



UFOP



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas – Departamento de Engenharia Ambiental

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental



Thainá Leão de Souza Fernandes

**ANÁLISE DOS RECURSOS HÍDRICOS E DO USO E DA COBERTURA DO SOLO
DAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS QUE SE SOBREPÕEM AO TERRITÓRIO
OURO-PRETANO**

Ouro Preto

2024

**ANÁLISE DOS RECURSOS HÍDRICOS E DO USO E DA COBERTURA DO SOLO
DAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS QUE SE SOBREPÕEM AO TERRITÓRIO
OURO-PRETANO**

Thainá Leão de Souza Fernandes

Trabalho Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheira Ambiental na Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação: 18/07/2024

Orientador: Prof. D.Sc. Alberto Fonseca–UFOP

Ouro Preto

2024

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

F363a Fernandes, Thaina Leao de Souza.

Análise dos recursos hídricos e do uso e da cobertura do solo das sub-bacias hidrográficas que se sobrepõem ao território ouro-pretano. [manuscrito] / Thaina Leao de Souza Fernandes. - 2024.

90 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Alberto de Freitas Castro Fonseca.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Ambiental .

1. Sistemas de informação geográfica. 2. Cobertura dos solos. 3. Solo - Uso. I. Fonseca, Alberto de Freitas Castro. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 502

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza - SIAPE: 1.763.787



FOLHA DE APROVAÇÃO

Thainá Leão de Souza Fernandes

Análise dos Recursos Hídricos e do Uso e da Cobertura do Solo das Sub-bacias Hidrográficas que se Sobrepõem ao Território Ouro-pretano

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Ambiental

Aprovada em 18 de Julho de 2024

Membros da banca

Prof. Dr. Alberto de Freitas Castro Fonseca - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto
Profa. Dra. Ana Letícia Pilz de Castro - Universidade Federal de Ouro Preto
Profa. Dra. Lívia Cristina Pinto Dias - Universidade Federal de Ouro Preto

Alberto de Freitas Castro Fonseca, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 17/10/2024



Documento assinado eletronicamente por **Alberto de Freitas Castro Fonseca, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/10/2024, às 13:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0796550** e o código CRC **72DA7ABB**.

Dedico este trabalho ao meu padrinho, Marcos
Leão e, à minha mãe, Andréa Leão.

AGRADECIMENTOS

De todo o tempo do universo, de todas as galáxias e todas as probabilidades possíveis e impossíveis, nasci neste pequeno grande planeta água, em que a matéria não só resiste como vive e pulsa. Agradeço primeiramente ao acaso universal pulsante, à minha mãe, Andréa, e ao meu pai, Luciano, que me permitiram pulsar também. À mãe natureza, à Deus e a todas leis universais mantém a vida. Agradeço também a todas as águas que me lavaram de corpo e alma, principalmente no processo de materializar este trabalho. Agradeço à Camila, quem deu vazão às várias cachoeiras de pensamento da minha mente acelerada e turbulenta neste processo. Agradeço à Milena, que pegou na minha mão e mergulhou comigo, me mostrando do raso ao profundo, me dando confiança e por fim lapidando tudo o que foi feito. Agradeço à professora Lívia por prontamente me explicar e direcionar para o encerramento da etapa universitária.

À família Leão, que me apoiou incondicionalmente durante toda essa longa jornada. Em especial, ao meu irmão Luã, por me levantar todas as muitas vezes em que caí e quis desistir da engenharia. À Teka, por me apresentar a engenharia e toda a sua formidável beleza. Ao Tio Vernon e ao Tio Marcos, por serem exemplos quanto ao posicionamento político, social e moral e sempre dedicados ao eterno aprender da vida. À Tia Pati, por tanta doçura e determinação. A todos os primos por toda a força, as risadas e os compartilhamentos de suas vivências acadêmicas e profissionais. Ao tio Julho e ao tio Vitor, por mostrarem o lado louco da vida. Ao meu irmão Luca agradeço a sua existência, que me impulsiona a ser exemplo, força e perseverança. À minha madrinha, Dra. Roberta, o crânio da família, mãe e mulher forte e determinada.

À família Fernandes, que, mesmo de longe, está torcendo e vibrando por mim. Às minhas amigas agradeço por serem essa rede de mulheres que, em Brasília, em Minas, no Rio e em tantos outros lugares, estão sempre me elevando à máxima potência. Aos meus amigos, pela escuta e pelo acolhimento, por serem porto seguro nos dias de tempestade.

Ao DEAMB agradeço por tanto conhecimento compartilhado, ao ICEB e EM, lugar onde vivi os momentos mais desafiadores e incríveis da minha vida. Ao PET Ambiental e ao professor Aníbal, por tanta liberdade e incentivo para o grupo. Ao LQOA, em especial à Luísa e ao Jorge, CAEA, ENEEA e todas as oportunidades de discutir e aprender ciência fora de sala de aula. À turma do 16.2 agradeço por juntos termos feito acontecerem muitas noites de

festa, mas também muitas noites e dias de estudos, parceria e aprendizado. Ao Leonardo a quem tivemos longas conversas sobre geoprocessamento e esteve inteiramente disponível a ajudar.

À Aperam, em especial à Susana, por ter tornado o meu estágio uma imersão completa, incrível e inesquecível no mundo da engenharia ambiental, por ser tão humana, competente e íntegra e por alinharmos tão bem nossos valores e nossas competências. Eu vivi dias dourados na usina. Também agradeço a todo o time do Meio Ambiente: Robson, Rodrigo, Ricardo, Jorge e Marco Aurélio foram uma família de mestres em Timóteo e essenciais na minha formação como engenheira.

Por fim, agradeço ao ensino público de qualidade, à UFOP e à universalização do conhecimento superior técnico e científico. Agradecemos ao CNPq, tendo em vista que esse trabalho foi orientado pelo professor Alberto Fonseca, no contexto do projeto "Avaliação da efetividade de políticas ambientais por meio de sistemas locais de informação", que é financiado pelo CNPq (311990/2021-5). A todas as vivências, às amizades, aos aprendizados e às alegrias vividas na universidade. Agradeço a todas as bibliotecas, aos laboratórios e aos espaços que foram facilitadores na minha formação. Eu fui realmente muito feliz nesse processo de graduação, e a Universidade também é viva e pulsa.

RESUMO

Neste trabalho pretendeu-se reunir informações sobre a evolução do uso e ocupação do solo juntamente com as condições dos recursos hídricos a partir da delimitação das sub-bacias do município ouro-pretono. A partir de uma pesquisa bibliográfica, foram reunidas diversas informações e utilizou-se o software QGis para geoprocessamento das informações. Foram delimitadas 15 sub-bacias hidrográficas Ottocodificadas, pertencentes às bacias do Rio Doce e do Rio São Francisco. A qualidade da água nas sub-bacias de Ouro Preto é classificada como média, mas períodos de má qualidade são observados nas sub-bacias do Rio Maracujá, Rio Preto e Ribeirão Soledade. O uso do solo está em rápida transformação em Ouro Preto, em razão do aumento da mineração, da agropecuária e de outras atividades.

Palavras-chave: SIG. IQA. Uso e cobertura do solo. Análise temporal. Ouro Preto.

ABSTRACT

In this work, the aim was to gather information on the evolution of land use and occupation alongside the conditions of water resources, based on the delineation of sub-basins in the municipality of Ouro Preto. Through a bibliographic survey, various pieces of information were compiled, and the QGIS software was used for geoprocessing the data. A total of 15 hydrographic sub-basins were delineated, which are coded and belong to the basins of the Doce River and the São Francisco River. The water quality in the sub-basins of Ouro Preto is classified as average, although periods of poor quality are observed in the sub-basins of the Maracujá River, Preto River, and Ribeirão Soledade. Land use in Ouro Preto is undergoing rapid transformation due to the increase in mining, agriculture, and other activities.

Keywords: GIS. WQI. Land use and cover. Temporal analysis. Ouro Preto.

LISTA DE MAPAS

Mapa 01 – Área de estudo, município de Ouro Preto, MG.....	17
Mapa 02 – Sub-bacias hidrográficas de Ouro Preto e pontos de medição de IQA.....	33
Mapa 03 – Classificação climática de Köppen-Geiger para as sub-bacias hidrográficas de Ouro Preto.....	35
Mapa 04 – Declividade das sub-bacias hidrográficas de Ouro Preto, MG.....	36
Mapa 05 – Tipos de solos nas sub-bacias hidrográficas de Ouro Preto, MG.....	38
Mapa 06 – UPGRHs pertencentes ao município de Ouro Preto, MG.....	43
Mapa 07 – Delimitação das APPs nas sub-bacias de Ouro Preto.....	48
Mapa 08 – Densidade de outorgas e uso insignificante das sub-bacias de Ouro Preto.....	50
Painel de mapas 01 – Níveis 3 e 4 de ottocodificação inseridos no município de Ouro Preto.	40
Painel de mapas 02 – Níveis 5 e 6 de ottocodificação inseridos no município de Ouro Preto.	41
Painel de mapas 03 – Sub-bacia hidrográfica do Rio Mata Porcos, Ouro Preto, MG.....	56
Painel de mapas 04 – Sub-bacia hidrográfica do Rio Burnie e Ribeirão Colônia, Ouro Preto, MG.....	59
Painel de mapas 05 – Sub-bacia hidrográfica do Rio Maracujá, Ouro Preto, MG.....	61
Painel de mapas 07 – Sub-bacia hidrográfica do Rio Piracicaba, Ouro Preto, MG.....	65
Painel de mapas 08 – Sub-bacia hidrográfica do Pires Velho, Ouro Preto, MG.....	67
Painel de mapas 09 – Sub-bacia hidrográfica do Rio Mainart, Ouro Preto, MG.....	69
Painel de mapas 10 – Sub-bacia hidrográfica do Rio do Carmo, Ouro Preto, MG.....	71
Painel de mapas 11 – Sub-bacia hidrográfica do Córrego Bandeira, Ouro Preto, MG.....	73
Painel de mapas 12 – Sub-bacia hidrográfica do Rio Gualaxo do Norte, Ouro Preto, MG.....	75
Painel de mapas 13 – Sub-bacia hidrográfica do Córrego Mango, Ouro Preto, MG.....	77
Painel de mapas 14 – Sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Moreira, Ouro Preto, MG.....	79
Painel de mapas 16 – Sub-bacia hidrográfica do Córrego dos Cardosos, Ouro Preto, MG.....	82

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 01 – Classificação do uso e da ocupação do solo MapBiomias.....	19
Quadro 02 – Classes das águas doces de acordo com a Resolução CONAMA n. 357.....	29
Quadro 03 – Classes do índice de qualidade da água e seu significado.....	31
Tabela 01 – Pesos atribuídos aos parâmetros para o cálculo do IQA.....	30
Tabela 02 – Distribuição da declividade nas sub-bacias hidrográficas de Ouro Preto, MG.....	36
Tabela 03 – Distribuição dos tipos de solo nas sub-bacias hidrográficas de Ouro Preto, MG.	37
Tabela 04 – Enquadramento, quantidade e vazão anual de outorgas e uso insignificante das sub-bacias de Ouro Preto.....	42

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Análise temporal entre 2003 e 2021 do uso e da ocupação do solo das sub-bacias de Ouro Preto, MG.....	47
Gráfico 02 – Diagrama de Sankey da transformação dos usos e das ocupações do solo na área do município de Ouro Preto entre 2000 e 2021.....	48
Gráfico 03 – Proporção de uso e ocupação dos solos nas sub-bacias pertencentes a Ouro Preto no ano de 2003	49
Gráfico 04 – Proporção de uso e ocupação dos solos nas sub-bacias pertencentes a Ouro Preto no ano de 2021.....	49
Gráfico 05 – Vazão outorgada nas sub-bacias de Ouro Preto.....	44
Gráfico 06 – Vazão uso insignificante nas sub-bacias de Ouro Preto.....	45
Gráfico 07 – Frequência de ocorrência de IQA anual nas sub-bacias hidrográficas de Ouro Preto, MG.....	52
Gráfico 08 – IQA nas sub-bacias do Rio São Francisco em Ouro Preto, de 2003 a 2021.....	54
Gráfico 09 – IQA nas sub-bacias do Rio São Francisco em Ouro Preto, de 2003 a 2021.....	55
Gráfico 10 – IQA nas sub-bacias do Rio Doce em Ouro Preto.....	55
Gráfico 11 – Frequência de ocorrência de IQA anual na sub-bacia hidrográfica do Rio Mata Porcos, Ouro Preto, MG.....	58
Gráfico 12 – Frequência de ocorrência de IQA anual na sub-bacia hidrográfica do Rio Burnier e Colônia, Ouro Preto, MG.....	61
Gráfico 13 – Frequência de ocorrência de IQA anual na sub-bacia hidrográfica do Rio Mata Porcos, Ouro Preto, MG.....	63
Gráfico 14 – Frequência de ocorrência de IQA anual na sub-bacia hidrográfica do Rio Mata Porcos, Ouro Preto, MG.....	65

LISTA DE SIGLAS

AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APP	Área de Preservação Permanente
BHO	Base Hidrográfica Ottocodificada
CBH	Comitê da bacia hidrográfica
CERH/MG	Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais
CETEC	Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DNOS	Departamento Nacional de Obras e Saneamento
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IQA	Índice de qualidade da água
MDE	Modelo Digital de Elevação
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
QUALIÁGUA	Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade da Água
UPGRH	Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos
USGS	United States Geological Survey
UTE	Unidades Territoriais Estratégicas

SUMÁRIO

1.1 Apresentação.....	15
1.2 Objetivo geral.....	15
1.3 Objetivos específicos.....	16
2 METODOLOGIA.....	17
2.1 Área de estudo.....	17
2.2 Delimitação das bacias hidrográficas e manipulação de dados espaciais.....	18
2.3 Clima, relevo e solos.....	18
2.4 Uso e ocupação do solo.....	19
2.5 Área de Preservação Permanente.....	20
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	22
3.1 Gestão de recursos hídricos no Brasil.....	22
3.2 Bacia hidrográfica, sub-bacia e microbacia.....	23
3.2.1 OTTOCODIFICAÇÃO.....	26
3.2.2 COMITÊS DA BACIA HIDROGRÁFICA.....	27
3.2.3 OUTORGAS.....	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1 Delimitação das sub-bacias hidrográficas e pontos de medição do IQA.....	31
4.2 Clima, relevo e solos.....	33
4.3 Bacias hidrográficas ottocodificadas no município de Ouro Preto.....	37
4.4 Comitês da bacia hidrográfica em Ouro Preto, outorgas e classes dos rios.....	40
4.5 Outorgas e uso insignificante.....	42
4.6 Uso e ocupação do solo.....	45
4.7 Estimativa preliminar das potenciais Áreas de Preservação Permanente de cursos	

d'água.....	50
4.8 Resultados dos IQAs e do uso e da cobertura do solo das sub-bacias.....	52
4.8.1 <i>TERRITÓRIO MUNICIPAL DE OURO PRETO.....</i>	52
4.8.2 <i>BH RIBEIRÃO MATA PORCOS.....</i>	55
4.8.3 <i>BH RIBEIRÃO SOLEDADE (BH BURNIE E COLÔNIA).....</i>	58
4.8.4 <i>BH RIO MARACUJÁ.....</i>	61
4.8.5 <i>BH RIO DAS VELHAS.....</i>	63
4.8.6 <i>BH RIO PIRACICABA.....</i>	65
4.8.7 <i>BH RIO PRETO (BH PIRES VELHO).....</i>	67
4.8.8 <i>BH RIO MAINART.....</i>	69
4.8.9 <i>BH DO RIO DO CARMO.....</i>	71
4.8.10 <i>BH Córrego BANDEIRA.....</i>	73
4.8.11 <i>BH RIO GUALAXO DO NORTE.....</i>	74
4.8.12 <i>BH Córrego MANGO.....</i>	77
4.8.13 <i>BH RIBEIRÃO MOREIRA.....</i>	79
4.8.14 <i>BH Córrego BOCAINA NEGRA.....</i>	80
4.8.15 <i>BH Córrego DOS CARDOSOS.....</i>	82
5 CONCLUSÃO.....	84
REFERÊNCIAS.....	86

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

O município de Ouro Preto apresenta um desafio singular quando se trata de caracterizar sua rede hidrográfica, onde se encontra a nascente do Rio das Velhas na cachoeira das Andorinhas, o maior afluente da bacia hidrográfica Rio São Francisco e, também, onde nasce o Rio Piracicaba, afluente da bacia do Rio Doce. A complexidade geográfica das bacias hidrográficas no município demanda uma abordagem metódica capaz de avaliar os aspectos quantitativos, que descrevem as características físicas e geográficas, e também os qualitativos, que descrevem as características químicas e ambientais das bacias hidrográficas.

As bacias hidrográficas são áreas delimitadas que interagem de forma integrada em aspectos como topografia, vegetação, uso da terra, qualidade da água, presença de ecossistemas aquáticos, e os impactos das atividades humanas são cruciais para compreender a complexidade das bacias em um contexto que desafia as fronteiras políticas do município de Ouro Preto.

Neste estudo, busca-se detalhar informações dentro do território de Ouro Preto, com o intuito de possibilitar uma visão holística das características naturais e humanas que influenciam a gestão da água e a conservação dos recursos naturais da região. Essa abordagem integrada é essencial para a tomada de decisões e a promoção da sustentabilidade ambiental da região.

1.2 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo principal analisar a hidrografia, a qualidade da água superficial e a cobertura e o uso do solo das sub-bacias hidrográficas que se sobrepõem ao território do município de Ouro Preto, Minas Gerais (MG).

1.3 Objetivos específicos

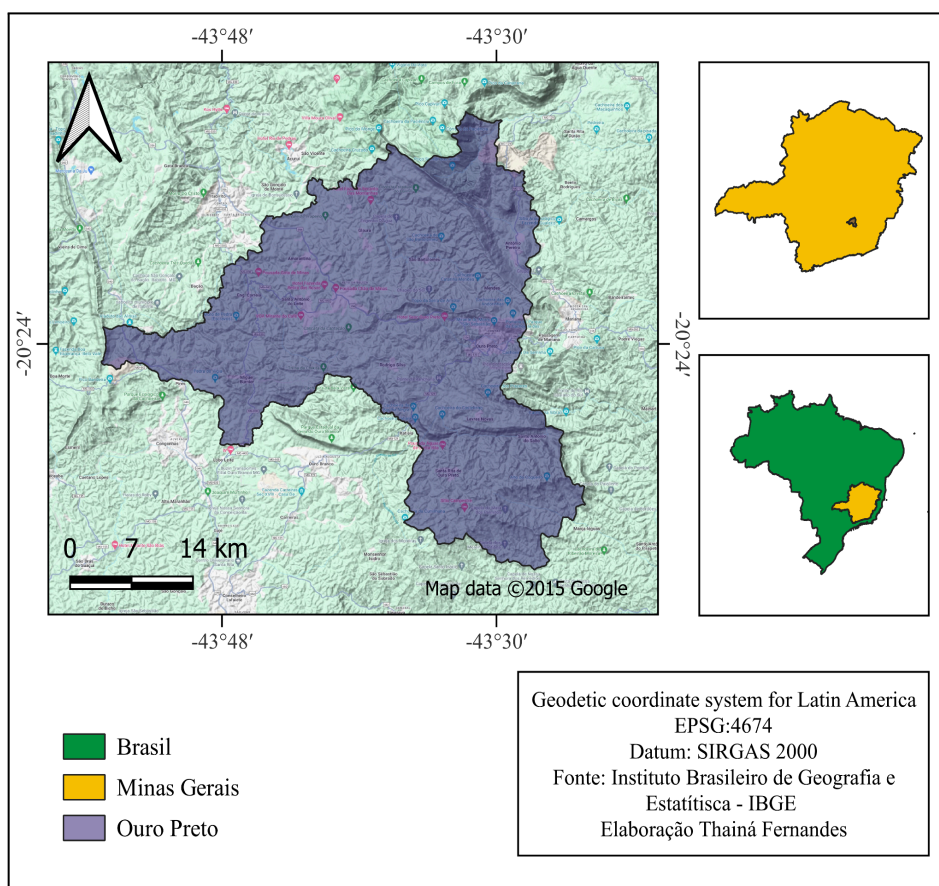
- Identificar, caracterizar e espacializar as principais sub-bacias que se sobrepõem ao território ouro-pretano.
- Caracterizar e espacializar a hidrografia (rios, córregos e cursos d'água) das sub-bacias identificadas.
- Identificar e analisar os resultados dos monitoramentos do índice de qualidade da água (IQA) superficial do território ouro-pretano.
- Explorar e discutir as correlações entre os resultados da qualidade físico-química da água e o uso e a ocupação do solo nas sub-bacias.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A área de estudo é o município de Ouro Preto, localizado na porção centro-sul do estado de Minas Gerais, a aproximadamente 90 quilômetros da capital mineira, Belo Horizonte, na latitude $20^{\circ}23'S$ e longitude $43^{\circ}30'W$ (Mapa 01). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a área territorial do município é de $1.245,865 \text{ km}^2$ (2022) e a área urbanizada é de $22,9 \text{ km}^2$ (2019), com população estimada em 74.824 pessoas (2021) e densidade demográfica municipal de $60,06 \text{ hab/km}^2$ (2022).

Mapa 01 – Área de estudo, município de Ouro Preto, MG



Fonte: elaboração própria.

2.2 Delimitação das bacias hidrográficas e manipulação de dados espaciais

A delimitação das sub-bacias hidrográficas inseridas em Ouro Preto foi feita a partir das Bases Hidrográficas Ottocodificadas da bacia do Rio Doce e do Rio São Francisco, disponíveis no “Catálogo de Metadados” da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). O ponto de exutório de cada bacia foi determinado a partir do ponto mais aproximado possível da interseção do rio principal com o limite político do município de Ouro Preto, respeitando-se as definições e delimitações naturais de uma bacia hidrográfica. Por fim, todas as microbacias a montante e contribuintes com cada exutório foram agrupadas, de acordo com a metodologia de Otto Pfafstetter, e nomeadas com base em seu rio principal.

2.3 Clima, relevo e solos

O mapa de clima foi obtido por meio do trabalho “Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution”, baseado em dados do período de 1980 a 2016 com resolução de 0,0083° (aproximadamente 1 km na Linha do Equador), consoante diversas fontes, tais como: WorldClim V1 e V2, CHELSA V1.2, CHPClim V1 e CHELSA V1.2, e suas devidas correções. Como resultado, em 2018 foi disponibilizado um novo e melhorado mapa de classificação climática Köppen-Geiger da Terra, utilizado neste trabalho.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) da região foi gerado a partir dos dados disponibilizados pelo Open Topography, proveniente do programa Copernicus GLO-30, executado entre 2011 e 2015, com resolução de 30 m x 30 m. A aquisição se deu por um complemento do QGIS, o OpenTopography DEM Downloader, após cadastro no *site* (<https://opentopography.org/>) e liberação de chave “API” para autenticação e autorização do *download* dos dados.













O mapa de solos foi obtido a partir do Mapa de Solos de Minas Gerais, contendo os tipos de coberturas pedológicas presentes no estado, produzido, em 2010, em parceria com a Universidade Federal de Viçosa (UFV), o Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC), a Universidade Federal de Lavras (UFLA) e a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), e a classificação conforme a versão atualizada do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária [EMBRAPA], 2006).

2.4 Uso e ocupação do solo

Dados do uso e da ocupação do solo foram obtidos no MapBiomas, uma organização colaborativa formada por organizações não governamentais (ONGs), universidades e *startups* de tecnologia, que produz o mapeamento anual do solo no Brasil no período entre 1985 a 2022. Os mapas anuais são produzidos pixel a pixel (30 m x 30 m) utilizando imagens satélites Landsat, associados a algoritmos de aprendizado de máquina (*machine learning*) por meio da plataforma do Google Earth Engine.

Para esse trabalho, foram utilizado os dados *raster* de uso e ocupação do solo de todo o território ouro-pretano do ano de 2003 a 2021, do MapBiomas. Os dados *raster* foram recortados de acordo com a área de todas as bacias hidrográficas unificadas ano a ano, para uma análise global da evolução do uso e da ocupação do solo em Ouro Preto. As análises individuais de cada sub-bacia foram feitas com dados dos anos de 2003 e 2021. As análises e a apresentação dos mapas foram descritas de acordo com o Quadro 01. Fez-se uso do complemento Landscape Ecology para transportar os dados *raster* para tabela .CSV e para analisar a estatística da paisagem.

Quadro 01 – Classificação do uso e da ocupação do solo MapBiomas

				
Códigos da legenda para os valores de pixel na Coleção 8 do MapBiomas				
COLEÇÃO 8 – CLASSES	COLLECTION 8 – CLASSES	New ID	New Hexacode Number	New Color
1. Floresta	1. Forest	1	#32a65e	
1.1 Formação florestal	1.1. Forest formation	3	#1f8d49	
1.2. Formação savânica	1.2. Savanna formation	4	#7dc975	
1.3. Mangue	1.3. Mangrove	5	#04381d	
1.4. Floresta alagável (beta)	1.4 Floodable forest (beta)	6	#026975	
1.5. Restinga arbórea	1.5. Wooded sandbank vegetation	49	#02d659	
2. Formação natural não florestal	2. Non forest natural formation	10	#ad975a	
2.1. Campo alagado e área pantanosa	2.1. Wetland	11	#519799	
2.2. Formação campestre	2.2. Grassland	12	#d6bc74	
2.3. Apicum	2.3. Hypersaline tidal flat	32	#fc8114	
2.4. Afloramento rochoso	2.4. Rocky outcrop	29	#ffaa5f	

2.5. Restinga herbácea	2.5. Herbaceous sandbank vegetation	50	#ad5100	
2.6. Outras formações não florestais	2.6. Other non forest formations	13	#d89f5c	
3. Agropecuária	3. Farming	14	#FFFFB2	
3.1. Pastagem	3.1. Pasture	15	#edde8e	
3.2. Agricultura	3.2. Agriculture	18	#E974ED	
3.2.1. Lavoura temporária	3.2.1. Temporary crop	19	#C27BA0	
3.2.1.1. Soja	3.2.1.1. Soybean	39	#f5b3c8	
3.2.1.2. Cana	3.2.1.2. Sugar cane	20	#db7093	
3.2.1.3. Arroz	3.2.1.3. Rice	40	#c71585	
3.2.1.4. Algodão (beta)	3.2.1.4. Cotton (beta)	62	#ff69b4	
3.2.1.5. Outras lavouras temporárias	3.2.1.5. Other temporary crops	41	#f54ca9	
3.2.2. Lavoura perene	3.2.2. Perennial crop	36	#d082de	
3.2.2.1. Café	3.2.2.1. Coffee	46	#d68fe2	
3.2.2.2. Citrus	3.2.2.2. Citrus	47	#9932cc	
3.2.2.3. Dendê (beta)	3.2.2.3. Palm oil (beta)	35	#9065d0	
3.2.2.4. Outras lavouras perenes	3.2.2.4. Other perennial crops	48	#e6ccff	
3.3. Silvicultura	3.3. Forest plantation	9	#7a5900	
3.4. Mosaico de usos	3.4. Mosaic of uses	21	#ffefc3	
4. Área não vegetada	4. Non vegetated area	22	#d4271e	
4.1. Praia, duna e areal	4.1. Beach, dune and sand spot	23	#ffa07a	
4.2. Área urbanizada	4.2. Urban area	24	#d4271e	
4.3. Mineração	4.3. Mining	30	#9c0027	
4.4. Outras áreas não vegetadas	4.4. Other non vegetated areas	25	#db4d4f	
5. Corpo d'água	5. Water	26	#0000FF	
5.1 Rio, lago e oceano	5.1. River, lake and ocean	33	#2532e4	
5.2 Aquicultura	5.2. Aquaculture	31	#091077	
6. Não observado	6. Not observed	27	#ffffff	

Fonte: MapBiomias (2023).

