



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**

Centro de Tecnologia e Ciências

Instituto de Geografia

Maria Helena de Carvalho Rodrigues Silva

**Qualidade da água em área de preservação ambiental: estudo de caso em  
Viçosa-MG**

Rio de Janeiro

2025

Maria Helena de Carvalho Rodrigues Silva

**Qualidade da água em área de preservação ambiental: estudo de caso em Viçosa-MG**

Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Gestão e Estruturação do Espaço Geográfico.

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis Mendonça

Rio de Janeiro

2025

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ/REDE SIRIUS/CTCC

S586 Silva, Maria Helena de Carvalho Rodrigues.  
Qualidade da água em área de preservação ambiental: estudo de caso em  
Viçosa-MG / Maria Helena de Carvalho Rodrigues Silva.– 2025.  
130 f. : il.

Orientador: Francisco de Assis Mendonça.

Tese (Doutorado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto  
de geografia.

1. Recursos hídricos - Teses. 2. Água - Qualidade – Viçosa (MG) -  
Teses. 3. Preservação ambiental - Teses. 4. Uso e ocupação do solo –  
Teses. 5. Bacia hidrográfica – Teses. I. Mendonça, Francisco de Assis. II.  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Geografia. III.  
Título.

CDU: 556.51(815.1)

Bibliotecária Responsável: Priscila Freitas Araujo/ CRB-7: 7322

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese,  
desde que citada a fonte.

---

Assinatura

---

Data

Maria Helena de Carvalho Rodrigues Silva

**Qualidade da água em área de preservação ambiental: estudo de caso em Viçosa-MG**

Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Gestão e Estruturação do Espaço Geográfico.

Aprovada em 10 de março de 2025.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Francisco de Assis Mendonça (Orientador)  
Instituto de Geografia - UERJ

---

Prof. Dr. Alisson Carraro Borges  
Universidade Federal de Viçosa

---

Prof. Dr. André Luiz Lopes de Faria  
Instituto de Geografia - UERJ

---

Prof. Dr. Antônio Carlos Oscar Júnior  
Instituto de Geografia - UERJ

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Yara Moreto  
Universidade Federal do Paraná

---

Prof. Dr. Edson Soares Fialho  
Universidade Federal de Viçosa

Rio de Janeiro

2025

## DEDICATÓRIA

À Cecília, minha inspiração.

Minha querida filha, seja você mesma, autêntica. Cultive valores, princípios e virtudes do bem, sempre alinhados.

## AGRADECIMENTOS

Meu agradecimento especial é pela vida, pois o início desta trajetória se deu no contexto de pandemia, a qual dizimou mais de 700 mil pessoas em nosso país. Por isso dou graças pela minha vida e dos meus familiares e amigos.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, em especial ao professor Francisco de Assis Mendonça, pelo acolhimento, pela confiança, orientação, paciência e apoio.

À Secretaria de Educação do Estado de Minas Gerais pela concessão de um ano para finalizar o doutorado.

Ao grande amigo conquistado no decorrer do doutorado, Leonardo Rodrigues, a quem tenho compartilhado momentos importantes da minha vida acadêmica e pessoal. Obrigada por tudo! Pela amizade, pelo conhecimento compartilhado, apoio incondicional e compreensão no decorrer deste trabalho.

À equipe do Laboratório de Controle da Qualidade da Água (LCQA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em especial ao Janderson e Vanderlei pela recepção, atenção e carinho para me auxiliar nas análises laboratoriais e campanhas de campo. Ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE-Viçosa), sobretudo ao Matheus Tomaz Neves, Chefe do Setor de Tratamento de Água e Esgoto.

Aos professores Alisson Carraro (UFV/DEA), André Luiz Lopes de Faria (UFV/LABOGEOMORFOLOGIA), Antônio Oscar (IGEOG/UERJ), membros da banca de avaliação, pelas valiosas considerações.

Ao meu esposo, Valdemir, por me ajudar a construir um lar.

Ao Emerson Pawosk (UFPR), Matheus Guimarães e Diogo Antônio (UFV/LABOGEOMORFOLOGIA) e aos demais e diversos amigos conquistados nesta jornada.

A ciência será sempre uma busca e jamais uma descoberta. É uma viagem, nunca uma chegada.

*Karl Popper*

## RESUMO

SILVA, Maria Helena de Carvalho Rodrigues. **Qualidade da água em área de preservação ambiental**: estudo de caso em Viçosa-MG. 2025. 130 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025.

A busca incansável pelo bem-estar e pelas necessidades criadas, levam os seres humanos a ocuparem e expandir sua ocupação aos locais mais inóspitos do planeta, sem avaliar as consequências, ao colocar em risco as bases ecológicas do seu meio de vida. Na Zona da Mata Mineira, em especial na cidade de Viçosa, a disponibilidade de água para abastecimento humano tem sido um problema recorrente. A bacia do Ribeirão São Bartolomeu é uma importante fonte de água para abastecimento público. A região onde a bacia se encontra possui extensas áreas de alta declividade, com uso intensivo da terra, contribuindo para menor infiltração de água e maior carreamento de partículas em direção aos corpos hídricos. Devido à sua importância ambiental, uma área a montante da bacia foi elevada à categoria de Área de Preservação Ambiental (APA) em 2017. Considerando uma bacia hidrográfica como unidade de gestão estratégica para os recursos hídricos; e APA como áreas dotadas de atributos abióticos, bióticos, estéticos e culturais, o presente trabalho coloca em evidência o diagnóstico e a análise da qualidade da água na APA do ribeirão São Bartolomeu, Viçosa–MG, tendo em vista a dinâmica do uso e ocupação da terra e a demanda dos recursos hídricos pela população local. Para a investigação da qualidade da água calculou-se o Índice de Qualidade da Água (IQA), baseando-se na metodologia empregada pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo e comparando-se aos limites definidos na Resolução CONAMA n.º 375/2005. As campanhas de campo e análises compreenderam o período de maio de 2023 a setembro de 2024. A aquisição dos dados vetoriais (*Shapefile*) e demais informações sobre as propriedades do meio físico, foram baixadas a partir de base de dados oficiais. Foram produzidos e interpretados os mapas de uso e ocupação da terra para os anos de 1993 e 2023. Os resultados apontaram que a qualidade das águas dos cursos d'água da APA São Bartolomeu estão nos limites exigidos pela legislação vigente, embora os resultados de análises bacteriológicas de *Escherichia coli* (*E. coli*) para o São Bartolomeu apresentaram valores superiores aos previstos pela legislação. As águas da APA registraram condições razoáveis em 64,8% das amostras coletadas, 17,6% permaneceram com qualidade ruim e 17,6% com qualidade boa. As principais constatações sobre o uso do solo foi a expansão de 63% da vegetação arbórea na APA entre os anos de 1993 e 2023, mesmo com intensa fragmentação decorrente da expansão dos condomínios e loteamentos. A literatura indica redução na vazão dos córregos, apesar do volume precipitado permanecer sem alterações. As principais conclusões apontam que a interferência antropogênica pode interferir no sistema da APA São Bartolomeu, impactando na redução das vazões, contaminação das águas e diminuição nos valores do IQA.

Palavras-chave: bacia hidrográfica; qualidade da água; sustentabilidade; uso e ocupação da terra.

## ABSTRACT

SILVA, Maria Helena de Carvalho Rodrigues. **Water quality in an environmental protection area: a case study in Viçosa-MG.** 2025. 130 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025.

The relentless pursuit of well-being and the demands created by human needs drive people to inhabit and expand their presence into the most inhospitable areas of our planet, often without assessing the consequences and thereby jeopardizing the ecological foundations of their livelihoods. In the Zona da Mata Mineira region, particularly in the city of Viçosa, the availability of water for human consumption has been a recurring issue. The Ribeirão São Bartolomeu watershed serves as a significant source of water for public supply. The region where the basin is located features extensive areas of steep slopes and intensive land use, potentially contributing to reduced water infiltration and increased sediment transport into water courses. Due to its environmental significance, the basin was designated as an Environmental Protection Area (EPA) in 2017. Considering a watershed as a strategic management unit for water resources, and EPAs as areas endowed with abiotic, biotic, aesthetic, and cultural attributes, the present study aims to diagnose and analyze water quality in the Ribeirão São Bartolomeu EPA in Viçosa, Minas Gerais, in light of land use and occupation dynamics and the demand for water resources by the local population. To assess water quality, the Water Quality Index (WQI) was calculated based on the methodology used by the São Paulo State Environmental Company and compared to the limits established in CONAMA Resolution No. 375/2005. Field campaigns and analyses were conducted from May 2023 to September 2024. Vector data (shapefiles) and additional information on the physical environment's properties were downloaded from official databases. Land use and occupation maps were produced and interpreted for the years 1993 and 2023. The results indicated that the water quality of the streams within the São Bartolomeu EPA generally met the requirements of current legislation. However, bacteriological analysis of *Escherichia coli* (E. coli) in the São Bartolomeu stream revealed levels exceeding the legal thresholds. Water quality in the EPA was rated as fair in 64.8% of the samples collected, poor in 17.6%, and good in 17.6%. A key finding regarding land use was a 63% increase in arboreal vegetation within the EPA between 1993 and 2023, despite significant fragmentation caused by the expansion of condominiums and residential subdivisions. The literature highlights a reduction in streamflow, even as precipitation volumes remain unchanged. The main conclusions suggest that anthropogenic interference can affect the São Bartolomeu EPA system, leading to reduced streamflow, water contamination, and a decline in WQI.

Keywords: watershed; water quality; sustainability; land use and land cover.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Viçosa – Localização do município no estado de Minas Gerais, da bacia do Ribeirão São Bartolomeu e da APA São Bartolomeu.....	19
Figura 2 –	Categorização das águas superficiais em termos de suas fontes, uso pretendido e indução a poluição.....	22
Figura 3 –	Evolução cronológica da gestão integrada, classificação e enquadramento dos corpos d'água no Brasil.....	23
Figura 4 –	Impurezas contidas na água.....	33
Figura 5 –	Exemplos de inter-relação entre o uso e ocupação do solo e focos alteradores da qualidade da água.....	41
Figura 6 –	APA São Bartolomeu – Localização dos pontos de coleta das sub-bacias hidrográficas e rede de drenagem.....	53
Figura 7 –	Fluxograma metodológico de análise da qualidade da água.....	54
Figura 8 –	Curvas médias de variação da qualidade das águas.....	57
Figura 9 –	Processo químico.....	59
Figura 10 –	Regiões Fitogeográficas de Minas Gerais.....	65
Figura 11 –	Remanescentes florestais da Bacia hidrográfica ribeirão São Bartolomeu.....	71
Figura 12 –	Oxigênio dissolvido (OD) nas sub-bacias do Ribeirão São Bartolomeu entre maio de 2023 e setembro de 2024.....	74
Figura 13 –	Ribeirão São Bartolomeu/Viçosa–MG – Localização dos pontos de coleta das amostras de água.....	75
Figura 14 –	Uso e cobertura do solo na APA São Bartolomeu, Viçosa (1993).....	78
Figura 15 –	Uso e cobertura do solo na APA São Bartolomeu, Viçosa (2023).....	79
Figura 16 –	Sub-bacias do Ribeirão São Bartolomeu – E. coli ou coliformes termotolerantes entre maio de 2023 e setembro de 2025.....	82
Figura 17 –	Viçosa/MG – E. coli na L2 e precipitação mensal entre maio de 2023 e setembro de 2024.....	85
Figura 18 –	Viçosa–MG: Valores de precipitação diária para os meses de dezembro de 2023 e janeiro de 2024.....	87

