadas.

2.6.1.4 Fator de forma

O fator de forma (K_f) relaciona a forma da BH a um retângulo, por meio da razão entre a área da bacia e o quadrado do comprimento axial (L_a), que é a medida do comprimento da foz ao ponto mais longínquo da bacia. É um índice adimensional, calculado pela seguinte equação:

$$K_f = \frac{A}{L_a^2}$$

Uma BH com baixo fator de forma, geralmente com K_f inferior a 0,5, tem menor suscetibilidade a inundações, uma vez que, em bacias alongadas, há menor probabilidade de chuvas intensas cobrirem toda a área da BH simultaneamente (Pilatti, 2022).

2.6.2 Características da rede de drenagem

As características da rede de drenagem são os elementos que descrevem como os cursos d'água estão organizados dentro da bacia, isto é, quantos canais existem, como eles se conectam, qual a ordem dos rios e qual a capacidade da bacia de conduzir a água até o exutório (Prochmann, 2014). Esses parâmetros ajudam a interpretar o comportamento hidrológico, a intensidade do escoamento superficial e a tendência da bacia a sofrer erosão ou inundações.

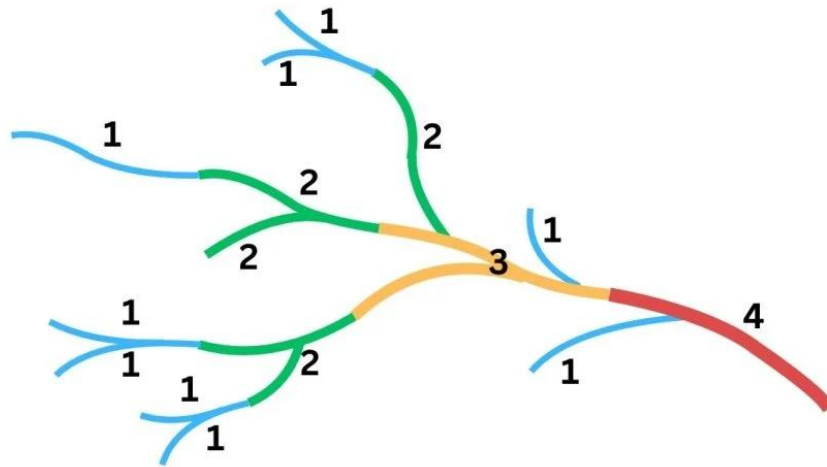
2.6.2.1 Ordem dos cursos de água

O parâmetro da ordem dos cursos de água reflete o grau de ramificação da BH (Figura 10). Segundo a classificação de Strahler, os canais de drenagem podem ser de:

- a) 1ª ordem: são os canais formadores e que não apresentam contribuição de outros canais a montante;
- b) 2ª ordem: surgem a partir da confluência de dois canais de 1ª ordem ou de um canal de 1ª ordem e um de 2ª ordem;
- c) 3ª ordem: são os canais que surgem da confluência de dois canais de 2ª ordem, e assim por diante.

Quanto maior a ordem do rio principal, mais ramificada é a bacia e maior a rapidez com que o escoamento atinge a foz, aumentando a descarga em função da ordem hierárquica.

Figura 10 - A classificação dos cursos de água, segundo Strahler.



Fonte: Ghorai, Bhunia e Shit (2022).

2.6.2.2 Densidade de drenagem

A densidade de drenagem (D_d) é a relação entre o comprimento total dos canais (L_t) e a área total da bacia. Esse parâmetro indica a eficiência do sistema de drenagem da BH e pode ser obtido pela seguinte equação:

$$D_d = \frac{L_t}{A}$$

Valores inferiores a 0,5 km/km² indicam drenagem pobre, enquanto valores acima de 3,5 km/km² indicam uma rede excepcionalmente bem drenada, o que pode culminar em maior suscetibilidade a erosões e cheias (Villela; Mattos, 1975).

2.6.2.3 Índice de sinuosidade

O índice de sinuosidade (I_s) relaciona o comprimento real do canal principal (L_p) com a distância vetorial entre a nascente e a foz (L_v), sendo calculado através da seguinte equação:

$$I_s = \frac{L_p}{L_v}$$

Valores próximos a 1 (um) indicam canais retilíneos, que favorecem altas velocidades de fluxo, enquanto valores acima de 2 (dois) sugerem canais tortuosos, que dificultam o escoamento e indicam baixa energia do curso hídrico (Prochmann, 2014).

2.6.3 Características do relevo

As características do relevo de uma bacia hidrográfica representam a forma como a superfície da bacia se organiza em termos de altura e inclinação. O relevo é um dos componentes mais importantes na regulação da distribuição do fluxo de água e energia de uma BH, influenciando diretamente a velocidade do escoamento superficial e o tempo de concentração.

2.6.3.1 Altitude da bacia

A altitude da bacia é a medida de altura de um ponto em relação ao nível médio do mar. Uma das formas de representação gráfica da altitude da bacia hidrográfica é através da curva hipsométrica (Villela; Mattos, 1975), na qual é possível se obter a porcentagem de área da BH acumulada em função das altitudes presentes e o índice hipsométrico. O índice hipsométrico (HI) é calculado pela seguinte equação:

$$HI = \frac{H_m - H_{\min}}{H_{\max} - H_{\min}}$$

Onde H_m é a altitude média da bacia, $H_{\min}$ é a altitude mínima da bacia e $H_{\max}$ é a altitude máxima, sendo todos esses parâmetros expressos em metros.

O valor de $H_{\text{méd}}$ é obtido pela média ponderada das altitudes, através da equação:

$$H_m = \frac{\sum (a * h)}{A}$$

Onde a é a área parcial de determinada classe de altitude, expressa em metros, h é a altitude, em metros, da mesma classe de altitude e A é a área total da bacia, em m^2 .

Segundo Strahler (1957), valores de HI acima de 0,6 indicam um estágio de juventude da BH, entre 0,6 e 0,35, um estágio de dissecação madura e abaixo de 0,35, um estágio erosivo avançado.

2.6.3.2 Declividade da bacia

A declividade possui grande importância nas análises morfométricas de uma BH, uma vez que influencia na velocidade do escoamento superficial e possui correlação com a magnitude das inundações (Prochmann, 2014). Em bacias com declividades elevadas, o escoamento é mais rápido e a infiltração tende a ser menor.

3 MATERIAL E MÉTODOS

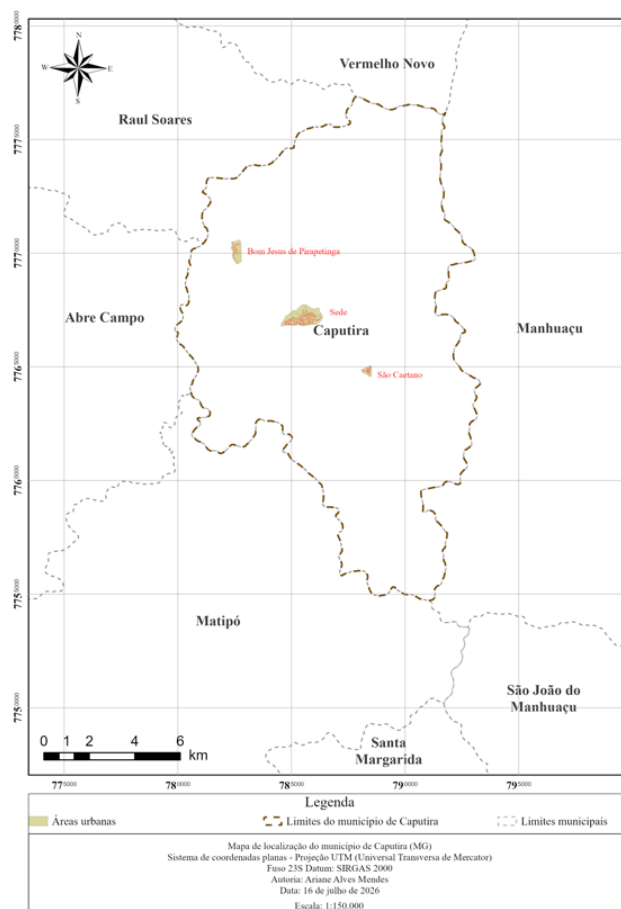
3.1 Caracterização da área de estudo

O município de Caputira está localizado no estado de Minas Gerais, mais precisamente na microrregião de Manhuaçu, na mesorregião da Zona da Mata e na região intermediária de Juiz de Fora. Contando com área territorial de 187,7 km², o município, segundo dados do Censo de 2022, possui 8.936 habitantes (IBGE, 2023).

O principal acesso ao município é através da Rodovia Estadual AMG-2925, também conhecida como Rodovia Nico Veloso, que liga a sede municipal à Rodovia BR-116. Os municípios limítrofes são: Abre Campo, Manhuaçu, Matipó, Raul Soares e Vermelho Novo.

A criação do município é datada de 30 de dezembro de 1962, quando o, até então, distrito pertencente a Matipó é elevado à categoria de município, por meio da Lei Estadual nº 2764/1962. Os povoados de Bom Jesus de Pirapetinga e São Caetano também compõem o município, que não possui subdistritos oficiais (Figura 11).

Figura 11 - Localização do município de Caputira (MG).



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

3.1.1 Aspectos físicos e ambientais

O bioma no qual o município de Caputira está inserido é a Mata Atlântica, caracterizado, localmente, pela Floresta Estacional Semidecidual, marcada pela presença de vegetação secundária e com predominância de espécies do gênero *Parapiptadenia*, *Peltophorum*, *Cariniana*, *Lecythis*, *Handroanthus* e *Astronium* (IBGE, 2004; IBGE, 2012).

O clima de Caputira é o Tropical Brasil Central, marcado por verões chuvosos e invernos com pouca chuva e eventos de estiagem (IBGE, 2002). Segundo a classificação de Köppen-Geiger, o município está inserido, majoritariamente, na zona Cwa – subtropical de inverno seco –, com algumas porções na zona Cwb – subtropical de altitude, com inverno seco e verão mais ameno.

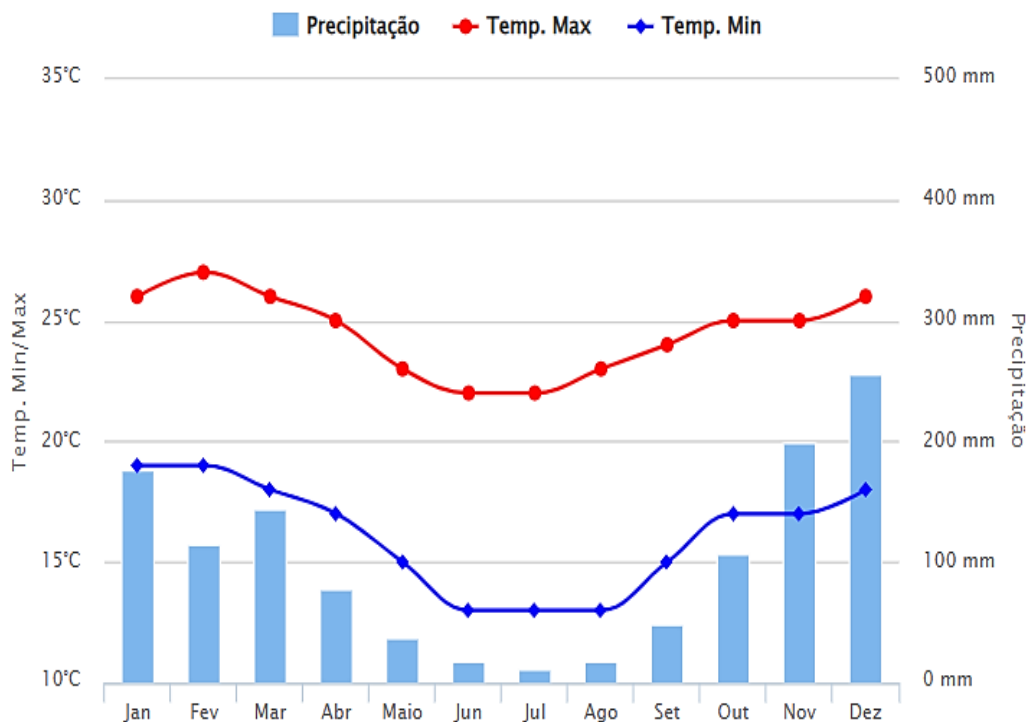
O município está inserido na bacia hidrográfica do rio Doce, na sub-bacia do rio Piranga e, mais precisamente, na sub-bacia do rio Matipó. Cerca de 97% do município está inserido na BH do ribeirão da Cabeluda, enquanto os 3% restantes estão inseridos na sub-bacia do córrego dos Pedrosos, que tem sua foz e bacia hidrográfica no rio Matipó.

Os principais cursos de água de Caputira são: ribeirão da Cabeluda, ribeirão São Caetano, ribeirão Pernambuco, córrego Pirapetinga e córrego do Crispim.

A temperatura mínima média do município é de 13°C, ocorrendo, historicamente, nos meses de outono e de inverno, entre junho e agosto (Figura 12). Já a temperatura máxima média, de 27°C, é registrada em fevereiro, durante o verão.

Historicamente, a precipitação média acumulada anual é de, aproximadamente, 1.200 mm, com os maiores índices acumulados de precipitação entre os meses de outubro e março, conforme a Figura 12, característica do clima tropical de altitude.

Figura 12 - Histograma de precipitação média e temperaturas mínima e máxima do município de Caputira, a partir de uma série histórica de 30 anos.



Fonte: Climatempo (2026).

3.1.2 Aspectos socioeconômicos

O município de Caputira tem sua economia fundamentada na agropecuária, setor que contribui com 38% do valor adicionado bruto por setores de atividade econômica (DIEESE, 2021). O PIB do município no ano de 2023 foi de, aproximadamente, 197 milhões de reais, com um valor per capita de R\$22.031,30.

Segundo dados do Censo Agropecuário de 2017, o município possui 759 estabelecimentos agropecuários que ocupam uma área de 14.977 hectares. A cafeicultura destaca-se como a principal atividade agrícola, conforme a Tabela 2, sendo o motor socioeconômico que moldou a ocupação do solo nas últimas décadas.

Além das culturas apresentadas na Tabela 2, destaca-se também a silvicultura com o cultivo de eucalipto, que ocupa cerca de 480 hectares (4,8 km²) de área do território do município (IBGE, 2025).

Tabela 2 - Produção de culturas agrícolas no município de Caputira no ano de 2024.

Cultura	Quantidade produzida (t)	Porcentagem da produção total (%)
Abacate	35	0,42
Banana	49	0,59
Café	6.376	76,27
Cana-de-açúcar	1.092	13,06
Feijão	137	0,16
Mandioca	60	0,72
Milho	611	7,31
Total	8.360	100

Fonte: Adaptado de IBGE (2025).

O saneamento básico no município apresenta pontos de vulnerabilidade nas quatro esferas:

- abastecimento de água potável: realizado pela COPASA, o abastecimento atende cerca de 84% da população. Na sede do município, a captação de água superficial ocorre no ribeirão da Cabeluda e o tratamento ocorre em Estação de Tratamento de Água (ETA) compacta. Já nos povoados, a captação é subterrânea e os tratamentos aplicados são a desinfecção e a fluoretação;
- esgotamento sanitário: segundo os dados divulgado em 2024 pelo Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA), 53% da população possui atendimento com rede coletora de esgoto, entretanto o município não conta com sistema de tratamento de esgoto. Dessa forma, o lançamento de efluentes ocorre diretamente nos corpos hídricos;
- limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: o município apresenta, oficialmente, atendimento integral da população com coleta dos resíduos sólidos e conta com aterro controlado para a disposição final dos resíduos. Entretanto, a situação existente in loco é de uma área de lixão, sem práticas de controle ambiental, como impermeabilização do solo ou tratamento do chorume. Não existe unidade de triagem e compostagem ou mesmo coleta seletiva no município. Recentemente, um caminhão compactador foi

adquirido pela prefeitura por meio da Adesão nº 009/2025, com recursos da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD);

- d) drenagem e manejo de águas pluviais: o município não dispõe de cadastro de macro e microdrenagem, ambos sem sofrer melhorias consideráveis ou investimentos há alguns anos. As redes de microdrenagem existentes não fazem separação entre a água pluvial e o esgoto sanitário coletado. Segundo o SINISA (2024), 22% das vias urbanas possuem rede de águas pluviais.

O município de Caputira possui histórico de eventos extremos relacionados à enchentes e inundações. Destaca-se que, no ano de 2014, o município passou por intervenções voltadas à prevenção de inundações em seu perímetro urbano. Entre as ações realizadas, destacam-se a alteração do curso do ribeirão da Cabeluda, a remoção de resíduos acumulados nas margens dos córregos, a implantação de pontes com vãos ampliados e a execução de serviços de dragagem (CBH Piranga, 2015). Contudo, apesar de tais medidas, as ocorrências de enchentes na localidade permanecem frequentes, sendo os últimos registros de maior dano ocorridos nos anos de 2008, 2012 e 2016, segundo o apurado com os moradores.

As principais áreas críticas do município são os bairros Belvedere e Marreco, com risco de desmoronamentos, e as áreas próximas à saída para Matipó, onde o risco de transbordamento do ribeirão Cabeluda é recorrente.

De acordo com o levantamento realizado pelo Serviço Geológico do Brasil (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM), em 2014, para a delimitação das áreas de alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa, o município possui cinco áreas no perímetro urbano que devem ser monitoradas, sendo duas localizadas em planícies de inundação e três em áreas de encosta (Figura 13).

Ademais, o município não possui Plano Diretor ou diretrizes para o ordenamento do uso e cobertura da terra, culminando na expansão habitacional irrestrita em direção às zonas de risco.

Em relação aos mecanismos de proteção ambiental, vale ressaltar que o município não aderiu à municipalização do licenciamento ambiental, regulamentado, em Minas Gerais, pela Deliberação Normativa Copam nº 213, de 22 de fevereiro de 2017.