2.5 Área de Preservação Permanente

A determinação da APP dos rios foi feita por meio de uma estimativa genérica, com base na média da largura dos rios; apesar de pouco precisa, mostrou-se viável para fins acadêmicos. Foi feita a medição da largura dos rios principais com o auxílio de imagens do Google Earth, tendo sido aferidas as larguras dos rios principais em todas as sub-bacias na foz

e em três outros trechos aleatórios em cada uma das 15 sub-bacias, totalizando 60 pontos de medição. A média da medição foi de 7,2 metros, valor que será utilizado como padrão para a determinação da área de APP nas margens de todos os cursos d'água.

Os projetos que invoquem o cumprimento da Lei n. 12.651/2012, quanto às APPs das margens dos rios, na área das sub-bacias hidrográficas de Ouro Preto, necessitam de outra abordagem para levantamento de dados, mais precisa, levando em consideração a singularidade dos trechos de rios em análise. As outras condições para delimitação de APP para bacias hidrográficas foram seguidas na forma da lei (art. 4º citado acima).

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Gestão de recursos hídricos no Brasil

Sendo a água um recurso natural essencial à vida, torna-se necessária a preservação desse recurso diante da sua finitude e distribuição desigual na Terra. O crescimento populacional e, por consequência, o aumento das demandas diretamente relacionadas à atual estrutura social da humanidade são fatores que culminam também em uma crescente pressão sobre esse recurso. Assim, torna-se imprescindível uma gestão eficaz dos recursos hídricos e dos elementos que influenciam diretamente em sua preservação, assegurando o acesso a esse recurso essencial tanto para as gerações atuais quanto para as futuras.

A Lei Federal n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997, implementou a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Foi a partir dessa lei que os instrumentos básicos de gestão foram definidos, valorizando e valorando a água. São os instrumentos de gestão da PNRH, de acordo com o artigo 5º:

- I – os Planos de Recursos Hídricos;
- II – o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;
- III – a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
- IV – a cobrança pelo uso de recursos hídricos;
- V – vetado;
- VI – o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

(Brasil, 1997, art. 5º).

Os Planos de Recursos Hídricos, de acordo com a lei, são diretores e buscam fundamentar e orientar a implementação da PNRH, sendo de longo prazo e com planejamento compatível com o período de implantação de seus programas e projetos. O enquadramento dos corpos d'água em classes, segundo os usos preponderantes, determina o nível da qualidade a ser alcançada ou mantida para atender às necessidades da sociedade e “assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas” (Brasil, 1997, art. 9º), estabelecidos pela legislação ambiental. A outorga de direito de uso garante o “controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água” (Brasil, 1997, art. 11). A cobrança pelo uso da água objetiva promover o uso racional desta e gerar recursos que possam ser reinvestidos na recuperação e preservação dos corpos hídricos e das nascentes. Por fim, o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos

Hídricos (SNIRH) é um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações que dá subsídio para a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos.

Ainda de acordo com a lei federal em análise, bacia hidrográfica é a unidade territorial à qual se aplicam a PNRH e a atuação do SINGREH. Para além dessa definição, bacia hidrográfica também pode ser compreendida como unidade territorial de estudo e gestão que promove os padrões de qualidade para os diversos usos, o uso racional e integrado dos recursos hídricos e a prevenção e defesa de eventos hidrológicos críticos, por meio de um modelo descentralizado e participativo baseado nas criações de comitês de bacia hidrográfica (Fracalanza, 2002).

A descentralização é viabilizada por meio da delimitação das bacias hidrográficas como unidade de gestão, que culminou na formação de comitês consultivos e deliberativos das Unidades de Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos (UPGRH). Os comitês são responsáveis por avaliar os reais e distintos interesses sobre o uso das águas das bacias hidrográficas, sendo formados por representantes governamentais e da sociedade civil, a fim de garantir a qualidade e a quantidade da água mediante ações que promovam os usos múltiplos desse recurso.

No entanto, cabe observar que os usos das águas, assim como sua qualidade e quantidade, estão diretamente relacionados à dinâmica de produção do espaço e ao uso do solo pelas atividades humanas, o que dificulta sua determinação por políticas públicas, mesmo que estas políticas busquem a integração entre os órgãos responsáveis pela gestão das águas ou até mesmo pela gestão do solo (Fracalanza, 2002).

Dessa forma, é crucial padronizar e automatizar o delineamento de bacias hidrográficas para garantir uma efetiva aplicação da PNRH, evitando possíveis conflitos na utilização dos recursos hídricos.

3.2 Bacia hidrográfica, sub-bacia e microbacia

Complementarmente ao exposto na seção anterior, bacia hidrográfica é uma unidade de características definidas quanto ao relevo, à vegetação e ao recurso hídrico delimitado pela topografia, na qual a drenagem ocorre por meio de um sistema conectado de cursos d'água e por onde a descarga de toda a vazão do efluente se dá por uma única saída, o exutório. As

bacias hidrográficas possuem uma série de características físicas que moldam seu comportamento hidrológico. A delimitação da área de uma bacia é feita pela linha de cumeada, fechada, que une os pontos mais altos da bacia, sendo interceptada apenas pela seção exutória. Essa linha conecta os pontos de maior cota altimétrica entre bacias e as separa de bacias vizinhas.

A área de drenagem de uma bacia hidrográfica é a área plana (projetada horizontalmente) limitada por seus divisores topográficos (Villela, 1975). A área da bacia hidrográfica é definida com base em mapas topográficos, os quais atualmente costumam ser desenvolvidos e calculados por meio de *softwares* ou por métodos manuais como planímetros ou método da quadrícula. O formato superficial da bacia influencia o tempo de concentração da água precipitada nos seus limites até chegar em sua foz, isto é, o formato calculado auxilia a definir a tendência para enchentes de uma bacia. A cobertura vegetal, por sua vez, interfere no volume de água da chuva que é escoado superficialmente na bacia hidrográfica e quanto é penetrado no solo, além de influenciar na velocidade de escoamento sobre a superfície do terreno. Ainda, o tipo de solo e o grau de compactação também são fatores determinantes para o volume de água absorvida e o volume de água percolada sobre o solo.

Compreender as características adjacentes ao percurso d'água, em uma bacia hidrográfica, embasa tecnicamente as decisões quanto ao planejamento e à gestão dessa bacia. Para Barbosa (2015), o adequado uso do solo e o seu estado de preservação estão diretamente associados com a propriedade de absorção de água e abastecimento de água subterrânea. Isso porque a vegetação é a camada protetora do solo, uma vez que, ao absorver parte da água da chuva, diminui a velocidade de escoamento da água, protegendo o solo de erosões e carreamento de material que resultam no assoreamento de calhas fluviais, lagos, reservatórios etc. A vegetação em estado natural nas bacias desempenha a função de regular a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos dessa bacia; portanto, em áreas sensíveis, como nascentes, é vital a preservação da biodiversidade e dos recursos naturais presentes.

Lima e Zakia (*apud* Teodoro *et al.*, 2007) definem as bacias hidrográficas como sistemas abertos, nos quais a pressão atmosférica, a temperatura, a umidade e a radiação solar são as fontes de energia independentes entre si e o escoamento da água é por onde há perda de energia no sistema e as quais se encontram em equilíbrio dinâmico, ainda que sofram alterações antrópicas. Isso significa que as alterações no sistema, na entrada e saída de

energia, terão como consequência uma mudança compensatória com tendência a reduzir os impactos da alteração e restabelecer o estado de equilíbrio dinâmico.

Como já apresentado anteriormente, a Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997, define bacia hidrográfica como unidade territorial de estudo e gestão a fim de promover os padrões de qualidade para os diversos usos, o uso racional e integrado dos recursos hídricos e a prevenção e defesa de eventos hidrológicos críticos. O Brasil possui 12 grandes bacias hidrográficas: Amazônica, Tocantins-Araguaia, Paraguai, Paraná, Uruguai, Atlântico Sul, Atlântico Sudeste, Atlântico Nordeste Ocidental, Atlântico Nordeste Oriental, Parnaíba, São Francisco e Atlântico Leste (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2021). Para fins de gestão, têm-se 10 comitês interestaduais das grandes bacias (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico [ANA], 2023).

As grandes bacias podem ser divididas em sub-bacias e microbacias. Segundo Teodoro *et al.* (2007), as sub-bacias “são áreas de drenagem dos tributários do curso d’água principal, sendo que cada bacia hidrográfica se interliga a outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia”. A divisão em sub-bacias também é aplicada para os fins de gestão, quando são denominadas Unidades de Gestão dos Recursos Hídricos – UGRH. Já as microbacias são divisões das sub-bacias, na qual a área de drenagem converge ao exutório conectado ao curso principal de uma sub-bacia (Faustino, 1996 *apud* Teodoro *et al.*, 2007). Há outras definições de microbacias que delimitam as microbacias e sub-bacias de acordo com a área em questão ou até delimitam a classificação com base na ordem dos canais analisados. São diversas as definições das sub-bacias e microbacias, que refletem abordagens diversas em que prevalecem desde fatores físicos a ecológicos.

Em termos ecológicos, a classificação das bacias quanto ao tamanho interfere diretamente na sensibilidade a perturbações de origem antrópica ou natural. Quanto menor a delimitação da área observada, mais perceptível é a relação de interdependência entre os fatores bióticos e abióticos, e mais frágeis são as dinâmicas de seu funcionamento. Teodoro *et al.* (2007) reúnem as definições de alguns autores para microbacia:

Para Santana (2003), o termo microbacia, embora difundido em nível nacional, constitui uma denominação empírica, sugerindo o autor a sua substituição por sub-bacia hidrográfica. Já para Faustino (1996), a microbacia possui toda sua área com drenagem direta ao curso principal de uma sub-bacia, várias microbacias formam uma sub-bacia, sendo a área de uma microbacia inferior a 100 km². Cecílio e Reis (2006) definem a microbacia como uma sub-bacia hidrográfica de área

reduzida, não havendo consenso de qual seria a área máxima (máximo varia entre 10 a 20.000 ha ou 0,1 km² a 200 km²) (Teodoro *et al.*, p. 139, 2007).

Para a hidrologia, a classificação quanto ao tamanho está intrinsecamente ligada à geração do deflúvio. As microbacias são mais frágeis às chuvas de alta intensidade e ao uso do solo, de forma que a qualidade e o volume de água da descarga fluvial são facilmente alterados em sistemas menores (Teodoro *et al.*, 2007).

3.2.1 OTTOCODIFICAÇÃO

A Resolução n. 30/2002 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH institui oficialmente o método de codificação de bacias hidrográficas das bacias do Brasil desenvolvido por Otto Pfafstetter.

Em 1980, Otto Pfafstetter, o então engenheiro funcionário do extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento – DNOS, desenvolveu uma metodologia de codificação das bacias hidrográficas baseada na configuração hierárquica natural do sistema de drenagem, resultando num sistema simples e robusto de classificação das bacias hidrográficas. O método de codificação das bacias desenvolvido por Pfafstetter é adotado por diversas entidades que promovem estudos e gestão de recursos hídricos, como a ANA, a Comunidade Europeia e o Serviço Geológico Americano (United States Geological Survey – USGS).

A metodologia de Otto Pfafstetter culminou na Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO), referenciando toda a América do Sul, e tornou-se o melhor padrão de delineamento das bacias para a implementação de políticas e ações que visam à sua perenidade. As grandes bacias da América do Sul são sucessivamente subdivididas, tendo como resultado sete níveis Otto de bacias.

A Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO) utilizada pela ANA na gestão de recursos hídricos é obtida a partir do Mapeamento Sistemático Brasileiro. A BHO é gerada a partir da cartografia digital da hidrografia do país e organizada de modo a gerar informações hidrologicamente consistentes. Para tanto, a BHO representa a rede hidrográfica em trechos entre pontos de confluência dos cursos d'água de forma unifilar. Cada trecho é associado a uma superfície de drenagem denominada ottobacia à qual é atribuída a codificação de bacia de Otto Pfafstetter. Uma característica essencial dessa representação é ser topologicamente consistente, isto é, representar corretamente o fluxo hidrológico dos rios, por meio de trechos conectados e com sentido de fluxo (Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos [SNIRH], 2013).

No ano de 2010, foi criada uma base vetorial oficial otocodificada para o estado de Minas Gerais em um projeto do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) em parceria com a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Essa base é disponibilizada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) nas escalas de 1:100.000 e 1:50.000, acessível de forma gratuita e livre.

3.2.2 *COMITÊS DA BACIA HIDROGRÁFICA*

No Brasil, as bacias hidrográficas percorrem grandes extensões, algumas sendo transfronteiriças, portanto as condições naturais e socioeconômicas são vastas tanto quanto as suas dimensões. Assim, os comitês das bacias hidrográficas no Brasil são subdivididos em comitês de afluentes da bacia a fim de facilitar a sua gestão e o seu planejamento. Em Minas Gerais, por meio dos instrumentos de gestão da Política Estadual de Recursos Hídricos, a Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais (CERH/MG) n. 36, definiram-se 36 Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) do estado, para facilitar a execução de atividades de gerenciamento das águas. A divisão das UPGRH conforme a deliberação normativa foi embasada na delimitação de “área hidrográfica, bacia, grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas, com características naturais, sociais e econômicas homogêneas ou similares” (SNIRH, 2024).

3.2.3 *OUTORGAS*

A outorga é o instrumento legal que garante ao usuário o direito de uso do recurso hídrico, por meio da concessão de uso de acordo com a necessidade do usuário e a disponibilidade do corpo hídrico, garantindo a sua perenidade e os seus múltiplos usos, por meio do controle quantitativo e qualitativo. A sua aplicação assegura resultados efetivos na recuperação e conservação dos recursos hídricos e, principalmente, garante a equidade em seu compartilhamento, além de garantir a cobrança justa pelo seu uso. Isso significa que a outorga precede a cobrança, de modo que a cobrança pelo volume de água utilizado e outorgado reforça o uso racional desse recurso (Santi; Goellner, 2013).

Objetivando garantir que a qualidade dos recursos hídricos seja compatível com sua demanda, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, por meio da Resolução n. 357, de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos cursos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento.

O Quadro 02, a seguir, pormenoriza as diferentes classificações das águas doces, de acordo com o art. 4º da referida resolução.

Quadro 02 – Classes das águas doces de acordo com a Resolução CONAMA n. 357

Classificação das águas doces	Podem ser destinadas:
I – Classe especial	ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
II – Classe 1	ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho (conforme Resolução CONAMA n. 274, de 2000); à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e à proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas.
III – Classe 2	ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho (conforme Resolução CONAMA n. 274, de 2000); à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e à aquicultura e à atividade de pesca.
IV – Classe 3	ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à pesca amadora; à recreação de contato secundário; e à dessedentação de animais.
V – Classe 4	à navegação; e à harmonia paisagística.

Fonte: adaptado de Conama (2005).

3.3 Índice de qualidade da água (IQA)

O IGAM realiza o monitoramento da qualidade das águas superficiais de Minas Gerais por meio do Programa Águas de Minas desde 1997. A rede de monitoramento no estado de Minas Gerais mais que triplicou desde sua implementação até o ano de 2021 e garantiu o monitoramento da qualidade da água em 652 pontos de amostragem. Em 2016, o IGAM

aderiu ao Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade da Água – QUALIÁGUA, quando passou a fazer a medição da vazão do curso d'água, por entender que os compostos podem estar dissolvidos ou concentrados de acordo com os períodos de cheias e estiagem.

O diagnóstico ambiental dos rios utiliza o indicador do índice de qualidade da água (IQA), proposto pela National Sanitation Foundation, dos Estados Unidos, e adaptado pelo CETEC. São avaliados nove parâmetros: oxigênio dissolvido; coliformes termotolerantes; pH; demanda bioquímica de oxigênio; nitrato; fosfato total; variação da temperatura da água; turbidez; e sólidos totais. A cada parâmetro é atribuído um peso, de acordo com a Tabela 01, a seguir.

Tabela 01 – Pesos atribuídos aos parâmetros para o cálculo do IQA

Parâmetro	Peso – wi
Oxigênio dissolvido – OD (%ODSat)	0,17
Coliformes termotolerantes * (NMP/100mL)	0,15
pH	0,12
Demanda bioquímica de oxigênio – BDO (mg/L)	0,1
Nitratos (mg/L NO ₃ -)**	0,1
Fosfato total (mg/L PO ₄ -2)	0,1
Variação da temperatura (°C)	0,1
Turbidez (UNT)	0,08
Sólidos totais (mg/L)	0,08

Fonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM).

As metodologias para o cálculo do IQA consideram duas formulações, uma aditiva e outra multiplicativa. O IGAM adota o IQA multiplicativo, calculado pela seguinte equação:

Fórmula 01 – Índice de qualidade de água (IQA)

$$IQA = \prod_{i=1}^9 q_i^{w_i}$$

Em que:

IQA = índice de qualidade de água, variando de 0 a 100;

q_i = qualidade do parâmetro i obtido com a curva média específica de qualidade;

w_i = peso atribuído ao parâmetro, em função de sua importância na qualidade, entre 0 e 1.

Por fim, as classes dos valores de IQA foram definidas de acordo com o Quadro 03.

Quadro 03 – Classes do índice de qualidade da água e seu significado

Valor do IQA	Classes	Significado
$90 < IQA \leq 100$	Excelente	Águas apropriadas para tratamento convencional visando ao abastecimento público.
$70 < IQA \leq 90$	Bom	
$50 < IQA \leq 70$	Médio	
$25 < IQA \leq 50$	Ruim	Águas impróprias para tratamento convencional visando ao abastecimento público, sendo necessários tratamentos mais avançados.
$IQA \leq 25$	Muito Ruim	

Fonte: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2008) e IGAM (2012).

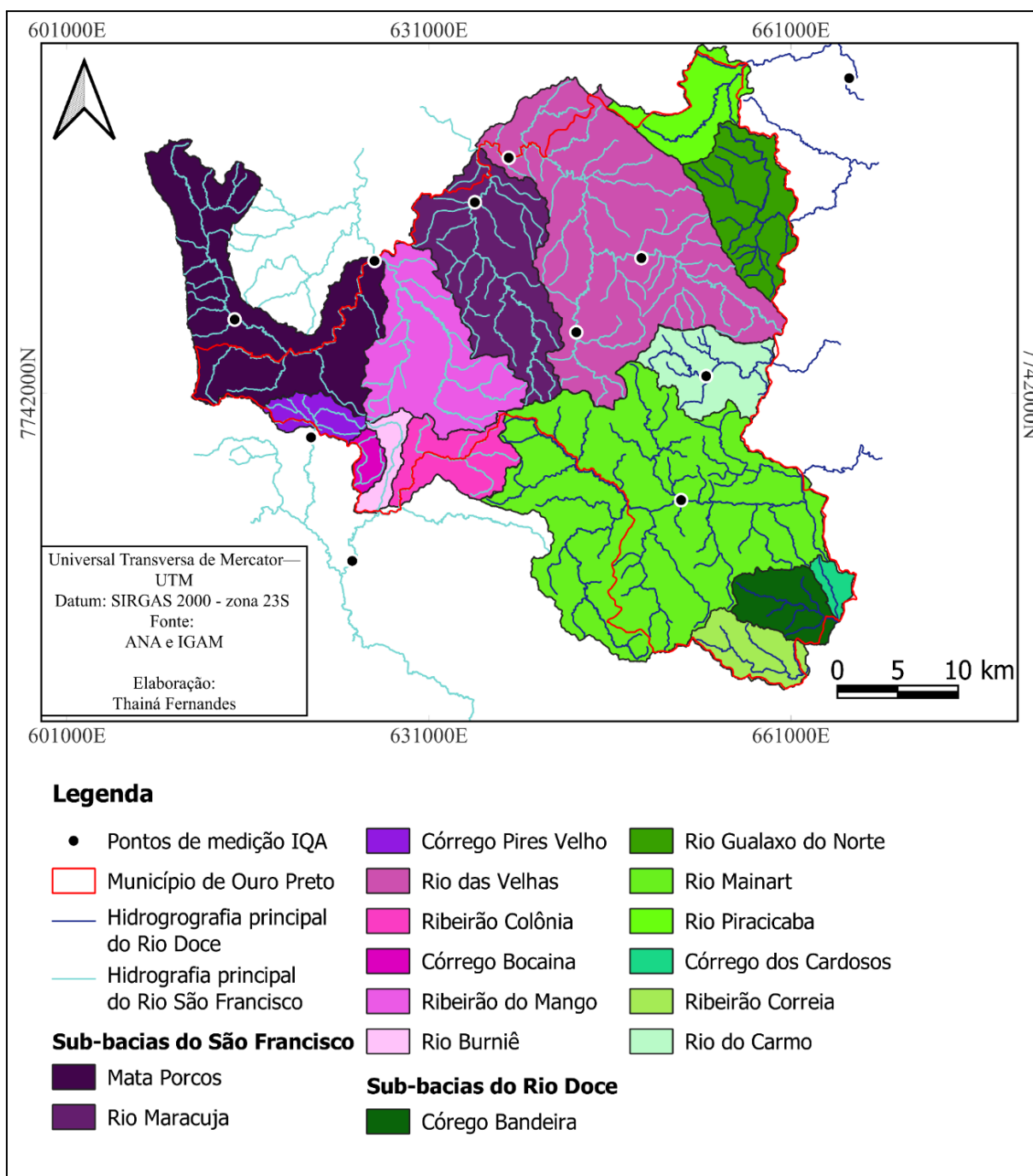
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados quantitativos apresentam dados de limitação de bacia, solo, mapa de uso de solo e uma análise geral para todo o território de Ouro Preto. Já os resultados qualitativos mostram a relação do uso e da ocupação dos solos entre os anos de 2003 e 2021 com o IQA nesse mesmo período, quando houver, para cada sub-bacia delimitada no município de Ouro Preto.

4.1 Delimitação das sub-bacias hidrográficas e pontos de medição do IQA

A delimitação das sub-bacias hidrográficas pela metodologia de ottocodificação, por meio do *software* SIG, resultou em 15 sub-bacias hidrográficas, oito pertencentes à bacia do Rio São Francisco, ocupando a porção noroeste do município, e sete, à bacia do Rio Doce, na porção norte e sudeste (Mapa 02).

Mapa 02 – Sub-bacias hidrográficas de Ouro Preto e pontos de medição de IQA



Fonte: elaboração própria.

Totalizam-se 11 pontos de coleta para a análise de IQA, dos quais três estão localizados a jusante do exutório das sub-bacias e, portanto, fora do limite territorial de Ouro Preto. São eles as estações BP014 e BP016, respectivamente no Ribeirão Soledade e Rio Preto, inseridas no município de Congonhas, e a estação RD074, no Rio Piracicaba, no

município de Mariana. A estação AV050, inserida no Ribeirão do Silva, está a montante de Ouro Preto, inserida no município de Itabirito. Há, portanto, seis estações de monitoramento de IQA inseridas no território de Ouro Preto.

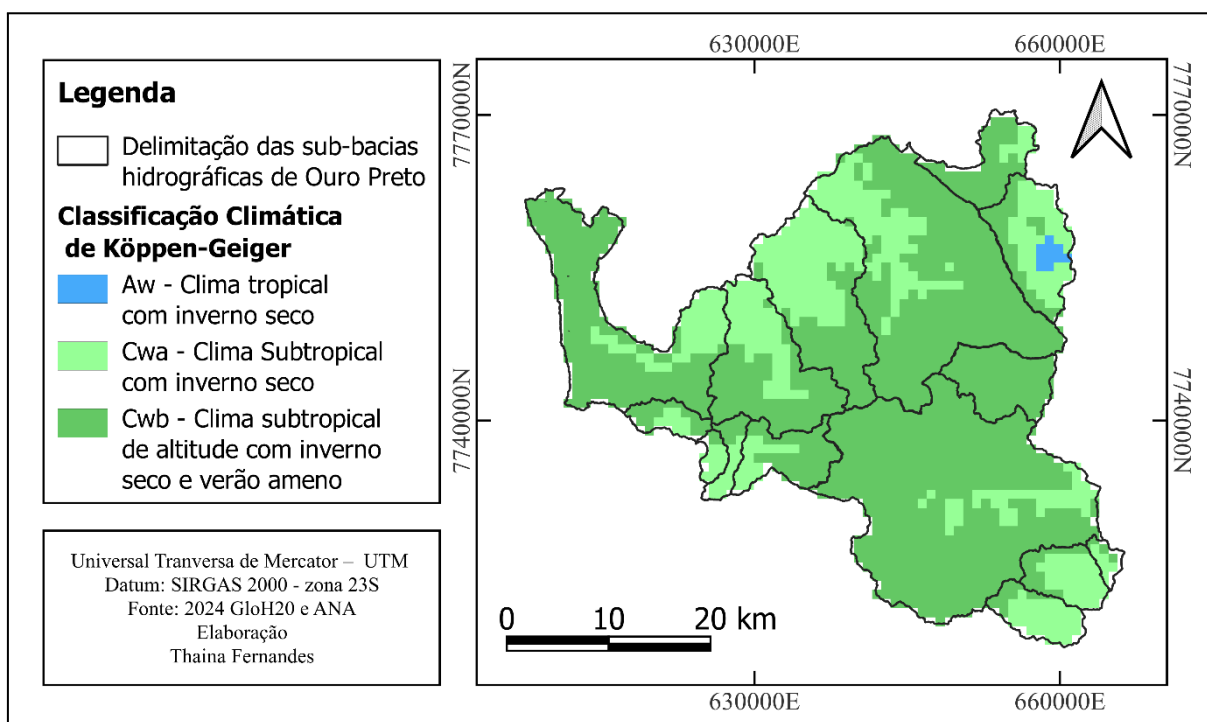
4.2 Clima, relevo e solos

Compreender o clima de uma sub-bacia hidrográfica é crucial para avaliar as mudanças climáticas, como variações na precipitação e temperatura, que influenciam diretamente o ciclo hidrológico e os ecossistemas presentes nesse sistema delimitado. Isso porque o clima afeta toda a superfície terrestre, incluindo as bacias hidrográficas, sejam elas perenes ou não, permanentes ou não, porém nunca estáticas. Isto é, ao acumular dados climáticos ao longo dos anos, torna-se possível fazer previsões mais precisas por meio de modelos estatísticos e probabilísticos específicos para a área em questão, seja ela uma bacia hidrográfica inteira ou parte dela. Nesse contexto, a intersecção entre a climatologia e a hidrologia é fundamental para entender as complexas interações ambientais que ocorrem nas bacias hidrográficas.