Figura 19 – Sub-bacias do Ribeirão São Bartolomeu: pH entre maio de 2023 e setembro de 2024.....	87
Figura 20 – Sub-bacias do Ribeirão São Bartolomeu: Temperatura da água entre maio de 2023 e setembro de 2024.....	89
Figura 21 – Sub-bacias do Ribeirão São Bartolomeu – Fósforo total entre maio de 2023 e setembro de 2024.....	90
Figura 22 – APA ribeirão São Bartolomeu / Viçosa–MG. Comparativo espectral e imagens classificadas.....	93
Figura 23 – Micro bacia Paraíso – Imagem do Google Earth.....	94
Figura 24 – Micro bacia Paraíso – Imagem do Google Earth.....	94
Figura 25 – Sub-bacias Ribeirão São Bartolomeu – Turbidez da água entre maio de 2023 e setembro de 2024.....	95
Figura 26 – Sub-bacias do Ribeirão São Bartolomeu – Resíduos totais entre maio de 2023 e setembro de 2024.....	96
Figura 27 – APA do Ribeirão São Bartolomeu / Viçosa–MG. Índice de Qualidade da Água (IQA–NSF) de abril de 2023 a setembro de 2024.....	98
Figura 28 – Dendograma do agrupamento hierárquico do IQA nas sub-bacias da APA São Bartolomeu.....	99
Figura 29 – SB4 — APA do ribeirão São Bartolomeu / Viçosa – Nascente do córrego do Paraíso – 10/10/2024.....	101
Figura 30 – APA do ribeirão São Bartolomeu / Viçosa – SB 1–Córrego São Lucas – 10/10/2024.....	101
Figura 31 – APA São Bartolomeu, Viçosa–MG – Correlação de Spearman entre parâmetros e precipitação 2023–2024.....	103
Figura 32 – Viçosa–MG – Precipitação e temperatura entre maio de 2023 e setembro de 2024.....	105
Figura 33 – Ribeirão São Bartolomeu/Viçosa–MG – Estrutura para captação do ponto morto da L1 para L2 .....	106
Figura 34 – Ribeirão São Bartolomeu – Viçosa/MG – Lagoa de acumulação – UFV	106
Figura 35 – Ribeirão São Bartolomeu – Viçosa/MG – Lagoa de acumulação – UFV	107

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Classes de avaliação do IQA-NSF e IQA-CETESB.....	31
Quadro 2 –	Padrões de enquadramento de corpos hídricos de águas doces classes 1, 2, 3 e 4 conforme: Resolução CONAMA 357/2005; Deliberação COPAM-CERH/MG 8/2022.....	37
Quadro 3 –	Classificação das águas doces em função dos usos segundo Deliberação Normativa COPAM 8/2022.....	38
Quadro 4 –	Fonte de dados matriciais e vetoriais.....	44
Quadro 5 –	Especificações dos sensores do satélite Landsat-9.....	45
Quadro 6 –	Especificações dos sensores do satélite Landsat-5.....	46
Quadro 7 –	Especificações das imagens do satélite Landsat 9 utilizadas.....	46
Quadro 8 –	Chave de fotointerpretação para a composição falsa-cor RGB do Landsat 5 – TM (453) e Landsat 9 – OLI (564) .....	49
Quadro 9 –	Informações sobre os pontos de coleta (2023–2024) .....	55
Quadro 11 –	Métodos utilizados na medição dos parâmetros.....	58
Quadro 12 –	Interpretação de resultados de coliformes totais e Escherichia coli (NMP) .....	59
Quadro 13 –	Classificação do coeficiente de correlação linear de Spearman.....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Parâmetros do IQANSF e seus respectivos pesos ( $W_i$ ).....	30
Tabela 2 –	Matriz de confusão da classificação de 1993 (n° de amostras).....	51
Tabela 3 –	Matriz de confusão da classificação de 2023 (n° de amostras).....	51
Tabela 4 –	Resultados do índice Kappa e Acurácia.....	51
Tabela 5 –	Interpretação do Índice Kappa.....	52
Tabela 6 –	Parâmetros utilizados no cálculo do IQA e seus respectivos pesos.....	55
Tabela 7 –	Matriz de transição de coberturas da superfície entre os anos 1993 e 2023 na APA São Bartolomeu, Viçosa – MG em Km <sup>2</sup> .....	80
Tabela 8 –	Áreas de Uso e cobertura do solo na APA Ribeirão São Bartolomeu.....	81
Tabela 9 –	Ribeirão São Bartolomeu - E. coli.....	83
Tabela 10 –	Sub-bacias da APA do ribeirão São Bartolomeu / Viçosa – MG. IQA mensal das sub-bacias e da lagoa de captação para o período de abril de 2023 a setembro de 2024.....	100

## SUMÁRIO

	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
	<b>HIPÓTESES</b> .....	17
	<b>OBJETIVOS</b> .....	18
1	<b>A QUALIDADE DA ÁGUA DE SUPERFÍCIE: PROBLEMÁTICA, CONCEPÇÕES E GESTÃO NO BRASIL</b> .....	20
1.1	<b>A problemática da qualidade da água</b> .....	20
1.2	<b>A gestão dos recursos hídricos no Brasil — o CNRH</b> .....	23
1.3	<b>Bacias hidrográficas como unidades estratégicas de gestão dos recursos hídricos</b> .....	25
1.4	<b>Áreas de preservação ambiental</b> .....	27
1.5	<b>Índice de Qualidade da Água (IQA)</b> .....	29
1.5.1	<u>Parâmetros físicos e químicos para análise da água e obtenção do Índice de Qualidade da Água (IQA)</u> .....	32
1.6	<b>Uso e ocupação do solo</b> .....	39
1.7	<b>Correlação entre parâmetros</b> .....	40
2	<b>METODOLOGIA, MÉTODOS E TÉCNICAS DA PESQUISA</b> .....	43
2.1	<b>Análise de Uso e Cobertura da Terra</b> .....	44
2.1.1	<u>Organização dos dados</u> .....	45
2.1.2	<u>Pré-processamento</u> .....	46
2.1.3	<u>Processamento de Imagens de Satélite</u> .....	47
2.1.4	<u>Pós-processamento</u> .....	50
2.2	<b>Cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA)</b> .....	52
3	<b>A BACIA HIDROGRÁFICA E A APA DO RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU EM VIÇOSA–MG</b> .....	63
3.1	<b>Caracterização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu</b> .....	63
4	<b>A QUALIDADE DA ÁGUA NA APA DO RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU – VIÇOSA/MG</b> .....	73
4.1	<b>Índice de Qualidade da Água (IQA) na APA do ribeirão São Bartolomeu – Viçosa/MG</b> .....	97

4.2	<b>Correlação da precipitação com os parâmetros físicos, químicos e biológicos utilizados no cálculo do IQA.....</b>	102
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	108
	<b>AVANÇOS EM RELAÇÃO AOS TRABALHOS ANTERIORES.....</b>	109
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	110
	<b>ANEXO A - Sites.....</b>	130

## INTRODUÇÃO

Os seres humanos constroem e reconstroem as paisagens na busca incansável pelo bem-estar. Impulsionados pelas necessidades criadas, expandem sua ocupação aos locais mais inóspitos do nosso planeta e anseiam por outros lugares, que ainda desconhecemos. Diante dessa ansiedade, vão ocupando explorando espaços sem o devido respeito e cuidado para com a natureza e o meio ambiente, colocando em risco as bases ecológicas de suas próprias vidas.

Exemplos de ações sem planejamento e uso inadequado do solo são elencados por Alvareli Júnior (2014), o qual aponta que a fragmentação florestal ocasiona uma série de consequências ambientais negativas, como o aumento do escoamento superficial, a diminuição das taxas de infiltração e percolação de água no solo, depreciando a qualidade da água e diminuindo o abastecimento do lençol freático.

Na Zona da Mata Mineira, em especial na cidade de Viçosa, a disponibilidade de água para abastecimento humano tem sido um problema recorrente. Desde 1915, Viçosa é abastecida por água encanada do Ribeirão São Bartolomeu. No entanto, a partir de 1960 foram registrados problemas de abastecimento, sendo necessária a captação de água do rio Turvo Sujo, iniciada em 1990. Esta ampliação da área de captação decorreu do aumento populacional, demandando maior volume de água; e da falta de preservação dos cursos d'água e das bacias de cabeceira do Ribeirão São Bartolomeu (VILELA; ROMANOVZKI, 2001).

A região possui extensas áreas de alta declividade, com uso da terra ausente de práticas conservacionistas, contribuindo, possivelmente, para menor infiltração de água e maior carreamento de partículas em direção aos cursos d'água (VILELA; ROMANOVZKI, 2001). Atualmente, as nascentes do São Bartolomeu apresentam vazões temporalmente decrescentes (SILVA et al., 2020). A maioria delas se encontra em áreas degradadas, invadidas por plantas freatófitas ou acessíveis ao gado (VILELA; ROMANOVZKI, 2001).

Alvareli Júnior (2014) destaca que a urbanização crescente na região da cabeceira da microbacia São Bartolomeu modificou o uso predominante do solo, resultando em impactos negativos diretos na qualidade e disponibilidade da água. Dados históricos da UFV indicam que, durante o período seco, a vazão do ribeirão São Bartolomeu diminuiu significativamente, passando de 200 L/s na década de 1990 para 100 L/s em 2012, representando uma redução de 50% (GOMES et al., 2012). Além disso, em 2017, a vazão média no período seco foi registrada em aproximadamente 28 L/s (SILVA et al., 2020).

No contexto exposto, deve-se considerar a bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu como uma área prioritária para a ampliação dos serviços ecossistêmicos de Viçosa–MG. Buscando garantir a proteção desta área, em 2017 foi instituído o Decreto de n.º 5.124/2017 para criação da Área de Proteção Ambiental São Bartolomeu em Viçosa–MG. Na delimitação da APA, estão inserido oito principais córregos contribuintes da bacia São Bartolomeu (VIÇOSA, 2017).

Ao estudar este espaço naturalmente delimitado, deve-se atentar para questões como:

- a) Áreas de preservação ambiental garantem qualidade da água dos cursos hídricos?
- b) O processo de urbanização compromete a qualidade da água em áreas de preservação ambiental?
- c) Qual a qualidade da água que abastece a população de Viçosa–MG?

Essas questões serão exploradas a seguir e sua compreensão pode revelar aspectos importantes da APA São Bartolomeu e identificar fatores que comprometem ou favorecem a qualidade da água e aqueles que promovem melhorias ambientais ou sociais.

Em virtude da expansão urbana na área que compreende a APA do ribeirão São Bartolomeu, se faz necessário atualizar os estudos de uso e ocupação do solo desta bacia e relacionar seus usos com a qualidade da água, uma vez que sua rede hidrográfica é responsável por 100% do abastecimento da UFV (Universidade Federal de Viçosa) e 30% do abastecimento público da população do município de Viçosa. Além disso, a análise de parâmetros químicos, físicos e biológicos dos recursos hídricos da APA São Bartolomeu pode auxiliar no planejamento e tomada de decisão, uma vez que evidencia o estado dos recursos hídricos.

Com apoio do Laboratório de Controle da Qualidade da Água (LCQA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e o Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE-Viçosa), no presente trabalho investiga-se a qualidade dos cursos d'água da APA São Bartolomeu, apoiado nas orientações das Resoluções Conama de nº 274/2000 e 357/2005 e da Deliberação Normativa COPAM 8/2022.

## **HIPÓTESES**

O uso e ocupação da terra no interior e no entorno da APA São Bartolomeu afetam negativamente a qualidade da água do córrego São Bartolomeu, reduzindo sua capacidade de fornecer serviços ecossistêmicos relacionados à manutenção da qualidade hídrica.

## OBJETIVOS

Considerando a necessidade de manutenção da qualidade da água destinada ao abastecimento público, nesta pesquisa visa-se diagnosticar e analisar a qualidade da água na APA do ribeirão São Bartolomeu, Viçosa–MG, tendo em vista a dinâmica do uso e ocupação da terra e a demanda dos recursos hídricos pela população local.

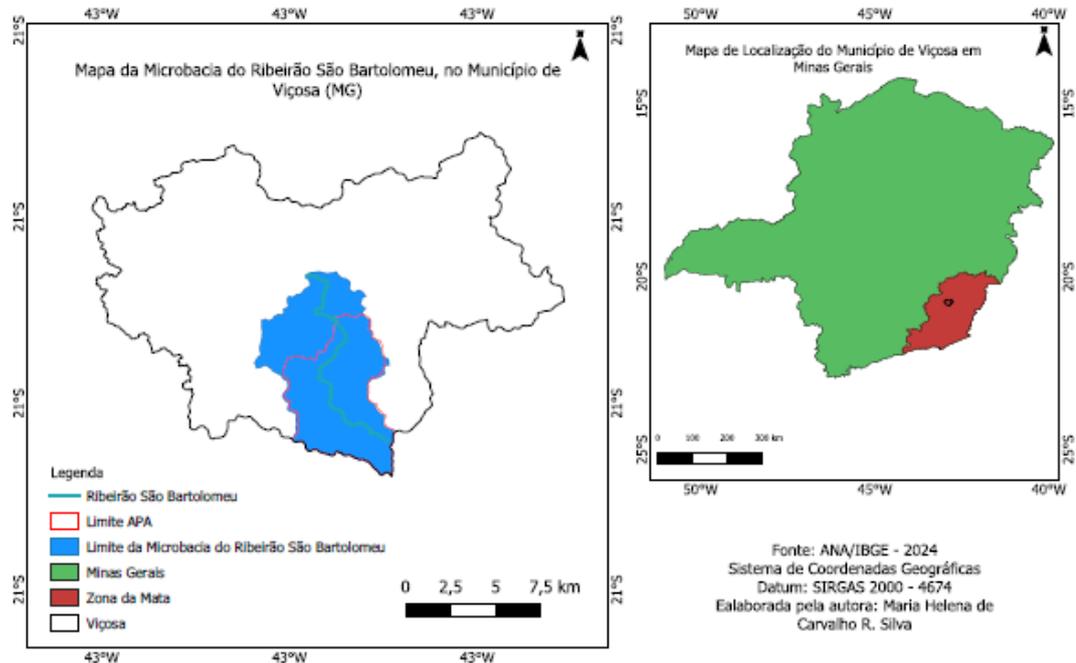
Especificamente, para atingir o objetivo geral, busca-se:

- a) Diagnosticar a dinâmica do uso e ocupação da terra na área de estudo conforme os aspectos físico-naturais (hidrografia, relevo, clima, solo e vegetação) e a urbanização;
- b) Identificar e analisar os elementos indicadores da degradação ambiental no contexto da bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu;
- c) Investigar a qualidade da água da APA São Bartolomeu, segundo as orientações previstas nas legislações nacional e estadual vigentes;
- d) Elaborar sugestões de políticas públicas visando garantir a qualidade das águas da área de estudo.