Figura 13 - Vista geral das áreas classificadas em risco alto e muito alto (vermelho) na área da sede do município de Caputira (MG).



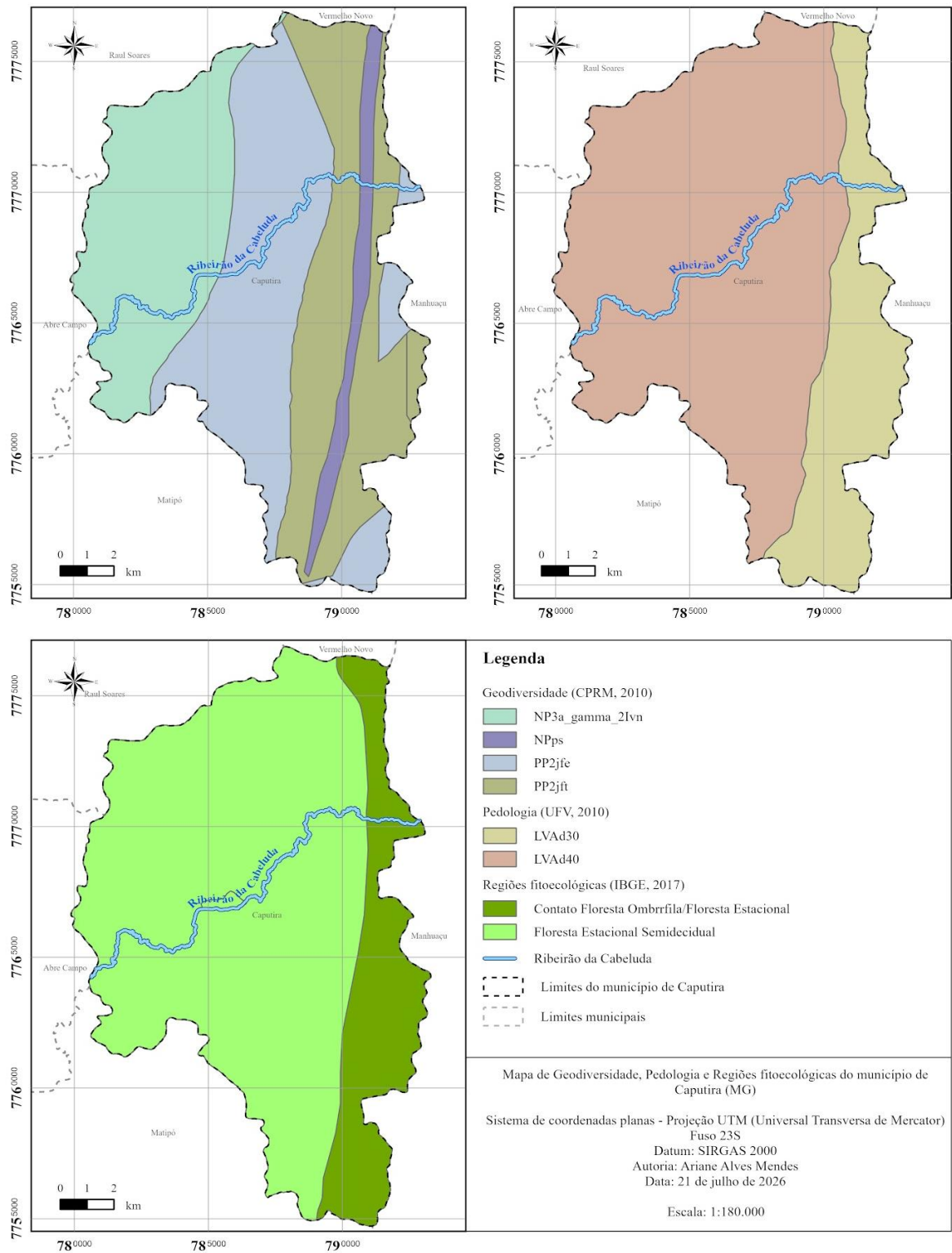
Fonte: CPRM (2014).

3.1.3 Aspectos de geodiversidade, pedologia e fitoecologia

O Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil, elaborado pelo IBGE (2017), evidencia que o município apresenta relevo R4b em sua maior parte (Figura 14a), caracterizado como domínio de morros e de serras baixas, onde as redes de drenagem apresentam padrão de planície aluvial restrita (CPRM, 2010), caracterizado pela deposição de sedimentos. Já na porção municipal nordeste a sudeste, apresenta relevo R4c, de domínio montanhoso, com redes de drenagem em processo de fraco entalhamento geológico e geomorfológico.

Ainda em relação à caracterização de geodiversidade é possível detalhar os domínios geológicos-ambientais do município. A maior parte territorial é composta por rochas ígneas pertencentes ao Domínio dos Complexos Granitoides Intensamente Deformados (DCGR3), com predominância de terrenos acidentados. Além disso, as rochas ígneas também se apresentam no município através do Domínio dos Complexos Granitoides Deformados (DCGR2), marcado por terrenos planos elevados e superfícies aplainadas.

Figura 14 - Mapas de a) geodiversidade, b) pedologia e c) regiões fitoecológicas do município de Caputira.



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Além das rochas ígneas, o município apresenta uma pequena porção composta por rochas metamórficas do domínio DCGR3 e do Domínio dos Complexos Gnaiss Migmatíticos e Granulitos (DCGMGL), com predominância de terrenos acidentados.

Com base nos dados de pedologia divulgados pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) *et al.* (2010), cerca de 146 km² do município apresenta solo do tipo LVAd40, composto majoritariamente por latossolo vermelho-amarelo distrófico típico, cambissolo háplico tb distrófico típico e argissolo vermelho-amarelo distrófico típico (Figura 14b). A área de 45 km² restantes apresenta solo do tipo LVAd30, com predominância de cambissolo húmico distrófico latossólico.

Em relação às características fitoecológicas, cerca de 63% da área do município está inserida em zona de Floresta Estacional Semidecidual, enquanto os 37% restantes estão em zona de Contato Floresta Ombrófila e Floresta Estacional (Figura 14c).

3.2 Caracterização da bacia hidrográfica do ribeirão da Cabeluda

A bacia hidrográfica do ribeirão da Cabeluda estende-se pelos municípios de Abre Campo, Caputira, Manhuaçu e Matipó. É uma sub-bacia do rio Matipó, sendo esse uma sub-bacia do rio Piranga. Dessa forma, o ribeirão da Cabeluda pertence ao Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Piranga (CBH Piranga), instituído através do Decreto Estadual nº 43.101, de 20 de dezembro de 2002.

O curso d'água principal, o próprio ribeirão da Cabeluda, tem sua nascente no distrito de Santo Amaro, pertencente ao município de Manhuaçu, e sua foz é no rio Matipó, no território do município de Abre Campo.

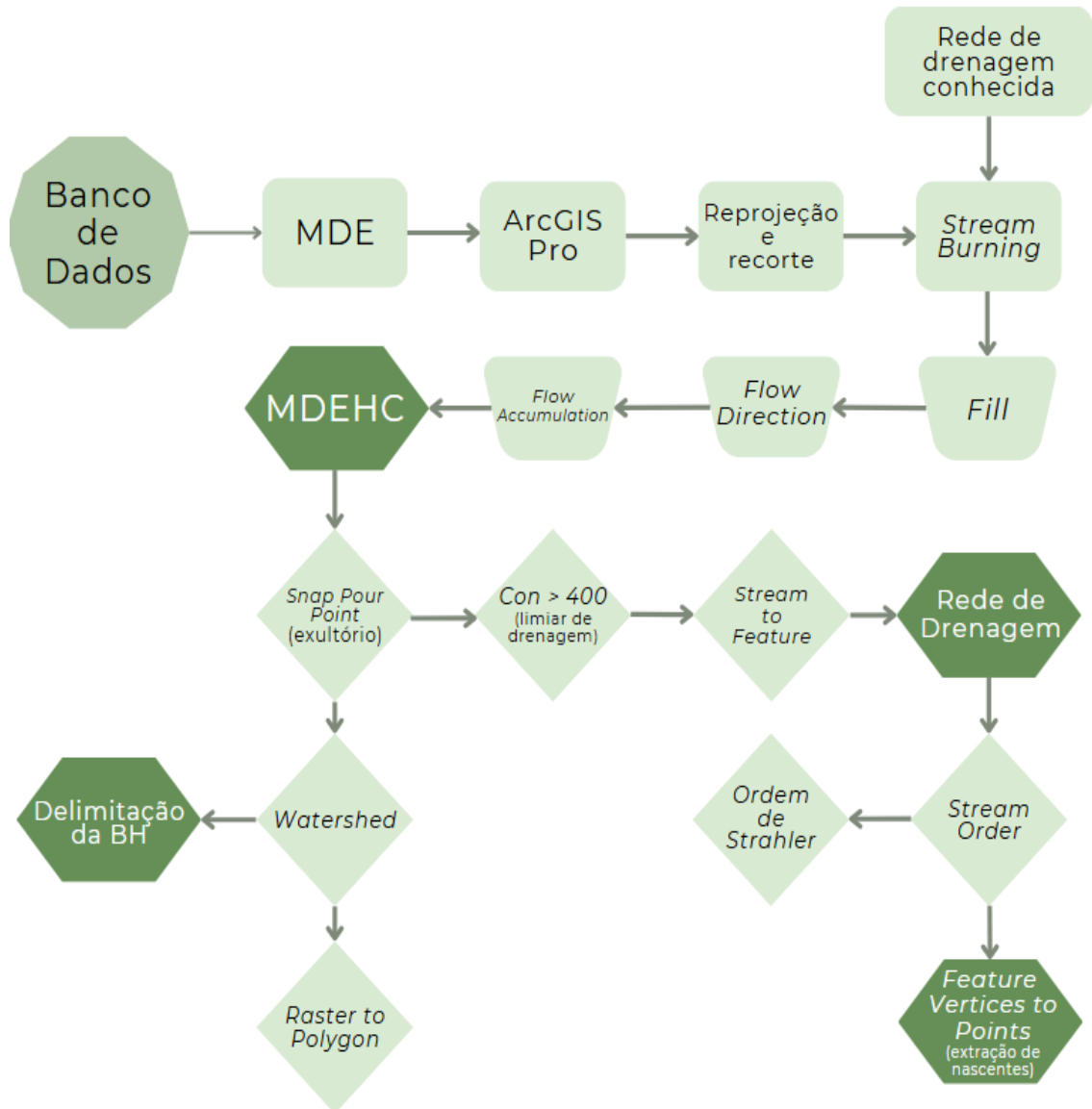
Os principais afluentes do rio principal no município de Caputira são o ribeirão São Caetano, o córrego Pirapetinga e o córrego do Crispim.

Para realizar a análise morfométrica da BH do ribeirão da Cabeluda adquiriu-se o MDE através dos metadados da Agência Nacional de Águas (ANA, 2016), que foi obtido a partir da interpolação de outros dois MDEs para melhoramento da resolução espacial, culminando em um MDS com resolução de 10 m.

Foi realizada a reprojeção do MDE para o *datum* SIRGAS 2000 e para o sistema de coordenadas planas UTM Zona 23S. Em seguida, recortou-se a imagem raster para a área de interesse de modo a otimizar o tempo das análises no software ArcGIS Pro 3.4.

Os processos realizados no software para a delimitação da BH do ribeirão da Cabeluda estão descritos na Figura 15. Nessa etapa, foram extraídas, também, as redes de drenagem em formato vetorial, a classificação dos cursos d'água, conforme a ordem de Strahler, e os pontos de nascentes e de exutório do curso d'água principal.

Figura 15 - Fluxograma da delimitação da BH do ribeirão da Cabeluda no ArcGIS Pro.



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

A rede de drenagem conhecida utilizada na etapa de *Stream Burning* foi obtida a partir de dados da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS, 2023), com resolução de 1:25.000.

A partir do MDE, também foi possível confeccionar os mapas de hipsometria e de declividade, com base nas classes de declividade propostas pela Embrapa (1979), segundo a Tabela 3.

Tabela 3 - Classes de declividade adotadas no estudo.

Classes de declividade (em %)	Grau de vulnerabilidade
< 3	Plano
3 - 8	Suave ondulado
8 - 20	Ondulado
20 - 45	Forte ondulado
45 - 75	Montanhoso
> 75	Forte montanhoso

Fonte: Adaptado de Embrapa (1979).

A partir dos dados contidos no MDE, da ferramenta ArcPy e do Excel é possível obter os parâmetros de caracterização morfométrica da BH, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Parametros morfométricos utilizados na caracterização da BH do ribeirão da Cabeluda.

Características	Parâmetro morfométrico	Sigla
Características geométricas	Área de drenagem (km ²)	A
	Perímetro (km)	P
	Comprimento axial (km)	L _a
	Coefficiente de compacidade	K _c
	Fator de forma	K _f
Características da rede de drenagem	Comprimento total dos canais (km)	L _t
	Comprimento do canal principal (km)	L _p
	Distância vetorial entre a nascente e a foz (km)	L _v
	Densidade de drenagem (km/km ²)	D _d
	Índice de sinuosidade	I _s
	Número de nascentes	-
	Ordem do curso d'água principal	-
Características do relevo	Altitude mínima da bacia (m)	H _{mín}
	Altitude média da bacia (m)	H _m
	Altitude máxima da bacia (m)	H _{máx}
	Altitude mediana da bacia (m)	H _{med}
	Índice hipsométrico	HI

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Os parâmetros foram selecionados com base nos estudos de caracterização de BH elaborados por Paz (2023), Pilatti (2022) e Prochmann (2014).

3.3 Análise espaço-temporal de uso e cobertura da terra do município de Caputira

A análise da dinâmica de uso e cobertura da terra no município de Caputira entre os anos de 1985 e 2025 foi fundamentada em técnicas de Sensoriamento Remoto e PDI que possibilitam o monitoramento de processos de alteração da paisagem causados por ações antrópicas ou fenômenos naturais.

3.3.1 Hipsometria e declividade do município de Caputira (MG)

A partir do MDE utilizado nas análises morfométricas da BH do ribeirão da Cabeluda, foi possível elaborar os mapas de hipsometria e de declividade do município de Caputira, sendo este último baseado nas classes de declividade propostas pela Embrapa (1979), segundo a Tabela 3.

3.3.2 Aquisição, seleção e pré-processamento de imagens

A aquisição das imagens dos satélites Landsat para a área do município de Caputira foi realizada através do site *Earth Explorer* da USGS, com todos os produtos sendo referentes à órbita/ponto (*path/row*) 217/074.

Para a seleção das imagens foi estabelecido o critério de selecionar cenas em meses de baixa nebulosidade, referentes ao período seco entre abril e setembro, de forma a maximizar a separabilidade espectral entre as classes de uso do solo, conforme destacado por Barros (2006) e Faria (2015). Para a obtenção da imagem de 2008, foi estabelecido o critério adicional de ser anterior à data de 22 de julho do ano em questão, sendo esse o prazo limite para a caracterização de áreas rurais consolidadas, conforme o CFB.

As imagens selecionadas, detalhadas no Quadro 3, apresentam resolução espacial de 30 m para as bandas multiespectrais e de 15 m para a banda pancromática. Os dados multiespectrais foram obtidos do arquivo Landsat Coleção 2, Nível 2, *Tier 1*, contando com correções atmosféricas aplicadas à refletância e à temperatura de superfície, provenientes dos sensores TM (Landsat 5) e OLI/TIRS (Landsat 8).

Ademais, a banda pan do satélite Landsat 8 integra a mesma coleção, porém no Nível 1. Uma vantagem essencial da Coleção 2 é o aprimoramento da precisão posicional em relação ao sistema de referência terrestre global, assegurando que os produtos já disponham de correção geométrica, com etapas de calibração e registro.

Quadro 3 - Imagens adquiridas dos satélites Landsat, a partir do Earth Explorer.

Satélite	Data	ID
Landsat 5	04/07/1985	LT05_L2SP_217074_19850704_20200918_02_T1
	14/04/2008	LT05_L2SP_217074_20080414_20200829_02_T1
Landsat 8	18/07/2025	LC08_L2SP(L1TP)_217074_20250718_20250726_02_T1

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

As imagens obtidas foram importadas para o ArcGIS Pro, onde passaram a ser rasters e, em seguida, foram recortadas através da ferramenta *Extract by Mask*, dentro dos limites do município, para otimizar o tempo de processamento das ferramentas dentro do software.

A composição colorida RGB das bandas para o Landsat 5 foi realizada a partir das bandas 1 a 5 e banda 7, enquanto para o Landsat 8 as bandas utilizadas foram de 2 a 7, com o intuito de otimizar a identificação visual das classes (Quadro 4).

O emprego do processo de *Pansharpening* com o raster de 2025 visou melhorar a resolução espacial das imagens para auxiliar a classificação supervisionada, sendo executado com a própria banda pan presente no Landsat 8. Para as datas de 1985 e 2008 não foi possível realizar o processo, uma vez que o Landsat 5 não fornece a banda pan.

Quadro 4 - Composições coloridas realizadas nas imagens de satélites Landsat.

Composição falsa-cor	Destaque na imagem
Landsat 5 R5G4B3 e Landsat 8 R6G5B4	Vegetação vigorosa aparece como verde escuro, pastagem em verde claro, enquanto solo exposto e área urbana aparecem em lilás
Landsat 5 R4G5B3 e Landsat 8 R5G6B4	Vegetação em vermelho ou vermelho-alaranjado, permitindo a diferenciação entre formação florestal, café, silvicultura e pastagem
Landsat 5 R4G3B2 e Landsat 8 R5G4B3	Vegetação em vermelho, áreas urbanas e solo exposto em ciano
Landsat 5 R3G4B5 e Landsat 8 R4G5B6	Solo exposto, áreas urbanas e antropizadas em rosa ou roxo e vegetação em verde
Landsat 5 R3B2G1 e Landsat 8 R4G3B2	Composição para cor natural dos elementos

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

3.3.3 Índice NDVI, seleção de classes de uso do solo, classificação supervisionada e avaliação da acurácia

Para o cálculo do NDVI utilizou-se a ferramenta *Raster Function* a partir da composição das bandas correspondentes ao vermelho e ao infravermelho próximo, correspondentes às bandas 3 e 4 no Landsat 5 e às bandas 4 e 5 no Landsat 8.