Dessa forma, o estudo das bacias hidrográficas requer uma abordagem integrada que considere os aspectos climáticos, físicos e hidrológicos, pois são esses elementos que moldam e sustentam os ecossistemas presentes nesses sistemas fluviais.

Com base no sistema de classificação climática Köppen, as sub-bacias de Ouro Preto apresentam predominantemente a classe Cwb, representando 71,3% da área total. Essa classe é caracterizada por um clima temperado úmido com inverno seco e verão moderadamente quente, com média do mês mais quente inferior a 22 °C, e geralmente ocorre em áreas de maior altitude. O clima Cwa, classificado como subtropical de inverno seco, também é significativo na área de estudo, sendo caracterizado por invernos secos e temperaturas inferiores a 18 °C. Por fim, a classe Aw, que representa apenas 0,5% da área total, corresponde ao clima tropical com inverno seco e temperatura média do mês mais frio superior a 18 °C, com precipitações anuais entre 750 mm e 1800 mm, e está presente somente na sub-bacia do Rio Gualaxo do Norte, como pode ser notado no Mapa 03.

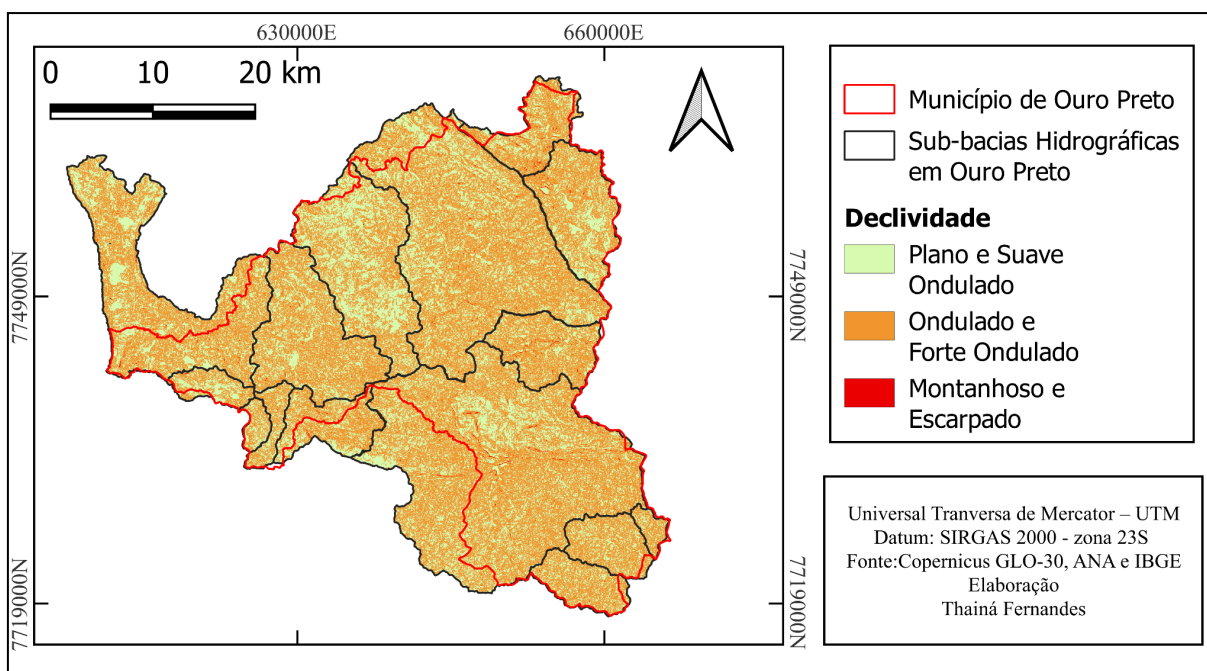
Mapa 03 – Classificação climática de Köppen-Geiger para as sub-bacias hidrográficas de Ouro Preto



Fonte: elaboração própria.

Utilizando o MDE da área de estudo, foi feita a classificação de acordo com as classes de relevo da EMBRAPA: (1) de 0 a 3%, relevo plano; (2) de 3 a 8%, suavemente ondulado; (3) de 8 a 20%, relevo ondulado; (4) de 20 a 45%, relevo forte ondulado; (5) de 45 a 75%, montanhoso e; (6) acima de 75%, relevo escarpado, como visto no Mapa 04. O relevo das sub-bacias hidrográficas de Ouro Preto apresenta aspecto heterogêneo, com predomínio de relevo ondulado (46% da área das sub-bacias) e suave ondulado (30%). Os relevos montanhoso e escarpado representam juntos menos de 1% das sub-bacias, conforme a Tabela 02.

Mapa 04 – Declividade das sub-bacias hidrográficas de Ouro Preto, MG



Fonte: elaboração própria.

Tabela 02 – Distribuição da declividade nas sub-bacias hidrográficas de Ouro Preto, MG

Declividade	Tipo de relevo	Área (km ²)	Porcentagem
0-8%	Plano e suave ondulado	612,09	39,8%
8-45%	Ondulado e forte ondulado	922,9	59,9%
>45%	Montanhoso e escarpado	4,95	0,3%

Fonte: elaboração própria.

Com relação à declividade, a área de estudo é influenciada por um relevo predominantemente ondulado e forte ondulado. Os tipos de solos presentes nas sub-bacias hidrográficas de Ouro Preto são neossolo litólico distrófico (RLd4 e RLd10), latossolo vermelho-amarelo distrófico (LVAd1), argissolo vermelho distrófico (PVd3), cambissolo háplico distrófico (CXbd1) (Tabela 03 e Mapa 05).

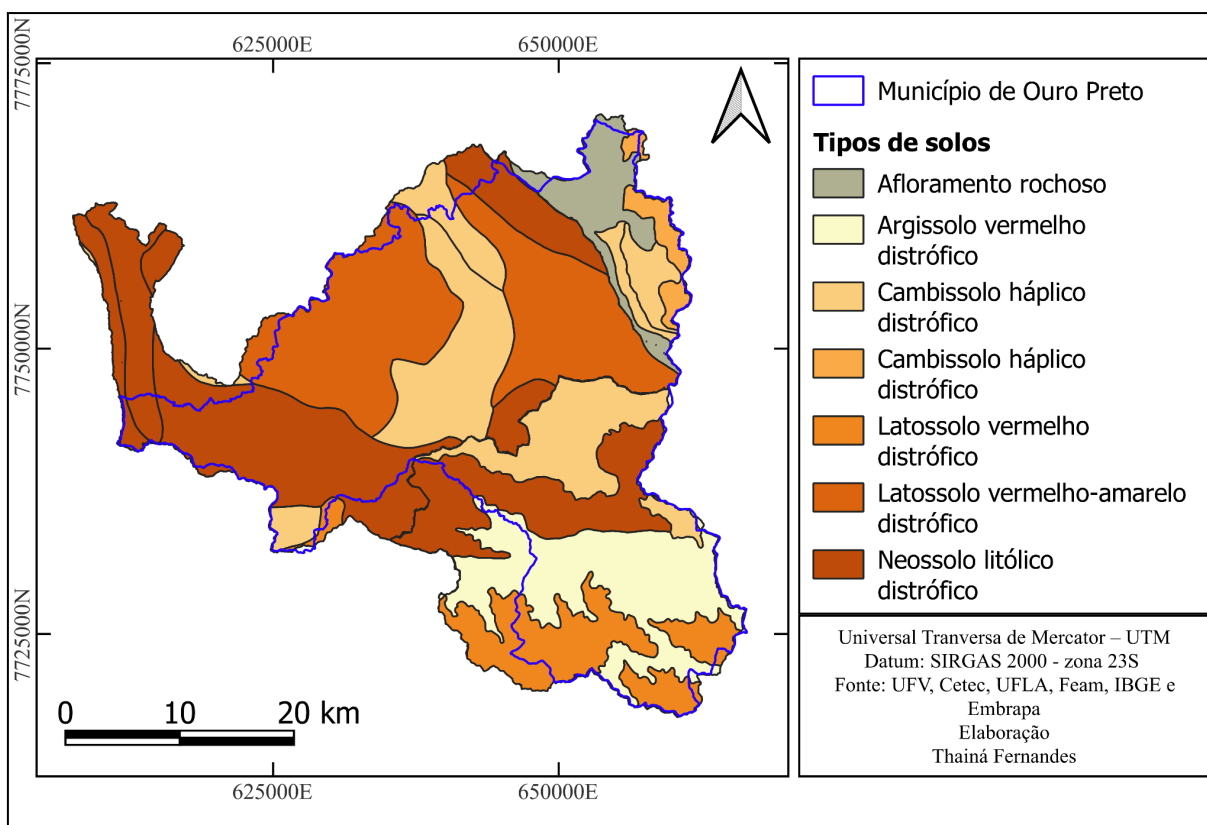
Tabela 03 – Distribuição dos tipos de solo nas sub-bacias hidrográficas de Ouro Preto, MG

Código	Legenda	Área (km²)	Porcentagem
RLd4	Neossolo litólico distrófico	355,7	22,90%
LVAd1	Latossolo vermelho-amarelo distrófico	343,6	22,10%
PVd3	Argissolo vermelho distrófico	189,3	12,20%
RLd10	Neossolo litólico distrófico	127,8	8,20%
CXbd1	Cambissolo háplico distrófico	114,2	7,40%
CXbd29	Cambissolo háplico distrófico	114	7,30%
LVd15	Latossolo vermelho distrófico	91,4	5,90%
AR8	Afloramento rochoso	70,0	4,50%
CXbd21	Cambissolo háplico distrófico	51,5	3,30%
LVd13	Latossolo vermelho distrófico	39,5	2,50%
CXbdf1	Cambissolo háplico distrófico	26,5	1,70%
CXbd28	Cambissolo háplico distrófico	22,5	1,50%
LVd8	Latossolo vermelho distrófico	6,9	0,40%

Fonte: elaboração própria.

Para Santos, os solos distróficos são caracterizados por baixa fertilidade. Os neossolos litólicos distróficos são caracterizados por serem solos rasos, de até 50 cm de espessura, de baixa fertilidade e associados a relevos ondulados a montanhosos. As limitações de uso dizem respeito ao crescimento radicular em função da sua pouca profundidade, do uso de máquinas e do risco de erosão. Os latossolos vermelho-amarelo ocorrem em regiões bem drenadas, apresentam-se com muita profundidade e são uniformes na cor, textura e estrutura. Por fim, o tipo de solo em terceira posição de proporção é o argissolo vermelho distrófico, caracterizado por altos teores de óxido de ferro presentes no material originário, em ambientes bem drenados, com baixa fertilidade e teor de argila no horizonte subsuperficial de cor vermelha maior que no horizonte superficial (Santos *et al.* 2006).

Mapa 05 – Tipos de solos nas sub-bacias hidrográficas de Ouro Preto, MG



Fonte: elaboração própria.

4.3 Bacias hidrográficas ottocodificadas no município de Ouro Preto

O limite territorial/político de um município é definido por lei e não necessariamente coincide com o limite geográfico da bacia hidrográfica que o atravessa. Isso ocorre por diversos motivos, muitas vezes relacionados com critérios históricos, como a divisão de terras entre proprietários ou a criação de distritos administrativos. Esses critérios nem sempre levam em consideração as características geográficas do território.

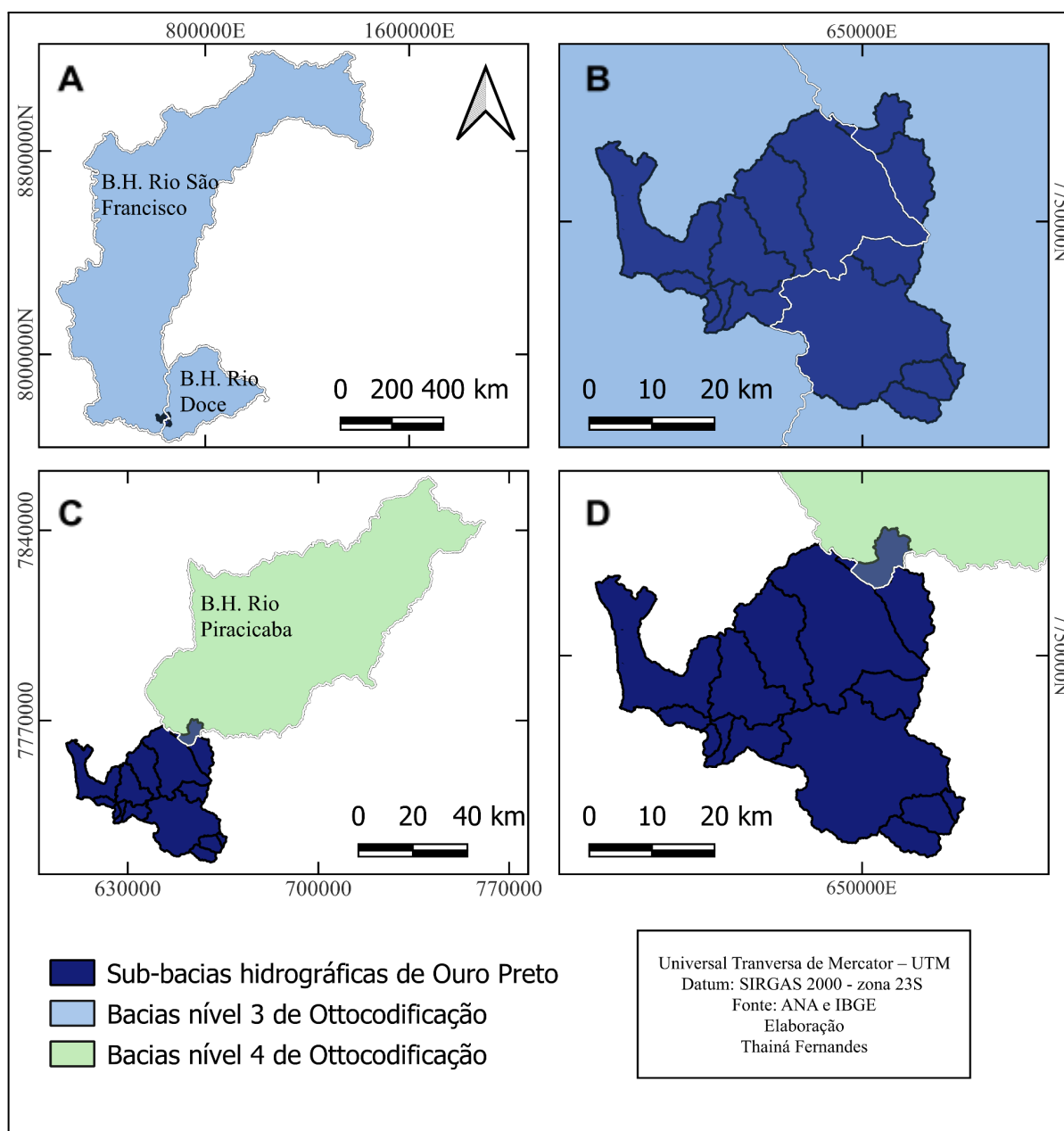
De acordo com a base ottocodificada aplicada pela ANA na gestão de recursos hídricos, o município de Ouro Preto está inserido em partes/regiões nos níveis 3, 4, 5 e 6 das bacias ottocodificadas (Painéis de mapas 01 e 02): o nível 3 abrange todo o município na porção oeste pela bacia do Rio São Francisco e na porção leste pela bacia do Rio Doce (Painel de mapas 01, quadrantes A e B); o nível 4 (Painel de mapas 01, quadrantes C e D) abrange somente uma pequena porção norte do município; e o nível 5 abrange quase todo o município,

exceto uma pequena área de drenagem na porção extremo nordeste, classificada pelo nível 4 (Painel de mapas 02, quadrantes A e B); o nível 6 de ottocodificação, mais específico, abrange partes do município (Painel de mapas 02, quadrantes C e D).

Como pode ser observado nos Painéis de mapas 01 e 02, o limite geográfico das bacias hidrográficas que atravessam o município nos diferentes níveis de ottocodificação não coincide com os limites territoriais de Ouro Preto.

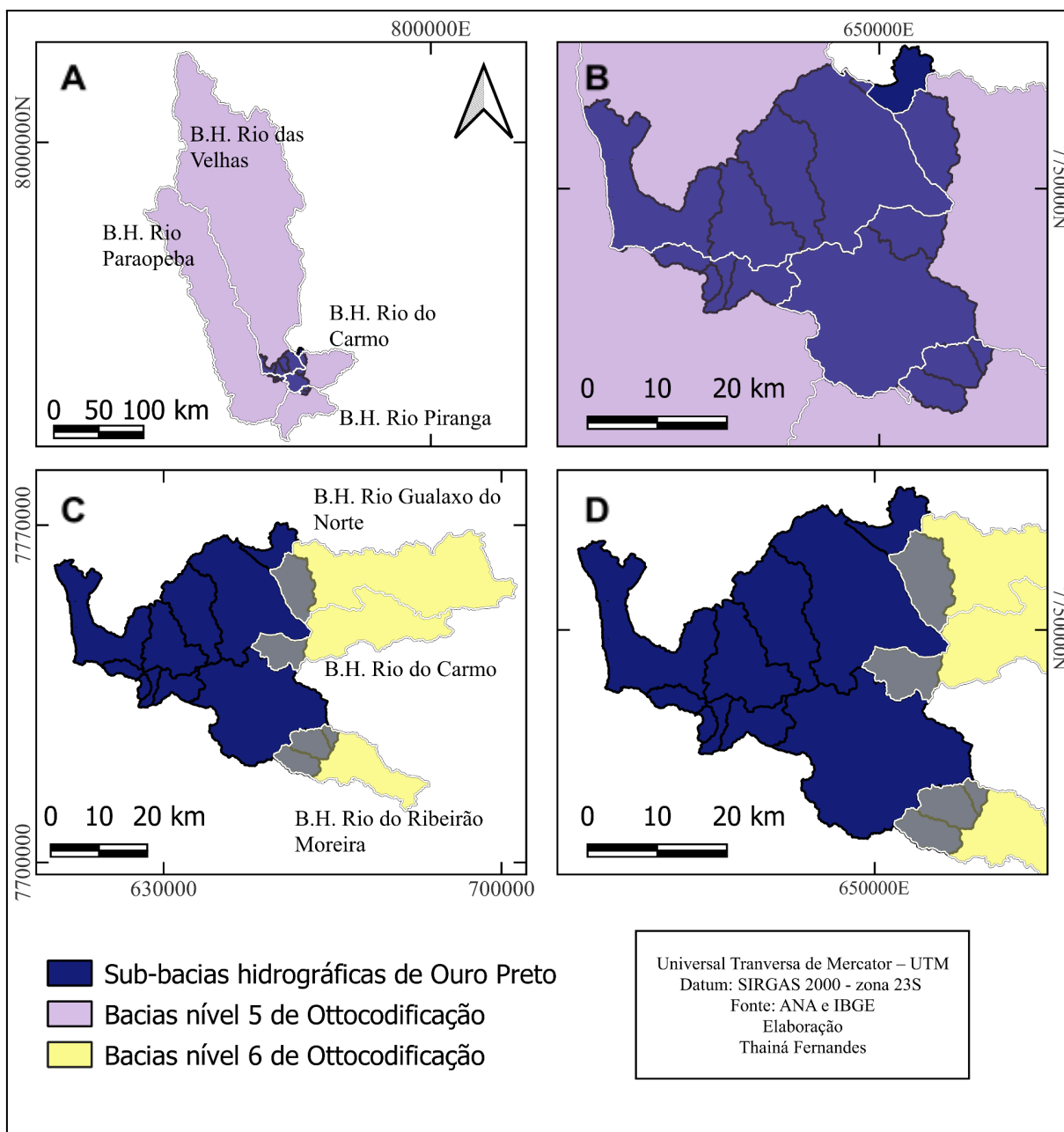
- Nível 3: bacias hidrográficas do Rio São Francisco e do Rio Doce.
- Nível 4: bacia hidrográfica do Rio Piracicaba.
- Nível 5: bacias hidrográficas do Rio das Velhas, Rio do Carmo, Rio Paraopeba e Rio Piranga.
- Nível 6: bacias hidrográficas do Rio Gualaxo do Norte, Rio do Carmo, Ribeirão Moreira.

Painel de mapas 01 – Níveis 3 e 4 de ottocodificação inseridos no município de Ouro Preto



Fonte: elaboração própria.

Painel de mapas 02 – Níveis 5 e 6 de ottocodificação inseridos no município de Ouro Preto



Fonte: elaboração própria.

4.4 Comitês da bacia hidrográfica em Ouro Preto, outorgas e classes dos rios

O município de Ouro Preto está inserido em quatro UPGRH e seus respectivos comitês da bacia hidrográfica (CBH), dos quais dois comitês pertencem à bacia do Rio São Francisco, CBH do Rio Paraopeba (SF3) e CBH Rio das Velhas (SF5), e dois pertencem à bacia do Rio

Doce, CBH Rio Piracicaba (DO1) e CBH Rio Piranga (DO2), de acordo com o Mapa 06, que espacializa cada unidade de gestão em Ouro Preto. O território da bacia do Rio das Velhas é subdividido em 23 regiões, denominadas Unidades Territoriais Estratégicas (UTE), com fim de planejamento e gestão, e seus respectivos subcomitês. A nascente do Rio das Velhas encontra-se em Ouro Preto, na cachoeira das Andorinhas, portanto pertence à UTE Nascentes, integrada ao município de Itabirito.

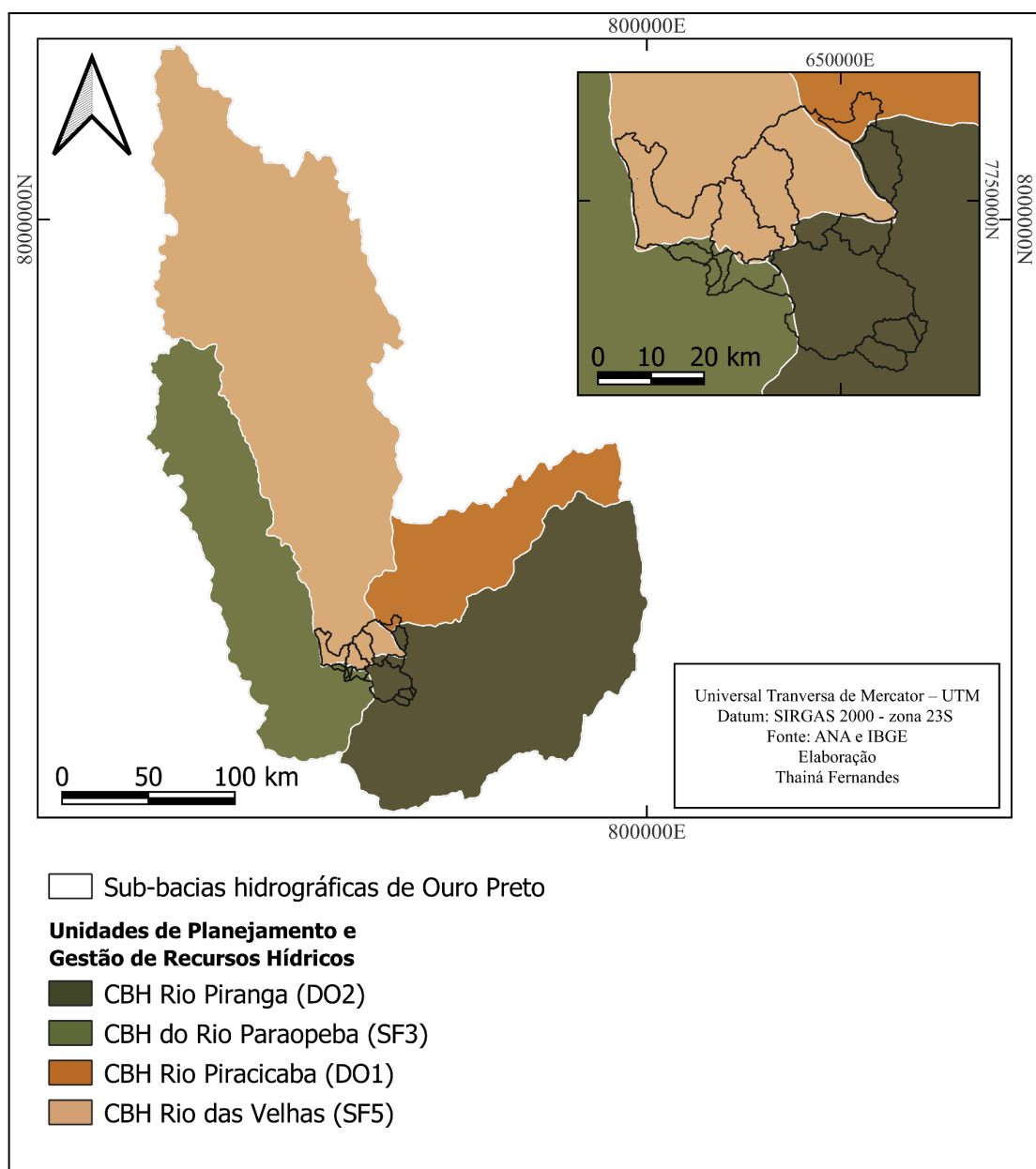
Para as sub-bacias estudadas neste trabalho, a classificação das águas encontra-se na Tabela 04.