O município de Viçosa está localizado na Zona da Mata do Estado de Minas Gerais, entre as coordenadas 20° 44' S e 42° 53' O (Figura 1), cobrindo uma área de 299,418 km<sup>2</sup>. A bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu, afluente do rio Turvo, está localizada nos limites do território municipal (Figura 1). Conforme o censo demográfico de 2022, Viçosa possui população estimada em 76.430 habitantes, sendo que aproximadamente 90% residem na área urbana (IBGE, 2022).

Os temas desenvolvidos no Capítulo I contribuíram para aproximação e aprofundamento do tema e o reconhecimento de bacias hidrográficas como unidades físico-territoriais fundamentais para o planejamento e gerenciamento. É exposto a situação da gestão das águas no Brasil, a evolução da legislação brasileira, sua estrutura e a prioridade do desenvolvimento sustentável e do gerenciamento integrado dos recursos hídricos. A adoção de bacias hidrográficas como unidade básica de estudo e investigação é pano de fundo no desenvolvimento desta tese. Ainda neste capítulo, é apresentada a importância das Áreas de Preservação Ambiental para manutenção da qualidade ambiental e social do espaço. O cálculo do Índice de Qualidade da Água e seus parâmetros são utilizados para analisar a qualidade das águas superficiais da bacia do São Bartolomeu e realizar sua classificação, conforme legislação vigente. Ao final deste capítulo, é abordado o uso e ocupação da terra como fator de potencial influência na qualidade das águas superficiais da bacia do São Bartolomeu.

Figura 1 - Viçosa - Localização do município no estado de Minas Gerais, da bacia do Ribeirão São Bartolomeu e da APA São Bartolomeu



Fonte: A autora, 2025.

No Capítulo II são apresentados os métodos e a metodologia utilizada na tese. Nele são apresentadas as etapas para aquisição das amostras de água e posterior análise físico-química. Os procedimentos para a elaboração dos mapas temáticos também foram detalhados, possibilitando maior compreensão das técnicas e modelos utilizados.

O Capítulo III contextualiza as características da BHRSB, a criação da APA e o estado da qualidade da água com base nos dados oficiais. Além disso, é apresentada a caracterização dos elementos naturais, a fragmentação florestal em função do processo de uso e ocupação da terra, mapas temáticos, as informações especializadas e o histórico dos principais fragmentos florestais da APA.

Os resultados e discussões são apresentados no capítulo IV, cuja resultados aprofundam-se sobre a análise da água e a influência do uso e ocupação da terra. Os resultados são corroborados com análise de correlação e do IQA de cada sub-bacia inserida na APA.

As considerações finais elencam os principais resultados sobre o estado do uso da terra e da qualidade das águas, corroborados pela literatura, podendo auxiliar planejadores na tomada de decisão. Além disso, são apresentadas sugestões para trabalhos futuros, lacunas a serem exploradas e a necessidade de aprimoramento das técnicas utilizadas neste trabalho.

## **1 A QUALIDADE DA ÁGUA DE SUPERFÍCIE: PROBLEMÁTICA, CONCEPÇÕES E GESTÃO NO BRASIL**

Muitas reflexões, análises e pesquisas sobre a qualidade das águas superficiais têm sido realizadas em todo o mundo. Embora os problemas relacionados à contaminação são descritos há séculos, eles se intensificaram a partir da Primeira Revolução Industrial, acompanhando o processo de urbanização e expansão agrícola.

Nos séculos XIX e XX, com o avanço da industrialização, urbanização e expansão agrícola, a exploração e poluição do sistema ambiental em geral foi intensificada, especialmente das águas, pois é utilizada em muitos processos de produção. Neste contexto, foi necessário regulamentar o uso da água a partir de um conjunto de normas, políticas públicas e práticas para equilibrar a preservação dos recursos hídricos com as necessidades das populações.

Todo o conjunto de normas, políticas públicas e leis, atingiram os países em desenvolvimento, porém com pouco êxito. Questões estruturais como falta de infraestrutura, desigualdade no acesso e escassez são desafiadores e complexo. Embora haja desafios, o Brasil se destaca com uma série de regulamentações que buscam a gestão integrada da água, como a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/97), que estabelece o princípio da gestão descentralizada e integrada.

Para além dos instrumentos legislativos reguladores do acesso e uso da água, o século XXI inaugurou novos desafios de manutenção dos recursos naturais frente ao crescimento econômico.

### **1.1 A problemática da qualidade da água**

A disponibilidade de água doce na Terra é limitada, com apenas cerca de 3% da água total do planeta sendo potável e, desse percentual, 2/3 estão em forma de gelo ou são subterrâneas – o restante, que está em forma líquida, é a utilizada para consumo humano, animal e agrícola (CHIVANGA BARROS et al, 2022). Essa limitação é ampliada por fatores como crescimento populacional, demandas industriais e mudanças climáticas, ameaçando os recursos de água doce existentes. Nesta perspectiva de demanda, todos os países, em algum momento, sofrem por escassez desse recurso.

O Brasil possui uma quantidade expressiva de recursos de água doce, representando aproximadamente 12% da água doce da superfície mundial (ANA, 2012); possui 112.000 quilômetros cúbicos de água subterrânea; em seu território está a maior bacia hidrográfica, Amazonas (BENJAMIM, 2005); e compartilha com Argentina, Paraguai e Uruguai, o maior reservatório de água doce do mundo, o Aquífero Guarani. No entanto, a disponibilidade desse recurso está distribuída de forma desigual em todo o país, influenciada por fatores geográficos, climáticos e socioeconômicos.

A disponibilidade de água varia significativamente no território brasileiro. As regiões Norte e Centro-Oeste têm altas taxas de descarga de água, enquanto o Nordeste sofre com a escassez (MARENGO et al, 2016). Em outra via, o processo de urbanização, industrialização e expansão agrícola no Sudeste levou à escassez de água, apesar da abundância geral da região (MARENGO et al, 2016).

O desafio se encontra, portanto, no gerenciamento desse recurso. A negligência política e o uso inadequado impedem a eficiência da gestão da água. A escassez surge do planejamento inadequado do uso da terra e da água, particularmente no Sudeste, onde a urbanização descontrolada levou à escassez de água (MARENGO et al, 2016). A negligência na governança dos recursos hídricos resulta em degradação, contaminação, escassez, colocando em risco os ecossistemas e a saúde humana.

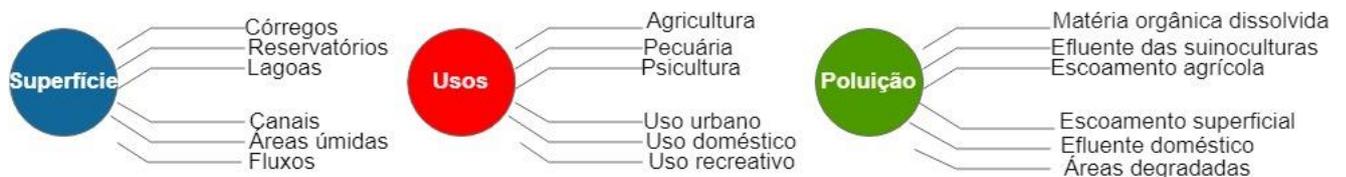
A degradação das águas superficiais do planeta é influenciada por alguns fatores, por exemplo, a exploração inadequada na realização das atividades humanas. Ademais, o crescimento populacional e o aumento da demanda por recursos naturais hídricos produziram um cenário de pressão sobre os sistemas hídricos globais (FIEP, 2024). Assim, considerando que a água é um elemento de disputa desde a pré-história, deve ser utilizada como recurso estratégico em todos os setores econômicos e um bem vital à sociedade.

Em pesquisa diacrônica, Angelakis et al. (2021) enfatizam que os conflitos hídricos existem desde os tempos pré-históricos, geralmente decorrentes de uma variedade de tensões, como disputas territoriais e competição por recursos. Um balanço global produzido pelos autores registrou maior número de vítimas associadas aos conflitos mundiais por água quando comparadas aos desastres ambientais, alertando para a necessidade de adotar estratégias de cooperação mundial de governança da água.

O quadro atual das águas superficiais apropriadas ao consumo humano alerta a comunidade global sobre a disponibilidade de água potável ou potencialmente tratável e a poluição de cursos d'água cada vez mais exacerbada pelas atividades humanas. Dentre as ações poluidoras (Figura 2) se destaca o uso de produtos químicos tóxicos e metais pesados nas

atividades agrícolas e industriais, prejudicando os ecossistemas aquáticos e reduzindo a usabilidade da água para consumo humano e agrícola (SINGH, 2023). A Figura 2 sintetiza outras fontes poluidoras das águas superficiais, seu uso e padrão de poluição. Projeções futuras apontam que o nitrogênio será o principal fator poluidor das águas superficiais até 2050, ao triplicar o número de sub-bacias hidrográficas afetadas, impactando mais de 40 milhões de km<sup>2</sup> e 3 bilhões de pessoas com a escassez de água (WANG, 2024).

Figura 2 - Categorização das águas superficiais em termos de suas fontes, uso pretendido e indução a poluição



Fonte: Adaptada de SYEED (2023).

Com o intuito de mitigar a poluição e escassez da água superficial potável, algumas abordagens eficazes são adotadas, como o monitoramento e gerenciamento da qualidade da água na escala das bacias hidrográficas (SINGH, 2023), especialmente em regiões com intensa atividade agrícola e rápida urbanização (WANG, 2024).

O vínculo entre as necessidades humanas e a água está enraizado em contextos históricos, ecológicos e culturais, refletindo uma relação simbiótica que evoluiu ao longo do tempo (WANG et al., 2022). No entanto, considerando o crescimento populacional nas últimas duas décadas e o avanço da população urbana, associado ao planejamento inadequado do espaço urbano, resulta em saneamento básico e abastecimento de água deficitário. Assim, essa relação precisa ser avaliada à luz do atual estágio de exploração da natureza e construção do espaço urbano, demandando uma gestão sustentável dos recursos hídricos, especialmente em áreas urbanas de crescimento acentuado (AHMAD, 2018).

A qualidade dos recursos hídricos é um tema recorrente e amplamente discutido na academia durante as últimas décadas, mas, apesar disso, os principais problemas associados à poluição hídrica ainda precisa ser abordado na esfera política, como um bem de disputa e controle, para garantir o uso seguro e higiênico da água (SYEED, 2023).