O índice NDVI foi utilizado como banda auxiliar com o intuito de otimização e melhoria na classificação supervisionada MaxVer de uso e cobertura da terra, conforme apontado por Amorim, Albarici e Pino (2016).

Em seguida, foi feita a composição do raster proveniente do NDVI com as bandas para utilização no algoritmo de classificação supervisionada, a saber: Landsat 5, com as bandas 1, 2, 3, 4, 5, 7 e NDVI, e Landsat 8, com as bandas 2, 3, 4, 5, 6, 7 e NDVI.

As classes de uso e cobertura da terra a serem empregadas no trabalho foram: classe 1 - formação florestal; classe 2 - café; classe 3 - silvicultura (eucalipto e outros); classe 4 - pastagem; classe 5 - solo exposto; classe 6 - área urbana; e classe 7 - outras superfícies antropizadas (terreiros de café, casas rurais, praças, galpões rurais, campo de futebol e estradas vicinais).

Com a definição das classes, o próximo passo foi a seleção de 40 amostras de treinamento para cada uma delas, sendo este processo individualizado para os anos das imagens.

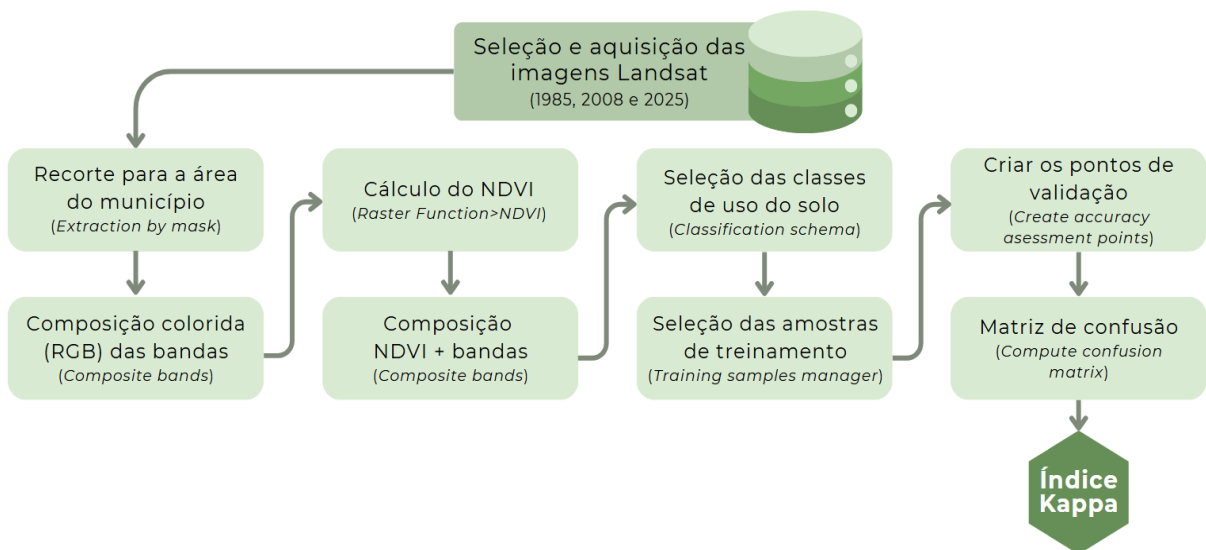
Para o cálculo da matriz de confusão foram utilizados 50 pontos aleatórios gerados pelo software para cada classe, conforme recomendado por Meneses, Almeida e Sano (2025), totalizando 350 pontos de validação para cada ano. Os pontos de validação foram distintos dos pontos utilizados no treinamento das amostras para a classificação MaxVer.

Para a validação visual dos pontos, utilizou-se imagens da série temporal do software Google Earth Pro.

Ao utilizar a ferramenta *Compute confusion matrix* do ArcGIS Pro, o software fornece como produtos a matriz de confusão, o índice Kappa, a AG, a U_Acuracia e a P_Acuracia, sendo as acurácias variáveis de 0 a 1.

Na Figura 16, é possível observar a síntese das operações realizadas no processamento das imagens de satélite Landsat para a obtenção dos mapas de uso e cobertura da terra.

Figura 16 - Fluxograma do PDI aplicado à classificação supervisionada de uso e cobertura da terra do município de Caputira (MG).



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Com o uso da ferramenta *Tabulate Area* no ArGIS Pro, foi possível cruzar duas camadas geográficas e extrair os dados das mudanças de classes entre períodos distintos, resultando na matriz de transição.

3.3.4 Conflitos de uso e cobertura da terra

3.3.4.1 Delimitação de Áreas de Preservação Permanente e Áreas de Uso Restrito

A análise dos conflitos de uso e cobertura da terra foi realizada com o objetivo de identificar a situação das áreas ambientalmente protegidas e de uso restrito no município de Caputira (MG), considerando a ocupação registrada nos anos de 1985, 2008 e 2025.

A delimitação das APPs e das AURs foi realizada no ArcGIS Pro, utilizando os dados vetoriais da rede de drenagem, obtidos a partir da caracterização da BH do ribeirão da Cabeluda e recortados para os limites do município.

Ademais, o MDE da ANA (2016), com resolução espacial de 10 m, também foi utilizado para extração das APPs de encosta e de topo de morro, além das AURs de declividade.

As APPs de cursos d'água foram delimitadas a partir da rede de drenagem e das nascentes previamente obtidas para a área de estudo, aplicando-se as faixas de proteção estabelecidas pelo CFB, conforme disposto no Quadro 1.

Para o ribeirão da Cabeluda e para as nascentes, adotou-se a faixa de 50 m de APP. Em contrapartida, para o restante das redes de drenagem utilizou-se a faixa de 30 m, visto que apresentam largura dos cursos d'água inferior à 10 m.

A ferramenta utilizada nessa etapa foi o *buffer*, que permite a definição prévia das larguras das APPs. As áreas resultantes dos procedimentos de *buffer* foram reunidas em uma camada única (*Union*), para evitar recontagens de áreas com sobreposição de APPs hídricas.

As APPs de encosta e as AURs foram delimitadas a partir do MDE e das declividades obtidas. A seleção e classificação das áreas que atendem ao critério legal do CFB foi estabelecida da seguinte forma: declividades de até 25° não possuem restrição de uso; entre 25° e 45° são áreas de AUR; e acima de 45° são APPs de encosta.

Para a delimitação das APPs de topo de morro, foi adotada a metodologia proposta por Oliveira e Fernandes (2013), que segue o estabelecido pelo CFB. Foram consideradas APPs de topo de morro somente as elevações que atenderam simultaneamente aos critérios de altura superior a 100 m em relação à base legal e com declividade média superior a 25°.

Para a extração das áreas em conflito de uso, realizou-se a junção das áreas de APPs e AURs delimitadas, por meio da ferramenta *Merge*. Em seguida, foi executada a sobreposição da camada resultando aos mapas de uso e cobertura da terra, correspondentes aos três períodos analisados.

Para a avaliação dos conflitos, adotou-se como critério de preservação a ocorrência da classe formação florestal, considerando que a manutenção dessa cobertura representa uma condição compatível com a função de proteção ambiental atribuída às áreas analisadas. As demais classes de uso e cobertura da terra foram consideradas como uso conflitante, por representarem formas de ocupação distintas da cobertura florestal.

3.3.4.2 Unidades de Conservação e Reserva da Biosfera da Mata Atlântica

A partir do geovisualizador da Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema), foi consultado se o município de Caputira se encontra dentro do limite de UCs ou outras áreas com restrição ambiental, com o intuito de analisar potenciais conflitos de uso do solo.

O IDE-Sisema foi utilizado como base de consulta por ser a ferramenta oficial de gestão integrada das informações ambientais do estado de Minas Gerais utilizada pelos órgãos estaduais, a partir da Resolução Conjunta SEMAD/FEAM/IEF/IGAM nº 3.147, de 7 de junho de 2022 (Minas Gerais, 2022).

A delimitação da RBMA, também disponível no geovisualizador, foi extraída para a verificação das áreas de zoneamento em que o município se encontra. Os limites das zonas da RBMA foram delimitados através da revisão periódica de 2018 (Fase 7), realizado pelo Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, com o apoio do Instituto Amigos da RBMA.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise morfométrica da bacia hidrográfica do ribeirão da Cabeluda

As características geométricas, da rede de drenagem e do relevo foram obtidas automaticamente no ArcGIS Pro através da ferramenta ArcPy e por meio de cálculos no Excel. Os resultados dos parâmetros estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Características morfométricas da bacia hidrográfica do ribeirão da Cabeluda.

Características	Parâmetro morfométrico	Sigla	Resultado
Características geométricas	Área de drenagem (km ²)	A	302,27
	Perímetro (km)	P	93,74
	Comprimento axial (km)	L _a	20,77
	Coefficiente de compacidade	K _c	1,51
	Fator de forma	K _f	0,70
Características da rede de drenagem	Comprimento total dos canais (km)	L _t	767,45
	Comprimento do canal principal (km)	L _p	39,65
	Distância vetorial entre a nascente e a foz (km)	L _v	16,89
	Densidade de drenagem (km/km ²)	D _d	2,54
	Índice de sinuosidade	I _s	2,35
	Número de nascentes	-	1.029
	Ordem do curso d'água principal	-	6
Características do relevo	Altitude mínima da bacia (m)	H _{mín}	552,00
	Altitude média da bacia (m)	H _m	769,31
	Altitude máxima da bacia (m)	H _{máx}	1428,00
	Altitude mediana da bacia (m)	H _{med}	≈740,00
	Índice hipsométrico	HI	0,25

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

A BH possui uma área de drenagem de 302,27 km² e perímetro de 93,74 km, sendo considerada uma bacia de 6ª ordem e de médio porte.

Com um comprimento axial de 20,77 km, a bacia apresenta um coeficiente de compacidade de 1,51, indicando uma bacia alongada e irregular com baixa suscetibilidade a grandes picos de enchentes e com boa distribuição do escoamento, segundo Villela e Mattos (1975).

O fator de forma obtido foi de 0,70 indicando uma média propensão a inundações, uma vez que o valor se aproxima da unidade, o formato da bacia se afasta de um retângulo e se aproxima do formato oval, o que facilita a ocorrência de chuvas cobrindo toda a extensão da BH simultaneamente (Calil *et al.*, 2012; Shekar; Mathew, 2024).

O ribeirão da Cabeluda, canal principal da BH, apresenta um comprimento de 39,65 km, enquanto a soma dos comprimentos de todas as redes de drenagem com compõem a BH é de 767,45 km.

A densidade de drenagem de 2,54 km/km² indica uma bacia com drenagem muito boa, associada a um bom escoamento superficial que contribuem para uma resposta hidrológica rápida da bacia. Conforme evidenciado por Santiago *et al.* (2015), esse valor também reflete a possibilidade de a BH ser constituída por rochas com boa permeabilidade.

O índice de sinuosidade da bacia hidrográfica foi de 2,35, indicando um curso d'água com elevado grau de sinuosidade e configuração meândrica, uma vez que valores superiores a 1,5 estão associados a maior grau de curvatura do canal (Shekar; Mathew, 2024). Além disso, Prochmann (2014) descreve que valores de I_s superiores a 2,0 sugerem canais tortuosos, com maior dificuldade de escoamento e menor energia do curso hídrico. A sinuosidade observada, especialmente nos trechos próximos à foz, pode contribuir para a redução da velocidade do escoamento e o acúmulo de água.

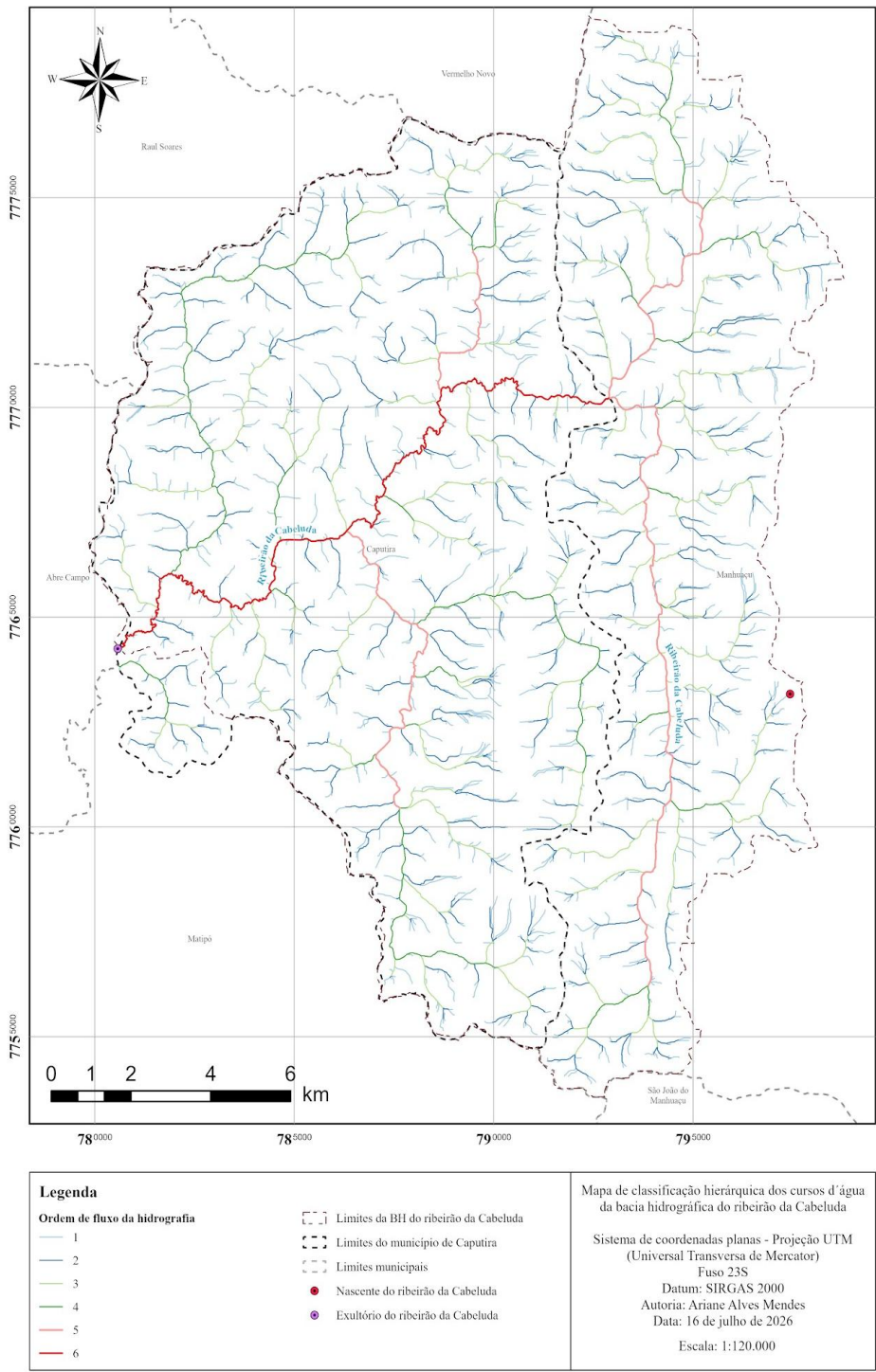
O valor da altitude média, obtida a partir da média ponderada das altitudes sobre as áreas compreendidas, é de 769,31 m, valor correspondente a 56,44% da área acumulada. Já a altitude mediana que, segundo Paz (2023) representa 50% de elevação acima e 50% de elevação abaixo do valor, é de, aproximadamente, 740 m.

O índice hipsométrico da bacia é de 0,25 significando que a BH é senil, com predominância de planícies e relevos que já passaram por processos erosivos avançados, conforme descrito por Strahler (1957).

Os principais afluentes do ribeirão da Cabeluda são o córrego Crispim, córrego Pirapitinga, córrego Santo Amaro, córrego da Soledade e o ribeirão São Caetano.

O curso d’água principal é de 6ª ordem, a partir do ponto em que o afluente córrego da Soledade deságua no ribeirão da Cabeluda. A BH possui 1.029 nascentes, que compõem os canais de 1ª ordem, conforme evidenciado na Figura 17 e na Tabela 5.

Figura 17 - Mapa de hierarquia fluvial da BH do ribeirão da Cabeluda.



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Em relação à declividade da BH, obteve-se a declividade média de 26,2% para a área total da bacia e a declividade máxima de 363,4%. Conforme a Tabela 5 e a Figura 18a, a bacia analisada possui declividade majoritariamente forte-ondulada, com cerca de 53% de sua área total pertencente a essa classe. Logo em seguida, a classe ondulada possui a segunda maior área relativa da BH, com cerca de 28%.

Na área do canal principal, a declividade é plana ou suave-ondulada, classes que também são predominantes na zona urbana do município de Caputira. Essas classes de declividade contribuem para uma drenagem lenta, devido à menor taxa de escoamento pluvial, e para o aumento da área de inundação do ribeirão da Cabeluda na região em questão.