Tabela 04 – Enquadramento, quantidade e vazão anual de outorgas e uso insignificante das sub-bacias de Ouro Preto

Sub-bacia hidrográfica	Enquadramento	Outorgas	Vazão total anual (m ³ /h)	Uso insignificante	Vazão total anual (m ³ /h)
Bandeira	Classe 2	0	0	6	20,2
Bocaina	Classe 2	4	0	3	21,6
Burnie	Classe 2	0	0	5	39,5
Colônia	Classe 2	2	21,3	2	3,6
Moreira	Classe 2	0	0	2	7,2
Mainart	Classe especial/2	9	104,3	135	430,2
Mango	Classe 2	6	126,5	27	112,6
Maracujá	Classe 2	36	716,5	83	298,1
Mata Porcos	Classe 2	29	3811,4	32	134,4
Piracicaba	Classe especial	23	282,2	2	3,6
Pires Velho	Classe 2	12	944	8	49,4
Rio das Velhas	Classe especial	14	435,7	64	232,2
Rio do Carmo	Classe especial/1/2	11	177,3	18	79,3
Rio Gualaxo do Norte	Classe 2	8	259,2	5	10,4

Fonte: elaboração própria, com base em dados extraídos das respectivas deliberações normativas e similares.

Mapa 06 – UPGRHs pertencentes ao município de Ouro Preto, MG



Fonte: elaboração própria.

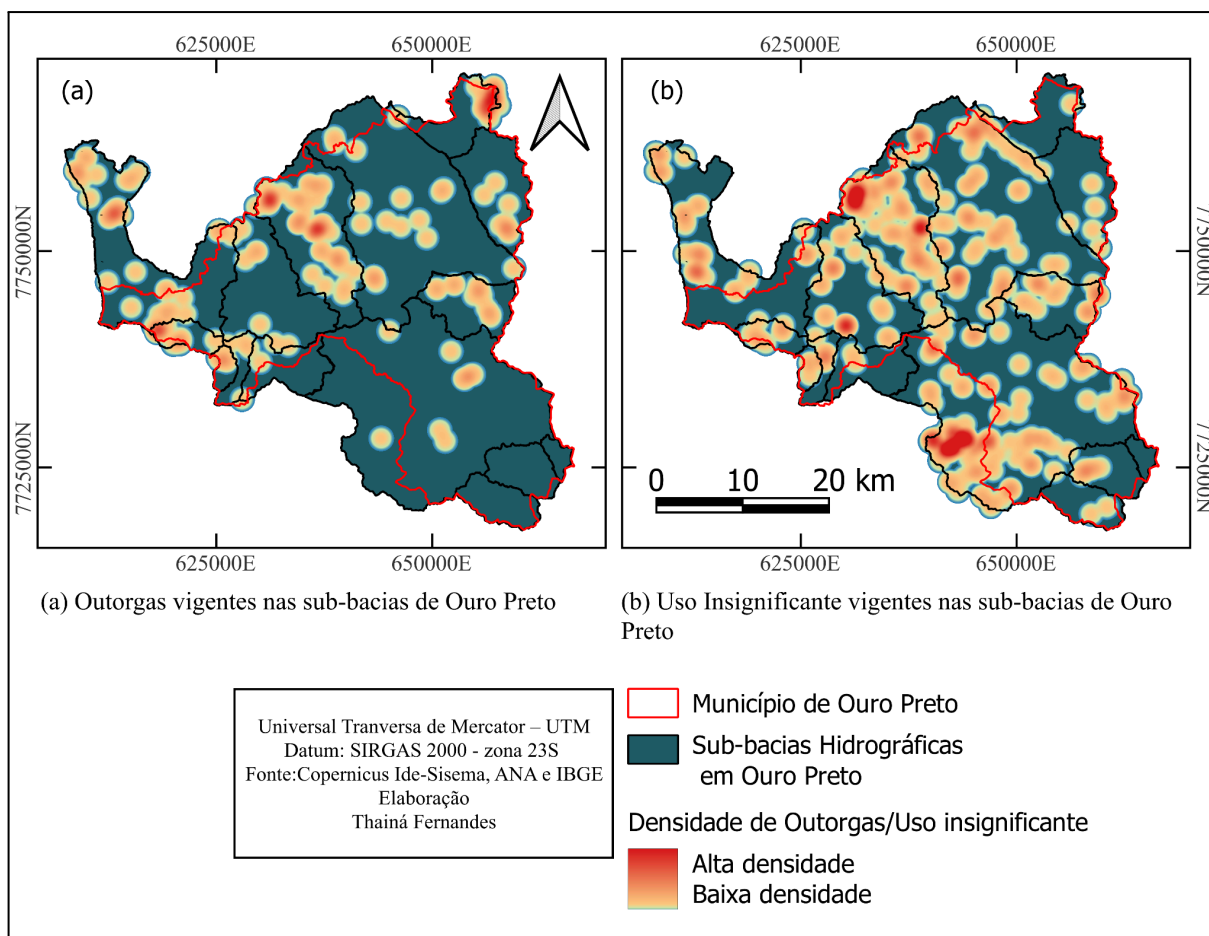
4.5 Outorgas e uso insignificante

No município de Ouro Preto, o abastecimento público de água é feito principalmente por meio da captação de água superficial, proveniente de rios, riachos e córregos das bacias hidrográficas. Em alguns casos, também é utilizada água subterrânea, proveniente de nascentes ou minas desativadas (Borba *et al.*, 2004).

As outorgas, de acordo com o Mapa 08 (a), estão concentradas na sub-bacia do Rio Piracicaba e na sub-bacia do Rio Maracujá e na BH do Rio Mata Porcos (principalmente na região a montante de Ouro Preto), havendo captação tanto superficial quanto subterrânea de água. De acordo com o Gráfico 05, a sub-bacia de maior vazão outorgada é a sub-bacia hidrográfica do Rio Mata Porcos e do Rio Maracujá respectivamente. Mais da metade das outorgas da sub-bacia do Rio Mata Porcos é destinada à empresa de mineração Vale, em Ouro Preto, e outra parte é destinada para diversos fins, como a siderúrgica Gerdau, o abastecimento de fazendas e algumas residências em Itabirito. A sub-bacia do Rio Piracicaba também apresenta concentrado número de outorgas, entretanto somente uma outorga retira 65% do volume total das outorgas no corpo no Córrego São Pedro.

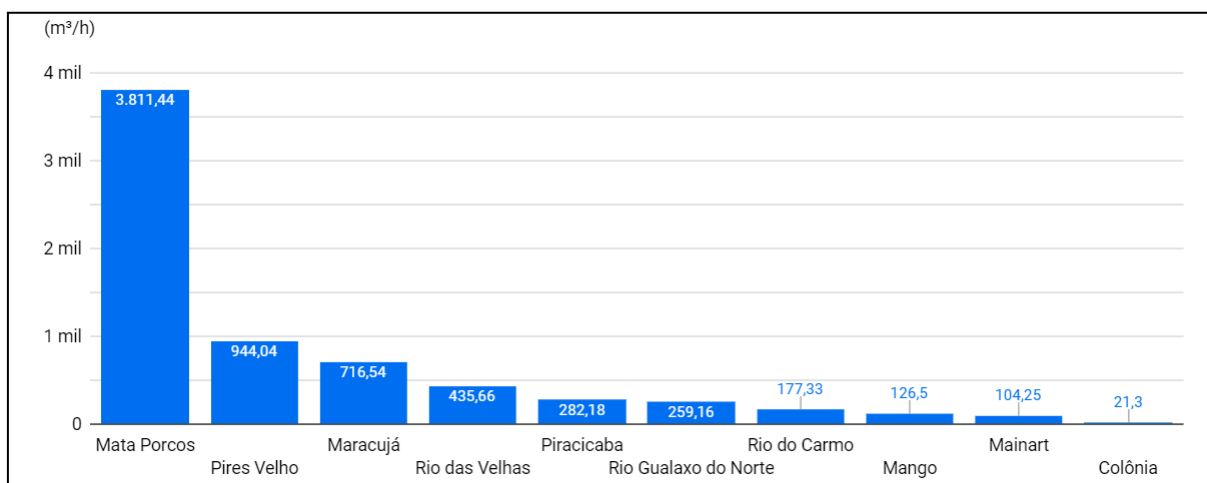
Os usos insignificantes estão concentrados na sub-bacia do Rio Mainart, majoritariamente no município de Ouro Branco, a montante de Ouro Preto, e na sub-bacia do Rio Maracujá, em Ouro Preto (Mapa 08 e Gráfico 06), sendo que a única sub-bacia hidrográfica cuja vazão de uso insignificante ultrapassa a vazão outorgada é a do Rio Mainart. Majoritariamente, a captação está ocorrendo a montante de Ouro Preto, em Ouro Branco, para atender principalmente às demandas de barramento de curso de água sem captação e captação em curso de água (rio, lagoas naturais etc.) do município.

Mapa 07 – Densidade de outorgas e uso insignificante das sub-bacias de Ouro Preto



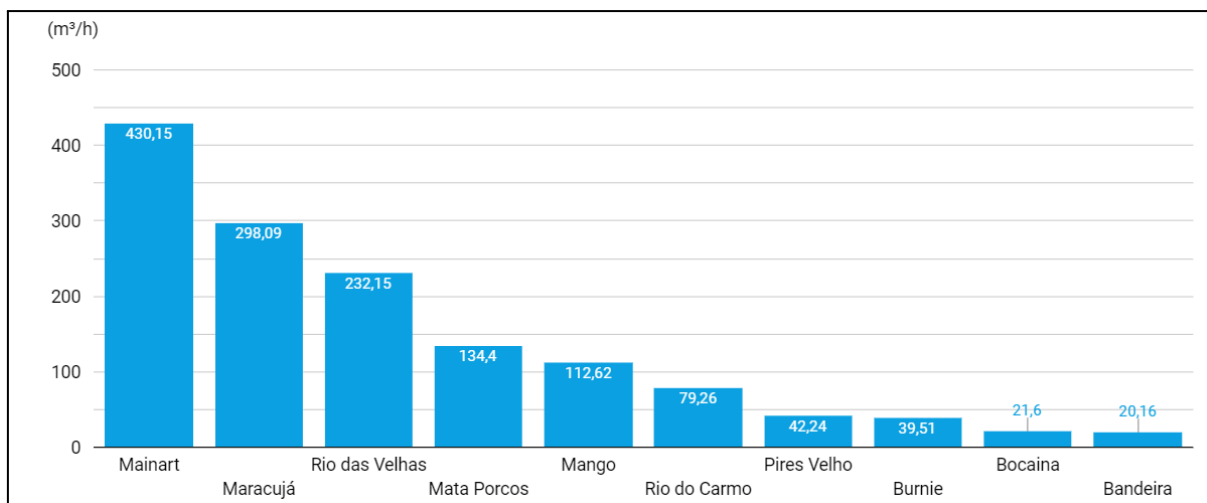
Fonte: elaboração própria.

Gráfico 05 – Vazão outorgada nas sub-bacias de Ouro Preto



Fonte: elaboração própria.

Gráfico 06 – Vazão uso insignificante nas sub-bacias de Ouro Preto



Fonte: elaboração própria.

4.6 Uso e ocupação do solo

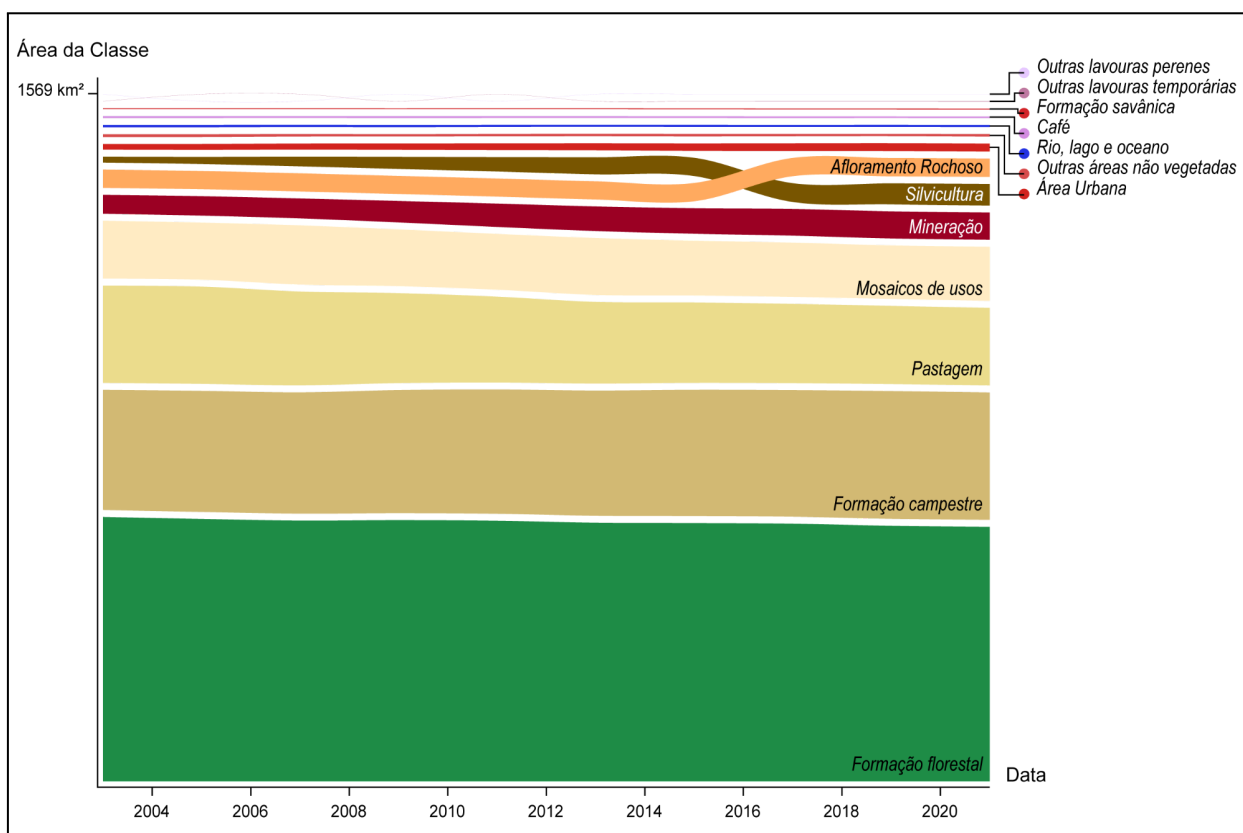
Com o intuito de realizar uma análise sistemática da ocupação e do uso do solo integrada às informações disponíveis de IQA, foi selecionado o mesmo período, de 2003 a 2021, para a obtenção dos resultados. O resultado mais significativo mostrou que houve um aumento de 44,4% da área de mineração em 2021, em comparação com 2003, nas áreas das sub-bacias de Ouro Preto. Além disso, a maior variação em porcentagem observada foi em relação à categoria de “outras lavouras temporárias”. Contudo, a representação destas em área é a menor, quando comparada aos outros aspectos, não acarretando mudanças significativas de área.

Observando o Gráfico 01, é possível notar que a formação florestal, ao longo do período analisado, sofreu continuamente perdas de área, juntamente com a pastagem e os mosaicos de usos. É notável que, em razão da alteração da paisagem pelo manejo do uso e da ocupação do solo, o afloramento rochoso tem aumentado, ou seja, a camada de solo que cobre as rochas está sendo retirada e/ou erodida, sendo necessários mais estudos para explicitar as causas e os impactos desse aumento. Outros usos que apresentaram aumento durante o período analisado foram a silvicultura, área urbana e formação campestre.

No diagrama de Sankey (Gráfico 02), foi feita a análise das alterações de uso e ocupação do solo para o território do limite político de Ouro Preto por meio da plataforma *on-line* do MapBiomas entre os anos de 2000 e 2021. Esse diagrama auxilia na compreensão das principais comutações paisagísticas ao longo do tempo. Pode-se observar que: a maior transferência de áreas da formação florestal foi para a agropecuária; as áreas transferidas da agropecuária passaram de forma dividida para a formação florestal e formação natural não florestal; as áreas não vegetadas aumentaram significativamente nesse tempo, admitindo áreas que pertenciam à formação natural não florestal e à agropecuária.

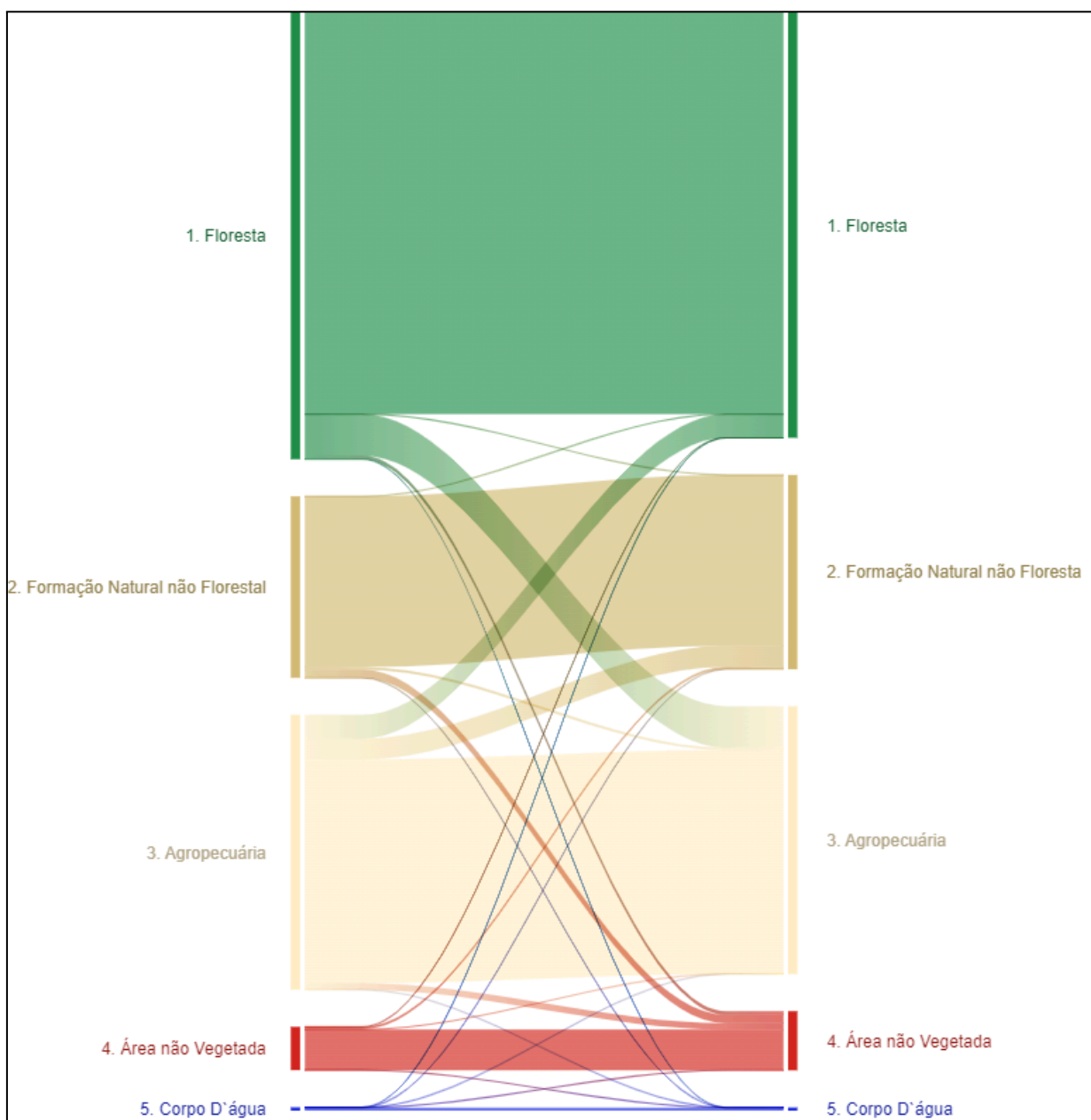
Os Gráficos 03 e 04 trazem a proporção do uso e da cobertura do solo nos anos de 2003 e 2004 em todas as sub-bacias, respectivamente. A sub-bacia do Rio Pires Velho apresentou-se em 2003 com a maior proporção de mineração e, em 2021, a área aumentou significativamente. O aumento da silvicultura de 2003 a 2021 foi significativo nas sub-bacias do Córrego Cardosos, Córrego Correia, Córrego Bandeira e Rio Mainart. A mancha urbana se encontra preponderantemente na sub-bacia do Rio do Carmo. Em questão de área, entre os anos de 2003 e 2021, a proporção da mancha urbana diminuiu menos de 1%. A sub-bacia do Rio Maracujá teve um significativo aumento da pastagem no período analisado.

Gráfico 01 – Análise temporal entre 2003 e 2021 do uso e da ocupação do solo das sub-bacias de Ouro Preto, MG



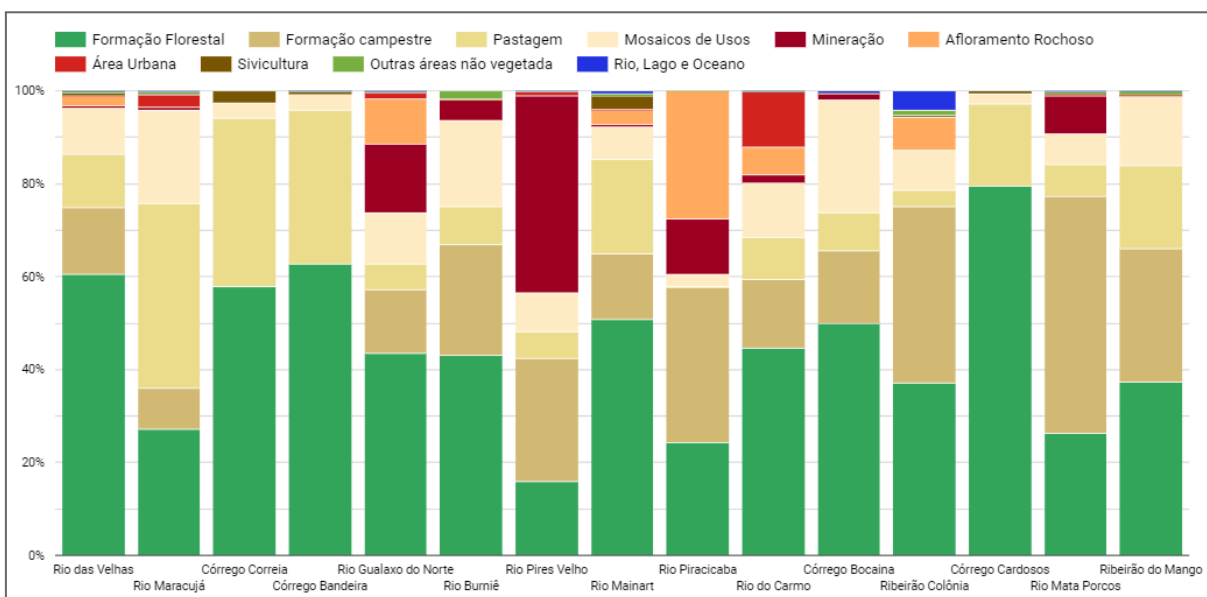
Fonte: elaboração própria.

Gráfico 02 – Diagrama de Sankey da transformação dos usos e das ocupações do solo na área do município de Ouro Preto entre 2000 e 2021



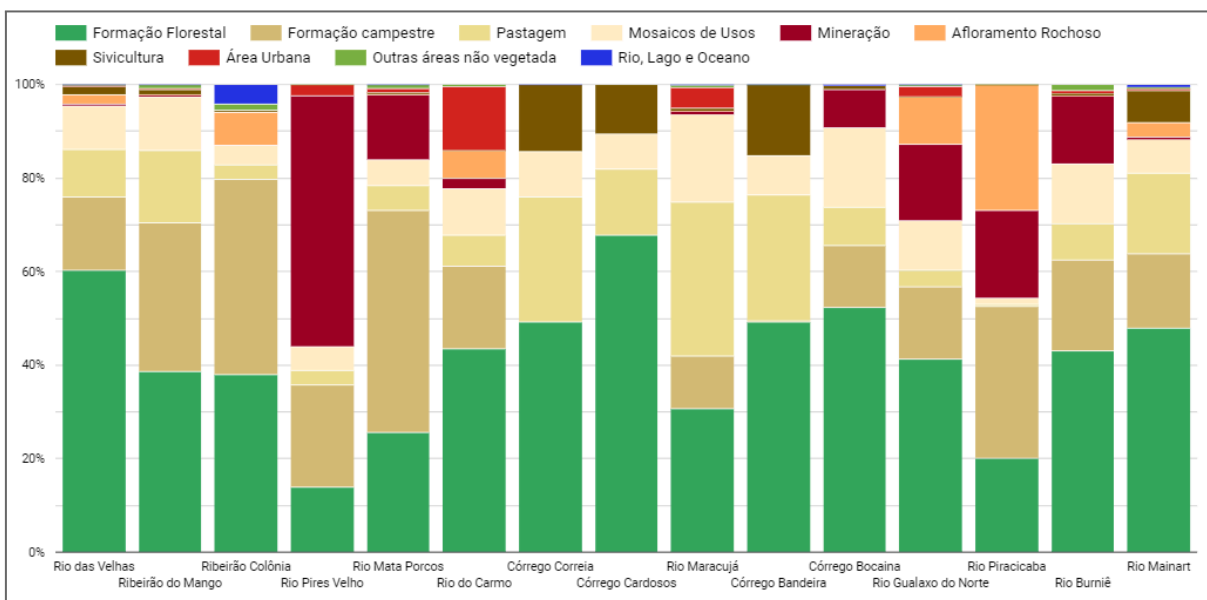
Fonte: MapBiomias (2024).

Gráfico 03 – Proporção de uso e ocupação dos solos nas sub-bacias pertencentes a Ouro Preto no ano de 2003



Fonte: elaboração própria, com base em dados do MapBiomias (2024).

Gráfico 04 – Proporção de uso e ocupação dos solos nas sub-bacias pertencentes a Ouro Preto no ano de 2021



Fonte: MapBiomias (2024).

4.7 Estimativa preliminar das potenciais Áreas de Preservação Permanente de cursos d'água

As Áreas de Preservação Permanentes (APPs) são regiões que necessitam da preservação de suas características naturais para garantir a integridade e a conservação dos recursos hídricos, a estabilidade geológica e a biodiversidade. Compreende-se que esses três elementos — água, solo e diversidade biológica — estão intrinsecamente ligados e precisam ser mantidos conjunta e simultaneamente, especialmente em áreas mais sensíveis, como nascentes e encostas. Assim, torna-se imprescindível demarcar essas áreas nas bacias hidrográficas, a fim de estabelecer zonas livres de influência humana.