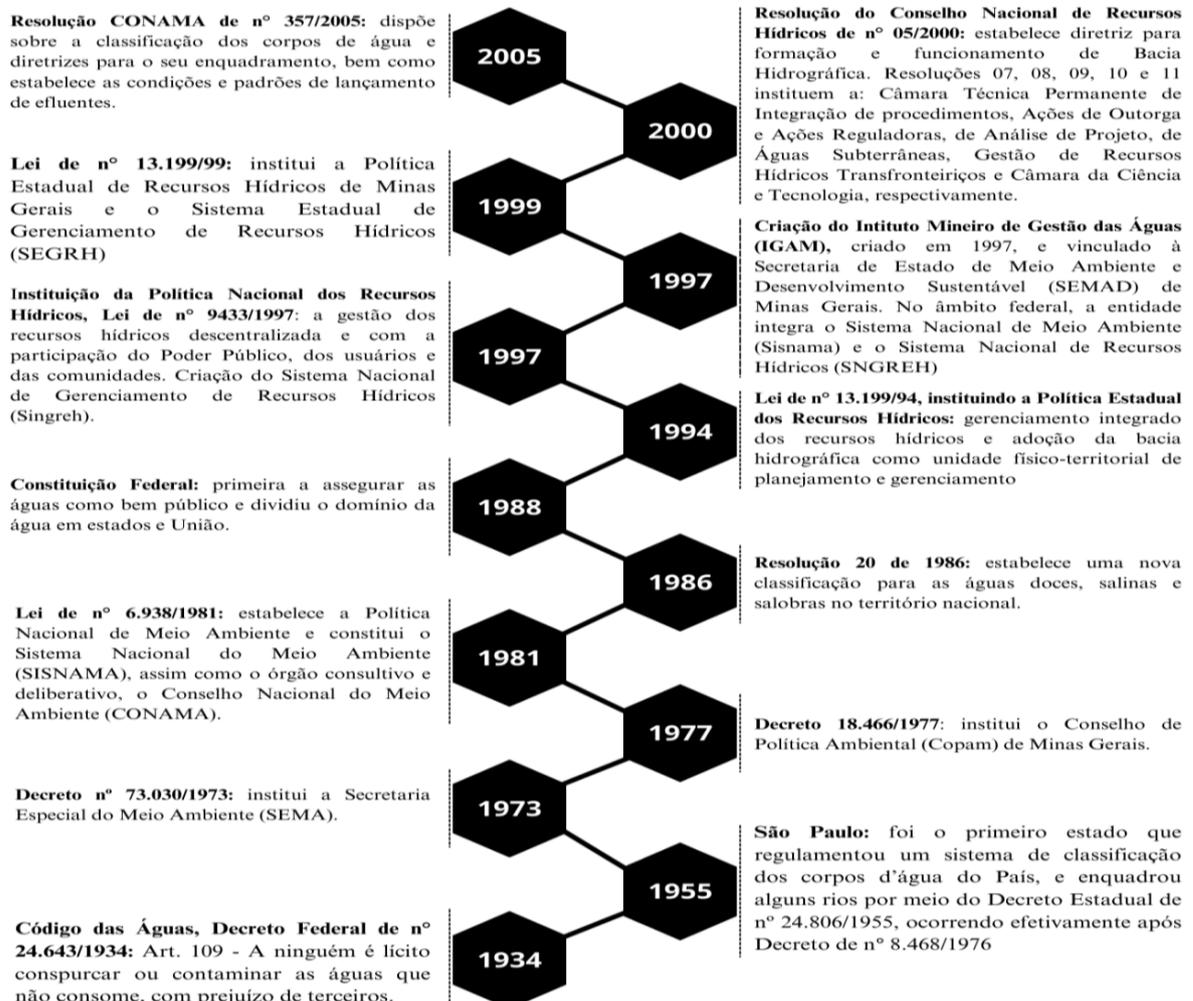
## 1.2 A gestão dos recursos hídricos no Brasil — o CNRH

A

Figura 3 sintetiza a evolução da legislação nacional em relação ao controle da qualidade das águas no Brasil. Elas são orientadoras do uso da água, da tomada de decisão e monitoramento dos usos múltiplos da água.

No contexto brasileiro, a preocupação com os recursos hídricos tem início com o Código das Águas, instituído pelo Decreto Federal 24.643/1934. Em seu Art. 109 é evidenciado a manutenção do direito à qualidade da água: “A ninguém é lícito conspurcar ou contaminar as águas que não consome, com prejuízos de terceiros”. No entanto, apesar de ser uma política avançada para a época, sua regulamentação foi em benefício ao setor elétrico e não tratou dos usos múltiplos e da qualidade da água (DE ARAÚJO, 2023).

Figura 3 - Evolução cronológica da gestão integrada, classificação e enquadramento dos corpos d'água no Brasil



Fonte: CETESB, 2008; IGAM, 2012. Adaptada pela autora, 2024.

As interferências realizadas no espaço pelo ser humano são intensas, sobretudo no solo, na vegetação e nos recursos hídricos. Conforme a Lei 9.433/1997, que define a Política Nacional de Recursos Hídricos, a qualidade e a disponibilidade das águas dependem de uma série de outros componentes do meio, incluindo fatores climáticos, pedológicos, geológicos, vegetação e da ordem da ocupação humana (BRASIL, 1997).

Neste contexto, a PNRH (Lei 9.433/1997), estabelece o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), que tem por objetivo a garantia da gestão sustentável da água, promovendo a participação da sociedade civil e facilitando a distribuição equitativa dos recursos hídricos em vários setores pensando a sociedade atual e futura, aprimorando gestão descentralizada e participativa (CORRÊA, 2017; KEMERICH; RITTER; DULAC, 2014; VITÓRIA et al., 2025).

O modelo de gestão hídrica no Brasil procura implementar a gestão integrada desse recurso buscando harmonizar a participação social com ações exclusivas para alinhar as atividades humanas com a preservação dos recursos naturais. Desse modo, a adoção de micro bacias como unidade de pesquisa e planejamento tem se tornado eficaz, uma vez que representa a unidade de vida do homem, pois está na escala do cotidiano das pessoas, devendo fazer parte da construção coletiva da consciência ambiental. Essa construção deve ser apoiada na gestão cidadã participativa, para ser construída a ideia de pertencimento com princípios de responsabilidade e precaução. Esse processo conduzido e alinhado com a comunidade e a gestão pública já resulta no desenvolvimento da Educação Ambiental (MENDONÇA, 2010).

No estado de Minas Gerais, a legislação marco das políticas relacionadas aos recursos hídricos avança desde a criação da Lei 13.199/99 que implementou a Política Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais e o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SEGRH) sob coordenação do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). Em seu Art. 3º do Cap. II, a bacia hidrográfica é adotada como sistema integrado que engloba os meios físico, biótico e antrópico, como unidade físico-territorial de planejamento e gerenciamento; Art. 9º, parágrafo IV, o enquadramento dos corpos d'água em classes, segundo seus usos preponderantes. No mesmo Cap., os parágrafos I e II no Art. 11 elenca que o diagnóstico da situação dos recursos hídricos da bacia hidrográfica e a análise de opções de crescimento demográfico, de evolução de atividades produtivas e de modificação dos padrões de ocupação do solo, respectivamente, devem fundamentar a orientação e implementação de projetos na respectiva bacia hidrográfica em estudo (MINAS GERAIS, 1999).

Em 2008, Conselho Estadual de Política Ambiental — COPAM, publicou a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG 1/2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes

ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais para abastecimento público e reforça que a gestão de recursos hídricos instituída pela Lei 13.199/1999, deve manter a qualidade da água e de ambiente aquático (classe) a ser, obrigatoriamente, alcançado ou mantido em um segmento de corpo de água, conforme os preponderantes pretendidos.

Essa Normativa visa classificar em classes ou definir metas de qualidade (enquadramento) dos cursos d'água, segundo os parâmetros físicos, químicos e biológicos. O Art. 4º da Seção 1, mostra que as águas doces de âmbito do estado de Minas Gerais, monitoradas por órgãos ambientais, podem ser classificadas como limite aceitável ao abastecimento para consumo humano como classe II, pois conforme Silva (2010), não há associação entre água bruta e água tratada/distribuída para consumo. Neste caso, o monitoramento para a manutenção da classe indicada para tratamento e consumo humano se torna essencial para o controle e vigilância da qualidade da água.

Maiores detalhes sobre a evolução da legislação sobre recursos hídricos no estado de Minas Gerais podem ser encontrados em Cunha (2020), Fayer et al. (2017), Matos et al. (2020), Silva (2010), Theodoro e Marques (2014).

### **1.3 Bacias hidrográficas como unidades estratégicas de gestão dos recursos hídricos**

De acordo com Rodrigues e Adami (2009), uma bacia hidrográfica é um conjunto de materiais, principalmente sólidos e líquidos, próximos à superfície terrestre, delimitado interna e externamente por todos os processos que, a partir do fornecimento de água pela atmosfera, interferem no fluxo de matéria e energia de um rio ou rede de canais fluviais. Isto inclui, portanto, entrada, circulação, armazenamento e saídas da água, bem como do material por ela transportado.

Em conjunto com esses espaços de circulação, *input e output*, adiciona-se a ação humana nos processos. Portanto, é pertinente analisar um espaço considerando as ações humanas desenvolvidas nele. No caso de uma APA, deve ser relevante que essa possua maior diversidade de APPs (Áreas de Proteção Permanente), a fim de assegurar a produção e qualidade da água e manter a circulação efetiva dos demais componentes naturais.

Bacias hidrográficas constituem-se em limites naturais da paisagem, onde os divisores de água, caracterizados enquanto estruturas do relevo – como morros, serras, chapadas ou picos (área mais elevada) – definem o padrão de drenagem das águas da chuva (TOMÉ;

NASCIMENTO, ano apud FONTES et al., 2006). Em uma definição mais complexa, bacia hidrográfica é um conceito geográfico que pode ser identificado como uma área topograficamente integrada, composta por um conjunto de vertentes e de uma rede de drenagem formada por um curso principal ou um sistema conectado de cursos d'água, tal que toda vazão efluente seja descarregada em uma única saída (TUCCI, 2002a).

A bacia hidrográfica transforma a entrada principal de água (precipitação) em saídas, como a vazão, evapotranspiração e infiltração profunda (TUCCI, 2002b). Essa saída é distribuída no tempo, sendo influenciada pelo tipo de solo, pela vegetação e pelo uso e ocupação da terra. Além disso, a bacia possui características físicas que compõem um importante grupo de fatores que influem no escoamento superficial (VILLELA; MATTOS, 1975).

A grandeza de uma bacia hidrográfica se refere à área que coleta e drena a água por meio de uma rede de riachos e rios, influenciada pela topografia e pelo escoamento, funcionando como um sistema unitário nos processos hidrológicos (ÍON ZĂVOIANU, 1984). Desta forma, as bacias hidrográficas são entidades geográficas que desempenham um papel significativo histórico nos processos naturais e sociais devido à sua unidade naturalmente analítica. Por isso, o uso da bacia hidrográfica enquanto escala de análise é essencial para analisar o fluxo da água e as interações com o uso da terra, podendo fornecer informações da escala cotidiana para o planejamento dos recursos naturais (BEILICCI et al., 2024).

A adoção de bacias hidrográficas se apresenta como unidade efetiva para análise ambiental, ao enfatizar seu papel na integração de processos naturais, facilitando o planejamento com vistas à conciliação entre a preservação ambiental e o desenvolvimento sustentável (DE CARVALHO CABRAL, 2007; GARDON, 2021; SIMÕES, 2024).

Neste contexto, as micro bacias hidrográficas, subdivisões naturais das bacias hidrográficas, são essenciais na análise ambiental, devido à sua capacidade de fornecer informações detalhadas sobre os ecossistemas locais, a qualidade da água e as práticas de uso da terra. Essas micro bacias servem como unidades críticas para avaliar a degradação ambiental, orientar práticas de gestão sustentável e nortear políticas públicas de conservação (MEDEIROS, 2016; UCKER; RODRIGUES, 2019).

Nesta perspectiva, para compreender uma micro bacia é relevante realizar um levantamento geográfico dos aspectos naturais e sociais. O conhecimento da área de drenagem de uma bacia hidrográfica é imprescindível para calcular a maioria das características físicas que a representa (VILLELA; MATTOS, 1975), definir sua potencialidade hídrica e tamanho (bacias pequenas, médias e grandes) e elaborar melhor análise do uso e ocupação da terra (TUCCI, 1997). Estruturas geológicas, dobras e cadeias de montanhas são fatores

preponderantes a serem considerados em bacias geográficas de maior extensão; e erosão para as bacias menores (BORSATO; MARTONI, 2004).

Tucci (2002a) considera que a ação do homem em uma bacia hidrográfica tem impacto direto sobre o escoamento superficial e armazenamento da água no solo. Os impactos são refletidos no comportamento das enchentes, nas vazões mínimas e na vazão média, além das condições ambientais locais.

Segundo Coelho, Gontijo Junior e Cardoso Neto (2004), ao considerar uma área para a gestão das águas, é necessário atentar a duas condições fundamentais: a) a garantia da disponibilidade hídrica; e b) o atendimento qualitativo e quantitativo às demandas de água naquele território. A manutenção da qualidade das águas superficiais é promovida, principalmente, pela proteção dos ecossistemas naturais e pela regulação do uso da terra (PARRON, 2015). Outro elemento preponderante no equilíbrio desta área é a manutenção dos ecossistemas aquáticos, que necessita de aporte de água com quantidade e qualidade suficientes, devendo ser garantida no balanço hídrico da bacia (FRAGOSO, 2009).