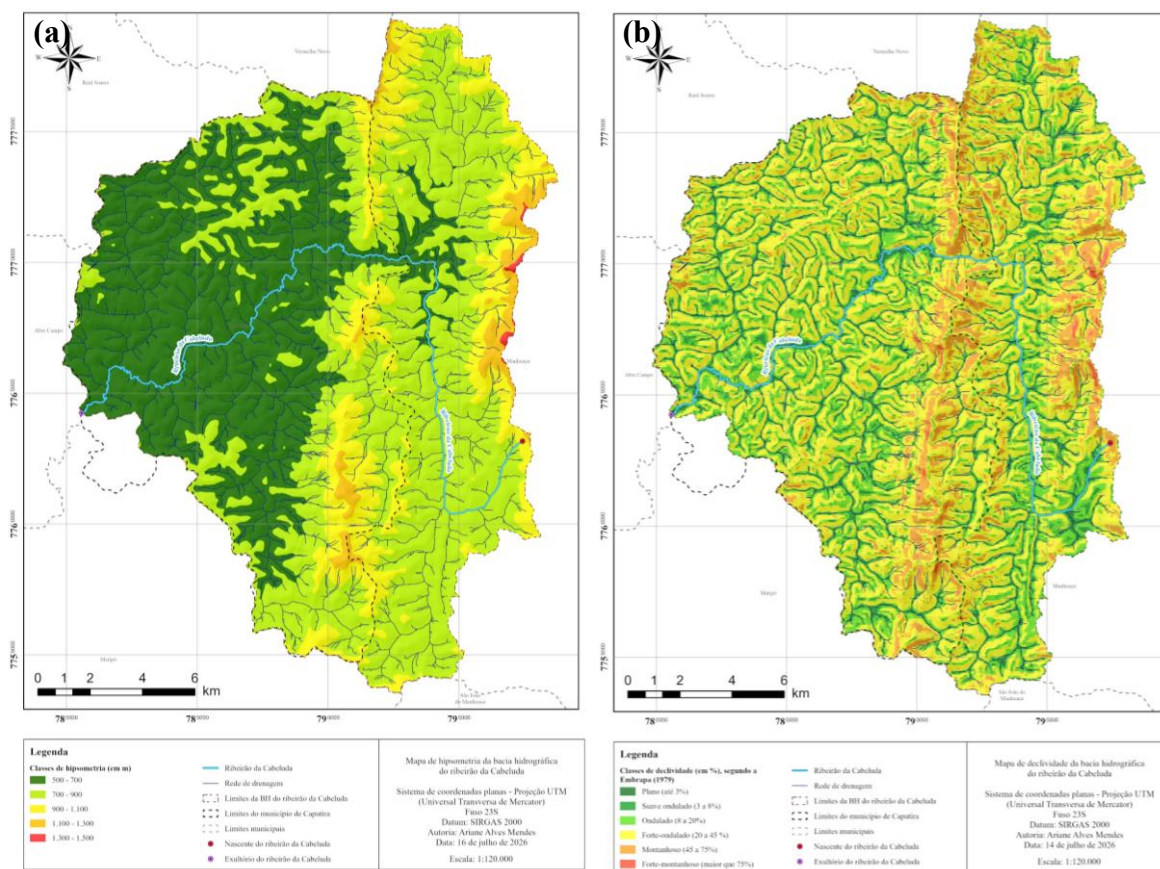
Tabela 6 - Classes de declividade da BH do ribeirão da Cabeluda.

Classe de declividade	Área (km ²)	Área relativa (%)
Plano (até 3%)	5,41	1,79
Suave-ondulado (3 a 8%)	21,08	6,97
Ondulado (8 a 20%)	84,24	27,87
Forte-ondulado (20 a 45%)	160,30	53,03
Montanhoso (45 a 75%)	29,31	9,70
Forte-montanhoso (maior que 75%)	1,08	0,36

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

De acordo com os valores de hipsometria encontrados, foi realizada a reclassificação do MDE em classes de altitude e a área correspondente a cada uma, conforme a Tabela 7 e a Figura 18b. É possível observar que quase 45% da área da BH encontra-se em altitude de 700 a 900 m, classe onde também se encontram a altitude média e a altitude mediana.

Figura 18 - Mapa a) hipsométrico e b) de declividade da BH do ribeirão da Cabeluda.



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

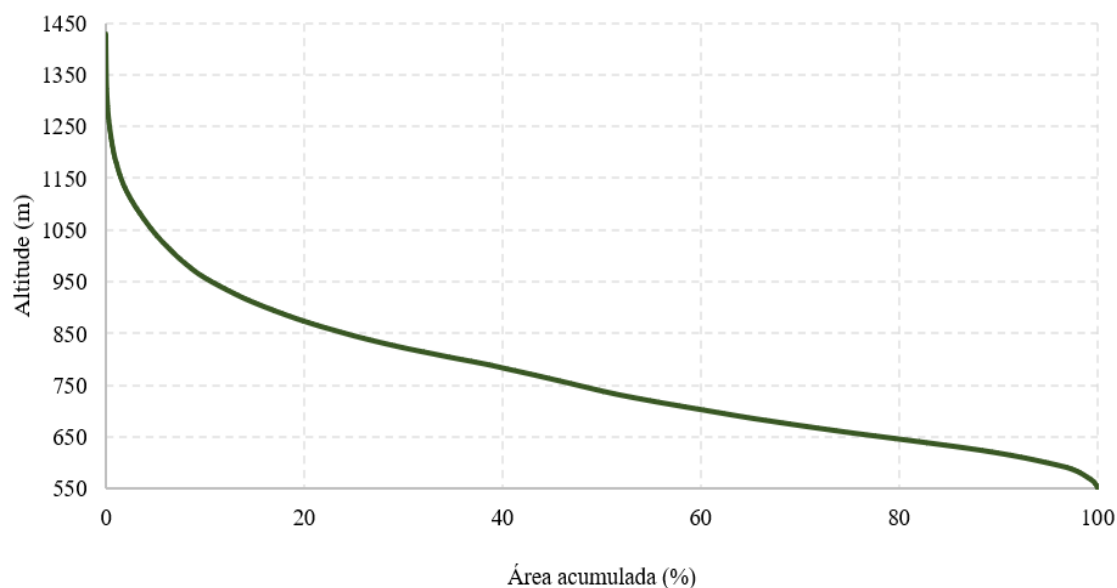
Tabela 7 - Classes de hipsometria da BH do ribeirão da Cabeluda.

Classe de hipsometria (m)	Área (km ²)	Área relativa (%)
500 - 700	117,35	38,82
700 - 900	135,78	44,92
900 - 1.100	40,59	13,43
1100 - 1.300	8,12	2,69
1.300 - 1.500	0,43	0,14

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

A forma da curva hipsométrica da BH em questão (Figura 19) revela uma bacia em estágio geológico altamente dissecado, conforme evidenciado por Strahler (1957) e corroborado pelo valor da integral hipsométrica (Tabela 5). A curva hipsométrica indica que grande parte da bacia já se encontra rebaixada com a maior parte das altitudes próximas a do exutório – 554 m – e, conseqüentemente, com relevo mais plano.

Figura 19 - Curva hipsométrica da BH do ribeirão da Cabeluda.



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

4.2 Análise espaço-temporal de uso e cobertura da terra do município de Caputira

Os resultados obtidos por meio da classificação supervisionada MaxVer da série histórica das imagens Landsat dos anos 1985, 2008 e 2025 permitiram a geração dos mapas temáticos de uso e cobertura da terra do município de Caputira (Figuras 21, 21 e 22).

As análises dos resultados abrangem a validação estatística do mapeamento, a quantificação das classes de uso e a detecção de mudanças temporais do uso e cobertura da terra.

As matrizes de confusão de cada ano analisado foram geradas no ArcGIS Pro e exportadas para o Excel, com o intuito de analisar estatisticamente o resultado das classificações, a partir das acurácias e do índice Kappa.

Tabela 8 - Matriz de confusão da classificação supervisionada MaxVer do ano de 1985.

Matriz de confusão - ano 1985								
Classe prevista	Classe real							U_Acuracia
	Formação Florestal	Café	Silvicultura	Pastagem	Solo exposto	Área urbana	Outras superfícies antrópicas	
Formação Florestal	40	2	0	8	0	0	0	0,80
Café	12	22	0	16	0	0	0	0,44
Silvicultura	14	15	7	14	0	0	0	0,14
Pastagem	0	2	0	48	0	0	0	0,96
Solo exposto	0	1	0	14	31	0	4	0,62
Área urbana	0	0	0	22	2	4	22	0,08
Outras superfícies antrópicas	1	0	0	19	4	2	24	0,48
Total	67	42	7	141	37	6	50	-
P_Acuracia	0,60	0,52	1	0,34	0,84	0,67	0,48	0,50
Índice Kappa	0,42							
AG	0,50							

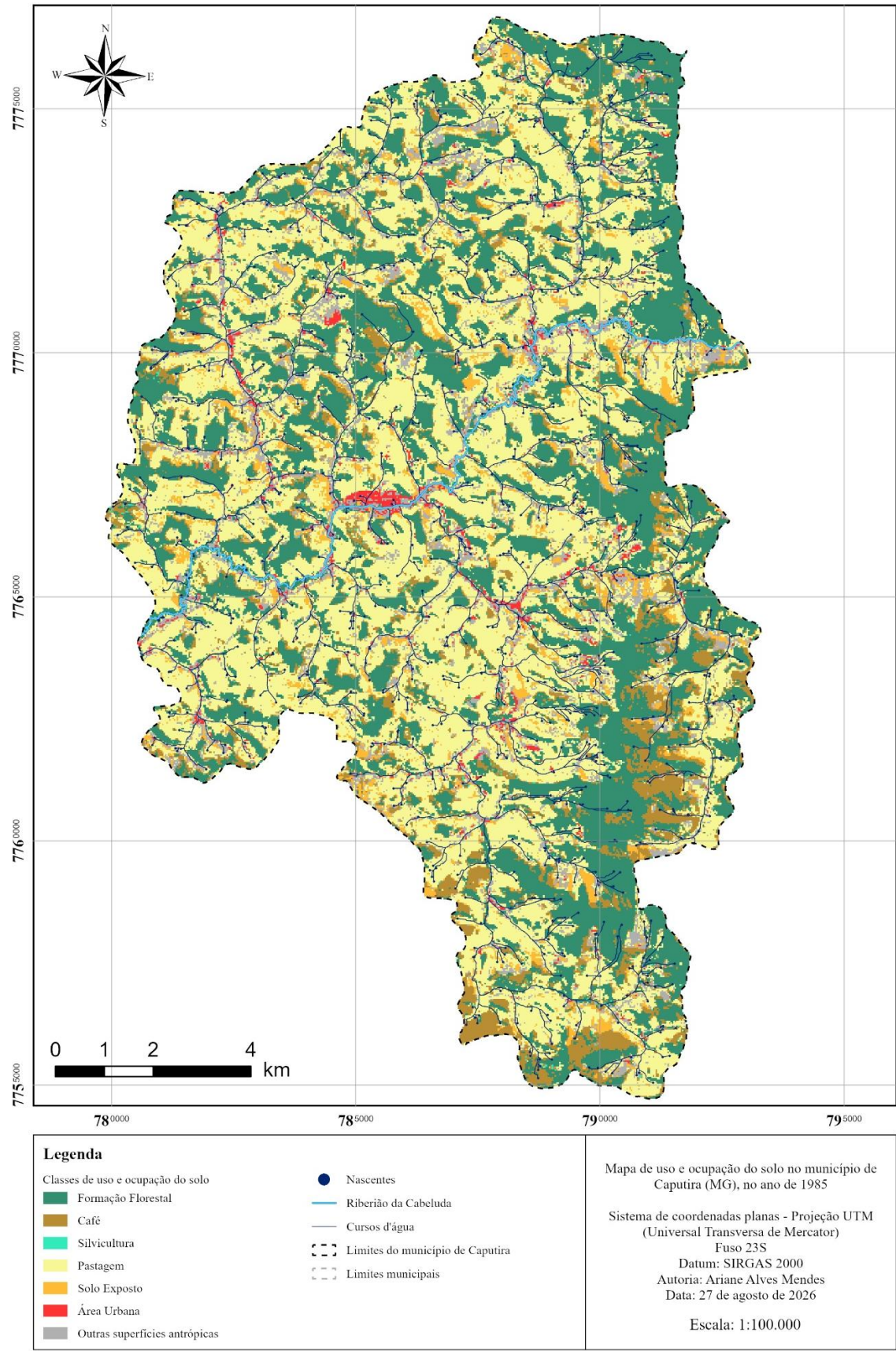
Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Para a matriz de confusão do ano de 1985, apresentada na Tabela 8, os melhores valores de P_Acuracia foram silvicultura e solo exposto, com 100% e 84%, respectivamente, de chance de um pixel da classe real ser corretamente identificado pelo classificador.

Já para U_Acuracia, as melhores acurácias foram das classes formação florestal e pastagem, apresentando valores de 80% e 96% de chance de o pixel classificado pertencer à classe na verdade de campo, respectivamente.

A classe área urbana apresentou os piores valores de confiabilidade do classificador, com U_Acuracia de 8%, revelando que essa classe apresentou semelhanças espectrais a outras classes, principalmente às pastagens e a outras superfícies antrópicas.

Figura 20 - Mapa de uso e cobertura da terra no município de Caputira (MG) no ano de 1985.



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Para o ano de 2008, a matriz de confusão apresentada na Tabela 9 evidencia que a classe área urbana apresentou o melhor resultado para o valor de P_Acuracia com 100% de exatidão, seguido da classe silvicultura, com 93%. Em contrapartida, essas duas classes apresentaram os piores desempenhos para U_Acuracia, com 38% e 26%, respectivamente.

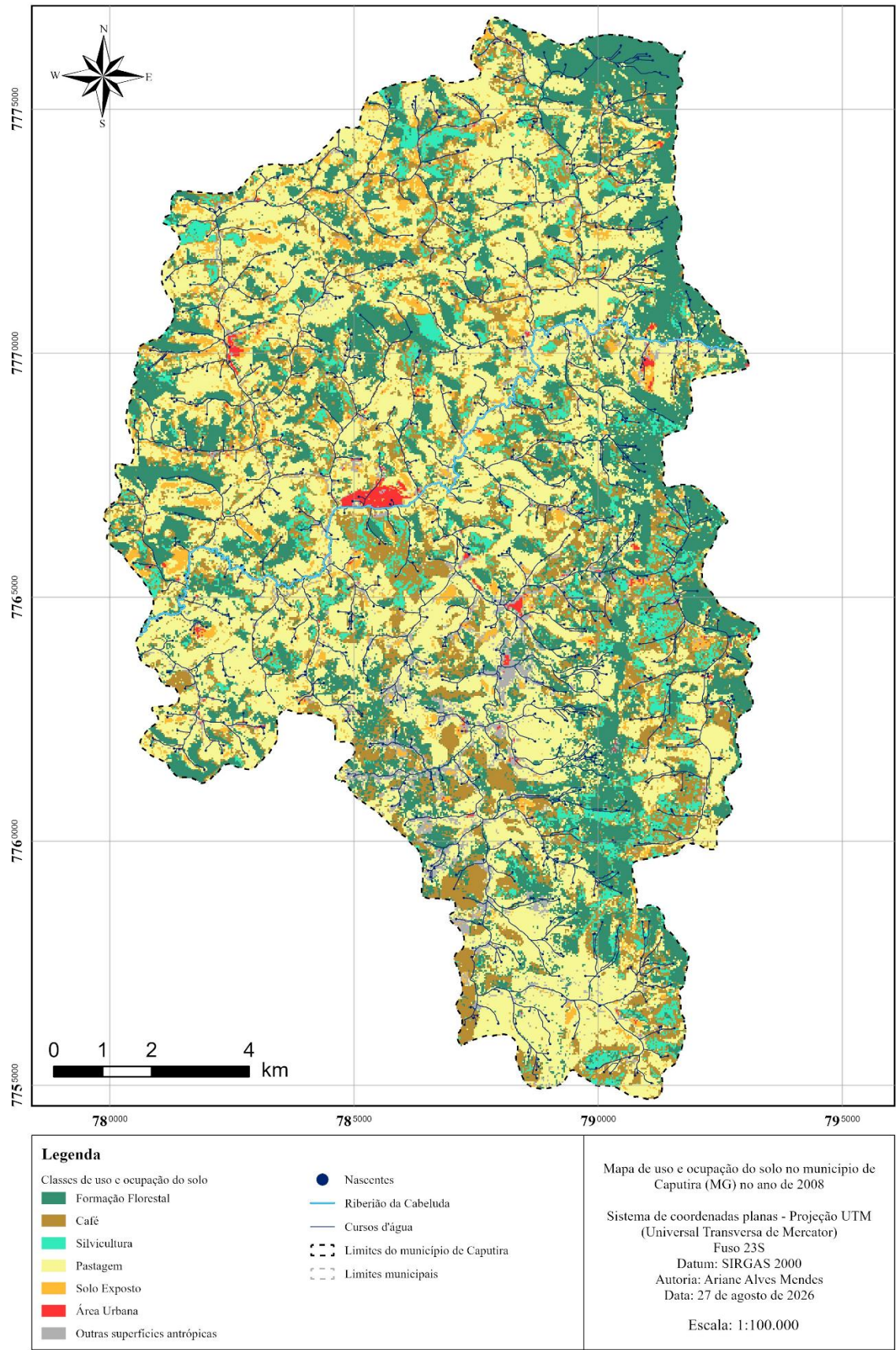
Tabela 9 - Matriz de confusão da classificação supervisionada MaxVer do ano de 2008.