A delimitação das APPs é prevista na Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa:

Art. 4º Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta Lei:

I – as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:

- a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
- b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
- c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
- d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;
- e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;

[...]

IV – as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros;

V – as encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive;

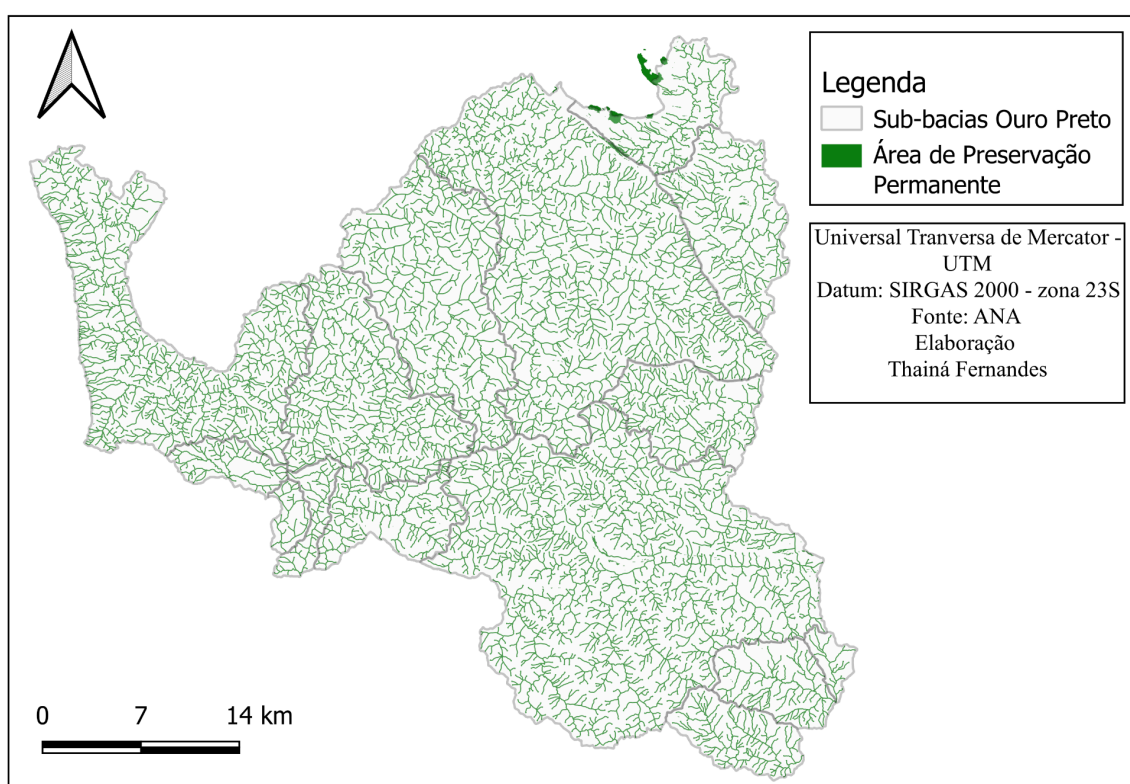
X – as áreas em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação; [...]

(Brasil, 2012).

Os incisos II, III, VI, VII, VIII e IX do art. 4º não foram transcritos por não tratarem de áreas pertinentes aos cursos da rede hidrográfica, ou por demandarem dados e análises que não foram objetos de estudo no presente trabalho.

É apresentada no Mapa 07 a delimitação das APPs das nascentes dos cursos d'água das sub-bacias de Ouro Preto, estimativa preliminar das margens de APPs dos rios e determinação das APPs de acordo com a Lei n. 12.651/2012 ,art. 4º, inciso I (estimativa), IV, V e X, (apresentado na [seção 2.5 “Área de Preservação Permanente”](#)). Ainda que essa delimitação não esteja interligada com o objeto de estudo do presente trabalho, faz-se importante para futuras pesquisas, ensaios e intervenções em determinada área delimitada ou de trecho das sub-bacias apresentadas nesta pesquisa.

Mapa 08 – Delimitação das APPs nas sub-bacias de Ouro Preto



Fonte: elaboração própria.

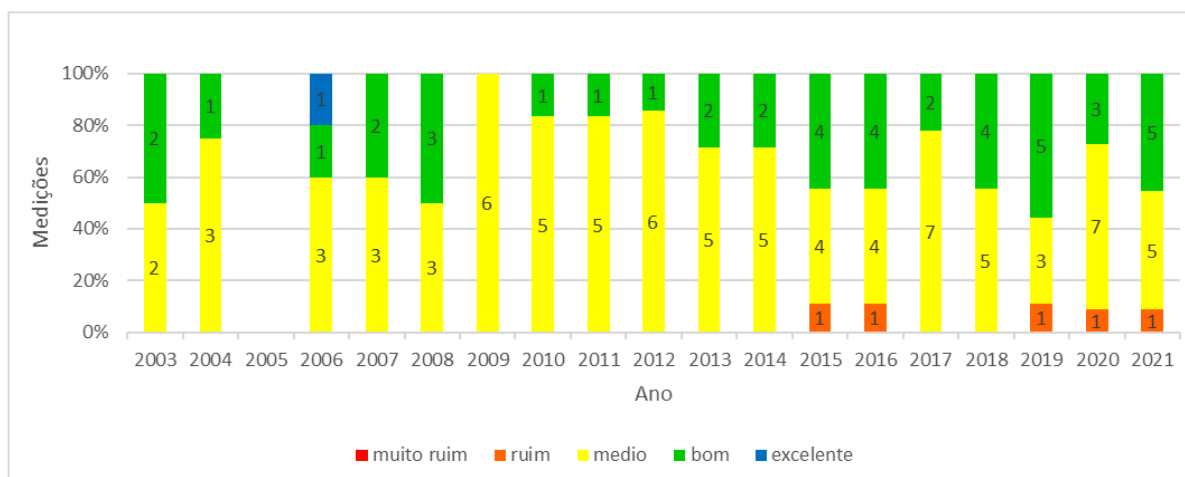
4.8 Resultados dos IQAs e do uso e da cobertura do solo das sub-bacias

4.8.1 TERRITÓRIO MUNICIPAL DE OURO PRETO

As medições do índice de qualidade da água (IQA) no município de Ouro Preto iniciaram-se pela bacia do Rio São Francisco, por três pontos de coleta inseridos em Ouro Preto e um fora. Somente em 2020 foram adicionados dois pontos de monitoramento localizados na bacia do Rio Doce, totalizando sete pontos de monitoramento do IQA. A seleção dos pontos de amostragem fora do limite do município de Ouro Preto para análise de IQA de sub-bacias partiu da exigência de que estivessem em um raio de até 10 km do limite territorial de Ouro Preto.

É possível identificar, no Gráfico 07, que o IQA médio de Ouro Preto é classificado em “médio”. O gráfico também evidencia a evolução do aumento dos pontos de IQA ao longo do tempo: a medição iniciou-se com quatro pontos de coleta e análise, em 2003, e ampliou-se para 11 pontos de coleta e análise a partir de 2020. Em 2005, não houve medição do IQA em nenhuma estação em análise neste trabalho.

Gráfico 07 – Frequência de ocorrência de IQA anual nas sub-bacias hidrográficas de Ouro Preto, MG



Fonte: adaptado de IGAM (2024).

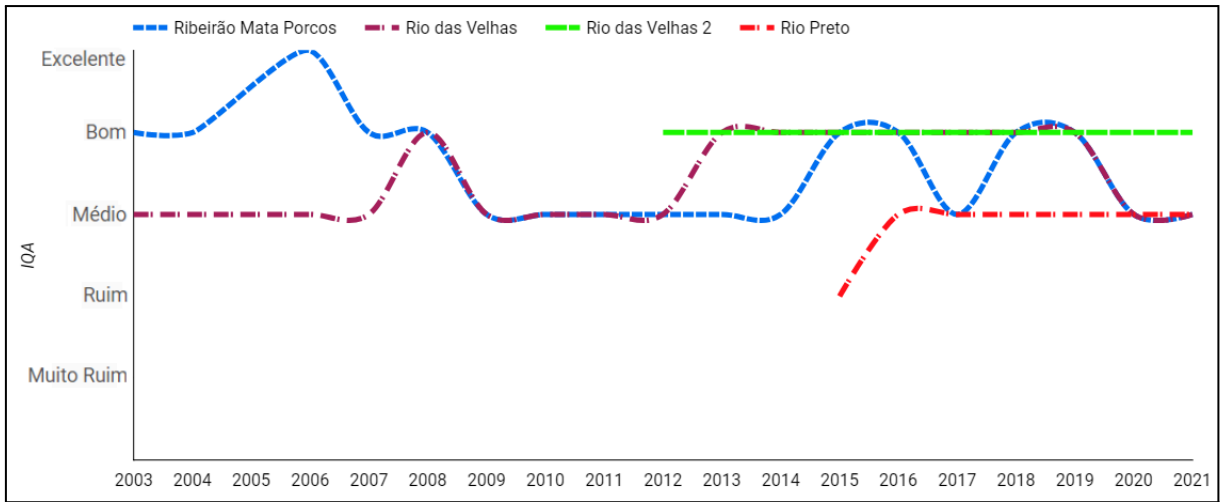
Com a implementação do Programa Águas de Minas, Ouro Preto teve em 2003 o monitoramento do IQA em três sub-bacias hidrográficas do Rio São Francisco, nas sub-bacias hidrográficas do Rio Maracujá, Ribeirão Mata Porcos e Ribeirão do Silva (Gráfico 08).

A área urbanizada está situada predominantemente no distrito-sede, na sub-bacia do Rio do Carmo, onde há um ponto de amostragem de qualidade das águas no Córrego Tripuí, localizado a montante da área urbana e a jusante de áreas mineradas. Não há outro ponto de amostragem a jusante do centro urbano, portanto não pode ser identificada a qualidade da água a jusante da cidade. No município de Ouro Preto, somente o distrito de Miguel Burnier faz tratamento do esgoto coletado.

Nos Gráfico 08 e 09, são apresentados os IQAs de todas as sub-bacias que possuem pontos de amostragem nas sub-bacias do Rio São Francisco e do Rio Doce. Pode-se notar que, em 2011, 2015, 2016 e 2020, houve um resultado de análise do IQA classificado como “ruim”, respectivamente, nos pontos de coletas do Rio Maracujá (AV020), Rio Preto (BP016), Ribeirão Soledade e, novamente, no Rio Maracujá (AV020), todos pertencentes à bacia hidrográfica do Rio São Francisco.

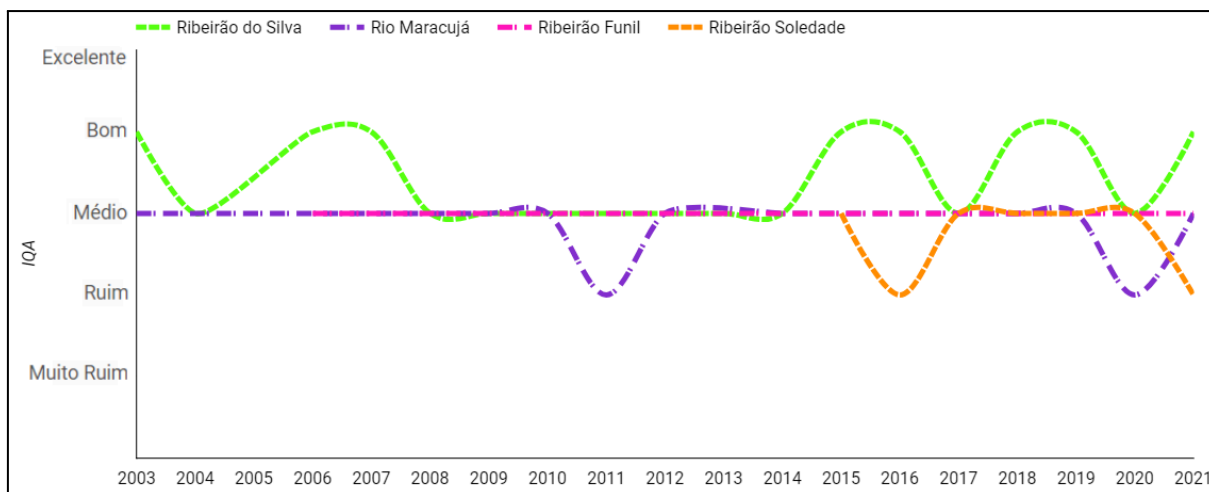
As sub-bacias do Rio Doce tiveram sua primeira medição do IQA em 2008, na área de estudo, no Rio Piracicaba, no município de Mariana, cujo resultado apresentou-se entre “bom” e “médio”. Em 2020, houve a primeira medição do IQA dentro do território ouro-pretano nas sub-bacias do Rio Doce (sub-bacia do Rio Mainart e sub-bacia do Rio do Carmo).

Gráfico 08 – IQA nas sub-bacias do Rio São Francisco em Ouro Preto, de 2003 a 2021



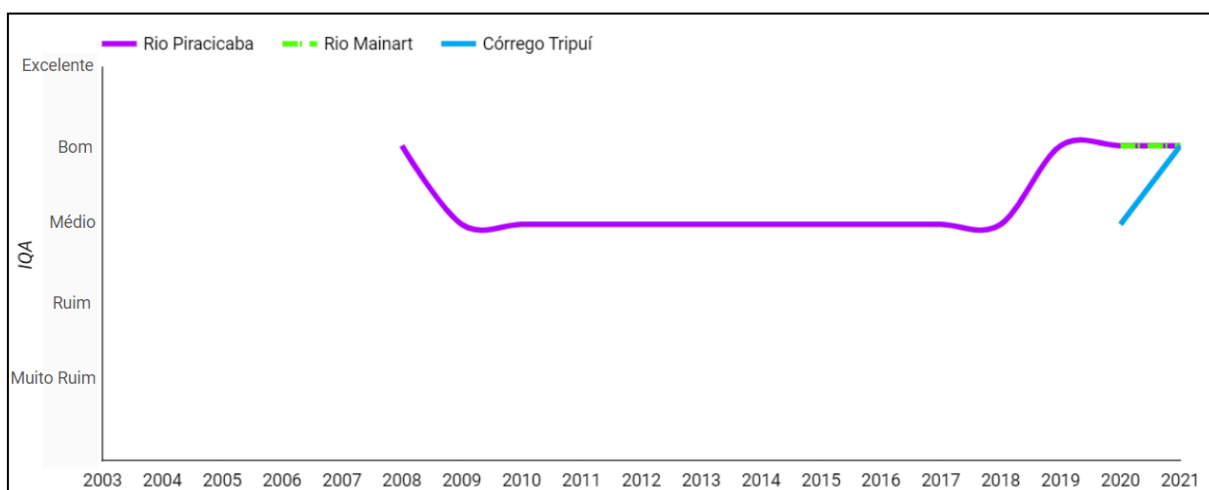
Fonte: elaboração própria.

Gráfico 09 – IQA nas sub-bacias do Rio São Francisco em Ouro Preto, de 2003 a 2021



Fonte: elaboração própria.

Gráfico 10 – IQA nas sub-bacias do Rio Doce em Ouro Preto



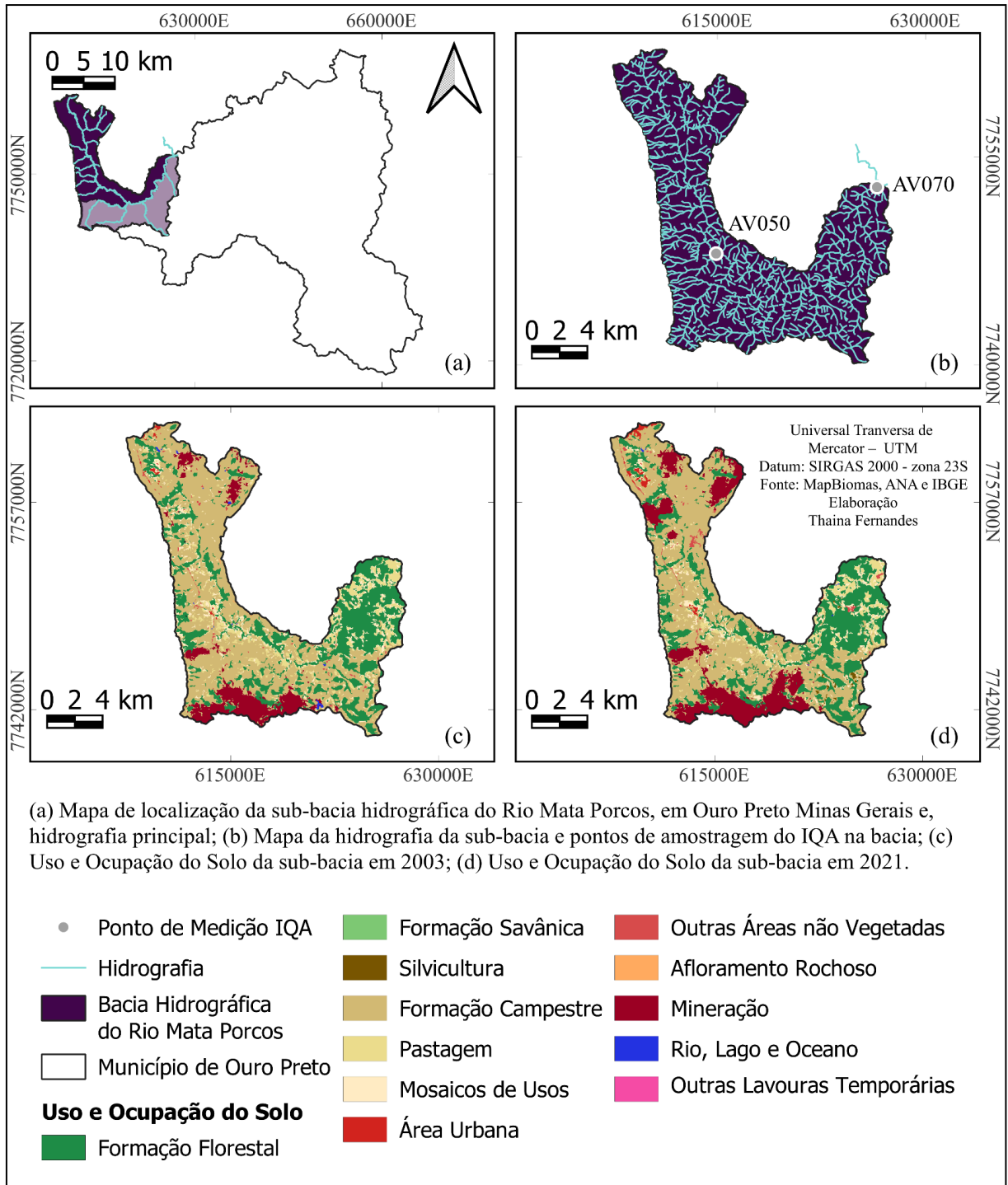
Fonte: elaboração própria.

4.8.2 BH RIBEIRÃO MATA PORCOS

A sub-bacia hidrográfica do Rio Mata Porcos possui área total de 190,2 km². Essa bacia está majoritariamente inserida no município de Itabirito (59,9%), onde se encontra sua nascente, e 40,1% da bacia estão inseridos em Ouro Preto. O uso e a ocupação do solo preponderantes é formação campestre (47,5%), formação florestal (25,6%), segundo dados de 2021. A mineração teve um aumento de 68,6% em comparação com 2003, tendo passado de 8,3% para 13,9%, em 2021.

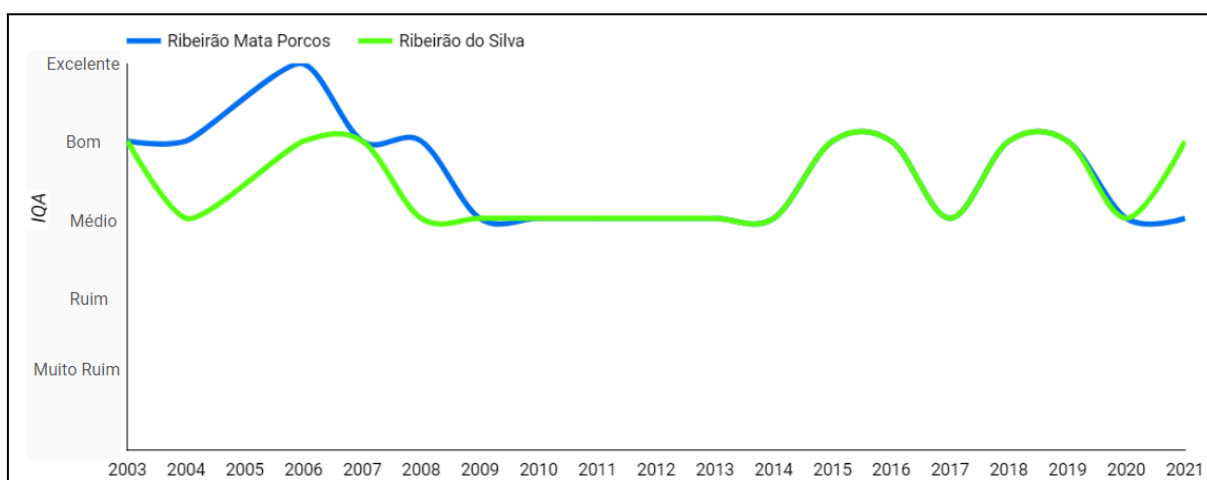
Na sub-bacia, há dois pontos de medição do IQA que operam desde 2003, como pode ser visto no Painel de mapas 03. O primeiro ponto, a montante, está inserido em Itabirito, no Ribeirão Silva (AV050), e o segundo está na divisa dos municípios de Itabirito e Ouro Preto, perto do exutório, no Ribeirão Mata Porcos (AV070). Não há presença de comunidades a montante dos pontos de IQA, como revela o Painel de mapas 03. Ao longo dos anos, o índice de qualidade das águas apresentou-se entre “médio” e “bom”, como expõe o Gráfico 10. Unicamente em 2006, o IQA foi “excelente” no ponto de medição no Ribeirão Mata Porcos. A sub-bacia está localizada dentro da área de drenagem do Rio São Francisco, no comitê da bacia hidrográfica (CBH) do Rio das Velhas (SF5).

Painel de mapas 03 – Sub-bacia hidrográfica do Rio Mata Porcos, Ouro Preto, MG



Fonte: elaboração própria.

Gráfico 11 – Frequência de ocorrência de IQA anual na sub-bacia hidrográfica do Rio Mata Porcos, Ouro Preto, MG



Fonte: elaboração própria.

4.8.3 BH RIBEIRÃO SOLEDADE (BH BURNIE E COLÔNIA)

A sub-bacia hidrográfica do Rio Burniê possui uma área de 16,7 km². Entre os anos de 2003 e 2021, sofreu mudanças significativas no uso e na ocupação do solo. Em 2003, os usos preponderantes foram a formação florestal (43% da área da bacia), formação campestre (24%), mosaicos de usos (19%) e mineração (4%). Em 2021, apesar de a formação florestal ter se mantido a mesma, a formação campestre e os mosaicos de usos diminuíram sua área, passando a representar 19% e 13%, respectivamente, enquanto a mineração passou a ocupar 15% da área da bacia.

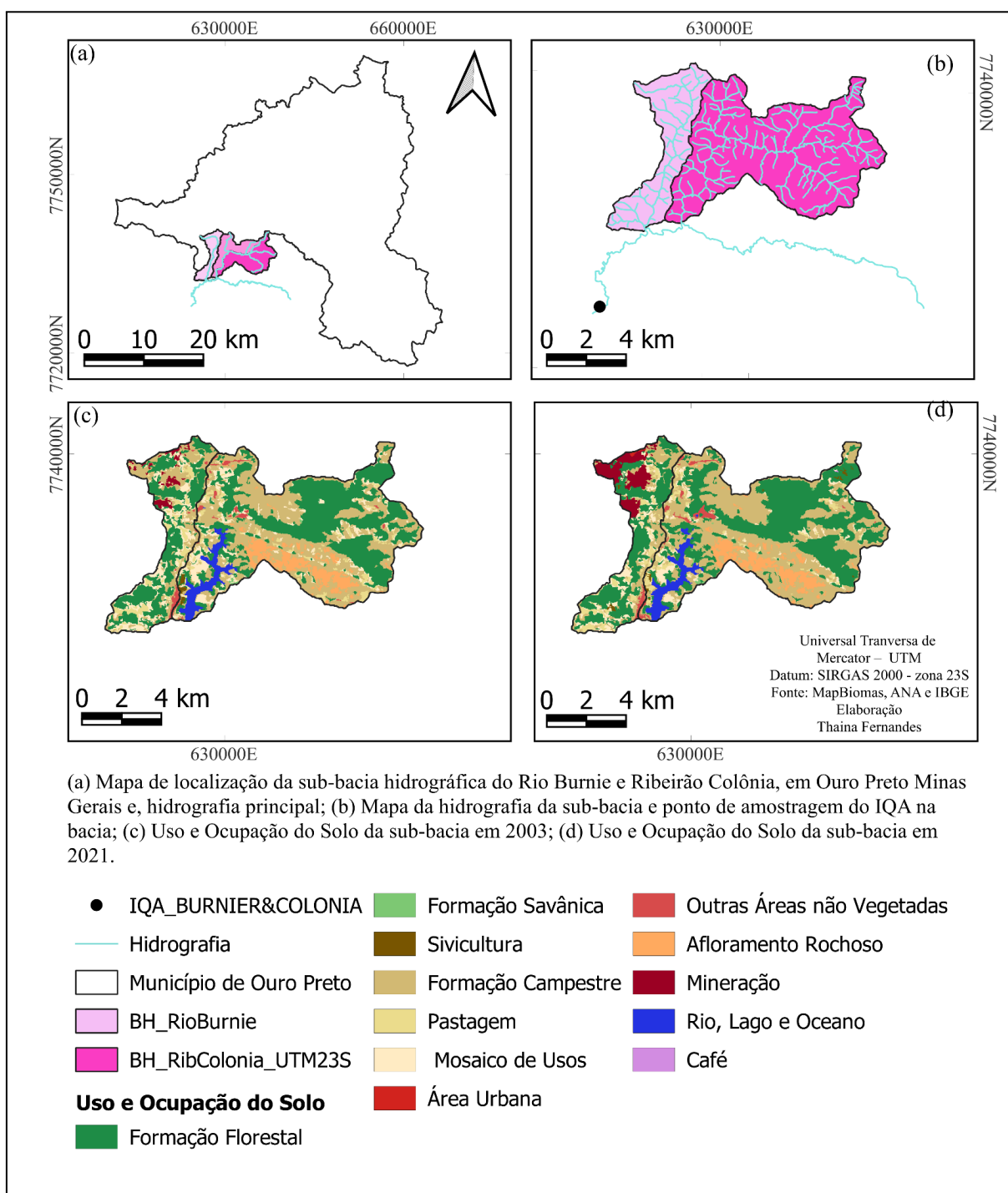
A bacia hidrográfica do Ribeirão Colônia possui área de 48,7km², fronteira com a sub-bacia do Rio Burniê, e está inserida em dois municípios, Ouro Preto e Ouro Branco (Painel de mapas 04). Em 2003, os usos e as ocupações do solo predominantes foram formação florestal (37%), formação campestre (38%) e mosaicos de usos (9%). No ano de 2021, as mudanças no uso e na ocupação do solo foram sutis. A formação florestal e a formação campestre aumentaram sua proporção na área da bacia para 38% e 42%, respectivamente. As duas atividades econômicas na bacia diminuíram, tendo passado para 4% o mosaico de uso e para 3% a pastagem — que em 2003 era 4%. As áreas de rios e lagos

permaneceram em 4% nos dois anos analisados. Ambas as bacias estão inseridas na bacia hidrográfica do Rio São Francisco, no CBH Rio Paraopeba (SF3).