#### **1.4 Áreas de preservação ambiental**

Em relação à conservação e uso, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) estabelece critérios e normas para o estabelecimento, implementação e gestão de unidades de conservação. O Art. 15 da Lei 9.985, de 18 de julho de 2000, define que:

A Área de Proteção Ambiental é uma área em geral extensa, com um certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais. §1º A Área de Proteção Ambiental é constituída por terras públicas ou privadas. §2º Respeitados os limites constitucionais, podem ser estabelecidas normas e restrições para a utilização de uma propriedade privada localizada em uma Área de Proteção Ambiental. §3º As condições para a realização de pesquisa científica e visitação pública nas áreas sob domínio público serão estabelecidas pelo órgão gestor da unidade. §4º Nas áreas sob propriedade privada, cabe ao proprietário estabelecer as condições para pesquisa e visitação pelo público, observadas as exigências e restrições legais. §5º A Área de Proteção Ambiental disporá de um Conselho presidido pelo órgão responsável por sua administração e constituído por representantes dos órgãos públicos, de organizações da sociedade civil e da população residente, conforme se dispuser no regulamento desta Lei (BRASIL, 2000).

O Art. 9º desta Lei determina que ficará a cargo do Poder Executivo o estabelecimento de normas para regulamentar o uso do solo, para deliberar a respeito de:

- a) Implantação e operação de indústrias potencialmente poluidoras que afetem os recursos hídricos;
- b) Execução de terraplanagens e abertura de canais, caso estas possibilidades conduzam a uma alteração significativa das condições ecológicas locais;
- c) Implementação de atividades que possam provocar aceleração da erosão do solo e/ou sedimentação significativa de depósitos de água;
- d) Implementação de atividades que ameacem espécies raras da fauna regional da área protegida.

Neste caso, cabe ao poder público municipal gerir com transparência as normas do uso e ocupação alinhados ao processo participativo da comunidade, visando garantir os atributos ambientais de uma APA.

Neste contexto, é inviável tentar compreender isoladamente, os processos ocorridos no espaço de uma bacia hidrográfica sem o reconhecimento das interfaces ambientais entre solos, relevo, clima, vegetação, água e as relações sistêmicas, considerando inclusive as intervenções antrópicas que mudam o uso e ocupação da superfície (CARVALHO, 2014). A noção de totalidade é derivada dessa compreensão sistêmica, de considerar a sustentabilidade e complexidade, onde a água deve ser entendida em um contexto de relações espaciais considerando os componentes e processos ambientais e as ações humanas (CARVALHO, 2014).

Conforme a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei n.º 9433/97, a partir das necessidades sociais e ambientais, o enquadramento dos corpos hídricos da APA São Bartolomeu em classes, é entendido como um instrumento de planejamento para assegurar que este recurso esteja disponível em qualidade e quantidade, visando a compatibilidade com os usos mais exigentes a que forem destinadas.

As Áreas de Proteção Ambiental (APA) têm como principal objetivo assegurar o bem-estar das populações humanas e mitigar os problemas ecológicos locais (BRASIL, 1981). No art. 9 que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, o poder executivo estabelece normas limitando ou proibindo a implantação e o funcionamento de indústrias potencialmente poluidoras, capazes de afetar mananciais de água; a realização de obras de terraplanagem e a abertura de canais, quando essas iniciativas produzirem alteração das condições ecológicas locais; o exercício de atividades capazes de provocar uma acelerada erosão das terras e/ou um acentuado assoreamento das coleções hídricas (BRASIL, 1981).

Considerando o ambiente natural e a ocupação humana no espaço geográfico, as APAs foram criadas visando conciliar a ocupação de tal modo que as funções ecossistêmicas não

sejam comprometidas. No entanto, o processo de urbanização é intenso, especialmente nos países que compõem os BRICS (Brasil, Índia, Rússia e África do Sul) e possui potencial de induzir danos ecológicos, poluição e esgotamento dos recursos hídricos, ameaçando o desenvolvimento ambiental (SHEN et al., 2017).

Efetivamente, para que esse processo de ocupação ocorra de forma sustentável, o ideal é acompanhar se os processos de expansão urbana estão condizentes com as legislações em vigor (SHEN et al., 2017). Contrariando as orientações para que o processo de expansão nas APAs seja planejado, os impactos do uso do solo e planos ambientais são raramente monitorados ou avaliados após a implementação pelos planos diretores (PARFITT; DE MATTOS, 2021). Em decorrência, os planejadores e a sociedade não têm como saber se os planos atingiram seus objetivos, como também não podem aprender a partir dos resultados de intervenções passadas para melhorar a prática de planejamento (PARFITT; DE MATTOS, 2021).

Como o processo de ocupação no Brasil sempre foi marcado pela intensa exploração dos recursos naturais e supressão da vegetação nativa, voltadas para diversas atividades antrópicas, com destaque para a agropecuária e expansão da urbanização (PEREIRA et al., 2016), a problemática da degradação em áreas de preservação ambiental é constatada e identificada em diversas cidades brasileiras por meio do uso e ocupação do solo (PARFITT; DE MATTOS, 2021).

Um ambiente é social e historicamente construído e essa construção se faz da interação contínua entre natureza, espaço e sociedade, em que o espaço físico é palco ativo e passivo desses movimentos (COELHO, 2009). Nessa perspectiva, a autora apresenta e discute que os estudos da ocupação dos espaços relacionam-se ao conhecimento insuficiente dos processos ambientais, pautado na noção defasada de equilíbrio e na ausência de processos ambientais integradores.

### **1.5 Índice de Qualidade da Água (IQA)**

O IQA (Índice de Qualidade da Água) foi criado em 1970, nos Estados Unidos, pela *National Sanitation Foundation* (NSF), a partir de uma pesquisa de opinião realizada com especialistas em qualidade de águas. O IQA foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta visando o seu uso para o abastecimento público (BEZERRA, 2011).

Este índice foi primeiro desenvolvido por Horton (1965), em escala numérica, para representar graduações em níveis de qualidade da água como uma ferramenta para avaliar programas de redução de poluição e para dar informações ao público, permitindo assim que o usuário possa comparar diferentes cursos de água, no espaço e no tempo, em termos de graduação da qualidade de água (TORRES, 2001).

Para obter o IQA são necessários nove parâmetros: temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total, sólidos totais e turbidez. A partir de suas medidas originais, é calculada a qualidade do parâmetro que, ao serem ponderados, geram um índice numérico entre 1 e 100, enquadrando o corpo hídrico em classes de qualidade (CETESB, 2009; OLIVEIRA-FILHO e LIMA, 2002). Na Tabela 1 são apresentados os parâmetros físico-químicos com seus respectivos pesos.

Tabela 1 - Parâmetros do IQANSF e seus respectivos pesos ( $W_i$ )

<b>Parâmetros</b>	<b>Pesos (<math>W_i</math>)</b>
Oxigênio Dissolvido	0,17
Coliformes Termotolerantes	0,15
Potencial Hidrogeniônico	0,12
Fosfato	0,10
Nitrogênio	0,10
Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos Totais	0,08

Fonte: BRASIL, 2005; SÃO PAULO, 2015.

A classificação de enquadramento dos corpos d'água no Brasil, estabelecendo as condições da água a ser utilizada para abastecimento público é orientada pela Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005), do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). O interesse pelos índices de qualidade de água se intensificou a partir de 1972, quando o Conama expressou em seu relatório anual a importância e necessidade do uso desses índices para o monitoramento do ambiente aquático (PRADO; DI LULLO, 2007). Neste mesmo ano, 1972, ocorreu a Conferência de Estocolmo, marcando o início das preocupações com a preservação ambiental e fortalecendo as preocupações voltadas para a conservação do meio ambiente. Desde então, o IQA da NSF obteve grande aceitação e passou a ser um dos mais difundidos para a análise da qualidade da água (PRADO; DI LULLO, 2007).

São Paulo foi o primeiro estado a regulamentar sobre a classificação dos corpos d'água, pelo Decreto Estadual nº 24.806/1955, efetivando-se com o Decreto 8.468/1976. Atualmente,

a Resolução Conama 357/2005 é a principal normativa para que estados e municípios possam se basear na elaboração dos usos e enquadramento dos seus respectivos corpos d'água.

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM) do Estado do Rio Grande do Sul, e o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) utilizam como referência o modelo do IQANSF na verificação da condição das águas. Contudo, tais organizações, também, realizaram adaptações do índice da NSF, diante da necessidade de uma avaliação que observasse as particularidades das águas de suas respectivas localidades, considerando a ocupação humana (LIMA, 2023).

Após a adaptação do IQA, a CETESB passou a adotar o nome IQA<sub>CETESB</sub>, no qual há a substituição da variável fosfato pelo fósforo total e do nitrato pelo nitrogênio total, além de apresentar mudanças na faixa de coloração, que expressam a conjuntura hídrica (LIMA, 2021). Os Estados da Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Paraíba, Pernambuco e São Paulo utilizam a chave de classificação (classes) da qualidade das águas aplicada pela CETESB, enquanto os Estados de Alagoas, Minas Gerais, Mato Grosso, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte e Rio Grande do Sul empregam a chave de classificação da NSF (SILVEIRA, 2018; LIMA, 2021).

No Quadro 1, são apresentados separadamente os estados brasileiros que utilizam as classificações dos corpos d'água conforme o NSF e a CETESB. Nota-se que com a adequação realizada pela CETESB, o IQA<sub>CETESB</sub> é menos restritivo que o IQA NSF.

Quadro 1 - Classes de avaliação do IQA-NSF e IQA-CETESB

Intervalo de classes das faixas de IQA		Avaliação da qualidade da água
AL, MG, MT, PR, RJ, RN, RS (NSF)	BA, CE, ES, GO, MS, PB, PE, SP (CETESB)	
91–100	80–100	Ótima
71–90	52–79	Boa
51–70'	37–51	Razoável
26–50	20–36	Ruim
0-25	0-19	Péssima

Fonte: NSF, 2007; CETESB, 2013

Conforme Serraglio Durante (2020), os Índices de Qualidade de Águas (IQA) atualmente utilizados pela CETESB podem ser interessantes no sentido de facilitar a compreensão dos resultados devido à variedade de parâmetros a serem estudados. As variáveis

de qualidade, que fazem parte do cálculo do IQA, refletem, principalmente, a contaminação dos corpos hídricos ocasionada pelo lançamento de esgotos domésticos.

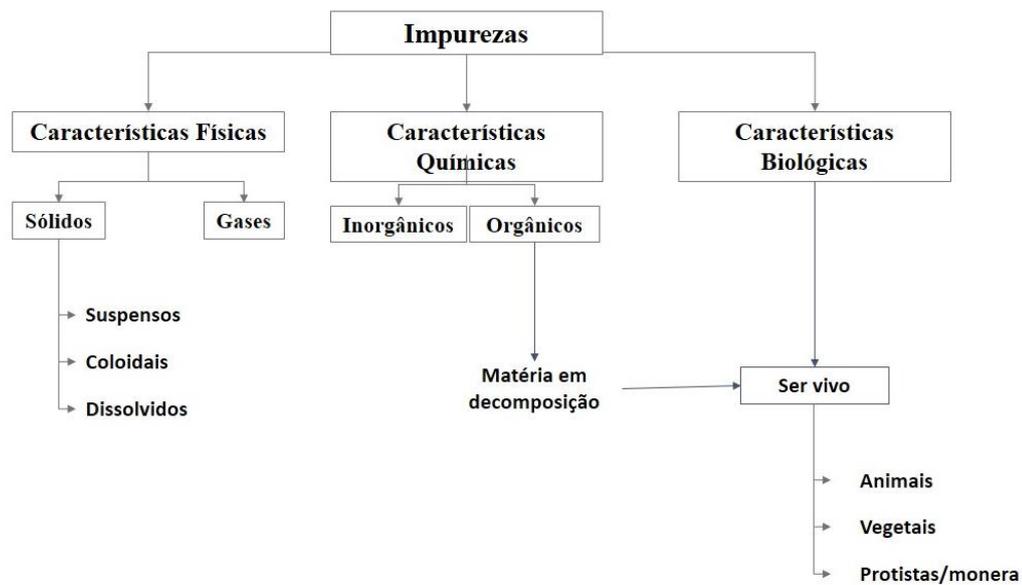
Embora a variedade de parâmetros seja considerável, o IQA ainda apresenta algumas limitações, como o de não contemplar outras variáveis, tais como: metais pesados, compostos orgânicos com potencial mutagênico, substâncias que afetam as propriedades organolépticas da água, número de células de cianobactérias e o potencial de formação de tri-halometanos das águas de um manancial (CETESB, 2023).