Matriz de confusão - ano 2008								
Classe prevista	Classe real							U_Acuracia
	Formação Florestal	Café	Silvicultura	Pastagem	Solo exposto	Área urbana	Outras superfícies antrópicas	
Formação Florestal	37	7	1	4	0	0	1	0,74
Café	7	35	0	7	0	0	1	0,70
Silvicultura	12	21	13	2	0	0	2	0,26
Pastagem	1	3	0	44	0	0	2	0,88
Solo exposto	0	1	0	9	36	0	4	0,72
Área urbana	1	2	0	3	17	19	8	0,38
Outras superfícies antrópicas	0	2	0	12	3	0	33	0,66
Total	58	71	14	81	56	19	51	-
P_Acuracia	0,64	0,49	0,93	0,54	0,64	1	0,65	0,62
Kappa	0,56							
AG	0,62							

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Essa discrepância pode ser explicada pela facilidade do classificador em encontrar os elementos da verdade de campo durante a classificação, mas a sua falha ao incluir muitos pixels pertencentes a outras classes (falsos positivos), culminando em uma superestimação da sua extensão no mapa temático final.

Figura 21 - Mapa de uso e cobertura da terra no município de Caputira (MG) no ano de 2008.



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Já a matriz de confusão de 2025, vide Tabela 10, indica que as classes área urbana (100%), silvicultura (89%) e solo exposto (85%) apresentaram as melhores acurácias do produtor. Os piores valores dessa acurácia foram das classes outras superfícies antrópicas (46%) e café (48%).

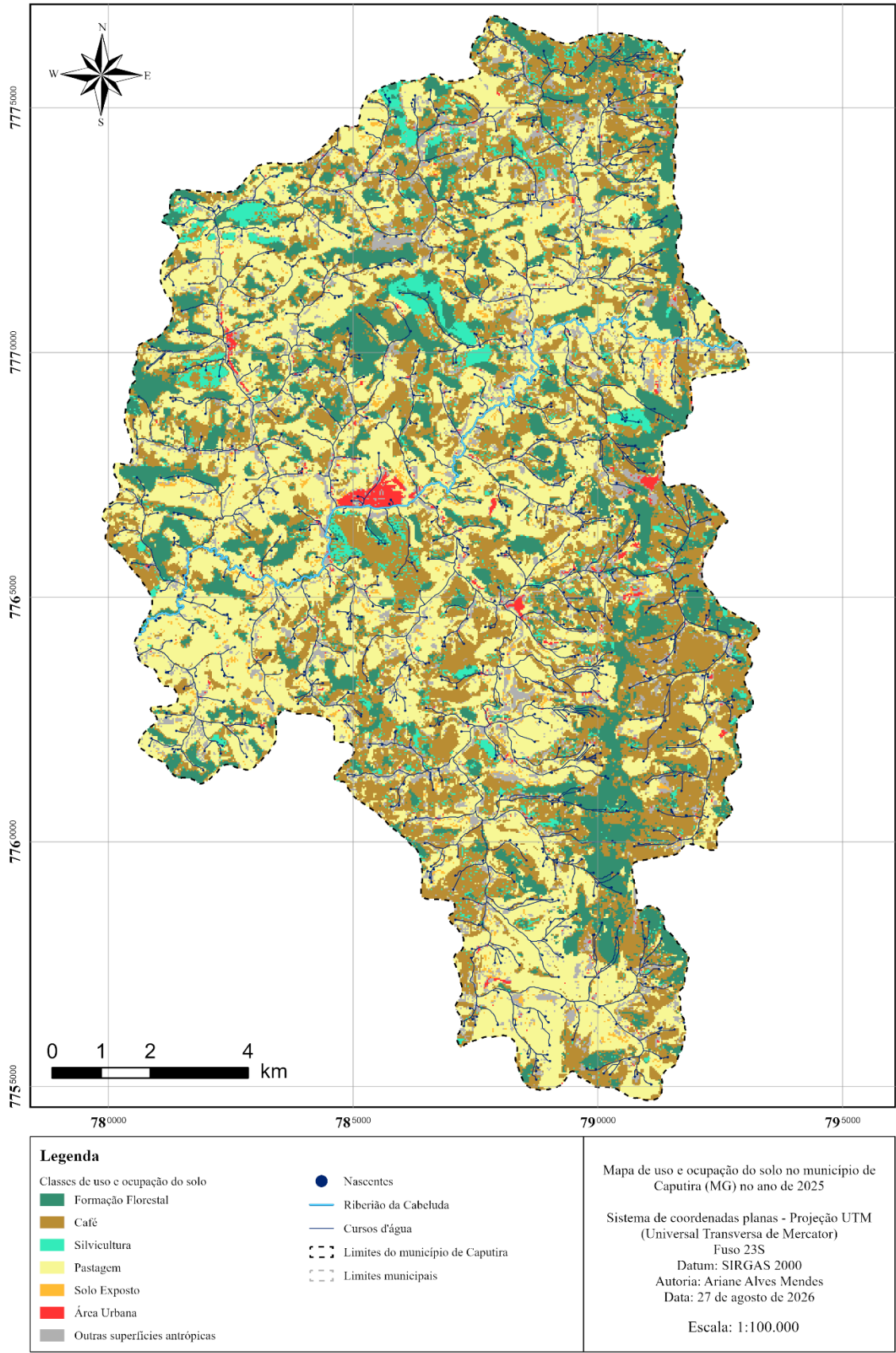
Tabela 10 - Matriz de confusão da classificação supervisionada MaxVer do ano de 2025.

Matriz de confusão - ano 2025								
Classe prevista	Classe real							U_Acuracia
	Formação Florestal	Café	Silvicultura	Pastagem	Solo exposto	Área urbana	Outras superfícies antrópicas	
Formação Florestal	50	0	0	0	0	0	0	1,00
Café	12	30	2	6	0	0	0	0,60
Silvicultura	11	14	25	0	0	0	0	0,50
Pastagem	0	5	1	44	0	0	0	0,88
Solo exposto	0	2	0	5	34	0	9	0,68
Área urbana	0	6	0	5	1	20	18	0,40
Outras superfícies antrópicas	3	6	0	13	5	0	23	0,46
Total	76	63	28	73	40	20	50	-
P_Acuracia	0,66	0,48	0,89	0,60	0,85	1	0,46	0,65
Kappa	0,59							
AG	0,65							

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

As classes que apresentaram superestimação, segundo os valores de U_Acuracia dos pontos de validação, foram área urbana (40%), outras superfícies antrópicas (46%) e silvicultura (50%).

Figura 22 - Mapa de uso e cobertura da terra no município de Caputira (MG) no ano de 2025.



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

A AG, representada pela diagonal principal das matrizes, teve o valor de 0,50 e o índice Kappa de 0,42 para a classificação de 1985, valor que representa um bom desempenho da classificação, segundo Landis e Koch (1977). Já para o ano de 2008, a AG foi de 0,62, enquanto o índice Kappa foi de 0,56, com bom desempenho. Para o ano de 2025, a AG foi de 0,65 e o índice Kappa foi de 0,59, representando um desempenho bom de classificação e o melhor obtido entre as análises.

Conforme observado nas matrizes de confusão e, de acordo com o exposto por Faria (2015) e Moreira, Adami e Rudorff (2004), pequenas confusões espectrais são comuns entre áreas de café com mais de três anos, formação florestal e silvicultura, assim como entre áreas de café em estágio inicial e pastagem, além de semelhanças entre as classes pastagem, solo exposto e área urbana.

As semelhanças espectrais entre certas categorias explicam a superestimação ocorrida em determinadas classes no mapeamento, com destaque para silvicultura e área urbana, que apresentaram os piores resultados de U_Acuracia nos três anos analisados.

Para a compreensão detalhada das trajetórias de mudança, utilizou-se a técnica de matriz de transição, comparando-se os mapas, dois a dois, da seguinte forma: 1985 e 2008 (Tabela 11); 2008 e 2025 (Tabela 12); e 1985 e 2025 (Tabela 13).

Tabela 11 - Matriz de transição do uso e cobertura da terra entre os anos 1985 e 2008 no município de Caputira (MG).

Transição das classes entre os anos de 1985 e 2008, em km ²								
Classe em 1985	Classe em 2008							Total em 1985
	Formação florestal	Café	Silvicultura	Pastagem	Solo exposto	Área urbana	Outras superfícies antropizadas	
Formação florestal	31,99	6,16	4,29	13,06	0,73	0,12	0,43	56,77
Café	3,05	5,56	2,06	6,43	0,48	0,01	0,47	18,07
Silvicultura	0,17	0,25	0,08	0,31	0,02	0	0,02	0,85
Pastagem	7,22	14,46	4,72	50,38	5,01	0,35	3,12	85,27
Solo exposto	0,28	1,55	0,49	4,22	1,2	0,03	0,54	8,3
Área urbana	0,18	0,21	0,05	0,96	0,14	0,38	0,52	2,45
Outras superfícies	1,12	3,26	0,74	7,81	1,15	0,25	1,9	16,24
Total em 2008	44,02	31,46	12,43	83,17	8,73	1,14	6,99	187,95

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

No período compreendido entre os anos de 1985 e 2008 (Tabela 11), as maiores conversões registradas foram a redução da formação florestal, que passou de 56,77 km² para

44,02 km², um aumento expressivo da classe café, de 18,07 km² para 31,46 km² e a classe silvicultura que também apresentou aumento, passando de 0,85 km² para 12,43 km².

As classes solo exposto e outras superfícies antrópicas também apresentaram alterações, passando, respectivamente, de 8,30 km² para 8,73 km² e de 16,24 km² para 6,99 km². A classe pastagem apresentou uma pequena redução de 2,10 km².

A área urbana apresentou redução de 2,45 km² para 1,14 km², resultado que deve ser interpretado com cautela, considerando a resolução espacial das imagens do Landsat 5 e a possibilidade de confusão espectral entre áreas urbanas e outras classes.

A matriz de transição de 1985 para 2008 evidencia que a expansão do café ocorreu principalmente sobre áreas que, no ano inicial, eram classificadas como pastagem e formação florestal. Do total de 31,46 km² classificados como café em 2008, 14,46 km² correspondem a áreas que eram pastagem em 1985 e 6,16 km² foram oriundos da conversão da classe formação florestal.

A transição de formação florestal para pastagem também foi expressiva, correspondendo a 13,06 km², indicando que a redução da cobertura florestal não esteve associada exclusivamente à expansão cafeeira, mas também à expansão de áreas destinadas à pastagem.

Tabela 12 - Matriz de transição do uso e cobertura da terra entre os anos 2008 e 2025 no município de Caputira (MG).

Transição das classes entre os anos de 2008 e 2025, em km ²								
Classe em 2008	Classe em 2025							Total em 2008
	Formação florestal	Café	Silvicultura	Pastagem	Solo exposto	Área urbana	Outras superfícies antropizadas	
Formação florestal	21,24	12,59	2	6,75	0,07	0,13	1,24	44,02
Café	2,12	16,14	1,34	9,05	0,24	0,13	2,44	31,46
Silvicultura	2,12	6,92	1,1	1,67	0,06	0,03	0,53	12,43
Pastagem	2,56	17,52	2,62	52,27	1,59	0,4	6,22	83,17
Solo exposto	0,13	2,33	0,37	3,89	0,33	0,1	1,59	8,73
Área urbana	0,02	0,06	0,02	0,23	0,02	0,54	0,26	1,14
Outras superfícies	0,05	1,06	0,09	2,92	0,22	0,18	2,47	6,99
Total em 2025	28,24	56,62	7,53	76,78	2,53	1,49	14,75	187,95

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

No intervalo de 2008 a 2025 (Tabela 12), a tendência de redução da formação florestal e de expansão do café tornou-se ainda mais evidente. A formação florestal apresentou redução de 44,02 km² para 28,24 km², enquanto o café aumentou de 31,46 km² para 56,62 km². A

pastagem também apresentou redução, passando de 83,17 km² para 76,78 km², enquanto a silvicultura diminuiu de 12,43 km² para 7,53 km². O solo exposto apresentou redução de 8,73 km² para 2,53 km² e a classe de outras superfícies antrópicas aumentou de 6,99 km² para 14,75 km².

A análise das transições ocorridas entre 2008 e 2025 mostra que a expansão do café esteve associada principalmente à conversão de áreas anteriormente ocupadas por pastagem, formação florestal e silvicultura.

Nessas conversões, 17,52 km² de pastagem passaram para a classe café, 12,59 km² de formação florestal foram convertidos para café e 6,92 km² de silvicultura se transformaram em café. Esses resultados indicam que a expansão cafeeira ocorreu sobre diferentes tipos de cobertura e uso da terra, com destaque para áreas anteriormente utilizadas como pastagem.

Tabela 13 - Matriz de transição do uso e cobertura da terra entre os anos 1985 e 2025 no município de Caputira (MG).

Transição das classes entre os anos de 1985 e 2025, em km ²								
Classe em 1985	Classe em 2025							Total em 1985
	Formação florestal	Café	Silvicultura	Pastagem	Solo exposto	Área urbana	Outras superfícies antropizadas	
Formação florestal	24,47	15,79	2,64	12,08	0,08	0,26	1,47	56,77
Café	1,57	8,99	0,65	5,42	0,12	0,06	1,27	18,07
Silvicultura	0,08	0,42	0,02	0,25	0,01	0	0,06	0,85
Pastagem	1,78	25,23	3,54	45,59	1,63	0,45	7,05	85,27
Solo exposto	0,08	2,1	0,35	4,3	0,31	0,03	1,13	8,3
Área urbana	0,04	0,26	0,03	1,04	0,06	0,37	0,64	2,45
Outras superfícies	0,23	3,84	0,3	8,1	0,32	0,31	3,13	16,24
Total em 2025	28,24	56,62	7,53	76,78	2,53	1,49	14,75	187,95

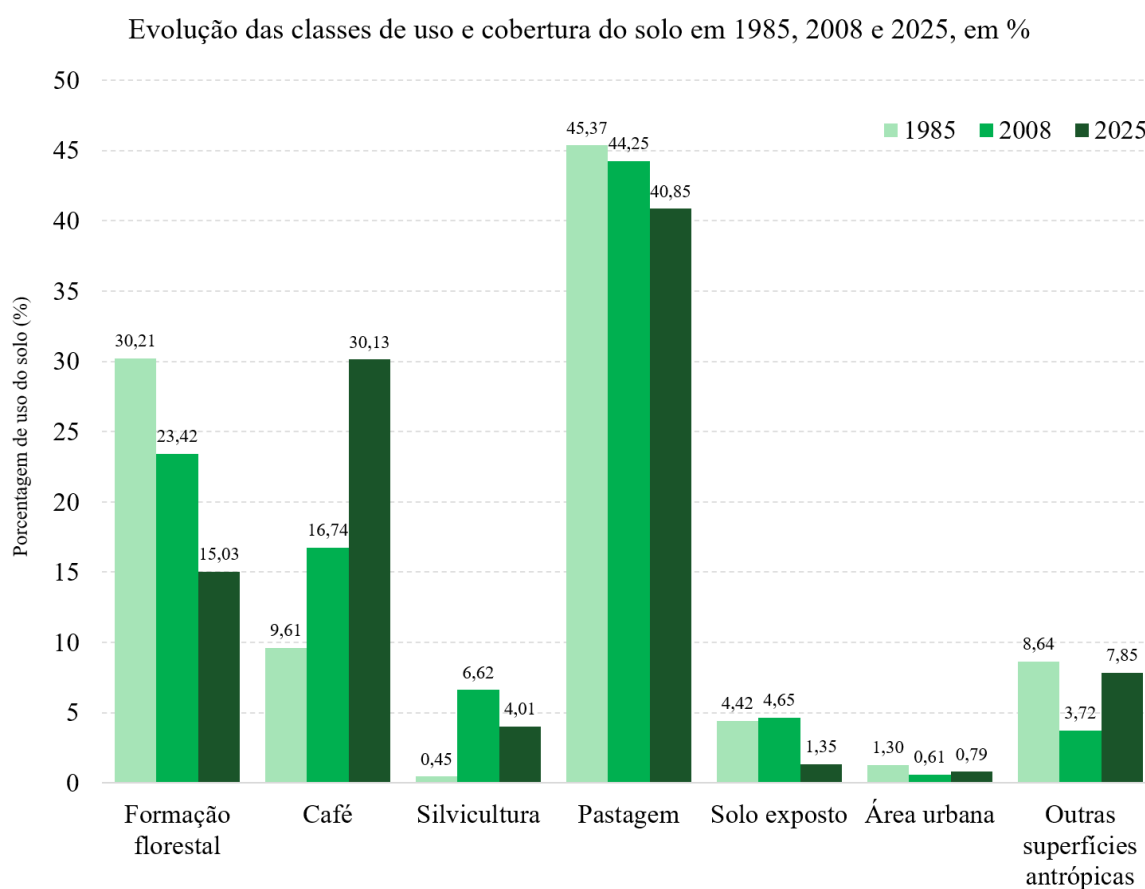
Fonte: Elaborado pela autora (2026).

A análise acumulada entre 1985 e 2025 (Tabela 13) evidencia uma transformação expressiva ocorrida na classe formação florestal, que apresentou redução de 56,77 km² para 28,24 km², correspondendo a uma perda de 28,53 km². Em contrapartida, a área classificada como café aumentou de 18,07 km² para 56,62 km².

A partir da matriz de transição de 1985 a 2025, verifica-se que a expansão acumulada do café teve como principais origens a pastagem e a formação florestal. Do total de áreas que passaram a ser classificadas como café em 2025, 25,23 km² (44,57%) foram convertidos de pastagem, enquanto 15,79 km² (27,88%) originaram-se de formação florestal. Apenas 8,99 km² de área manteve-se como café entre 1985 e 2025, sem nenhuma alteração no período analisado.

A classe solo exposto apresentou uma redução de, aproximadamente, 70% em sua área entre o ano inicial e o final, com transição majoritária para a classe pastagem. Esse fato pode ser explicado pela forte onda de frio que atingiu o Brasil em 1985, seguido de recuperação das pastagens ao longo dos anos (Capucin *et al.*, 2022).

Gráfico 1 - Porcentagem por classe de uso do solo em relação à área total do município de Caputira nos anos de 1985, 2008 e 2025.