O ponto de medição do Ribeirão Soledade (estação BP014), localizado no limite de Congonhas com Conselheiro Lafaiete, define a qualidade das águas de duas sub-bacias, Ribeirão Colônia e Ribeirão Burnie, a sudoeste do município de Ouro Preto, e também a de outras sub-bacias que percorrem os municípios de Ouro Branco e Congonhas (Painel de mapas 04). A montante do ponto de amostragem, está localizada a Gerdau, indústria produtora de aço, a três quilômetros aproximadamente do ponto de amostragem, e o centro urbano de Ouro Branco, a 10 km aproximadamente do ponto de amostragem.

Esse foi o ponto de amostragem que se mostrou mais crítico com esta análise, tendo apresentado medição de qualidade da água na faixa “ruim” por dois anos, em 2016 e 2021 (Gráfico 11). Entretanto, os resultados não são conclusivos sobre qual sub-bacia é responsável pelas condições da qualidade da água no ponto de medição, tampouco a responsabilidade de cada município ou as ações para mitigação da faixa “ruim” do IQA do corpo hídrico.

Painel de mapas 04 – Sub-bacia hidrográfica do Rio Burnie e Ribeirão Colônia, Ouro Preto, MG



Fonte: elaboração própria.

Gráfico 12 – Frequência de ocorrência de IQA anual na sub-bacia hidrográfica do Rio Burnier e Colônia, Ouro Preto, MG



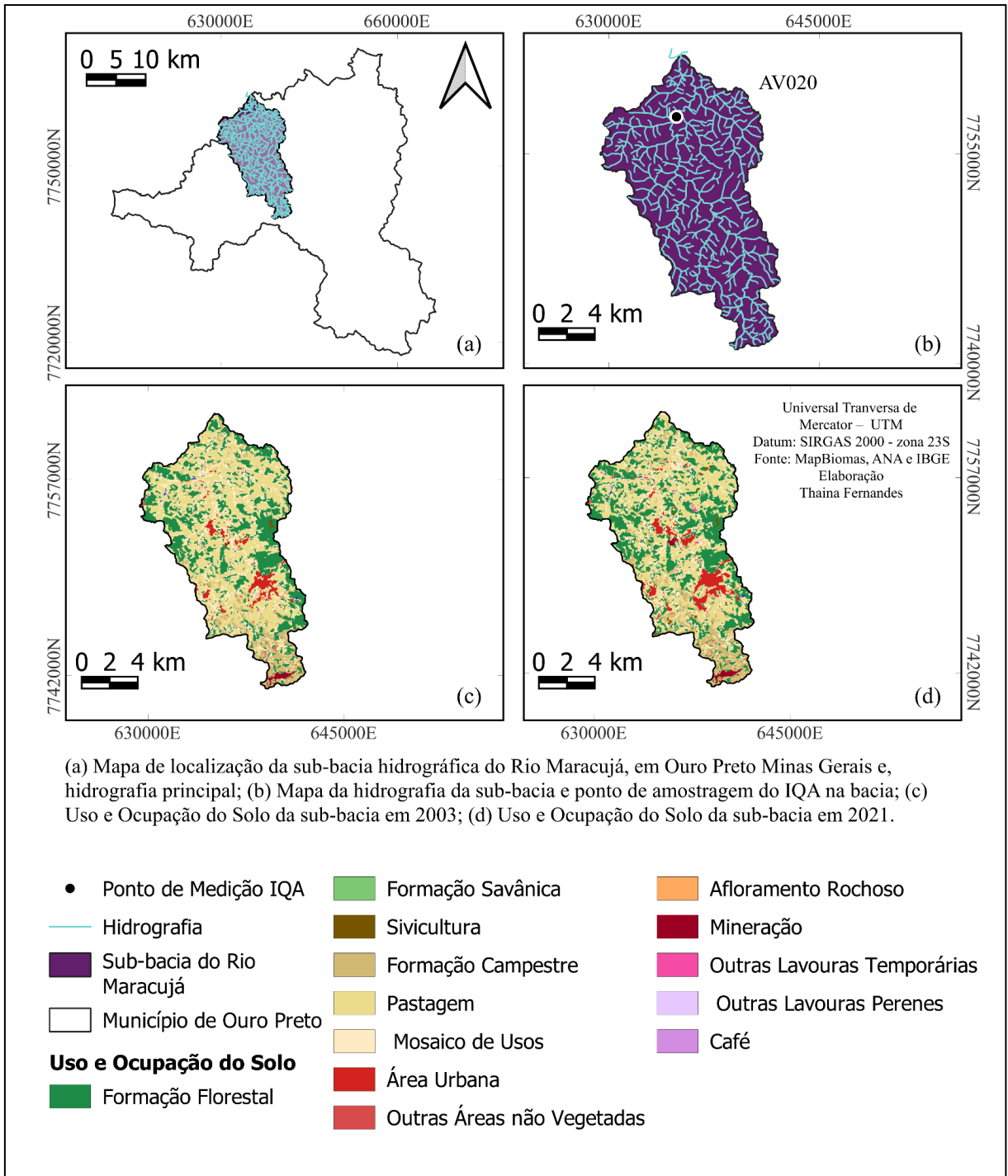
Fonte: elaboração própria.

4.8.4 BH RIO MARACUJÁ

O Rio Maracujá nasce a leste do distrito de Cachoeira do Campo, em uma área de mineração, e percorre duas áreas urbanizadas, de Cachoeira do Campo e Amarantina (Painel de mapas 05). Tem contribuintes também nos distritos de Glaura e Santo Antônio do Leite. Sua sub-bacia, inserida no território de Ouro Preto, possui uma área de 144,8 km². Em 2003, os usos e as ocupações do solo predominantes da bacia foram pastagem (39,61% da bacia), formação florestal (27,0%) e mosaicos de usos (20,8%). Com os dados de 2021, foi possível notar diversas alterações no uso e na ocupação do solo da sub-bacia do Rio Maracujá: a pastagem e a formação florestal passaram a representar 32,8% e 30,6% da área, respectivamente, e 4,5% da bacia da área urbanizada, um aumento de 60%, se considerado o ano de 2003, quando ocupava 2,8% da sub-bacia. A bacia está localizada dentro da área de drenagem do Rio São Francisco, no Comitê do Rio das Velhas (SF5).

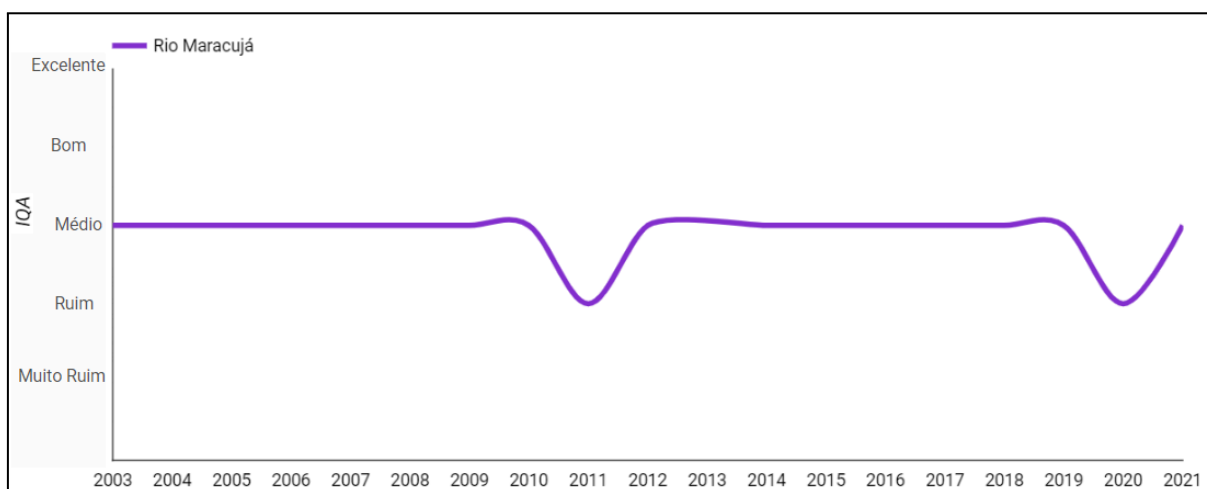
A medição do IQA na sub-bacia do Rio Maracujá iniciou-se em 2003 e é realizada no distrito de Amarantina, a jusante dos centros urbanos de Amarantina e Cachoeira do Campo (estação AV020). Nas 17 medições analisadas, houve duas vezes IQA na faixa “ruim”, em 2011 e 2020 (Gráfico 12). Em 2020 a presença de *Escherichia coli*, por indicativo de contaminação fecal e fósforo total, indicando o enriquecimento orgânico, não atenderam ao limite legal.

Painel de mapas 05 – Sub-bacia hidrográfica do Rio Maracujá, Ouro Preto, MG



Fonte: elaboração própria.

Gráfico 13 – Frequência de ocorrência de IQA anual na sub-bacia hidrográfica do Rio Mata Porcos, Ouro Preto, MG



Fonte: elaboração própria.

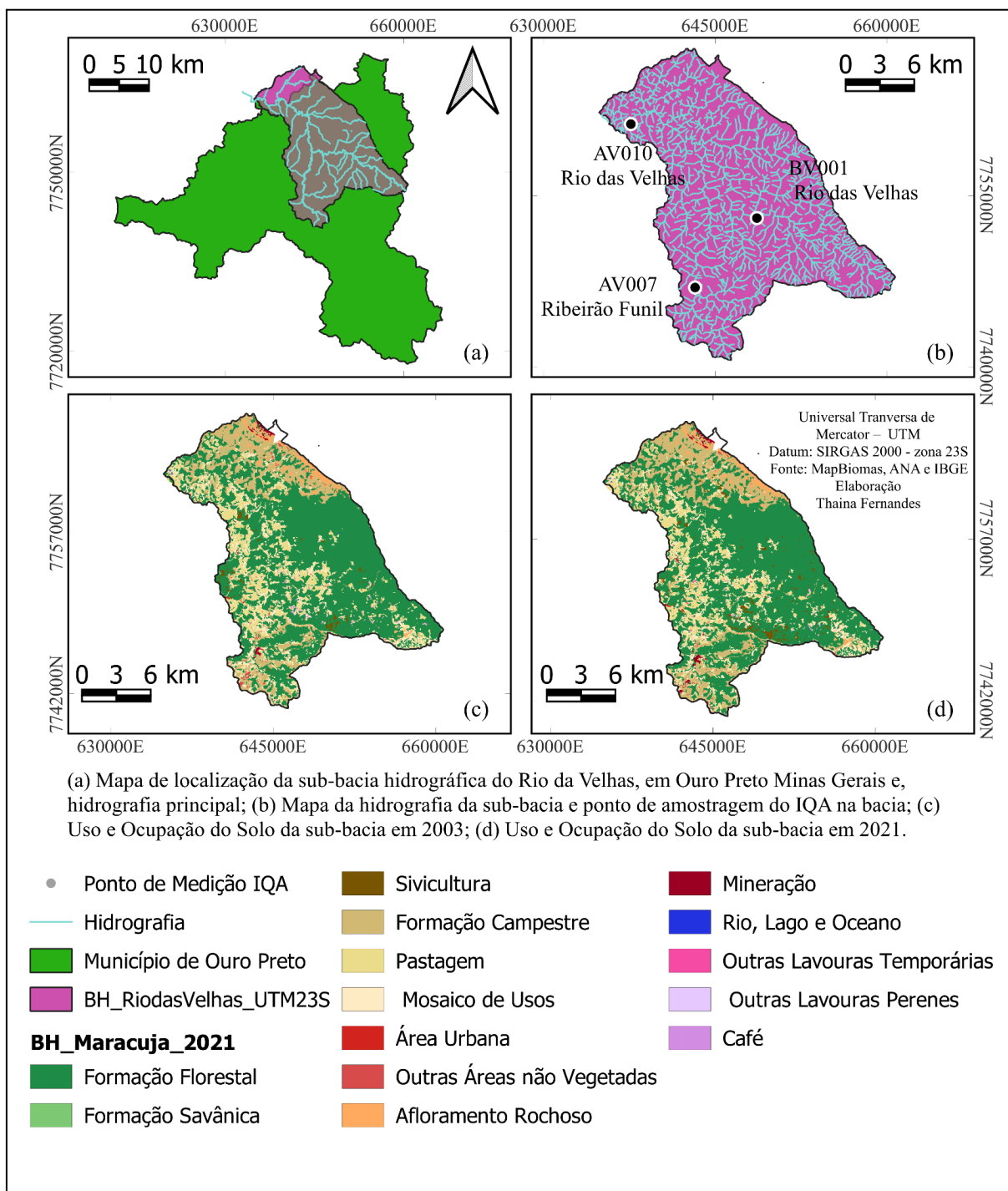
4.8.5 BHRIO DAS VELHAS

A sub-bacia hidrográfica do Rios das Velhas, delimitada no território ouro-pretano, possui uma área de drenagem de 324,9 km² e ocupa a parte centro-norte do município, estando uma pequena porção inserida no município de Itabirito (Painel de mapas 06). O uso e a ocupação do solo apresentam predomínio de formação florestal (60% da área da bacia), seguida de formação campestre (16%) e pastagem (10%), em 2021. Houve pouca variação do uso do solo no período de 2003 a 2021. O Rio das Velhas é o maior afluente em extensão do Rio São Francisco: sua nascente encontra-se na cachoeira das Andorinhas, em Ouro Preto, e percorre 806,8 km até desaguar no Velho Chico, no município de Várzea de Palma. A bacia está localizada dentro da área de drenagem do Rio São Francisco, no comitê do Rio das Velhas (SF5).

Há três pontos de monitoramento da qualidade das águas na sub-bacia, um a jusante da nascente do Rio das Velhas (estação BV001), outro a jusante da nascente do Ribeirão Funil (AV007), o terceiro a jusante do Ribeirão Funil que deságua no Rio das Velhas (AV010). A primeira medição da bacia ocorreu em 2003 na estação AV010 e, a partir de 2006, a estação AV007 passou a ser analisada. Ambas as estações apresentaram variação da faixa do IQA de “médio” e “bom”, de acordo com o Gráfico 13. Em 2012, passou-se a analisar o IQA da

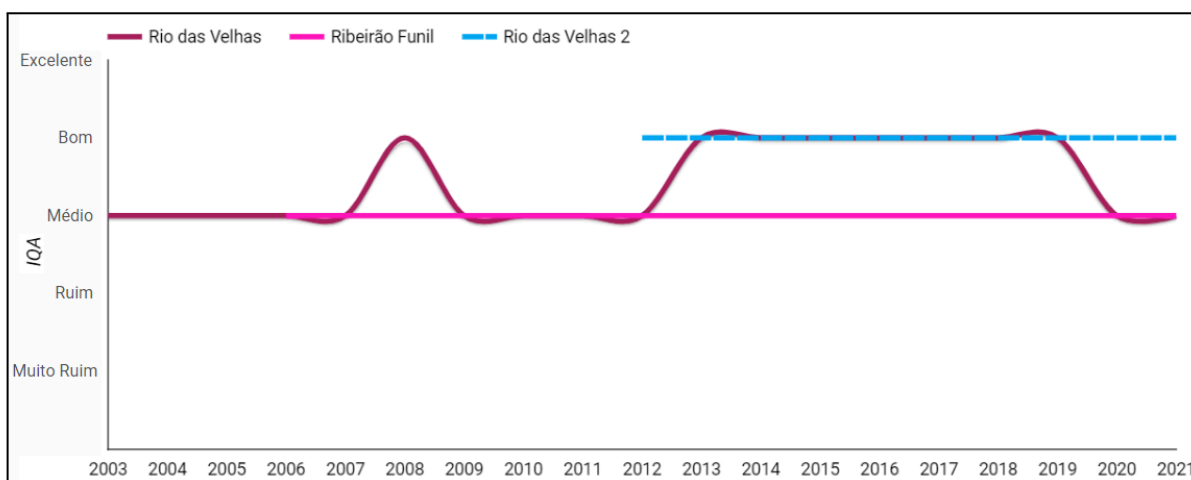
nascente do Rio das Velhas (BV001) e, desde então, apresentou-se somente na faixa “bom” do IQA.

Painel de mapas 06 – Sub-bacia hidrográfica do Rio das Velhas, Ouro Preto, MG



Fonte: elaboração própria.

Gráfico 14 – Frequência de ocorrência de IQA anual na sub-bacia hidrográfica do Rio Mata Porcos, Ouro Preto, MG



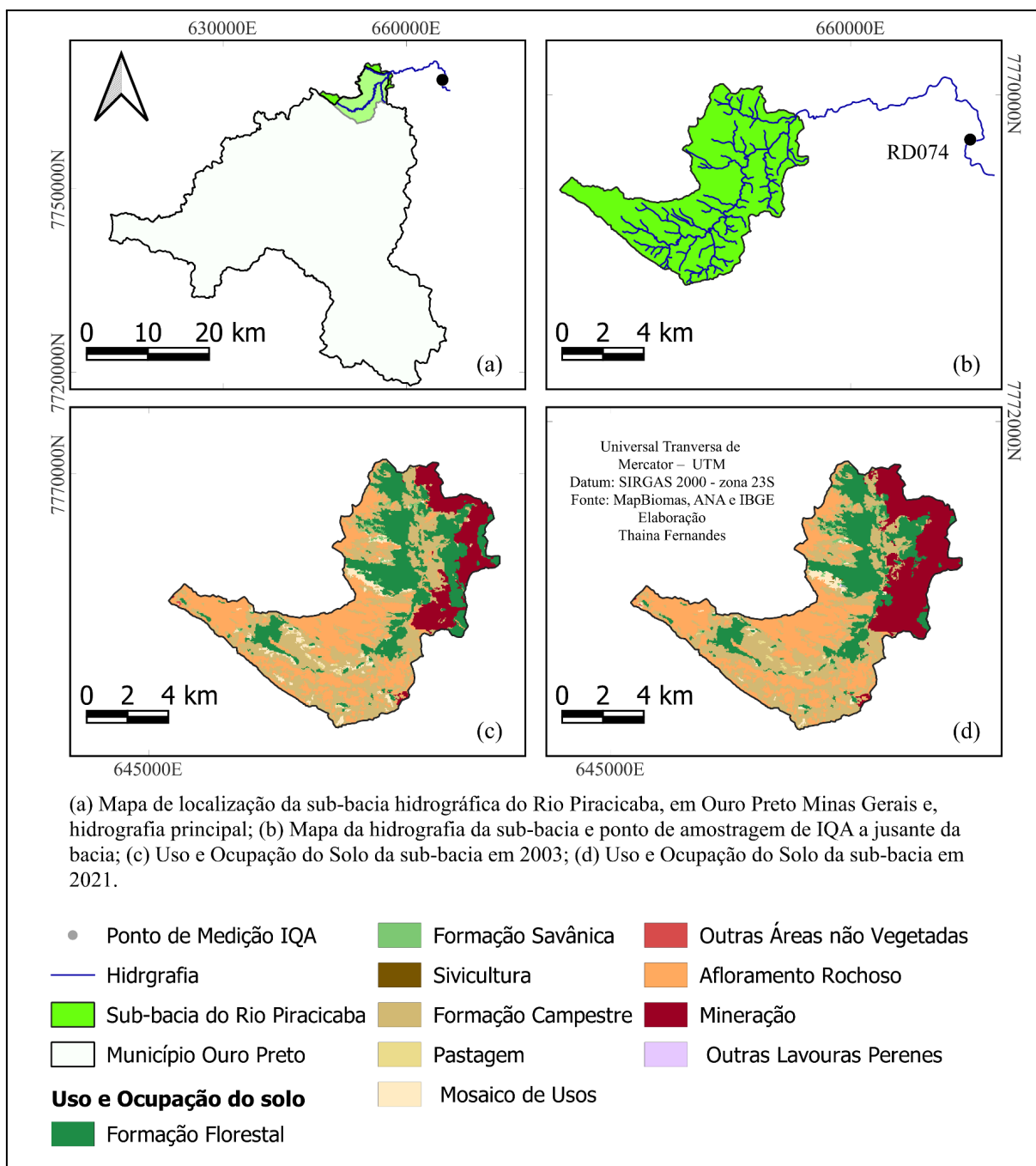
Fonte: elaboração própria.

4.8.6 BH RIO PIRACICABA

A sub-bacia hidrográfica do Rio Piracicaba possui 49,6 km² e está localizada na porção norte do município de Ouro Preto (Painel de mapas 07). O uso e a ocupação do solo dessa bacia sofreram alterações significativas desde 2003. A formação florestal decresceu de 24,1%, em 2003, para 19,9%, em 2021, em relação à cobertura total da bacia. Em contrapartida, a mineração se expandiu e passou de 11,7% da área da bacia, em 2003, para 18,7%, em 2021. A formação campestre e o afloramento rochoso variaram em menos de 1% entre 2003 e 2021, com 32,1% e 26,6%, respectivamente, em 2021. A bacia está localizada dentro da área de drenagem do Rio Doce, no Comitê do Rio Piracicaba (DO2).

O ponto de amostragem do IQA representativo dessa sub-bacia está localizado a aproximadamente 10 km a jusante do seu exutório, no município de Mariana (RD074), sendo esse a medição mais próxima da sub-bacia do Rio Piracicaba. Desde 2008, o IQA avaliado no Rio Piracicaba apresentou qualidade entre a faixa “médio” e “bom”, sendo que as últimas três medições (2019, 2020 e 2021) permaneceram na faixa “bom”, em desacordo com a classe do Rio Piracicaba, que é classe especial, a classe mais exigente quanto aos parâmetros do IQA do corpo hídrico.

Painel de mapas 07 – Sub-bacia hidrográfica do Rio Piracicaba, Ouro Preto, MG



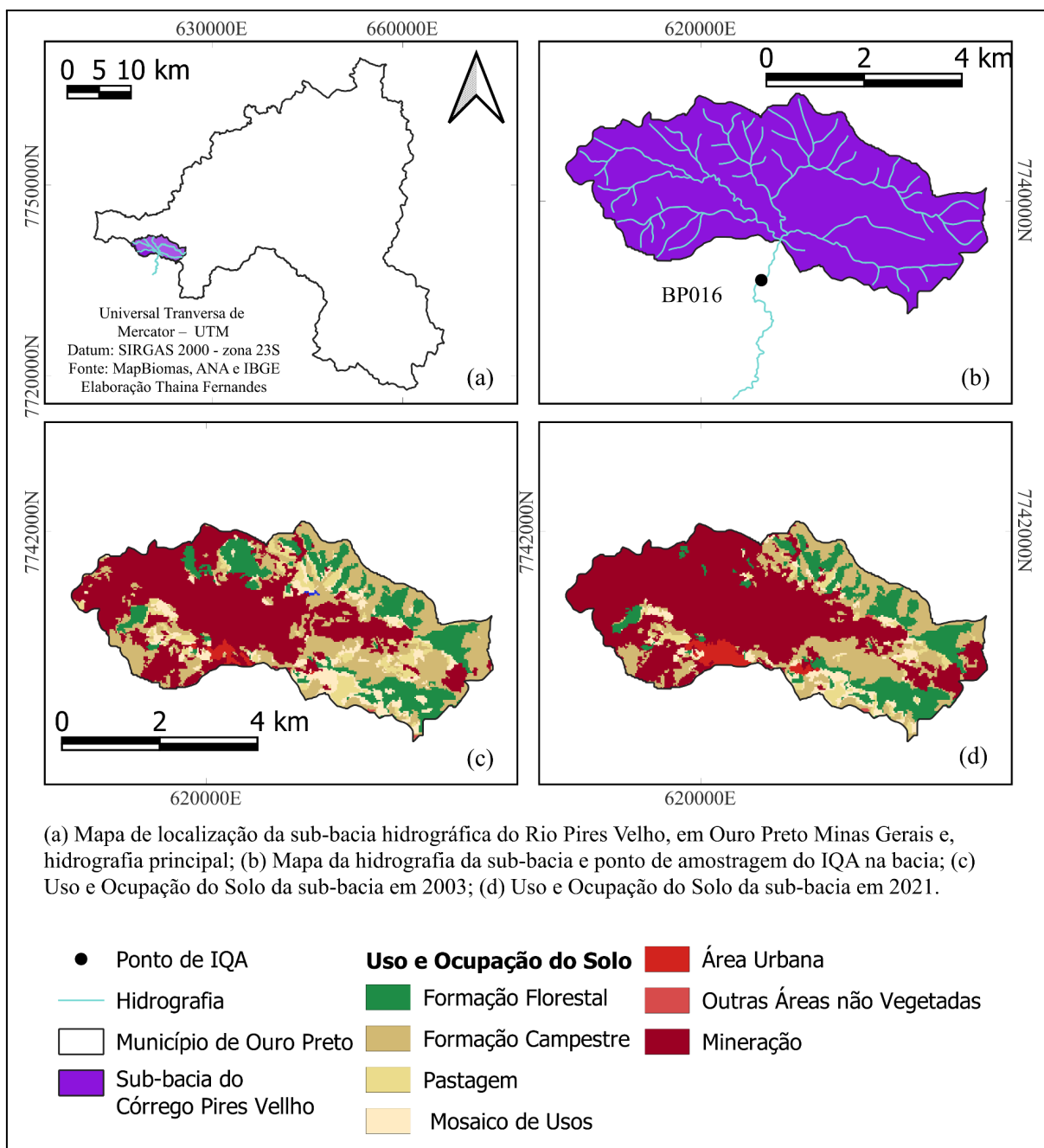
Fonte: elaboração própria.