Em alguns casos, a quantidade de parâmetros necessários para realizar a equação é inviabilizada em função de custos, falha nos testes e infraestrutura laboratorial (OLIVEIRA, 2017; SRIVASTAVA; KUMAR, 2013; UDDIN, 2021). Neste caso, a adequação e redistribuição dos pesos pode ser realizada entre os parâmetros que serão utilizados, desde que a soma dos pesos final seja igual a 1 (IGAM, 2012; PRADO; DI LULLO, 2007). Oliveira (2017), Oliveira (2022), Silva (2023) obtiveram bons resultados utilizando parâmetros reduzidos para analisar a qualidade da água.

#### 1.5.1 Parâmetros físicos e químicos para análise da água e obtenção do Índice de Qualidade da Água (IQA)

Segundo Von Sperling (2007), a qualidade da água é resultante dos fenômenos naturais e da atuação humana no espaço. De maneira geral, sua qualidade está associada às condições naturais e ao uso e ocupação do solo. Mesmo em casos de ambientes preservados, o contato da água em escoamento superficial ou infiltração com as partículas pode acarretar impacto negativo. Esses impactos estão associados aos tipos de solo, rocha, mata, sólidos em suspensão ou dissolvidos. No caso da atuação humana, estes contribuem com despejos de esgoto doméstico ou industrial nos cursos d'água e aplicação de defensivos agrícolas no solo. Essas ações têm implicações diretas na qualidade da água.

O referido autor apresenta parâmetros de qualidade da água de forma simplificada, baseados em características físicas, químicas e biológicas. Para cada parâmetro desse, haverá análises detalhadas que objetivam apresentar uma visão integrada da qualidade da água, sem separação estrita em suas diversas aplicações (VON SPERLING, 2007). Na Figura 1 apresentam-se os níveis de detalhe das impurezas contidas na água.



Fonte: VON SPERLING, 2007.

Os parâmetros descritos a seguir são: oxigênio dissolvido (OD), *Escherichia coli* (E coli), potencial hidrogeniônico (pH), temperatura (T), fósforo total (P total), turbidez e resíduo total. Esses parâmetros serão utilizados em equações para obtenção do Índice de Qualidade da Água (IQA).

O oxigênio dissolvido (OD) é reconhecidamente o parâmetro mais importante para expressar a qualidade de um ambiente aquático (LIBÂNEO, 2010). Ele é um gás dissolvido proveniente naturalmente da dissolução do oxigênio atmosférico e também produzido pelos organismos fotossintéticos e sua origem antrópica está associada à aeração artificial e aos organismos fotossintéticos em corpos d'água eutrofizados (VON SPERLING, 2007).

É um gás vital para os seres aquáticos aeróbios e é o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos, sendo frequentemente usado como parâmetro no controle operacional de estações de tratamento de esgoto e caracterização de corpos d'água (ANA, 2024). Constitui um parâmetro de muita importância para a sobrevivência da maioria dos organismos aeróbicos, através deste índice é possível também avaliar a saúde do ecossistema aquático, pouca quantidade de OD indica problemas na organização do sistema (FIGUR; REIS, 2017).

Os coliformes fecais e totais (CT) constituem um grupo de bactérias identificadas em amostras de água e solos poluídos e não poluídos, assim como em fezes de seres humanos e outros animais de sangue quente (VON SPERLING, 2007). Atualmente é mais usual o termo coliformes termotolerantes, devido à sua resistência a elevadas temperaturas e conseguirem

fermentar a lactose em temperatura elevada ( $44,5 \pm 0,2$  °C) por um prazo de 24 horas, engloba predominantemente a espécie *Escherichia coli* (LIBÂNEO, 2010).

Em termos microbiológicos, a avaliação de qualidade da água de consumo humano no Brasil centra-se no controle da presença de bactérias do grupo coliforme, seguindo tendência internacional em vigor até o final da década de 1980 (, 2010). Tal controle segue a lógica de organismos indicadores, baseado no pressuposto de que, dadas as características dos coliformes, sua ausência nas águas de abastecimento - sobretudo dos mencionados coliformes termotolerantes e mais especificamente da bactéria *E. coli* - significaria uma garantia sanitária da segurança microbiológica da água em termos de saúde pública. Todavia, o potencial patogênico das águas de consumo vem se dirigindo, além dos protozoários *Giardia* e *Crypto*, a outras bactérias, como *Campylobacter* e *Aeromonas*, e tipos de vírus entéricos (LIBÂNEO, 2010). Doenças do aparelho respiratório também são associadas à água, como a pneumonia transmitida pela bactéria *Legionella pneumophila* (LIBÂNEO, 2010).

Devido às limitações, já conhecidas de que, os coliformes termotolerantes não eram eficientes para indicação fecal, em 2008, a CETESB passou a permitir as substituições das análises para *E. coli*, conforme disposto na Resolução Conama 357/2005 (CETESB, 2008). O desenvolvimento de métodos analíticos baseados na presença de enzimas de determinados grupos de microrganismos, como, por exemplo, a  $\beta$ -D-glicuronidase, que está presente em 95% das linhagens de *E. coli*, permitiu que as análises dessa bactéria fossem adotadas na rotina dos laboratórios de análises bacteriológicas de água (CETESB, 2008).

O potencial hidrogeniônico (pH) indica a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água, variando na faixa de 0 a 14 (VON SPERLING, 2007). O pH influi no grau de solubilidade de diversas substâncias e, como consequência, na intensidade da cor, na distribuição das formas livre e ionizada de diversos compostos químicos, definindo também o potencial de toxicidade de vários elementos. Segundo o mesmo autor, sua origem natural ocorre pela dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese; e sua origem antropogênica vem de despejos domésticos (oxidação da matéria orgânica) e industriais (ex.: lavagem ácida de tanques).

O pH não tem implicação em termos de saúde pública, a menos que os valores estejam muito elevados ou baixos, a ponto de causar irritação nos olhos e na pele. No entanto, valores de pH afastados da neutralidade podem comprometer a vida aquática e os microrganismos responsáveis pelo tratamento biológico dos esgotos. Outra situação é que, se o pH estiver baixo, possui o potencial de corrosão e agressividade nas tubulações e suas peças (VON SPERLING, 2007).

A importância do pH se remete diretamente aos ecossistemas naturais, em virtude dos efeitos sobre a fisiologia de diversas espécies (FIGUR; REIS, 2017). Este parâmetro está diretamente relacionado a diversas etapas do tratamento da água (coagulação, desinfecção, controle da corrosividade, remoção da dureza).

A temperatura também é considerada uma característica importante do meio aquático por influenciar vários parâmetros físico-químicos da água, entre eles a tensão superficial e a viscosidade. Já os organismos aquáticos são afetados por temperaturas fora de seus limites de tolerância térmica, por causarem impactos sobre seu crescimento e reprodução (BENETTI; BIDONE, 2002).

A temperatura (T) desempenha um papel importante no meio aquático, ao atuar diretamente numa série de variáveis físico-químicas (CETESB, 2009). Consiste em um parâmetro que deve ser reportado em todos os processos de análise da água. Segundo Von Sperling (2007), a medição da intensidade de calor e sua origem natural ocorre por transferência de calor por radiação, condução e convecção (atmosfera e solo). A origem antrópica é devida às águas de torres de resfriamento e aos despejos industriais.

A temperatura, por si só, não possui importância para a localização geográfica deste trabalho, pois nas regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste e na maior parte do Sudeste, as temperaturas raramente apresentam-se inferiores a 18 °C. Em algumas localizações das regiões Sul e sudeste a T da água pode baixar a valores entre 5 e 15 °C, podendo atingir o ponto de congelamento em casos excepcionais (LIBÂNIO, 2010).

No entanto, nas análises dos parâmetros de IQA, a temperatura está diretamente correlacionada aos demais procedimentos de análise da água, pois temperaturas elevadas diminuem a solubilidade de gases (oxigênio dissolvido) e aumentam a taxa de transferência de gases e reações físicas, químicas e biológicas (LIBÂNIO, 2010).

Esse parâmetro deve ser analisado em conjunto com os outros e deve proporcionar condições para as reações bioquímicas de remoção de poluentes.

Conforme destacado por Dezuane (1997 apud LIBÂNIO, 2010), a temperatura é proporcional: I) à velocidade das reações químicas; II) à solubilidade das substâncias; III) à concentração do oxigênio dissolvido, IV) ao metabolismo dos organismos presentes no ambiente aquático; V) à formação de subprodutos da desinfecção; VI) ao recrudescimento microbológica; e VII) à taxa de corrosão nas tubulações integrantes dos sistemas de abastecimento.

O parâmetro fósforo total (P total) está presente na água nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico. Sua origem natural se dá por dissolução de compostos do solo,

decomposição da matéria orgânica, lixiviação das rochas fosfatadas ou da agregação de compostos inorgânicos como o complexo de hidróxido de ferro. A origem antrópica vem de despejos de esgoto doméstico, industriais, fertilizantes e lixiviação de criatórios de animais (VON SPERLING, 2007; PASSOS, 2018).

O fósforo aparece em águas devido, principalmente, às descargas de esgotos sanitários. A matéria orgânica fecal e os detergentes em pó usados em larga escala constituem domesticamente a principal fonte. As águas drenadas tanto em áreas agrícolas quanto urbanas podem provocar a presença excessiva de fósforo (CETESB, 2017b – Apêndice E).

Embora o P não apresente problemas da ordem sanitária nas águas para abastecimento humano (LIBÂNEO, 2010), ele é o nutriente mais importante para o processo de eutrofização do corpo hídrico, ou seja, o enriquecimento de nutrientes minerais e orgânicos que pode promover crescimento excessivo de algas e de plantas aquáticas, causar a desoxigenação da água levando à morte de peixes, bem como trazendo prejuízos de ordem econômica em razão do entupimento de captações e consequente paralisação de atividades como a geração de energia hidrelétrica e a irrigação (OLIVEIRA-FILHO e LIMA, 2002).

A turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la (esta redução dá-se por absorção e espalhamento, uma vez que as partículas que provocam turbidez nas águas são maiores que o comprimento de onda da luz branca), devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e detritos orgânicos, tais como algas e bactérias, plâncton em geral e afins (CETESB, 2017b – Apêndice E).

Segundo Libâneo (2010), a turbidez é um dos parâmetros mais relevantes na qualidade da água, pois está diretamente relacionada à concentração de partículas e à presença de microrganismos patogênicos. Historicamente, essa preocupação surgiu devido à deposição inadequada de excretas no solo, que eram posteriormente levadas pelas chuvas. Dessa forma, o aumento da turbidez estava frequentemente associado à transmissão de doenças, em razão da maior densidade de microrganismos nos corpos d'água. Por questões estéticas e sanitárias, a filtração e, principalmente, a decantação tornaram-se algumas das primeiras formas de tratamento da água para consumo humano, com o objetivo principal de remover partículas suspensas e odores.

Os maiores níveis de turbidez estão relacionados naturalmente à decomposição de matéria orgânica. A origem antrópica está relacionada ao despejo de efluentes domésticos e industriais. A mudança do uso do solo deixando-o exposto, atividades agrícolas temporárias e

pastagem sem manejo adequado, torna-se outro fator de elevação antrópica da turbidez (VON SPERLING, 2007).

O resíduo total são tipos de sólidos (dissolvidos e em suspensão) (CETESB, 2009) e correspondem à matéria que permanece após a evaporação, secagem ou calcinação da amostra de água durante um determinado tempo e temperatura.

Quando os resíduos sólidos se depositam nos leitos dos corpos d'água podem causar seu assoreamento, que gera problemas para a navegação e pode aumentar o risco de enchentes. Além disso, podem causar danos à vida aquática, pois ao se depositarem no leito eles destroem os organismos que vivem nos sedimentos e servem de alimento para outros organismos, além de danificar os locais de desova de peixes (SÃO PAULO, 2015).

No saneamento, sólidos nas águas correspondem a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-estabelecida durante um tempo fixado. Em linhas gerais, as operações de secagem, calcinação e filtração são as que definem as diversas frações de sólidos presentes na água (sólidos totais, em suspensão, dissolvidos, fixos e voláteis). Os métodos empregados para a determinação de sólidos são gravimétricos (utilizando-se balança analítica ou de precisão) (CETESB, 2017b – Apêndice E).

Em seguida às definições acima, no Quadro 2 são apresentados os valores dos parâmetros químicos e o enquadramento dos cursos d'água conforme Resolução CONAMA 357/2005 e Deliberação COPAM-CERH/MG 08/2022 com suas classes para corpos d'água do Brasil e para o Estado de Minas Gerais.

Quadro 2 - Padrões de enquadramento de corpos hídricos de águas doces classes 1, 2, 3 e 4 conforme: Resolução CONAMA 357/2005; Deliberação COPAM-CERH/MG 8/2022.