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Conforme o Gráfico 1 e as Figuras 20, 21 e 22, as transições observadas entre as classes de uso do solo evidenciam que a paisagem de Caputira sofreu modificações nas últimas quatro décadas, aliadas à evolução das atividades econômicas no município. Destaca-se o aumento da classe que representa a produção de cafeeira, que teve sua área incrementada em 67% entre 1985 e 2025, o que corresponde a 18,07 km² no ano inicial da análise e a 30,13 km² no ano final.

Ademais, nota-se uma inversão nas proporções ocupadas pelas classes de formação florestal e café ao longo do período analisado. No primeiro ano considerado, a cafeicultura

correspondia a 9,61% da área total do município, enquanto a formação florestal representava 30,21%. Em contrapartida, no ano final, a classe café aumentou e passou a compreender 30,13% do território do município, enquanto a cobertura de formação florestal foi reduzida a 15,03% da área.

A classe silvicultura apresentou crescimento, de 0,45% em 1985 para 6,62% em 2008, seguido de redução para 4,01% em 2025.

A pastagem permaneceu como uma das principais formas de ocupação do solo durante todo o período, apresentando redução gradual de 45,37% em 1985 para 44,23% em 2008 e 40,85% em 2025.

O solo exposto apresentou uma pequena variação entre 1985 (4,42%) e 2008 (4,65%), seguida de uma redução acentuada em 2025, quando passou a representar 1,35%. A área urbana também apresentou redução discreta, de 1,30% para 0,79% no período.

A classe outras superfícies antrópicas também apresentou redução de 8,64% em 1985 para 7,85% em 2025, após apresentar forte redução em 2008 (3,72%).

A queda nas classes área urbana e outras superfícies antrópicas pode significar uma diminuição das atividades de ocupação antrópica no município. Entretanto, essa relação não condiz com a verdade de campo. As diminuições podem ter ocorrido devido à confusão espectral entre as classes do estudo, conforme analisado nas matrizes de confusão e evidenciado por Sousa *et al.* (2015).

4.2.1 Hipsometria e declividade do município de Caputira (MG)

A análise hipsométrica evidenciou que o município de Caputira apresenta significativa variação altimétrica, com cotas entre 552 m e 1.218 m, indicando um relevo marcado por considerável amplitude de altitude. Essa variação contribui para a diversidade das formas do relevo e influencia a distribuição espacial da declividade no município.

O raster com os dados de hipsometria foi reclassificado, de forma a organizar as classes de hipsometria com suas respectivas áreas e área relativa (Tabela 14).

A distribuição hipsométrica do município de Caputira (MG) demonstra predominância de altitudes intermediárias, com concentração de 72,37% de seu território com altitudes entre 600 e 800 m. A classe de 600 - 700 m apresenta a maior participação territorial, correspondendo a 100,69 km² (53,58%), enquanto a classe de 700 - 800 m ocupa 35,31 km² (18,79%).

As áreas situadas em altitudes inferiores a 600 m correspondem a 16,03 km² (8,53%), localizadas, principalmente nas áreas do ribeirão da Cabeluda, ribeirão São Caetano e córrego Pirapetinga. As faixas de 800 - 900 m e 900 - 1.000 m representam, respectivamente, 9,69% e 5,71% da área municipal.

Já as maiores altitudes são pouco representativas, sendo que as classes de 1.000 - 1.100 m e acima de 1.100 m correspondem conjuntamente a apenas 3,71% do território e estão localizadas no extremo leste do município, local marcado por forte presença de serras (Figura 23a).

A análise da declividade foi realizada a partir do MDE, com os valores expressos em porcentagem e classificados segundo as classes propostas pela Embrapa (1979).

Conforme evidenciado na Tabela 15 e na Figura 23b, a maior parte da área do município está inserida em relevo forte-ondulado e ondulado, representando, respectivamente, 52,68% e 27,59% da área total do território.

As áreas classificadas como montanhosas (45 a 75%) representam 14,16 km² (7,56%), enquanto as áreas forte-montanhosas (>75%) ocupam 0,41 km² (0,22%). Já as áreas de menor declividade, classificadas como plano (até 3%) e suave-ondulado (3 a 8%), correspondem a 6,03% e 5,91% do território, respectivamente.

Tabela 14 - Classes de hipsometria do município de Caputira (MG)

Classes de hipsometria (m)	Área (km ²)	Área relativa (%)
Até 600	16,03	8,53
600 - 700	100,69	53,58
700 - 800	35,31	18,79
800 - 900	18,21	9,69
900 - 1.000	10,72	5,71
1.000 - 1.100	4,98	2,65
Maior que 1.100	1,99	1,06

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

A área urbana da sede do município e o traçado do ribeirão da Cabeluda apresentam relevo predominantemente plano, o que facilita a propagação de inundações do ribeirão em caso de eventos extremos, conforme apontado pelo estudo de Pilatti (2022).

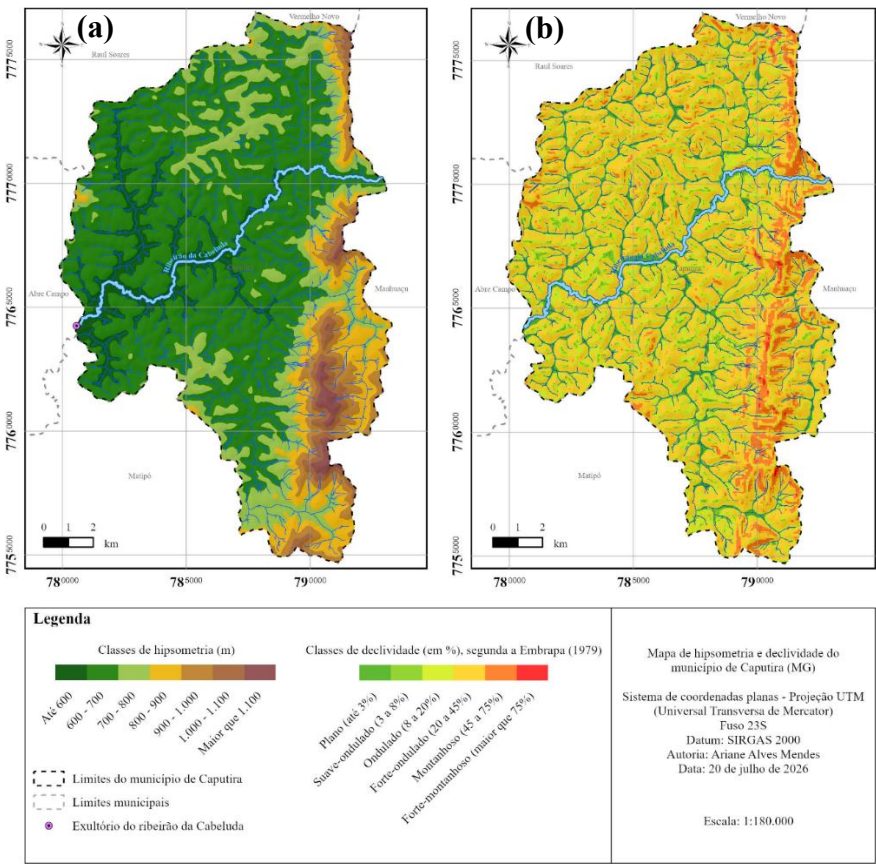
Tabela 15 - Classes de declividade do município de Caputira (MG).

Classe de declividade	Área (km²)	Área reativa (%)
Plano (até 3%)	11,29	6,03
Suave-ondulado (3 a 8%)	11,07	5,91
Ondulado (8 a 20%)	51,67	27,59
Forte-ondulado (20 a 45%)	98,65	52,68
Montanhoso (45 a 75%)	14,16	7,56
Forte-montanhoso (maior que 75%)	0,41	0,22

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

A distribuição espacial da hipsometria e da declividade permitiu caracterizar a predominância das diferentes condições de relevo no município. Os resultados também subsidiaram as análises posteriores relacionadas às APPs e às AURs, uma vez que a altitude e a declividade constituem importantes condicionantes da dinâmica de uso e cobertura da terra.

Figura 23 - Mapas hipsométrico e de declividade do município de Caputira (MG).



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

4.2.2 Conflitos de uso e cobertura da terra

4.2.2.1 Áreas de Preservação Permanente e Áreas de Uso Restrito

A área total de delimitação das APPs de curso d'água, nascentes, encostas e AURs de declividade foi de 42,24 km². Esse valor foi obtido a partir da ferramenta *Union*, de modo que a sobreposição das camadas eliminasse da contagem as áreas repetidas de um pixel classificado com mais de uma APP e/ou AUR.

Para o enquadramento de áreas em APPs de encosta e AURs, foi realizado o *Reclassify* das classes de declividade, de forma que os intervalos compreendessem o estabelecido pelo CFB (Tabela 16).

Tabela 16 - Classificação de declividade no município de Caputira (MG), para delimitação de APPs e AURs, segundo o CFB (Brasil, 2012).

Restrição	Declividade	Área (km ²)
Sem restrição	Até 25°	175,08
AUR de declividade	Entre 25° e 45°	12,17
APP de encosta	Acima de 45°	0,009

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

No caso do município de estudo, a aplicação de todos os critérios para a caracterização de APPs de topo de morro eliminou as três áreas que apresentaram amplitude mínima de 100 m a partir do ponto de sela (diferença de nível), uma vez que apresentaram declividade média inferior à 25° (Tabela 17).

Os resultados indicam que, embora três elevações tenham apresentado diferença altimétrica superior a 100 m em relação às respectivas bases, suas declividades médias não foram suficientes para atender ao requisito de declividade média. Dessa forma, a combinação dos critérios altimétrico e de declividade foi determinante para o não enquadramento dessas áreas como APP de topo de morro.

Tabela 17 - Resultados da análise de APPs de topo de morro, segundo o CFB (Brasil, 2012).

Identificação	Altitude do topo (m)	Altitude da sela/base (m)	Diferença de nível (m)	Declividade média (°)	Área base do morro (km²)	Enquadrado como APP
Morro 1	752	651	101	15,17	0,64	Não
Morro 2	768	616	152	13,05	1,60	Não
Morro 3	977	763	214	20,29	0,64	Não

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Para avaliar a evolução do uso e cobertura da terra nas áreas de APPs e AURs ao longo dos anos, foram elaborados os mapas de conflitos (Figuras 24, 25 e 26) e a Tabela 18, com a síntese dos resultados.

Os resultados demonstraram a redução da preservação e conservação da formação florestal nas áreas de fragilidade ambiental, com perda de 46,3% dessa classe entre os anos de 1985 e 2025. Dessa forma, as áreas em conflito de uso do solo passaram de 27,69 km² (65,56%) em 1985, para 30,30 km² (71,23%) em 2008, e 34,42 km² (81,49%) em 2025, revelando uma redução expressiva da proporção de áreas preservadas no interior das APPs e AURs.

Tabela 18 - Área ocupada pelas classes de uso e cobertura da terra em APPs e AURs no município de Caputira (MG), nos anos de 1985, 2008 e 2025.

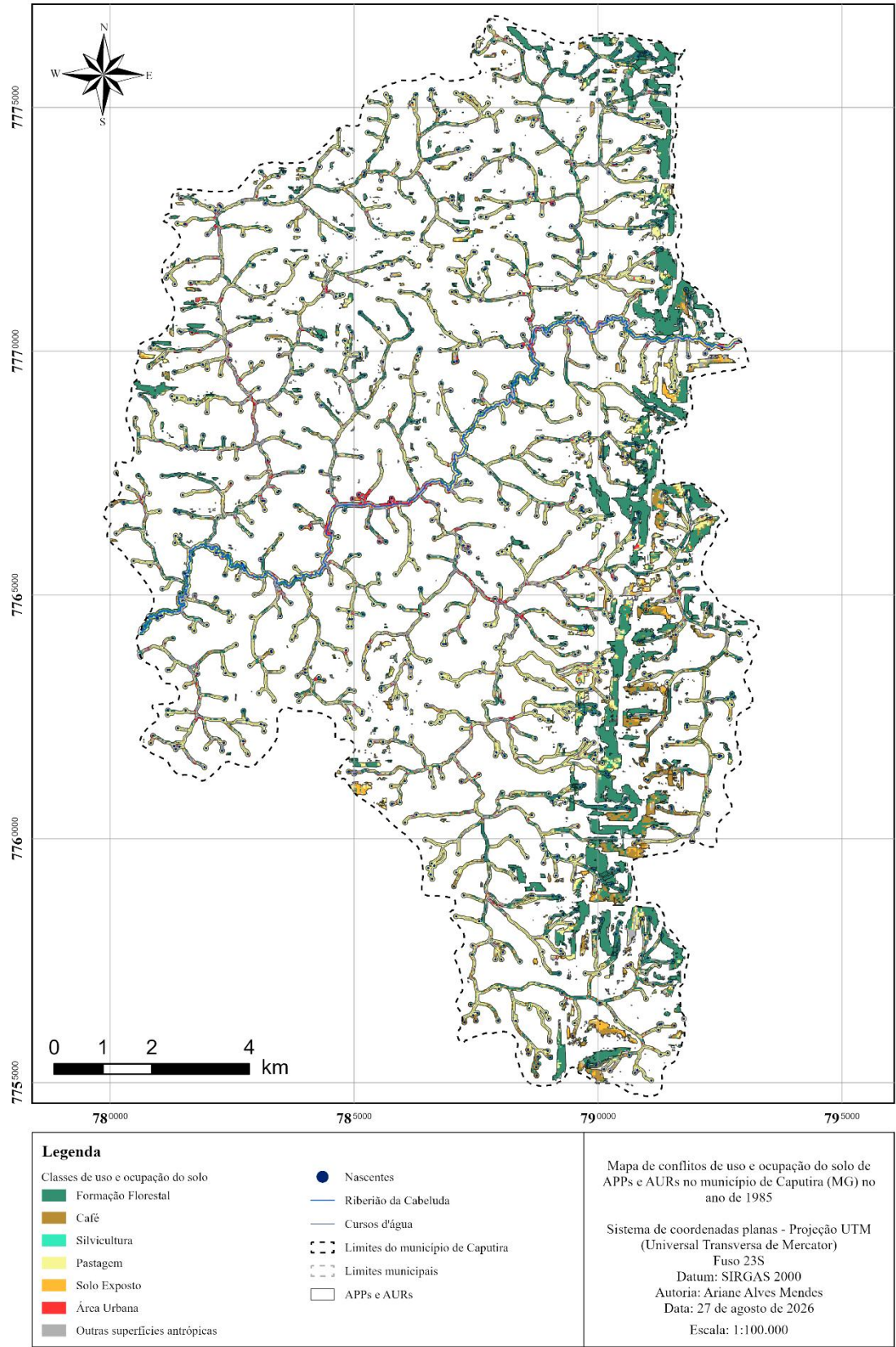
Área da classe em APPs e/ou AUR, em km²	Classe de uso do solo						
	Formação Florestal	Café	Silvicultura	Pastagem	Solo Exposto	Área Urbana	Outras superfícies antrópicas
1985	14,55	3,82	0,26	15,97	1,10	0,87	5,68
2008	11,94	6,13	2,38	17,96	1,13	0,33	2,37
2025	7,82	11,43	1,04	17,27	0,31	0,42	3,96

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

A classe café aumentou expressivamente ao longo do período analisado, passando de 3,82 km² (9,05%), em 1985, para 6,13 km² (14,51%), em 2008, e 11,43 km² (27,07%), em 2025, aumentando em, aproximadamente, 200% a sua área.

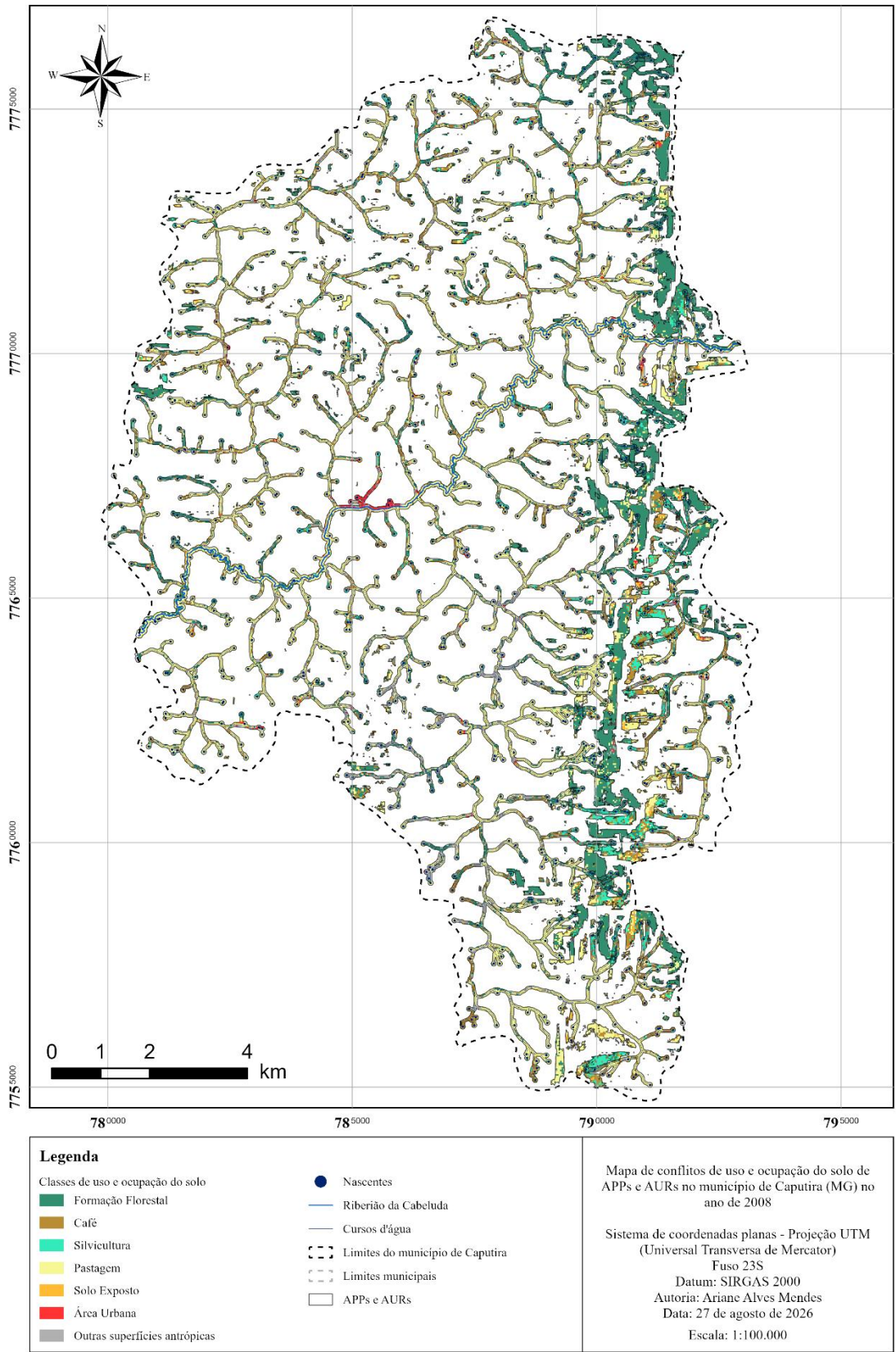
A classe pastagem apresentou os maiores valores em áreas de APPs e AURs nos três anos analisados, crescendo de 15,97 km² (37,8%) em 1985, para 17,96 km² (42,5%) em 2008 e com uma pequena redução de 0,69 km² em 2025.