4.8.7 *BH RIO PRETO (BH PIRES VELHO)*

A bacia hidrográfica Pires Velhos é uma pequena bacia fazendo divisa ao sul da bacia hidrográfica do Rio Mata Porcos e está localizada majoritariamente na porção oeste do município de Ouro Preto, com uma fração no município de Congonhas (Painel de mapas 08). Sua área é de 21,5 km² e sofreu grandes alterações paisagísticas desde 2003, principalmente com a expansão da mineração, que em 2003 representava 42% da área da bacia e em 2021 estendia-se por 54% do território da bacia. A formação florestal decresceu de 19% para 14%, a formação campestre passou de 26% para 22% e os mosaicos de usos diminuíram de 8% para 5%, no mesmo período. Já a área urbana cresceu de 1% para 2% entre os anos de 2003 e 2021. A bacia está localizada dentro da área de drenagem do Rio São Francisco, no comitê do Rio Paraopeba (SF3).

O IQA é medido no Rio Preto a aproximadamente 8 quilômetros de distância da foz da bacia, no município de Congonhas (BP016), e a primeira medição, em 2015, revelou a faixa “ruim” de IQA. Nos anos subsequentes, até 2021, apresentou-se IQA “médio”.

Painel de mapas 08 – Sub-bacia hidrográfica do Pires Velho, Ouro Preto, MG



Fonte: elaboração própria.

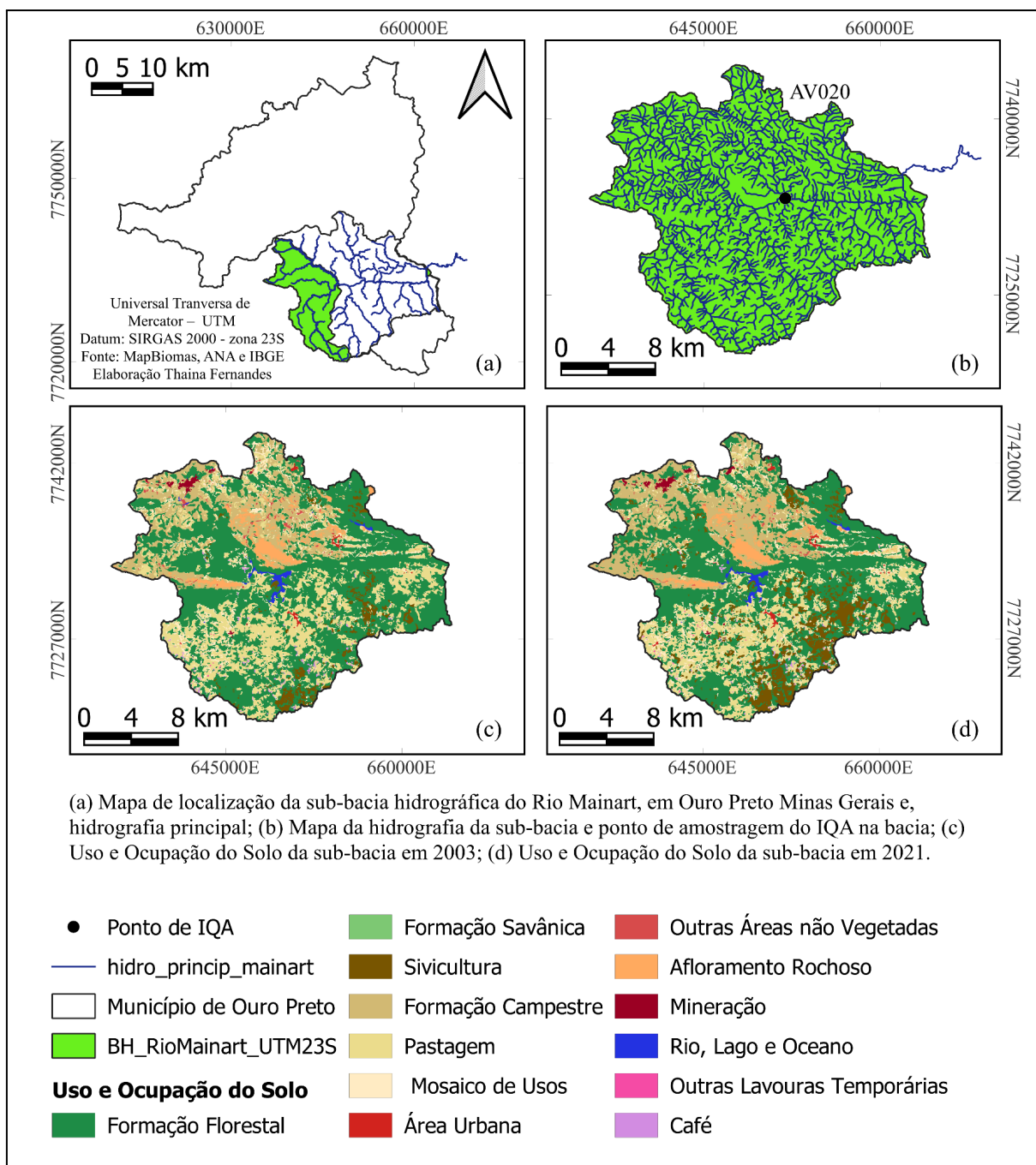
4.8.8 BH RIO MAINART

A sub-bacia hidrográfica do Rio Mainart, localizada na região centro-sul de Ouro Preto, possui uma área de 405,5 km². Na região sudoeste da bacia, está localizada a nascente do Córrego dos Cristais, no município de Itaverava, que percorre Ouro Branco, onde se encontram a maioria das nascentes da bacia, até adentrar Ouro Preto. O encontro do Córrego da Cachoeira Alegre com o Ribeirão Falcão forma o Rio Mainart e é nesse trecho que se encontra o ponto de medição do IQA da bacia (estação RD010), cuja primeira análise foi em 2020. Apresentou, nos anos de 2020 e 2021, IQA na faixa “bom”. A bacia está localizada dentro da área de drenagem da bacia do Rio Doce, no comitê do Rio Piranga (DO1).

O uso e a cobertura do solo nesta bacia tiveram poucas alterações no período de 2003 a 2021. A formação florestal decresceu de 50,3% para 47,6% e a pastagem caiu de 20,2% para 17,0% da cobertura do solo nos referidos anos. A formação campestre aumentou no mesmo período, de 14,1% para 15,8% do uso do solo na bacia.

A sub-bacia hidrográfica do Rio Mainart é bastante explorada pelo município de Ouro Branco por meio do cadastro de uso insignificante. Entretanto, apresentou o IQA em conformidade com a classe 2 ([Tabela 04, seção 4.2 “Clima, relevo e solos”](#)) no ano em que se iniciou a aferição do IQA nessa sub-bacia, 2020, e em 2021.

Painel de mapas 09 – Sub-bacia hidrográfica do Rio Mainart, Ouro Preto, MG



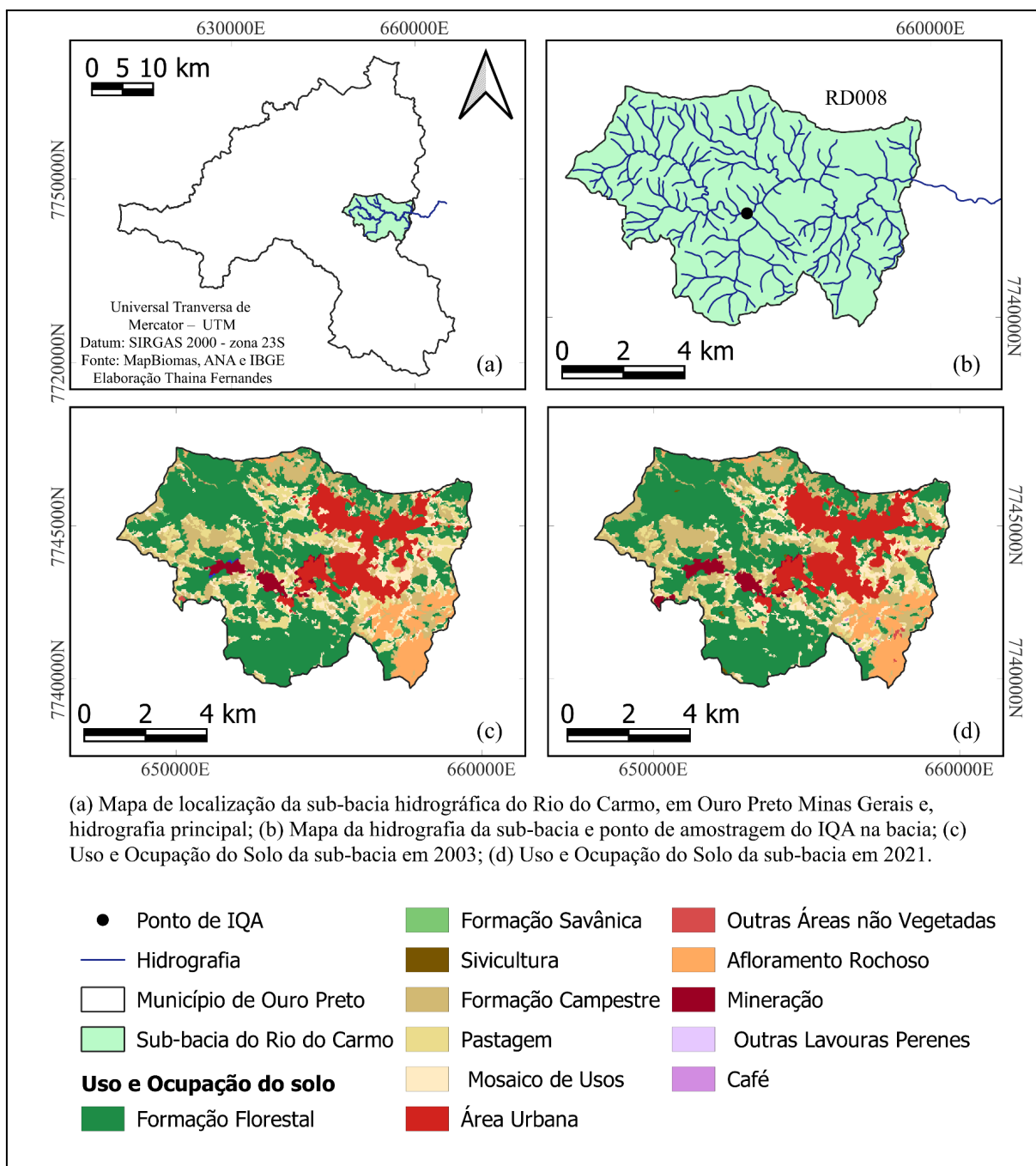
Fonte: elaboração própria.

4.8.9 *BH DO RIO DO CARMO*

A sub-bacia hidrográfica do Rio do Carmo encontra-se na região centro-leste do município de Ouro Preto e possui área de 58,8 km². O município-sede e a maior concentração urbana do município estão inseridos na sub-bacia. Os usos e as ocupações do solo da sub-bacia predominantes em 2003 foram formação florestal (44,6% da área da bacia), formação campestre (14,7%), área urbana (11,9%) e mosaicos de usos (11,7%). Em 2021, a formação florestal e os mosaicos de usos diminuíram a sua área em relação a 2003, para 43,4% e 10,0%, respectivamente, e a área urbana e a formação campestre cresceram para 13,6% e 17,6%, respectivamente. A bacia está localizada dentro da área de drenagem da bacia do Rio Doce, no comitê do Rio Piranga (DO1).

O ponto de coleta para análise do IQA está localizado no Córrego Tripuí (estação RD008), a jusante da barragem de rejeito Marzagão. Iniciou-se o monitoramento do IQA em 2020, com a primeira qualidade classificada em “médio”, e em 2021 a qualidade foi classificada como “bom”.

Painel de mapas 10 – Sub-bacia hidrográfica do Rio do Carmo, Ouro Preto, MG

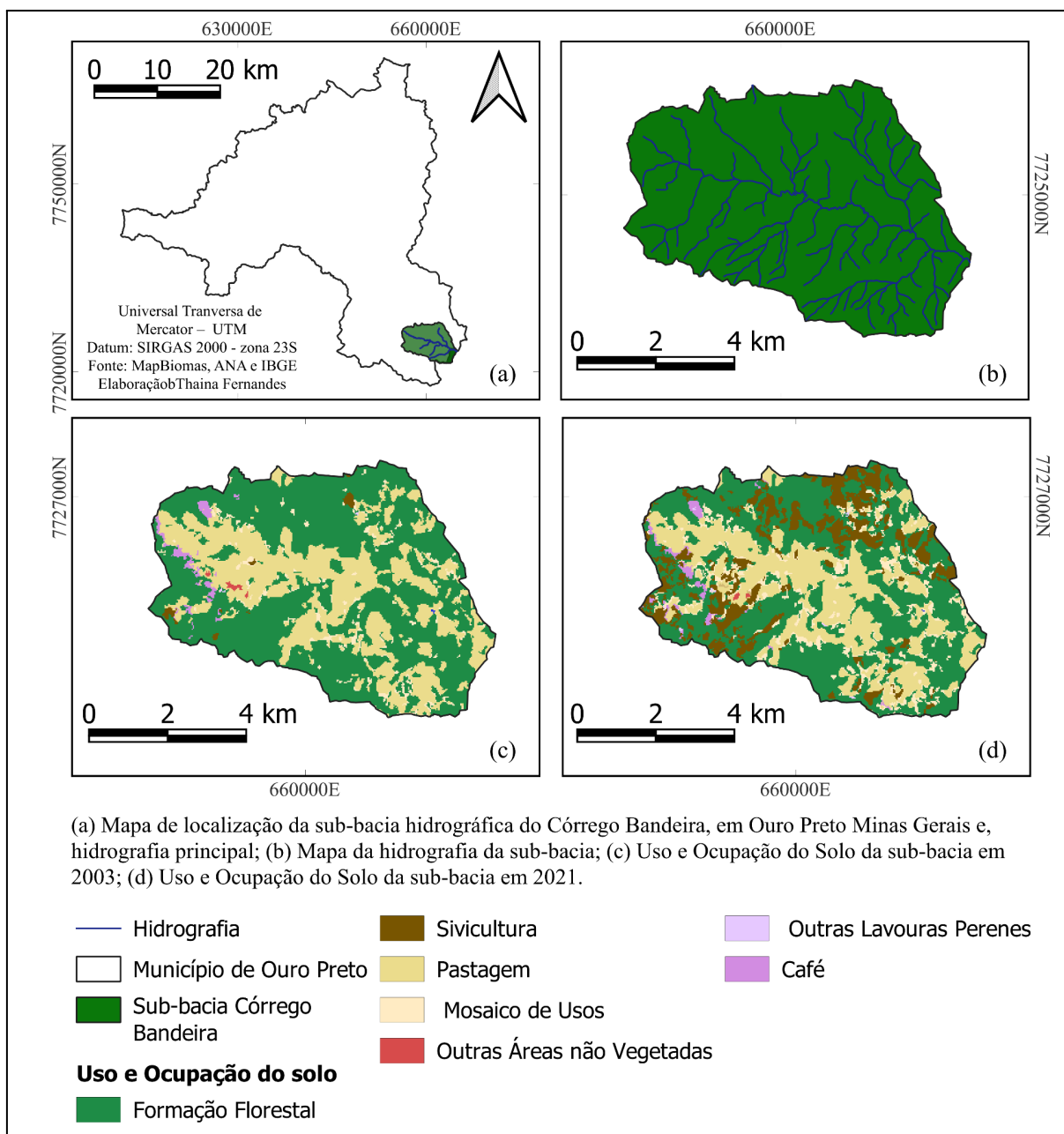


Fonte: elaboração própria.

4.8.10 BH CÓRREGO BANDEIRA

A área de drenagem da sub-bacia hidrográfica do Córrego Bandeira é de 39,8 km². Em 2003, a bacia hidrográfica exibiu da seguinte forma a cobertura e os usos do solo: 62,0% de formação florestal; 32,6% de pastagem e 3,4% de mosaicos de usos. No período até 2021, as coberturas de formação florestal e pastagem diminuíram, representando, respectivamente, 48,7% e 26,7% da área da bacia. A atividade de silvicultura, antes pouco significativa, com apenas 0,5% de ocupação na área da bacia em 2003, expandiu-se para 14,9% em 2021. Além disso, os mosaicos de usos aumentaram sua ocupação para 8,3% da área da bacia no mesmo período (Painel de mapas 11). Não há monitoramento do índice de qualidade da água (IQA) na bacia ou em suas adjacências para caracterização da qualidade das águas. A bacia está localizada dentro da área de drenagem do Rio das Velhas, no comitê do Rio Piranga (DO1).

Painel de mapas 11 – Sub-bacia hidrográfica do Córrego Bandeira, Ouro Preto, MG



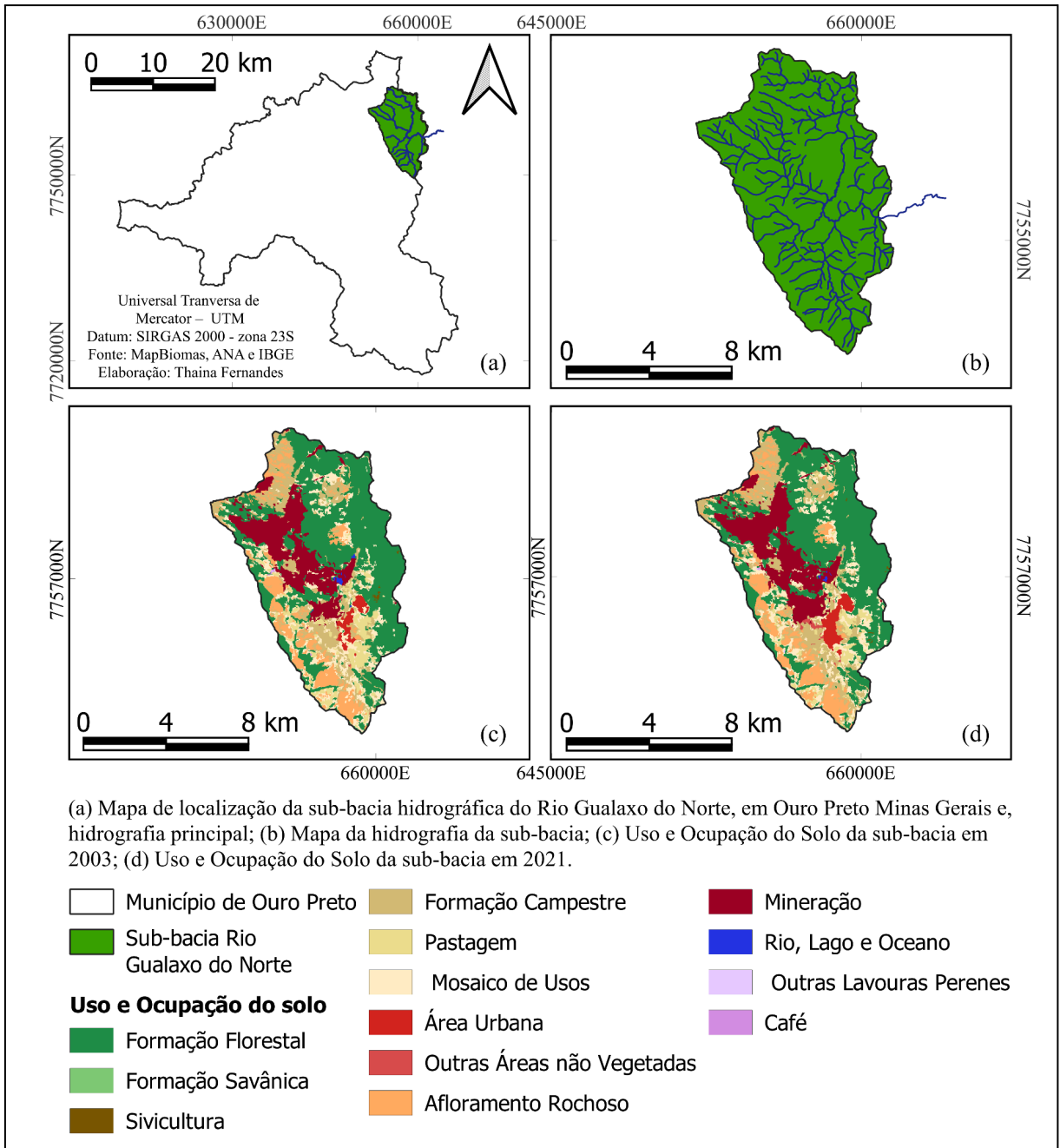
Fonte: elaboração própria.

4.8.11 BH RIO GUALAXO DO NORTE

A sub-bacia hidrográfica do Rio Gualaxo do Norte em Ouro Preto possui uma área de drenagem de 78,4 km². Os usos e as ocupações do solo preponderantes em 2003 foram a formação florestal (43,5% da bacia), a mineração (14,9%), a formação campestre (13,5%) e

os mosaicos de usos (10,9%). Em 2021, a formação florestal e a formação campestre tiveram uma perda de área, representando conjuntamente apenas 41,3% da área da bacia, enquanto a mineração foi expandida e passou a representar 16,3% da área da bacia. A área urbana também teve expansão de 1,5%, em 2003, para 2,2%, em 2021 (Painel de mapas 12). Não há monitoramento de índice de qualidade da água (IQA) na bacia ou em suas adjacências para caracterização da qualidade das águas. A bacia está localizada dentro da área de drenagem da bacia do Rio Doce, no comitê do Rio Piranga (DO1).

Painel de mapas 12 – Sub-bacia hidrográfica do Rio Gualaxo do Norte, Ouro Preto, MG

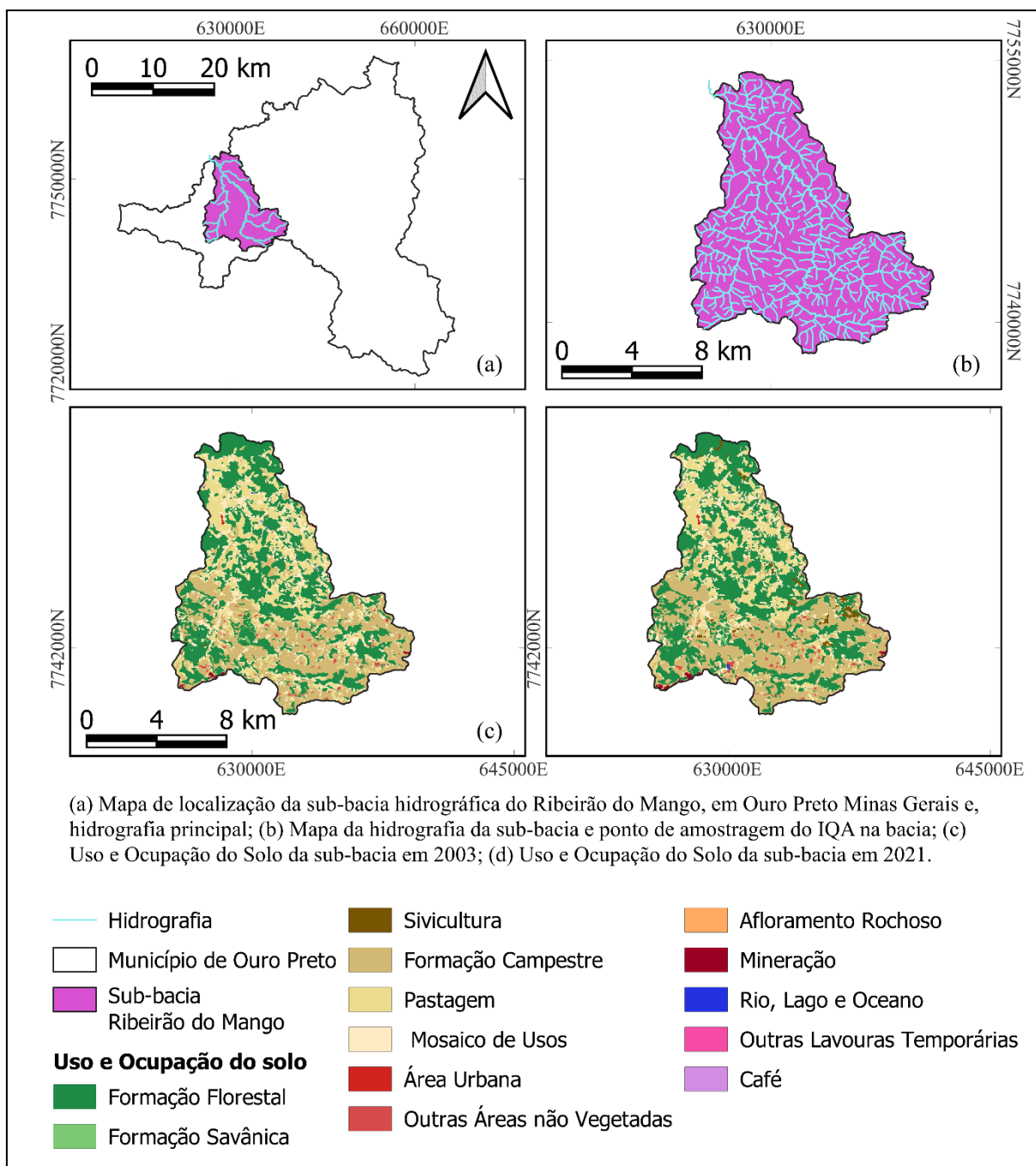


Fonte: elaboração própria.

4.8.12 BH CÓRREGO MANGO

A bacia hidrográfica do Ribeirão Mango possui uma área de 121,2 km². Em 2003, o uso e a ocupação do solo preponderantes foram a formação florestal (37,2% da sua área total), seguida da formação campestre (28,5%), da pastagem (17,9%) e dos mosaicos de usos (14,9%). Em 2021, a formação florestal, a formação campestre e a pastagem apresentaram um crescimento, passando a representar 38,4%, 31,8% e 15,3%, respectivamente, da área total da bacia hidrográfica. Os mosaicos de usos diminuíram em relação a 2003, com cobertura do solo em 11,5% da área total da bacia, e a área urbana não sofreu alterações entre 2003 e 2021, mantendo-se em apenas 0,1% da área total (Painel de mapas 13). Não há monitoramento de índice de qualidade da água (IQA) na bacia ou em suas adjacências para caracterização da qualidade das águas. A bacia está localizada dentro da área de drenagem do Rio São Francisco, no comitê do Rio das Velhas (SF5).