Parâmetros		Classes de Qualidade			
	Unidade de medida	1	2	3	4
Oxigênio dissolvido (OD)	mg l <sup>-1</sup>	> ou igual 6	> ou igual 5	> ou igual 4	> ou igual 2
Coliformes termotolerantes* (CT)	NMP 100 ml <sup>-1</sup>	250	1000	2500	
Potencial hidrogeniônico (pH)	mg l <sup>-1</sup>	Entre 6 a 9	Entre 6 a 9	Entre 6 a 9	Entre 6 a 9
Temperatura da água (T)	°C	** deverá ser considerado valor aproximado à localização geográfica			
Nitrogênio (N)	mg l <sup>-1</sup>	Não deverá superar 1,27 mg l <sup>-1</sup> em ambientes lênticos e 2,18 mg l <sup>-1</sup> em ambientes lóticos.			
Fósforo total (PT)	mg l <sup>-1</sup>	0,1	0,2	0,5	1,0
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mg l <sup>-1</sup>	Até 3	Até 5	Até 10	
Turbidez (TU)	UNT	40	100	100	

Resíduo total (ST)	mg l <sup>-1</sup>	500	500	1000	
--------------------	--------------------	-----	-----	------	--

Legenda: \*Substituído por E coli a partir de 2013, \*\* resumo sobre temperatura.

Fonte: CONAMA, 357/2005; IGAM, 2017.

No Brasil, a Resolução Conama divide as águas do território nacional em águas doces ( $\leq 0,5\%$ ), salobras (salinidade maior que 0,05% e menor que 3,0%) e salinas (salinidade  $\geq 3,0\%$ ) e as classifica conforme os usos mais e menos exigentes nas classes especial, classe 1, 2, 3 e 4 (Quadro 3). As análises da água para abastecimento público em Viçosa seguem os padrões de qualidade da Resolução Conama nº 357/2005 e da Portaria do Ministério da Saúde nº 888/2021, observada também a Deliberação Normativa COPAM 8/2022 do estado de Minas Gerais.

Quadro 3 - Classificação das águas doces em função dos usos segundo Deliberação Normativa COPAM 8/2022

Classe	Destino das águas
Classe especial	a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação e proteção integral.
Classe 1	a) ao abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado; b) à proteção de comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário; d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rente ao solo e que sejam ingeridas cruas, sendo consumidas sem a remoção de películas; e) à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.
Classe 2	a) ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional; b) à proteção de comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário (natação, esqui-aquático e mergulho); d) à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas; e) à aquicultura e a atividade de pesca.
Classe 3	a) ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional; b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; d) à pesca amadora; e) à recreação de contato secundário; f) à dessedentação de animais.
Classe 4	a) à navegação; b) à harmonia paisagística.

Fonte: BRASIL, 2005.

## 1.6 Cobertura, uso e ocupação da terra

Ao iniciar este subcapítulo, é necessário esclarecer as diferenças conceituais entre cobertura, uso e ocupação da terra, pois são conceitos que evidenciam diferentes perspectivas do olhar direcionado à realidade. Para nós geógrafos a cobertura da terra está relacionada à

primeira observação que se faz da superfície, sem especificar ou assumir relações entre coberturas, em outras palavras é uma visão generalizada das classe – exemplo área vegetada, construída, água e afins.

Ao contrário da cobertura da terra, o uso é específico. Pode-se observar uma área com cobertura de vegetação, mas desejar saber a finalidade daquela área. Estas finalidades caracterizam o uso da terra, sendo específicos quanto à aplicação humana sobre a cobertura, que, no contexto da cobertura de vegetação, pode apresentar usos como agricultura anual, agricultura perene, vegetação florestal, silvicultura e afins.

Zvoleff et al (2014) apontam que pesquisas sobre mudança no uso da terra (LULC) é essencialmente de natureza multidisciplinar, atraindo cientistas de uma variedade de campos, incluindo, mas não se limitando, a economia, sociologia, geografia, GIScience e sensoriamento remoto em particular) e demografia.

De acordo com Ruhoff et al (2014), as mudanças ocorridas no uso da terra em áreas tropicais, têm impacto significativo nos ciclos hidrológicos, afetando a qualidade e a quantidade da água. Embora haja incertezas sobre os efeitos exatos dessas mudanças, acredita-se que o desmatamento e a alteração da cobertura da terra possam influenciar na intensidade e frequência das chuvas e vazões, devido ao papel crucial das áreas naturais, especialmente as florestas, na hidrologia das bacias hidrográficas (RUHOFF et al, 2014).

Menezes et al., 2016, apontam que uso e ocupação da terra em bacias hidrográficas alteram sensivelmente a qualidade dos mananciais de água superficiais e subterrâneos em função da má gestão do uso do solo e da expansão urbana.

A qualidade da água é resultante dos fenômenos naturais e da atuação humana no espaço. De maneira geral, a qualidade da água está associada também às condições naturais e ao uso e ocupação da terra (VON SPERLING, 2007). Mesmo em casos de ambientes preservados, o contato da água em escoamento superficial ou infiltração com as partículas pode ter grande influência, associadas aos tipos de solo, rocha, mata, sólidos em suspensão ou dissolvidos (VON SPERLING, 2007).

Além das condições naturais apontadas pelo autor, a atuação humana contribui com despejos de esgoto doméstico ou industrial nos cursos d'água e aplicação de defensivos agrícolas no solo, as fontes pontuais e difusas. Um exemplo de poluição pontual é o da descarga de esgotos em um rio. No caso da poluição difusa, é devido à drenagem pluvial e escoamento superficial em área urbana e rural (VON SPERLING, 2007). Essas ações têm implicações diretas na qualidade da água (VON SPERLING, 2007).

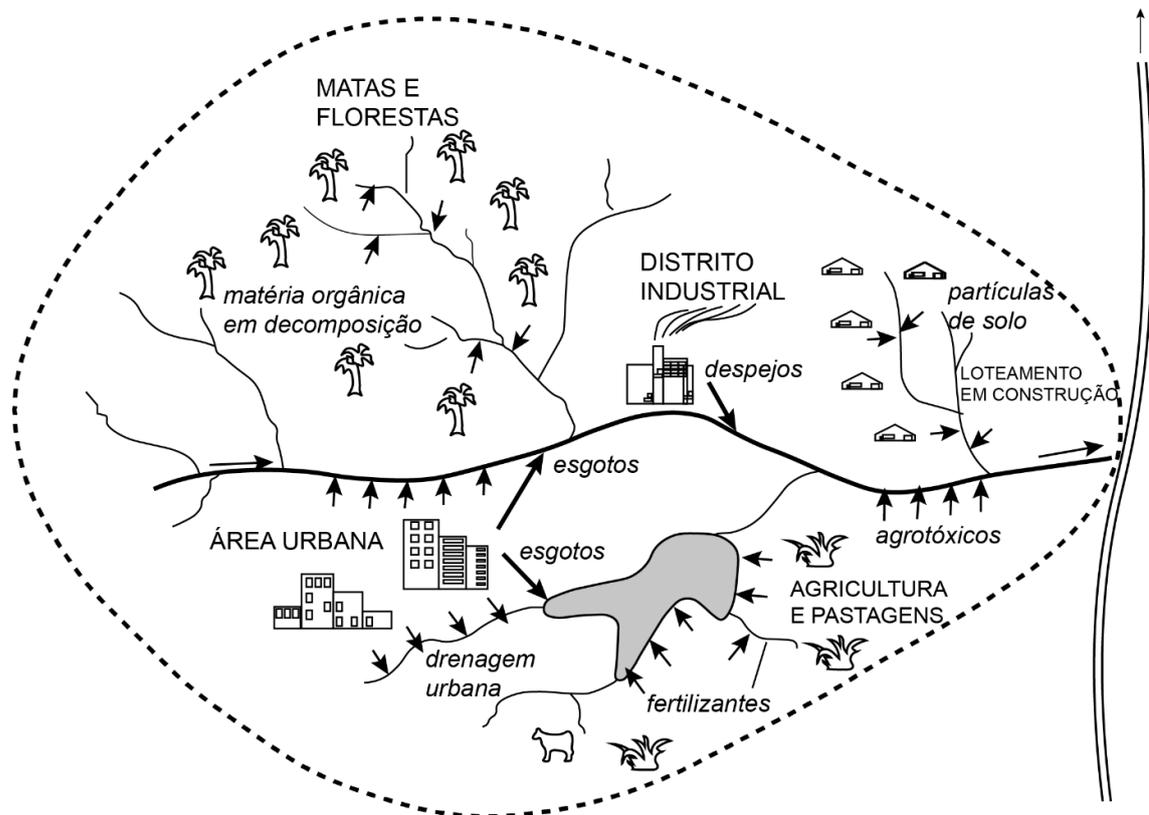
Compreender o processo de ocupação em bacias hidrográficas é fundamental para previsão de impactos futuros. Damame et al. (2019) encontraram desvio padrão elevado em estudo realizado em bacias hidrográficas devido à intensa fragmentação da vegetação em função dos diversos usos e observaram impactos diretos das ações antrópicas que comprometem a qualidade ambiental dos ambientes estudados nestas bacias hidrográficas. Dessa forma, práticas conservacionistas para mitigar os impactos ambientais e a manutenção da qualidade dos serviços ambientais são essenciais até mesmo à qualidade de vida da sociedade.

Levantamentos realizados por Longo et al. (2024) apontam que a maioria das bacias hidrográficas que apresentam problemas de qualidade e quantidade de água passaram por um processo de ocupação intenso e acelerado, tendo sua vegetação drasticamente fragmentada e reduzida. Nestes casos, o equilíbrio é alterado pelas intervenções antrópicas no meio natural, podendo gerar desequilíbrios temporários e/ou permanentes (DA COSTA, 2023). Sugere-se que, para essas áreas, sejam criados critérios que direcionem o uso e ocupação, tendo como suporte as legislações ambientais em vigor, visando a conservação e/ou restauração dos sistemas naturais ainda existentes (DA COSTA, 2023).

A

Figura 5 constitui-se em um esquema apresentado por Von Sperling (2007) como exemplo de possíveis inter-relações entre o uso e ocupação do solo e a geração de focos alteradores da qualidade da água de rios e lagos em bacias hidrográficas.

Figura 5 - Exemplos de inter-relação entre o uso e ocupação do solo e focos alteradores da qualidade da água



Fonte: VON SPERLING, 2007.

As inter-relações apresentadas, podem causar impactos diretos na dinâmica ambiental, que podem acarretar outros fatores ecológicos, como a precipitação, que por sua vez, desempenha um papel crucial na propagação de organismos como a *E. coli*. A correlação entre a intensidade das chuvas e a presença de *E. coli* em áreas urbanas e rurais tem sido amplamente estudada, revelando padrões interessantes de contaminação relacionados às variações climáticas.

Em vista disso, a análise de correlação entre os níveis de precipitação e os valores de *E. coli* para o período em estudo tende a contribuir significativamente para as interpretações dos padrões de contaminação, auxiliando na identificação de possíveis relações entre as variáveis e proporcionando subsídios importantes para futuras ações de monitoramento e gestão ambiental.

A correlação é uma medida da dependência entre duas variáveis. Por exemplo, quando há dependência, espera-se que à medida que o valor de uma variável aumenta, o mesmo acontece com o valor da outra variável; ou o inverso, à medida que o valor de uma variável aumenta, o valor da outra variável diminui (SHOBER, 2018).

O coeficiente de correlação de Spearman analisa relações monótonas, sejam elas lineares ou não. Trata-se de uma medida de correlação não paramétrica, ou seja, avalia o quão

bem uma função monotônica qualquer pode representar a relação entre duas variáveis, sem fazer suposições sobre a distribuição de frequência dessas variáveis (CULYER, 2014).

O sentido e a intensidade da relação entre duas variáveis quantitativas podem ser avaliados através do coeficiente de correlação linear de Spearman, variando entre  $-1$  e  $1$  (SOUZA, 2019). Valores próximos a zero indicam a inexistência de uma relação linear (as variáveis são independentes) entre duas variáveis, enquanto resultados próximos a  $1$  ou  $-1$  evidenciam uma relação de dependência, sendo que quanto mais próximo destes valores e mais distantes de  $0$  mais forte é a relação linear entre as duas variáveis (SOUZA, 2019).

Análise de correlação entre precipitação e parâmetros de qualidade da água tem sido amplamente utilizada, apontando relações de dependência entre as chuvas e os parâmetros químicos (ALENCAR, 2019; ASSIS, 2022; DE PAULA, 2016; MENDES, 2017; MENEZES, 2016; SILVA, 2018).