Figura 24 - Mapa de conflitos de uso e cobertura da terra de APPs e AURs no município de Caputira (MG) no ano de 1985.



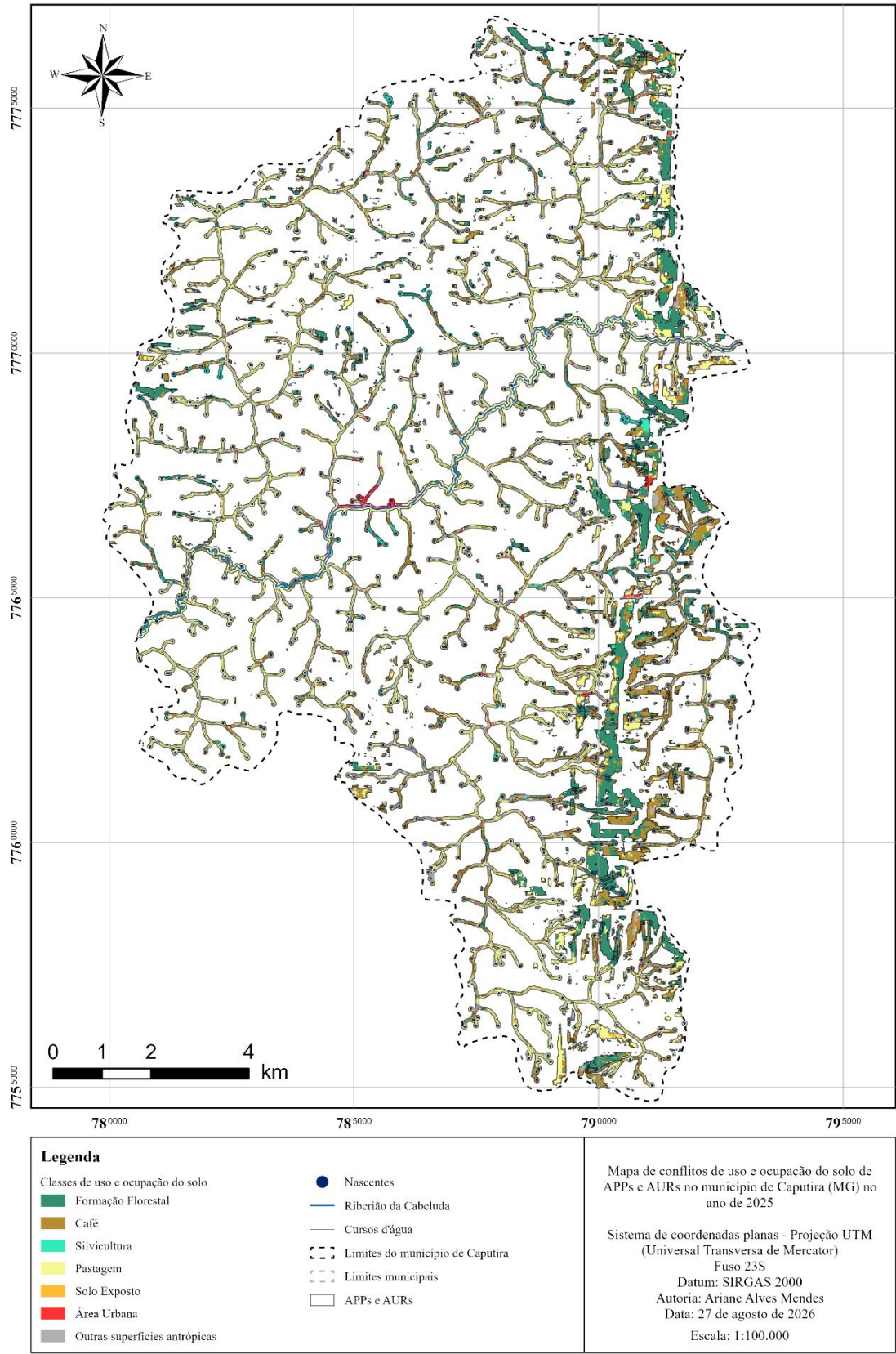
Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Figura 25 - Mapa de conflitos de uso e cobertura da terra de APPs e AURs no município de Caputira (MG) no ano de 2008.



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Figura 26 - Mapa de conflitos de uso e cobertura da terra de APPs e AURs no município de Caputira (MG) no ano de 2025.



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

A silvicultura apresentou crescimento de 0,26 km² para 2,38 km² entre 1985 e 2008. Entre 2008 e 2025, decresceu sua área em espaços de APPs e AURs, passando a integrar 1,04 km² nesses locais.

As classes solo exposto, áreas urbanas e outras superfícies antrópicas não apresentaram expansão contínua dentro das APPs e AURs ao longo do período analisado. Pelo contrário, elas diminuíram, o que pode ser explicado pela maior preservação das áreas ambientalmente sensíveis, nessas classes, entre 1985 e 2025, devido, principalmente, à obrigatoriedade de adesão ao CAR para obtenção de financiamentos rurais (Barão, 2020; Ferreira *et al.*, 2026).

Os resultados revelaram que a evolução das atividades agrossilvipastoris no município esteve associada ao aumento dos conflitos de uso do solo em áreas que deveriam ser preservadas integralmente, como no caso das APPs, ou ocupadas de maneira sustentável, no caso das AURs.

O município de Caputira dispõe de instrumentos normativos voltados à proteção ambiental, como a Lei Orgânica Municipal (Emenda Revisional nº 01, de 09 de agosto de 2018), que contempla disposições relativas à proteção ambiental e à regulamentação do uso dos recursos naturais, e o Código Municipal do Meio Ambiente (Lei Municipal nº 633, de 25 de agosto de 2004), que instituiu princípios, objetivos e instrumentos para a política ambiental municipal.

Os dispositivos legais municipais preveem, entre outros mecanismos, o planejamento e zoneamento ambiental, monitoramento e avaliação de impactos, licenciamento ambiental, fiscalização, criação de UCs e do Plano Diretor de Meio Ambiente.

A legislação também instituiu o Sistema Municipal de Meio Ambiente, composto, entre outros órgãos, pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente e pelo Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente, atribuindo à estrutura municipal competências relacionadas à fiscalização, ao monitoramento e ao licenciamento ambiental.

Entretanto, a existência de instrumentos legais não implica, necessariamente, sua efetiva implementação, conforme apontado por Barão (2020), Cândido, Silva e Barbosa (2015), representando uma limitação à capacidade institucional de planejamento, fiscalização e gestão ambiental.

4.2.2.2 Unidades de Conservação e Reserva da Biosfera da Mata Atlântica

A análise das áreas protegidas pelo SNUC evidenciou que o município de Caputira não possui UCs federais, estaduais ou municipais oficialmente cadastradas no território municipal,

conforme consultado no IDE-Sisema e evidenciado no mapa da Figura 27. No âmbito da legislação municipal, identificou-se a Lei Municipal nº 540/2001, que previa a criação da APA Serra do Ouro em Caputira. Entretanto, não foi localizada regulamentação posterior que estabelecesse a sua efetiva implementação e funcionamento, razão pela qual a área não foi considerada, neste estudo.

O município apresenta proximidade com diferentes UCs localizadas em municípios adjacentes. Para avaliar essa relação, foi estabelecido um raio de 23 km a partir do centro de Caputira, no qual foram identificadas: a RPPN Federal Estação Biológica da Mata do Sossego e a RPPN Estadual Sossego do Muriqui, no município de Simonésia; a RPPN Estadual Fazenda São Lourenço/Matinha e a RPPN Estadual Irmã Scheila, em Manhuaçu; e a APA Municipal de Manhumirim, no município homônimo. Essas unidades são classificadas como UUSs, conforme as categorias estabelecidas pelo SNUC.

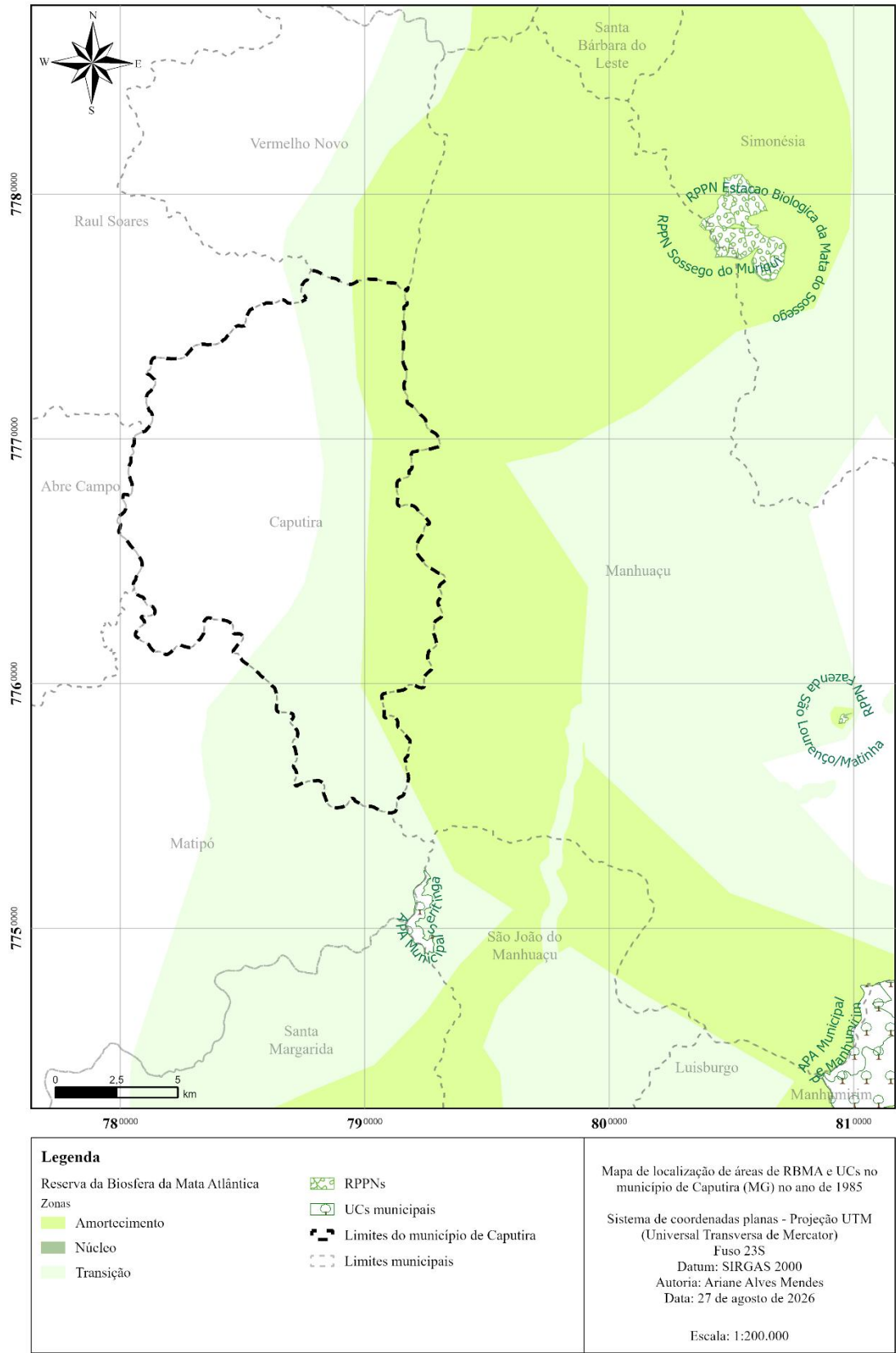
Em um raio acima dos 23 km delimitados, verificou-se a proximidade do território municipal à APA Municipal Seritinga, no município de São João do Manhuaçu, igualmente pertencente ao grupo das UUSs, e ao Parque Nacional do Caparaó, pertencente ao grupo das UPIs.

Apesar de o território de Caputira não estar inserido nas áreas prioritárias para conservação, o município encontra-se relativamente próximo ao Corredor Ecológico Sossego-Caratinga, instituído pelo Decreto Estadual NE nº 397, de 1º de agosto de 2014, reconhecido como área prioritária para conservação.

Quanto à RBMA, o município está inserido em duas categorias de zoneamento: zona de amortecimento, com área de 34,19 km²; e zona de transição, com 51,91 km² de extensão. Conjuntamente, essas zonas abrangem 86,10 km² do território municipal, correspondendo a aproximadamente 46% da área total.

A Deliberação Normativa COPAM nº 217/2017 estabelece a localização de empreendimentos em áreas de RB como critério locacional, ressalvadas as áreas urbanas. Dessa forma, embora a RBMA não corresponda a uma UC nos termos do SNUC, sua ocorrência no município representa um importante instrumento de planejamento e conservação ambiental, especialmente por estabelecer diretrizes diferenciadas de ocupação para as áreas inseridas em seu zoneamento.

Figura 27 - Mapa de localização das UCs adjacentes e zonas da RBMA no município de Caputira (MG).



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

5 CONCLUSÕES

A análise integrada das características ambientais e da dinâmica de uso e cobertura da terra permitiu caracterizar as principais condições físicas e ambientais do município de Caputira (MG) e da morfometria da BH estudada.

Os parâmetros morfométricos e a distribuição da hipsometria e da declividade indicaram um relevo predominantemente ondulado a forte-ondulado, com condições que contribuem para a ocorrência de processos de escoamento superficial e, conseqüentemente, para a propensão a inundações em determinados setores da bacia, embora essa condição não seja uniforme em todo o território.

Os resultados também evidenciaram uma lacuna de estudos específicos voltados à caracterização ambiental da BH e do município de Caputira, reforçando a importância de diagnósticos que integrem aspectos físicos, ambientais e territoriais. Nesse contexto, a análise espaço-temporal do uso e cobertura do solo mostrou-se fundamental para compreender as transformações ocorridas na paisagem e a pressão exercida pelas atividades antrópicas sobre os recursos naturais.

Entre 1985 e 2025, observou-se uma redução contínua da formação florestal, que passou de 30,21% para 15,03% da área municipal, acompanhada pelo expressivo crescimento da cafeicultura, de 9,61% para 30,13%. A pastagem, embora tenha apresentado redução relativa, permaneceu como a classe predominante em 2025, representando 40,85% do território. Esses resultados evidenciam a consolidação do mercado agropecuário ao longo das últimas décadas, associado à fragmentação e à redução da cobertura florestal originalmente vinculada à Mata Atlântica.

A análise dos conflitos de uso do solo em APPs e AURs reforçou que a formação florestal teve redução de 14,55 km², em 1985, para 7,82 km², em 2025, enquanto a área ocupada pelo café aumentou de 3,82 km² para 11,43 km².

Considerando a formação florestal como condição de preservação e as demais classes como conflito, verificou-se o aumento da área conflitante de 65,65% para 81,49% no período analisado. Os resultados demonstram, portanto, que os usos agropecuários, especialmente a cafeicultura e a pastagem, constituem os principais usos incidentes sobre as áreas ambientalmente protegidas e de uso restrito delimitadas.

Embora o município não apresente UCs instituídas em seu território, sua proximidade com unidades localizadas no entorno e sua inserção em zonas de amortecimento e de transição da RMBA evidenciam sua relevância no contexto regional de conservação.

Do ponto de vista da gestão territorial, os resultados apontam limitações relacionadas à implementação dos instrumentos de planejamento, fiscalização e controle ambiental. A ausência de Plano Diretor Municipal e de legislação específica de uso e cobertura da terra, associada à limitada efetividade dos instrumentos ambientais existentes no município, pode favorecer a ocupação inadequada de encostas e de áreas ambientalmente sensíveis.

A não adesão à municipalização do licenciamento ambiental restringe a atuação municipal no controle de atividades e empreendimentos potencialmente causadores de impactos ambientais locais de pequeno e médio impacto.

Diante desse contexto, torna-se necessário fortalecer o planejamento territorial e a gestão ambiental municipal, especialmente por meio da efetiva aplicação dos instrumentos legais, do aprimoramento da fiscalização e do controle das atividades desenvolvidas em áreas destinadas à preservação ambiental.

A conservação dos remanescentes de Mata Atlântica, além de sua importância ecológica, apresenta potencial para contribuir com estratégias de valorização ambiental e desenvolvimento de atividades econômicas associadas aos recursos naturais, como o turismo.