Painel de mapas 13 – Sub-bacia hidrográfica do Córrego Mango, Ouro Preto, MG



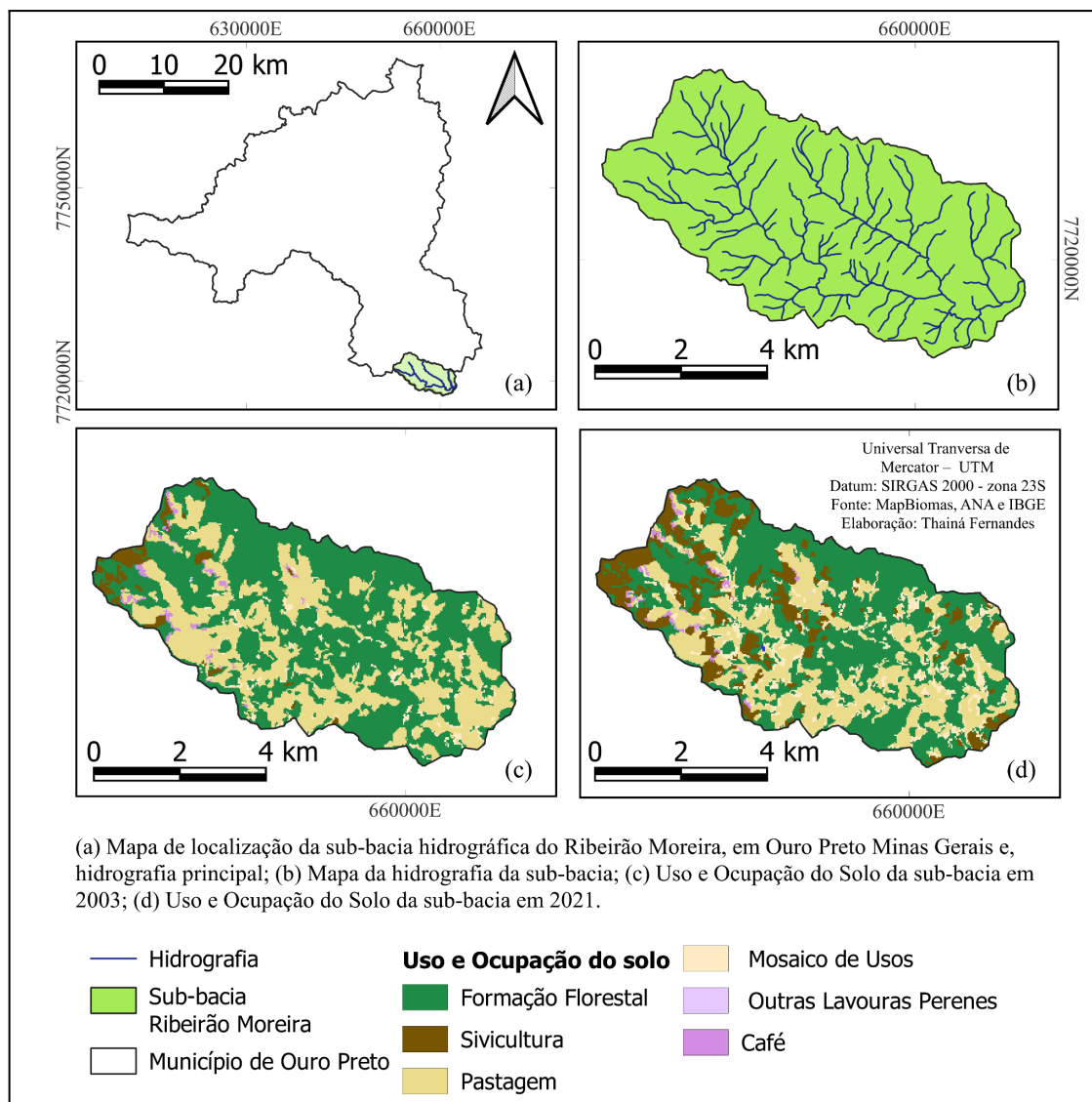
Fonte: elaboração própria.

4.8.13 BH RIBEIRÃO MOREIRA

A bacia hidrográfica do Ribeirão Moreira possui uma área de 36,7 km². Em 2003, o uso e a ocupação do solo preeminentes eram a formação florestal (57,2% da área da bacia hidrográfica), seguida da pastagem (35,6%). Os mosaicos de usos e a silvicultura ocupavam 3,3% e 2,7% da bacia. Em 2021, a bacia apresentou mudanças significativas no uso e na cobertura da terra: a formação florestal foi reduzida para 48,7% e a pastagem, para 26,4% da área da bacia; a silvicultura e os mosaicos de usos cresceram para 14,2% e 9,5%, respectivamente (Painel de mapas 14).

Não há monitoramento de índice de qualidade da água (IQA) na bacia ou em suas adjacências para caracterização da qualidade das águas. A bacia está localizada dentro da área de drenagem da bacia do Rio Doce, no comitê do Rio Piranga (DO1).

Painel de mapas 14 – Sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Moreira, Ouro Preto, MG



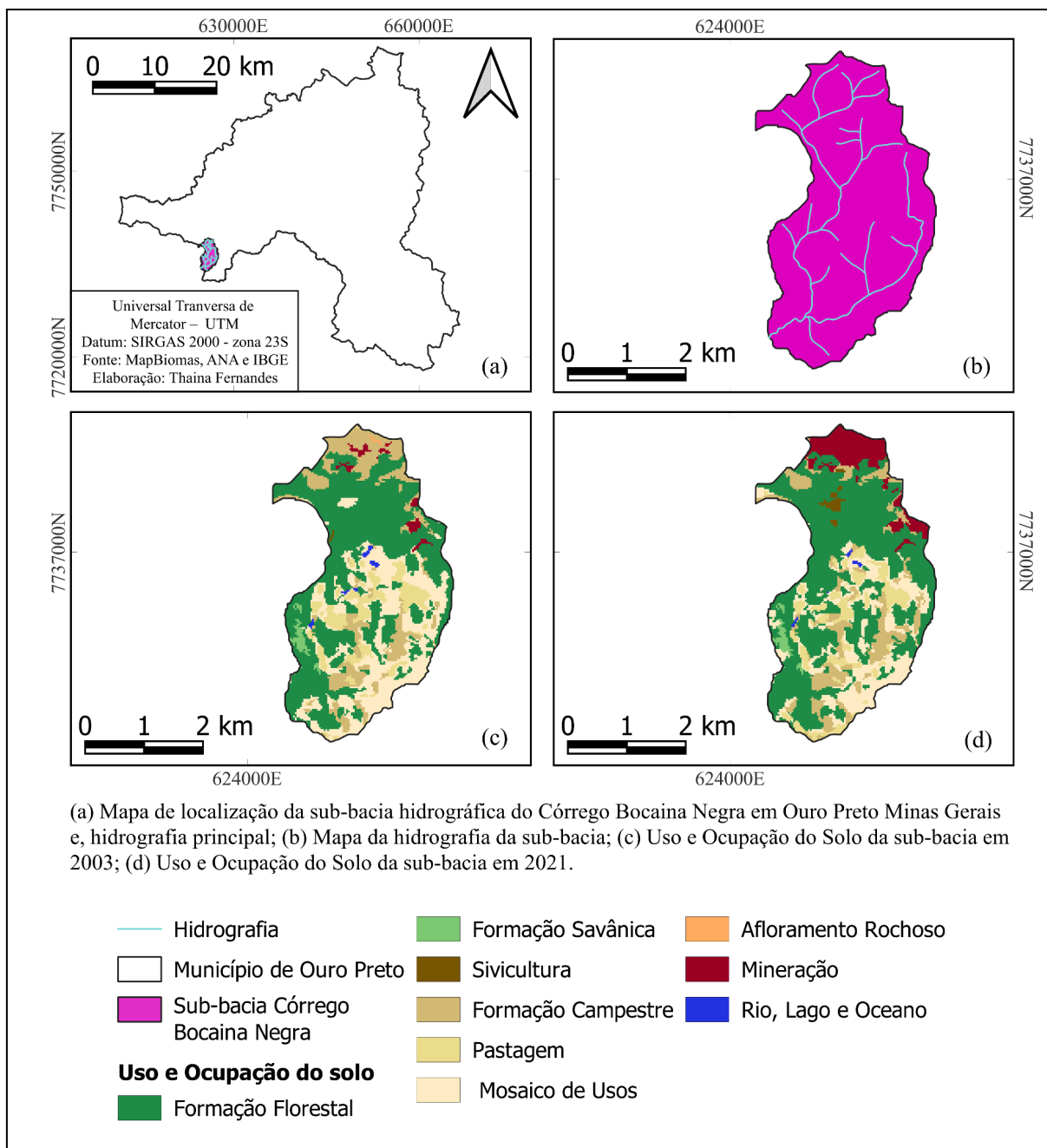
Fonte: elaboração própria.

4.8.14 BH CÓRREGO BOCAINA NEGRA

A bacia hidrográfica do Córrego Bocaina Negra possui uma pequena área de drenagem de 10,4 km². Entre os anos de 2003 e 2021, sofreu algumas transformações no uso e na ocupação do solo. A mais significativa foi a pastagem que ocupava, em 2003, 1,4% da área da bacia e, em 2021, correspondia a 7,9% da área total. Já a presença de rios e lagos decresceu de 0,5% para 0,3% no mesmo período (Painel de mapas 15).

Não há monitoramento de índice de qualidade da água (IQA) na bacia ou em suas adjacências para caracterização da qualidade das águas. A bacia está localizada dentro da área de drenagem do Rio São Francisco, no comitê do Rio Paraopeba (SF3).

Painel de mapas 15 – Sub-bacia hidrográfica do Córrego Bocaina Negra, Ouro Preto, MG



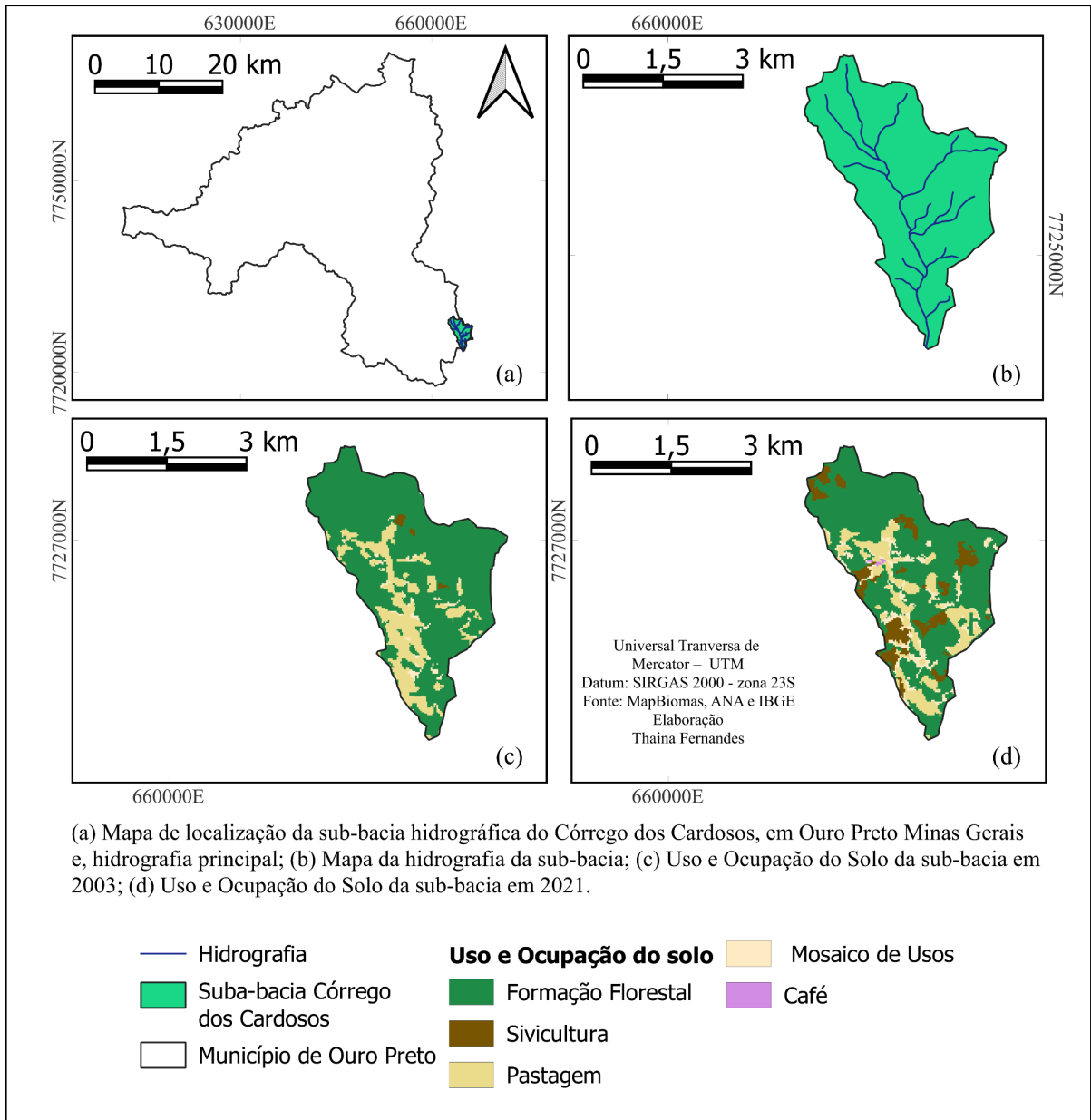
Fonte: elaboração própria.

4.8.15 BH CÓRREGO DOS CARDOSOS

A pequena bacia hidrográfica do Córrego dos Cardosos possui área de 9,8 km². Em 2003, foram identificados quatro usos e ocupações do solo: formação florestal (79,5% da bacia); pastagem (17,7%); mosaicos de usos (2,2%); e silvicultura (0,6%). Em 2021, a formação florestal e a pastagem diminuíram sua área, passando a ocupar, respectivamente, 67,8% e 14,1% da área da bacia; a silvicultura e os mosaicos de usos obtiveram um aumento expressivo, passando a ocupar 10,7% e 7,3% da bacia hidrográfica, respectivamente. Ainda, em 2021, a produção de café passou a ocupar 0,2% da bacia hidrográfica (Painel de mapas 16).

Não há monitoramento de índice de qualidade da água (IQA) na bacia ou em suas adjacências para caracterização da qualidade das águas. A bacia está localizada dentro da área de drenagem da bacia do Rio Doce, no comitê do Rio Piranga (DO2)

Painel de mapas 16 – Sub-bacia hidrográfica do Córrego dos Cardosos, Ouro Preto, MG



Fonte: elaboração própria.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho sintetizou várias informações sobre a hidrografia, as sub-bacias hidrográficas, a qualidade da água superficial e as classes de uso e ocupação do solo do município de Ouro Preto. A qualidade da água nas sub-bacias de Ouro Preto varia, com qualidade média em geral, mas há períodos de qualidade boa, excelente e ruim em algumas áreas. A mineração, o esgoto inadequado e a agropecuária podem ser os principais responsáveis pela má qualidade da água aferida em alguns anos, porém são necessários mais estudos para identificação dos poluentes e das fontes.

O uso e a ocupação do solo estão mudando rapidamente em Ouro Preto, com o aumento da mineração, da agropecuária e de outras atividades econômicas. O desmatamento e a impermeabilização do solo aumentam a quantidade de sedimentos e nutrientes nos cursos d'água, o que pode levar à eutrofização e à degradação da qualidade da água. Entretanto, mais dados são necessários para estudos quanto à perenidade dos rios de acordo com as tendências de mudanças do uso e da ocupação do solo e de contaminação do corpo d'água.

As outorgas de água se concentram nas sub-bacias do Rio Piracicaba e do Rio Maracujá, enquanto o uso insignificante de água se concentra na sub-bacia do Rio Mainart e Rio Maracujá. As sub-bacias hidrográficas as quais apresentaram IQAs que merecem atenção e estudos foram: Rio Maracujá (estação AV020), Rio Preto (BP016) e Ribeirão Soledade (BP014), dentre as quais somente a aferição da sub-bacia do Rio Maracujá está inserida no município de Ouro Preto.

As APPs em Ouro Preto são pouco protegidas, e algumas estão sendo utilizadas por atividades como a mineração e a agricultura. A proteção das APPs é fundamental para garantir a qualidade da água e a biodiversidade dos cursos d'água.

Para melhorar a qualidade da água em Ouro Preto, é necessário, entre outras ações:

- identificar e controlar a quantidade de poluentes lançados nos cursos d'água;
- identificar as fontes de poluição (difusa ou pontual);
- ampliar a cobertura do tratamento de esgoto doméstico;
- implementar medidas para reduzir o desmatamento e a impermeabilização do solo;
- criar e conectar unidades de conservação e reservas legais; e
- proteger as APPs e restaurar as áreas já degradadas.

Todavia, as melhorias acima dependem de uma compreensão do estado da arte. Esta monografia reuniu informações tabuladas e espaciais (parte disponibilizada no PromoSAT-OP) sobre os recursos hídricos em Ouro Preto as quais estavam dispersas e podem, agora, educar o gestor público e privado sobre temas críticos para a boa gestão dos recursos hídricos no município.

REFERÊNCIAS

- BECK, E. *et al.* Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data**, Londres, v. 5, p. 180214, 2018. DOI 10.1038/sdata.2018.214.
- BRASIL. **Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 2012. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 21 fev. 2024.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Portaria n. 473, de 28 de dezembro de 2018**. Reconhece o Mosaico de Unidades de Conservação Federal da Serra do Espinhaço - Quadrilátero Ferrífero. Brasília: MMA, 2018. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/images/arquivo/80238/Portaria_473_DOU1_31_12_p158_QFerr%C3%ADfero.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2023
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Áreas Protegidas. Instrumentos de Gestão. **Mosaicos**. [2024]. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/areas-protegidas/instrumentos-de-gestao/mosaicos.html>>. Acesso em: 21 fev. 2024.
- CALIJURI, M.C.; BUBEL, A.P.M. Conceituação de Microbacias. LIMA, W de P.; ZAKIA, M.J.B. As florestas plantadas e a água. Implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento. São Carlos: Ed. RiMA, 2006. 226p.
- COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS. **A Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas**. [2024]. Disponível em: <<https://cbhvelhas.org.br/a-bacia-hidrografica-do-rio-das-velhas>>. Acesso em: 6 jan. 2023.
- COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRACICABA. **Apresentação**. 2013. Disponível em: <<https://www.cbhpiracicabamg.org.br/apresentacao>>. Acesso em: 14 jan. 2023.
- COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRANGA. **A Bacia**. [2013]. Disponível em: <<https://www.cbhpiranga.org.br/a-bacia>>. Acesso em: 14 jan. 2023.
- COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. **A Bacia**. [2024]. Disponível em: <<https://cbhsaofrancisco.org.br/a-bacia>>. Acesso em: 29 jan. 2023.
- CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (Minas Gerais). **Deliberação Normativa COPAM/MG n. 14, de 28 de dezembro de 1995**. Dispõe sobre o enquadramento das águas da Bacia do rio Paraopeba. Belo Horizonte: COPAM, 1995. Disponível em: <<https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=112>>. Acesso em: 1º mar. 2024.
- CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS (Minas Gerais). **Deliberação Normativa CERH/MG n. 36, de 23 de dezembro de 2010**. Padroniza a utilização dos nomes, siglas e códigos das Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos

Hídricos (UPGRH) do estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: CERH, 2010. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=15534>>. Acesso em: 21 fev. 2024.

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS (Minas Gerais). **Deliberação Normativa CERH/MG n. 89, de 15 de novembro de 2023**. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de águas superficiais da circunscrição hidrográfica do Rio Piracicaba. Belo Horizonte: CERH, 2023. Disponível em: <https://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/images/DN_CERH-MG_N_89.2023-ECA-DO2.pdf>. Acesso em: 1º mar. 2024.

CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME. **Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Doce**. Volume I – Relatório final. [S. l.]: Ecoplan-Lume, 2010. Disponível em: <https://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2016/12/PIRH_Doce_Volume_I.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2023.

COSTA, A. *et al.* **Água e Cultura**: inventário de fontes de água da região de Ouro Preto. Ouro Preto: Graphar, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Florestas. Base de dados criada a partir do livro “Espécies Arbóreas Brasileiras”, de autoria de Paulo Ernani Ramalho Carvalho. **Clima**. [S. l.]: EMBRAPA, [2024a]. Disponível em: <<https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>>. Acesso em: 12 jan. 2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Portal Embrapa. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS)**. [S. l.]: EMBRAPA, [2024b]. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs>>. Acesso em: 21 fev. 2024.

FAUSTINO, J. Planificación y gestión de manejo de cuencas. Turrialba: CATIE, 1996. 90p.

FERREIRA, Q. de C. G.; BACELLAR, L. de A. P. Avaliação preliminar das condições hidrogeológicas na área do município de Ouro Preto, MG. **GEONOMOS**, Belo Horizonte, v. 18, n. 1, p. 13-21, 2010.

FRACALANZA, A. P. **Água: de elemento da natureza a mercadoria**. Sociedade & Natureza, vol. 17, núm. 33, 2005, pp. 21-36. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil.

GONÇALVES, J. M. **A utilização do geoprocessamento para a produção de mapas temáticos, aplicação na sub-bacia do Rio Maranhão - Bacia do Rio Paraopeba**. 2002. Monografia (Aperfeiçoamento/Especialização em Geoprocessamento) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

IDE-SISEMA. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Busca por “solo”**. Belo Horizonte: órgãos e entidades diversos, 2003-2021. Disponível em:
<<https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/search?any=solo>>. Acesso em: 21 fev. 2024.

INSTITUTO ÁGUA E SANEAMENTO. Municípios e Saneamento Beta. **Ouro Preto**. [S. l.]: IAS, [2020]. Disponível em:
<<https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/mg/ouro-preto>>. Acesso em: 29 jan. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Coordenação de Recursos Naturais e Ambientais. **Bacias e divisões hidrográficas do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. (Relatórios Metodológicos, v. 48). Disponível em:
<<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101854.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Bacias Hidrográficas do Brasil – BHB250**: Documentação Técnica – Versão 2021.09.24. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em:
<https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/estudos_ambientais/bacias_e_divisoes_hidrograficas_do_brasil/2021/Bacias_Hidrograficas_do_Brasil_BHB250/vetores/Documentacao_Tecnica_BHB250.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Mapa das Divisões Hidrográficas do Brasil 2021**. [S. l.]: IBGE; ANA, 2021. Disponível em:
<https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/estudos_ambientais/bacias_e_divisoes_hidrograficas_do_brasil/2021/Divisao_Hidrografica_Nacional_DHN250/mapas/mapa_das_divisoes_hidrograficas_do_brasil_2021.pdf> Acesso em: 13 jun. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama de Ouro Preto**. [S. l.]: IBGE, [2023]. Disponível em:
<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/ouro-preto/panorama>>. Acesso em: 13 jun. 2023.

MINAS GERAIS. **Lei n. 13.199, de 29 de janeiro de 1999**. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. Belo Horizonte: Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, 1999. Disponível em:
<<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5309>>. Acesso em: 21 fev. 2024.

OLIVEIRA, A. P. P. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Córrego do Funil, Ouro Preto – Minas Gerais**. 2021. Monografia (Graduação em Engenharia Geológica) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.

OPENTOPOGRAPHY. High-resolution Topography Data and Tools. **Copernicus GLO-30 Digital Elevation Model**. San Diego: OpenTopography, 22 abr. 2021. Disponível em:
<<https://portal.opentopography.org/raster?opentopoID=OTSDEM.032021.4326.3>>. Acesso em: 21 fev. 2024

PEIXOTO, R. J.; LIMA, H. M. Diagnóstico dos garimpos de topázio imperial no Alto Maracujá, Sub-bacia do rio das Velhas, MG. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 57, n. 4, p. 249-254, 2004.

PEREIRA JÚNIOR, J. de S. **Recursos hídricos**: conceituação, disponibilidade e usos. Brasília: Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados, 2004. (Consultoria Legislativa, Estudo abril/2004).

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção da série anual de mapas de cobertura e uso da terra do Brasil**. [S. l.]: MapBiomias, [2024]. (Versão 08). Disponível no link: <<https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/analises-temporais>>. Acesso em: 1º mar. 2024.

RAWGRAPHS. [S. l.]: RAWGraphs, [2024]. Disponível em: <<https://www.rawgraphs.io/gallery/sharp-increase-of-lobbyists-in-the-swiss-parliament>>. Acesso em: 10 fev. 2024.

SÁ JÚNIOR, A. de. **Aplicação da Classificação de Köppen para o zoneamento climático do estado de Minas Gerais**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SANT'ANA, L. P. **Caracterização morfotectônica da Bacia do Ribeirão Sardinha, Alto Rio das Velhas – Ouro Preto, Minas Gerais**. 2018. Monografia (Graduação em Engenharia Geológica) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

SANTIN, J. R.; GOELLNER E. A Gestão dos Recursos Hídricos e a Cobrança pelo seu Uso. **Seqüência Estudos Jurídicos e Políticos**, Florianópolis, v. 34, n. 67, p. 199-222, 2013. DOI 10.5007/2177-7055.2013v34n67p199.

SÃO JOSÉ, A. P. de. **Proposições para o Plano Diretor de recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba – PDRH Paraopeba MG**. 2018. Monografia (Especialização em Gerenciamento de Recursos Hídricos) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

SETTI, A. A. *et al.* **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 2. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000.

SILVA, C. L. **Estudo da qualidade da água na sub-bacia do Ribeirão do Carmo (MG), com ênfase na geoquímica e na comunidade zooplancônica**. 2013. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

TEODORO, V. *et al.* O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, Araraquara, n. 20, p. 137-157, 2007. Disponível em: <https://www.uniara.com.br/legado/revistauniara/pdf/20/RevUniara20_11.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2023.

UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND. **Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017**: special focus on inequalities. Geneva: WHO, 2019.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. Departamento de Solos. Centro de Ciências Agrárias. **Mapa de solos do estado de Minas Gerais**: legenda expandida. Universidade Federal de Viçosa; Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais; Universidade Federal de Lavras; Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: FEAM; Viçosa: UFV, 2010.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.