Como perspectiva para trabalhos futuros, recomenda-se aprofundar a análise das áreas rurais consolidadas até 22 de julho de 2008, considerando a permissividade parcial do CFB em relação à ocupação de APPs nestas áreas. Essa abordagem poderá complementar os resultados obtidos neste estudo e contribuir para uma avaliação mais precisa da situação das áreas ocupadas e das possibilidades de regularização ambiental no município.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRIL. **Biosfera: Código florestal. Guia do Estudante**. São Paulo, fev. 2018. Disponível em: <https://guiadoestudante.abril.com.br/curso-enem/codigo-florestal-nova-lei-regulamenta-o-uso-da-terra-no-brasil/>. Acesso em: 10 maio 2026.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Modelo Digital de Elevação (MDE) de moderada resolução espacial (células de 10m) da Bacia do Rio Doce**. Brasília: ANA. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/b4cfe37d-467c-4b67-8aaa-841b4081925b>. Acesso em: 30 maio 2026.
- ALMEIDA, D. S. Plano de recuperação de áreas degradadas (PRAD). *In: Recuperação ambiental da Mata Atlântica*. 3 ed. rev. Ilhéus, BA: Editus, 2016. p. 140-158. Disponível em: <https://books.scielo.org/id/8xvf4/pdf/almeida-9788574554402-10.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2026.
- AMORIM, R. M.; ALBARICI, F. L.; PINO, M. A. I. T. del. Mapa digital do escoamento superficial por meio de imagens de sensor remoto na sub-bacia do Rio Moji Guaçu - MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 09, n. 03, p. 881-896, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233726>. Acesso em: 5 jun. 2026.
- ANTUNES, P. B. Código Florestal e Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação: normatividades autônomas. **Revista de Direito Administrativo**. Rio de Janeiro, v. 265, p. 87-109, jan./abr. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.12660/rda.v265.2014.18913>. Acesso em: 19 maio 2026.
- BARÃO, W. N. **Análise temporal da degradação ambiental e do conflito de uso do solo no município de Senador Amaral**, Minas Gerais. 2020. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2020.
- BARROS, M. A. **Geotecnologias como contribuição ao estudo do Agroecossistema cafeeiro de Minas Gerais em nível municipal**. 2006. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2006.
- BRASIL. Decreto nº 23.793, de 23 de janeiro de 1934. Aprova o código florestal que com este baixa. **Diário Oficial da República dos Estados Unidos do Brasil**. Poder Executivo, Rio de Janeiro, 9 fev. 1934. Seção 1, p. 2.882-2.887.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 1997.
- BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o código florestal. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 16 set. 1965.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e

7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF: 28 maio 2012.

BRASIL. Lei nº 14.285, de 29 de dezembro de 2021. Altera as Leis nos 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, 11.952, de 25 de junho de 2009, que dispõe sobre regularização fundiária em terras da União, e 6.766, de 19 de dezembro de 1979, que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, para dispor sobre as áreas de preservação permanente no entorno de cursos d'água em áreas urbanas consolidadas. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 30 dez. 2021.

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA). **Painel de Indicadores**. Brasília: Ministério das Cidades, 2024. Disponível em: <https://indicadores-sinisa-2025.cidades.gov.br/>. Acesso em: 2 jun. 2026.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar. **Com maior safra de conilon, produção de café é estimada em 56,5 milhões de sacas em 2025**. Brasília: 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/assuntos/noticias/com-maior-safra-de-conilon-producao-de-cafe-e-estimada-em-56-5-milhoes-de-sacas-em-2025>. Acesso em: 15 abr. 2026.

CALIL, P. M. *et al.* Caracterização geomorfométrica e do uso do solo da bacia hidrográfica do Alto Meia Ponte, Goiás. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 16, n. 4, p. 433-442, 2012.

CÂMARA, G. *et al.* **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. INPE/DPI, Rio de Janeiro, 1996. 205 p. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/anatomia.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2026.

CAMPANHA, G. F. *et al.* Uso de imagens Landsat-8 no mapeamento das lavouras cafeeiras nos municípios do entorno do Parque Nacional do Caparaó. **Vértices**, Campos dos Goytacazes, v. 20, n. 1, p. 6-17, 2018. Disponível em: DOI: 10.19180/1809-2667.v20n12018p6-17. Disponível em: <https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/vertices/article/view/8322>. Acesso em: 1 jun. 2026.

CÂNDIDO, A. K. A. A.; SILVA, N. M. da; BARBOSA, D. S. Dinâmica espacial e temporal do uso do solo e índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em setor de cabeceira do Rio São Lourenço, Campo Verde, MT. **Ra'e Ga: o Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, v. 33, p. 94-119, abr. 2015. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/36338>. Acesso em: 1 jun. 2026.

CAPUCIN, Bruno César *et al.* **Onda de Frio Histórica no Brasil: um Estudo de Caso de Junho de 1985**. Anuário do Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, v. 45, 2022. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/40761>. Acesso em: 24 ago. 2026

CLIMATEMPO. **Climatologia e histórico de previsão do tempo em Caputira, BR**. 2026. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/3641/caputira-mg>. Acesso em: 23 jun. 2026.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRANGA (CBH Piranga). **Plano Municipal de Saneamento Básico - Caputira, MG**. Produto 8: Relatório Final. Ponte Nova, MG: CBH Piranga; Governador Valadares, MG: IBIO, 2015. 234 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). **Acompanhamento da safra brasileira de café. Safra 2025**, n. 4., v. 12. Brasília: Conab, 2025a. 59 p.

CONCEIÇÃO, R.S.; COSTA, V. C. da. **Cartografia e geoprocessamento**. v. 1. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2013a. 241 p. Disponível em: <https://canal.cecierj.edu.br/recurso/3376>. Acesso em: 8 jun. 2026.

CONCEIÇÃO, R. S.; COSTA, V. C. da. **Cartografia e geoprocessamento**. v. 2. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2013b. 264 p. Disponível em: <https://canal.cecierj.edu.br/recurso/13910>. Acesso em: 27 maio 2026.

COSTA, G. R. S. **Análise multitemporal do uso e cobertura da terra através de ferramentas de geoprocessamento no município de Santo Antônio Do Tauá/PA**. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Belém, PA, 2019. Disponível em: <https://bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/1419>. Acesso em: 31 maio 2026.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). Serviço Geológico do Brasil. **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa: Caputira, MG**. Belo Horizonte: CPRM, 2014. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/19265>. Acesso em: 2 jul. 2026.

CPRM. **Mapa Geodiversidade do Estado de Minas Gerais**. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. Belo Horizonte, 2010. 131 p. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/items/b65c7376-e1e6-4177-957e-8ea6e2e9482a/full>. Acesso em: 20 jul. 2026.

CRAWFORD, C. J. *et al.* **The 50-year Landsat collection 2 archive. Science of Remote Sensing**, vol. 8, 2023. ISSN 2666-0172. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.srs.2023.100103>. Acesso em: 3 jun. 2026.

CRUZ, V. P.; LUIZ, G. C.; NASCIMENTO, D. T. F. Análise morfométrica e dinâmica de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite: insumos para avaliação da infiltração e escoamento superficial. **Revista Territorial**, v. 12, n. 01, p. 19-51, 2023. Disponível em: <https://revista.ueg.br/index.php/territorial/article/view/13814>. Acesso em: 23 maio 2026.

DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIOECONÔMICO (DIEESE). **Valor Adicionado Bruto por Setores de Atividade Econômica (em R\$1.000): Municípios - Ano 2021**. Observatório do Trabalho do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: DIEESE, 2021. Disponível em: <https://minasgerais.dieese.org.br/ws2/tabela/minas/valor-adicionado-bruto-por-setores-de-atividade-economica-em-r-1000>. Acesso em: 2 jul. 2026.

Environmental Systems Research Institute (ESRI). **Compute Confusion Matrix (Spatial Analyst Tools)**. ArcGIS Pro 3.7 2022. Disponível em: <https://doc.esri.com/en/arcgis-pro/latest/tool-reference/spatial-analyst/compute-confusion-matrix.html?tabs=dialog>. Acesso em 19 ago. 2026.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**. Súmula da 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83 p. (EMBRAPA-SNLCS. Miscelânea, 1).

FARIA, M. M. **Distribuição espacial do café na região das matas de Minas**. 2015. 78p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 2015.

FERREIRA, L. G. **O uso do condicionamento de MDE para correção da discretização de bacias hidrográficas no modelo MGB**. 2022. 45 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto Federal Goiano, Câmpus Rio Verde, Rio Verde, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/2599>. Acesso em: 14 jun. 2026.

FERREIRA, W. H. K. *et al.* Evolução do uso e cobertura da terra e conflitos em APPs da bacia hidrográfica do Ribeirão Três Bocas (PR) entre os anos de 1985 e 2023. **Revista de Geografia**, 2026. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/geografia/article/view/45975>. Acesso em: 27 ago. 2026.

FITZ, P. R. **Cartografia básica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008a. 143 p. ISBN 978-85-86238-76-5.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008b. 160 p. ISBN 978-85-86238-82-6.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina dos Textos, 2011. ISBN 978 -85-7975-016-8.

FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (FBDS). **Mapeamento do Uso do Solo, da Hidrografia e das Áreas de Preservação Permanente: Caputira, MG**. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://www.geo.fbds.org.br/MG/CAPUTIRA/>. Acesso em: 4 jul. 2026.

GARCIA, M. C. P. **A aplicação do sistema de informações geográficas em estudos ambientais**. 1. ed. Curitiba: Intersaberes, 2014. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 6 jun 2026.

GHORAI, D., BHUNIA, G.S., SHIT, P.K. Automatic Strahler's Stream Order Computing on Digital Stream Network Dataset. 2022. *In: Drainage Basin Dynamics. Geography of the Physical Environment. Springer*. Cham. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-79634-1_18. Acesso em: 15 jun. 2026.

GONÇALVES, J. L. G.; FRANCISCO, P. R. M.; VIEIRA, E. N. de L. Identificação de áreas degradadas através de técnicas de detecção de mudanças. *In: Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação (CONNEPI)*, 8., 2013, Salvador. **Anais**. Salvador: [s. n.], 2013.

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. **Degradação dos solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.

HAMADA, E.; GONÇALVES, R. R. do V. **Introdução ao geoprocessamento: princípios básicos e aplicação**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2007. 52 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/15316>. Acesso em: 8 jun. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Caputira. *In: Panorama - Cidades e Estados. Rio de Janeiro*, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/caputira/panorama>. Acesso em: 17 jun. 2026.

IBGE. **Censo Agropecuário 2017: resultados definitivos - Caputira (MG)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/caputira/pesquisa/24/76693>. Acesso em: 1 jul. 2026.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 272 p.

IBGE. **Mapa de clima do Brasil**. 2002. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/climatologia/15817-clima.html>. Acesso em: 26 jun. 2026.

IBGE. **Mapa de vegetação do Brasil**. 3. ed. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências, 2004.

IBGE. **Folha SF23: Vegetação. Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil, escala 1:250.000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/vegetacao/. Acesso em: 20 jul. 2026.

IBGE. **Produção agrícola municipal 2024 – Caputira (MG)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/caputira/pesquisa>. Acesso em: 30 jun. 2026.

INACIO, G. de O. **Mapeamento do uso e ocupação do solo utilizando imagens WPM/CBERS-4A, MSI/SENTINEL-2 e OLI/LANDSAT-8 para o município de Seropédica, RJ**. 2022. Monografia – Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2022. Disponível em: <http://repositorio.im.ufrj.br:8080/jspui/handle/1235813/5767>. Acesso em: 7 abr. 2026.

LANDIS, J. R.; KOCH G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, 1977, vol. 33, p. 159-174. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2529310>. Acesso em: 10 jun. 2026.

LISBOA, L. *et al.* Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado (MDEHC) e Caracterização Morfométrica da Bacia do rio Branco - RR. *In: XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 2015, Brasília. **Anais**. Brasília: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2015.

LISBOA, F. M. *et al.* Indicadores de qualidade de Latossolo relacionados à degradação de pastagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1184-1193. Brasília, set. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900018>. Acesso em: 3 ago. 2026.

MAIA, L. C. Repercussões da Lei Federal nº 14.285/2021 e a nova disciplina normativa acerca das áreas de preservação permanente no entorno de cursos d'água em áreas urbanas consolidadas. Informação técnico-jurídica CEPJHU 2474271. 2022. *In: Coletânea técnico-jurídica: habitação e urbanismo no MPMG*. Belo Horizonte, 2024. p. 179-189.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de; SANO, E. E. **Processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2025. E-book (420 p.). Disponível em: <https://livros.unb.br/index.php/portal/catalog/book/668>. Acesso em: 24 maio 2026.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Copam nº. 217, de 06 de dezembro de 2017. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, bem como os critérios locacionais a serem utilizados para definição das modalidades de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais no Estado de Minas Gerais e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, MG, 8 dez. 2017.

MINAS GERAIS. Lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013. Dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado. **Diário Oficial do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 17 out. 2013.

MINAS GERAIS. Resolução Conjunta SEMAD/FEAM/IEF/IGAM nº 3.147, de 7 de junho de 2022. Dispõe sobre a Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos e seu Comitê Gestor e estabelece o trâmite para o encaminhamento de dados geoespaciais digitais vetoriais e suas especificações técnicas, e dá outras providências. **Diário do Executivo**, “Minas Gerais”, Belo Horizonte, 14 jun. 2022.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 425 p. ISBN 978-85-7383-481-9

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 476 p.

MOREIRA, M. A.; ADAMI, M.; RUDORFF, B. F. T. Análise espectral e temporal da cultura do café em imagens Landsat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 3, p. 223-231, mar. 2004.

MOREIRA, G. F *et al.* Classificação Automatizada do Uso e Cobertura do Solo a Partir de Imagens Landsat. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 58–65, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/232818>. Acesso em: 11 jun. 2026.

MOURA, B. F. Agro cresce 11,7%, impulsiona PIB e ganha participação na economia. **Agência Brasil**, Brasília, mar. 2026. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2026-03/agro-cresce-117-impulsiona-pib-e-ganha-participacao-na-economia>. Acesso em: 15 jun. 2026.

MUNHOZ, L. Código Florestal e Lei Da Mata Atlântica. Relatório Jurídico. **FGV Agro**. Observatório de Conhecimento e Inovação em Bioeconomia (OCBIO), set. 2024. Disponível

em: <https://agro.fgv.br/publicacao/relatorio-juridico-codigo-florestal-e-lei-da-mata-atlantica>. Acesso em: 19 maio 2026.

OLIVEIRA, G. C.; FERNANDES FILHO, E. I. Metodologia para delimitação de APPs em topos de morros segundo o novo Código Florestal brasileiro utilizando sistemas de informação geográfica. **Anais. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, 2013, INPE.

PARANHOS FILHO, A. C. *et al.* **Geotecnologias para aplicações ambientais**. Maringá, PR: Uniedusul, 2021. ISBN: 9786586010626.

PAZ, A. R. da. **Modelos Digitais de Elevação para Estudos Ambientais**. Porto Alegre: ABRHidro, 2024. 420 p. ISBN: 978-85-88686-50-2.

PILATTI, H. S.C. **Inteligência geoespacial aplicada ao planejamento e à gestão da bacia hidrográfica do Rio Montividiu, Sudoeste Goiano**. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano), Campus Rio Verde, Rio Verde, 2022.

PROCHMANN, J. R. **Análise espacial da susceptibilidade à inundações na Bacia Hidrográfica do Córrego Grande, Florianópolis – SC**. 2014. 91 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

REDE BRASILEIRA DE RESERVAS DA BIOSFERA. **Reserva da Biosfera da Mata Atlântica**. [20--]. Disponível em: <https://reservasdabiosfera.org.br/reserva/rb-mata-atlantica/>. Acesso em: 22 maio 2026.

ROUSE, J. W. *et al.* **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium, 1973, Washington, D.C. 1973. p.309-317.

SANTIAGO, C. M. D *et al.* Arranjo Espacial da Bacia Hidrográfica do Rio São Nicolau - Piauí a partir da Análise Morfométrica e dos Aspectos Ambientais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 402–421, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233250>. Acesso em: 14 jun. 2026.

SHEKAR, P. R.; MATHEW, A. Morphometric analysis of watersheds: a comprehensive review of data sources, quality, and geospatial techniques. **Watershed Ecology and the Environment**, v. 6, p. 13-25, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wsee.2023.12.001>. Acesso em: 13 jul. 2026.

SOUSA, D. G.; MINCATO, R. L.; KAWAKUBO, F. S. Análise multitemporal do uso da terra utilizando imagens Landsat-5 TM da região de Alfenas, Sul de Minas Gerais, visando a conservação de fragmentos florestais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 5, p. 1482-1492, 2015.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Eos, Transactions American Geophysical Union**. AGU, 1957, v. 38(6), p. 913–920. DOI: 10.1029/TR038i006p00913. Disponível em:

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/TR038i006p00913>. Acesso em: 10 jul. 2026.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Landsat Collection 2**. Landsat Missions. [2020]. Disponível em: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2>. Acesso em: 3 jun. 2026.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV) *et al.* **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente**, 2010. Disponível em: <https://dps.ufv.br/software/>. Acesso em: 18 jul. 2026.

USGS. **Spectral Bandpasses for all Landsat Sensors**. Landsat Missions. 20 maio 2026. Disponível em: <https://www.usgs.gov/media/images/spectral-bandpasses-all-landsat-sensors>. Acesso em: 3 jun. 2026.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

WANDERER, C. A. **Identificação de áreas degradadas por meio do Índice de Diferença Normalizada da Vegetação (NDVI)**. 2017. 76 f. Monografia (Pós-graduação Lato Sensu em Análise Ambiental e Desenvolvimento Sustentável) - Instituto CEUB de Pesquisa e Desenvolvimento, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2017.