Correlações positivas entre qualidade da água e precipitação foram encontradas por De Paula (2016) em estudo realizado na bacia hidrográfica do Rio Ingaí-RS.

Utilizando correlação de Pearson, Menezes (2016), encontrou significativa relação entre as regiões com solo descoberto e maiores concentrações de OD, correlacionado os valores da precipitação local. Também utilizando correlação de Person, He et al. (2019), encontraram correlação positiva entre precipitação e sólidos totais no rio Yangtze, China. Os autores apontam que as situações encontradas são decorrência das atividades antrópicas nos espaços estudados.

## 2 METODOLOGIA, MÉTODOS E TÉCNICAS DA PESQUISA

A APA São Bartolomeu e a qualidade da água são analisadas, no âmbito deste estudo, sob a perspectiva da análise do pensamento sistêmico, que consiste na capacidade de perceber o todo de maneira integrada no espaço e tempo (CHRISTOFOLETTI, 1999). Neste caso, a situação atual da APA será entendida como um sistema natural que vem sendo alterado pela ocupação humana, sendo que essa ocupação não tem ocorrido ordenadamente ao desconsiderar os ativos ambientais.

Christofoletti (1999) define que a abordagem holística deve conceber a visão do todo e que suas partes não devem ser explicadas separadamente. Isso leva a considerar que o funcionamento do todo afeta as suas partes componentes, sendo contrária a análise isolada, pois as partes não poderiam ser estudadas separadamente. O holístico leva à formulação de que a ciência se constitui em um sistema integrado, complexo.

O autor complementa que, essa visão totalitária não é nova e relaciona diversos geógrafos que já estabelecem a abordagem holística para explicar relações consistentes entre clima e sociedade, solos e sociedade. Essa funcionalidade integrativa aparece nas obras dos seguintes autores: Carl Ritter, Alexander Von Humboldt e Stoddart (1967), Laser (1991). Lovelock (1984, 1988, 1991), Naveh e Lindermann (1984, 1993) e Sotchava (1977).

Para o autor, as visões reducionista e holística se complementam. No caso da visão reducionista, o problema é tratado em seu nível inferior por partes, fragmentar e classificar, procedendo do particular para o geral. O fundamental é sempre estar ciente da totalidade do sistema abrangente, da complexidade que o caracteriza e da sua estruturação hierárquica (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Em suas discussões sobre metodologia, Marconi e Lakatos (2017) consideram que as coisas, espaços, sociedade, não devem ser analisadas na qualidade de fenômenos fixos, mas em movimento. Nada está acabado, concluído, mas encontra-se em vias de se transformar, se desenvolver. Os fenômenos não existem isolados, destacados uns dos outros e independentes, mas se articulam como um todo único, coerente. Tanto a natureza quanto a sociedade são compostas de objetos e fenômenos organicamente ligados entre si, dependendo uns dos outros e, ao mesmo tempo, condicionando-se reciprocamente.

Para analisar o espaço no sentido de identificar situações que comprometam a qualidade ambiental, aqui utilizamos o método hipotético-dedutivo (POPPER, 2001), segundo o qual a partir de uma verdade provisória consegue-se contribuir com novos conhecimentos. Não existe

verdade absoluta, acabada, concluída, já que a conclusão será impossível frente aos acontecimentos e desenvolvimento da técnica no espaço geográfico. As situações mudam a cada período histórico, sendo a verdade absoluta hipotética.

Neste caso, a intenção aqui é corroborar com a hipótese estabelecida ou falsear conhecimentos postos, produzindo novas informações. Conforme Marconi e Lakatos (2017), mesmo superando todos os testes, porém, não definitivamente confirmada, poderá surgir um novo fato que a invalide, como acontece com muitas leis e teorias na história da ciência.

Os mesmos autores argumentam não haver graduações intermediárias. O método hipotético-dedutivo tem o objetivo de explicar o conteúdo das premissas. Os argumentos dedutivos ou estão corretos, ou incorretos, ou as premissas sustentam completamente a conclusão, ou, quando a forma é logicamente incorreta, não a sustenta de forma alguma (MARCONI E LAKATOS, 2017).

A leitura de obras de referência do tema da qualidade as águas e da gestão de bacias hidrográficas foi o primeiro passo dado nesta pesquisa; dele resultou o arcabouço teórico que permitiu a análise desenvolvida, sendo que os principais resultados dessa etapa possibilitaram a elaboração do capítulo dois e também dos demais capítulos dessa tese.

## 2.1 Análise de Uso e Cobertura da Terra

A aquisição dos dados vetoriais (*Shapefile*) e demais informações sobre as propriedades do meio físico foram baixados e consultados a partir de base de dados oficiais, conforme o Quadro 4.

Quadro 4 - Fonte de dados matriciais e vetoriais

Temática	Órgão/Software	Sítio eletrônico	Uso
Limites geográficos	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)	<a href="https://www.ibge.gov/">https://www.ibge.gov/</a>	Dados vetoriais para estabelecimento de limites geográficos municipais e estaduais.
Mapa de uso e cobertura da terra (agosto de 2023)	United States Geological Survey (USGS)	<a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a>	Imagens do Landsat 5 e 9 para a classificação de uso e cobertura da terra
Fotointerpretação (2023)	Google Earth Pro	<a href="https://www.google.com/intl/pt-BR/earth/about/">https://www.google.com/intl/pt-BR/earth/about/</a>	Fotointerpretação para contribuir na coleta das amostras.
Hidrografia	Agência Nacional de Águas (ANA)	<a href="https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas">https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas</a>	Vetores da rede de drenagem e hidrografia
Dados meteorológicos	Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)	<a href="https://portal.inmet.gov.br/">https://portal.inmet.gov.br/</a>	Obtenção dos elementos meteorológicos

Dados vetoriais	Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE-Sisema)	<a href="https://idesisema.meioambient.e.mg.gov.br/webgis">https://idesisema.meioambient.e.mg.gov.br/webgis</a>	Limite do estado de Minas Gerais e malha rodoviária
Malha viária	OpenStreetMap	<a href="https://www.openstreetmap.org/export#map=13/-20.8066/-42.8606">https://www.openstreetmap.org/export#map=13/-20.8066/-42.8606</a>	Arruamento

Fonte: A autora, 2025.

Toda a produção cartográfica, processamento e análise dos dados espaciais (matriciais e vetoriais) foram realizados no software QGIS, sistema de informação geográfica (SIG) livre e de código aberto, na versão 3.34 (QGIS, 2024).

### 2.1.1 Organização dos dados

A escolha da data para a coleta das imagens de satélite se deu em função da menor cobertura de nuvens e objetivando comparar a evolução do uso e cobertura da terra em relação aos anos de 2000 e 2022, produzidos pela Prefeitura Municipal de Viçosa em 2022 e apresentados no plano de manejo da Área de Proteção Ambiental São Bartolomeu.

Para produção do mapa de uso e cobertura da terra na APA, inicialmente foram baixadas as imagens dos satélites Landsat 5 e 9 no sítio eletrônico do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2022). As propriedades dos sensores e intervalos espectrais imageados pelos satélites podem ser observadas nos Quadros 5 e Quadro 6.

Quadro 5 - Especificações dos sensores do satélite Landsat-9

Sensor	Bandas espectrais	Resolução espectral ( $\mu\text{m}$ )	Resolução espacial (m)	Resolução temporal	Área imageada (km)	Resolução radiométrica
Operational Land Imager 2 (OLI-2)	Banda 1 – Costal	0,43 – 0,45	30	16 dias	185	14 bits
	Banda 2 – Azul visível	0,450 – 0,51				
	Banda 3 – Verde visível	0,53 – 0,59				
	Banda 4 – Vermelho visível	0,64 – 0,67				
	Banda 5 – Infravermelho próximo	0,85 – 0,88				
	Banda 6 – SWIR 1	1,57 – 1,65				
	Banda 7 – SWIR 2	2,11 – 2,29				
	Banda 8 – Pancromática (PAN)	0,50 – 0,68	15			
	Banda 9 – Cirrus	1,36 – 1,38	30			
Thermal Infrared Sensor 2 (TIRS-2)	Banda 10 – Infravermelho termal	10,4 – 11,2	100			
	Banda 11 – Infravermelho termal	11,5 – 12,5	100			

Fonte: NASA, 2024; USGS, 2025.

Quadro 6 - Especificações dos sensores do satélite Landsat-5

Sensor	Bandas espectrais	Resolução espectral ( $\mu\text{m}$ )	Resolução espacial (m)	Resolução temporal	Área imageada (km)	Resolução radiométrica
Thematic Mapper (TM)	Banda 1 – Azul	0,45 – 0,52	30	16 dias	185	8 bits
	Banda 2 – Verde	0,50 – 0,60				
	Banda 3 – Vermelho	0,63 – 0,69				
	Banda 4 – Infravermelho próximo	0,76 – 0,90				
	Banda 5 – Infravermelho médio	1,55 – 1,75	120			
	Banda 6 – Infravermelho termal	10,4 – 12,5				
	Banda 7 – Infravermelho médio	2,08 – 2,35	30			

Fonte: NASA, 2024; USGS, 2025.

Para a classificação de uso e cobertura da terra, foram selecionadas as bandas do satélite Landsat-9 (sensor OLI) e Landsat 5 (sensor TM), de 22 de agosto de 2023, e no ponto/órbita 217/074, conforme indicado no Quadro 7.

Quadro 7 - Especificações das imagens do satélite Landsat 9 utilizadas

Satélite	Sensor	Data	Órbita/Ponto	Bandas
Landsat 9	OLI-2	22/08/2023	217/074	2, 3, 4, 5 e 6
Landsat 5	TM	27/08/1993	217/074	1, 2, 3, 4 e 5

Fonte: A autora, 2025.

### 2.1.2 Pré-processamento

Na etapa de pré-processamento, as correções geométricas foram realizadas sobre as imagens para corrigir as coordenadas. Este passo é um procedimento necessário para criar uma base de dados de um sistema de informações geográficas (SIG) com referência espacial correta e concordante. Dentre estas correções, pode-se citar a reprojeção e o georreferenciamento.

Ao baixar a imagem diretamente dos servidores é comum virem com um sistema de referência de coordenadas (SRC) definido pela própria instituição – no caso das imagens dos satélites Landsat disponibilizados pelo USGS há uso do sistema de referência WGS84 e sistema de coordenadas UTM 22 N. Desta forma, as imagens destes provedores foram reprojctadas para o *datum* oficial da América do Sul (Sirgas 2000) e uma projeção geometricamente acurada para a escala local (UTM), com fuso adequado para a localidade de estudo (UTM 23S).

O georreferenciamento também é uma etapa importante para melhorar a qualidade da imagem. Alguns satélites, ao longo do tempo, apresentam descalibrações de seus sensores, além

de outros problemas orbitais, de forma que as coordenadas da imagem devem sempre ser comparadas com a localização em campo e, caso necessário, deve-se fazer o georreferenciamento para torná-las acuradas (DUARTE et al., 2015). Como as coordenadas e a geometria das imagens dos satélites Landsat 5 e 9 são acuradas (USGS, 2022), não foi necessário realizar o georreferenciamento.

As correções atmosféricas foram executadas sobre as imagens de satélite para mitigar os efeitos de absorção e espalhamento atmosférico produzido por alguns gases na atmosfera e para auxiliar na identificação e discriminação dos materiais da superfície terrestre. Para tanto, utilizou-se o algoritmo DOS1 por meio do *plug-in Semi-Automatic Classification Plugin* (CONGEDO, 2021).

Para finalização dos processos acima mencionados, foi efetuado o mosaico das imagens e, em seguida, o recorte das imagens considerando os limites da APA São Bartolomeu, delimitando, assim, o objeto de estudo.

### 2.1.3 Processamento de Imagens de Satélite

Um das principais ferramentas utilizadas no ordenamento territorial são as imagens de satélite, uma vez que possibilita conhecer o espaço e o uso que se faz sem que necessariamente esteja presencialmente nele. Portanto, a elaboração de mapas a partir de imagens de satélite e a espacialização dos resultados obtidos neste trabalho auxiliarão na compreensão, comparação e reflexão acerca do espaço estudado.

Os mapas são aliados dos geógrafos na contextualização das situações apresentadas. Embora o uso dos mapas esteja presente em todas as áreas do conhecimento, o conhecimento do geógrafo faz com que as análises sejam potencializadas com uma visão integralizadora, de maneira a transferir para o leitor os elementos sociais, ambientais, políticos, entre outros, ganhando maior profundidade sobre o elemento ou objeto de estudo.

Novo (2010) e Florenzano (2011) mencionam que a história das imagens de sensoriamento remoto inicia no século XIX, em 1839. No ano seguinte já estava sendo usadas imagens para levantamento topográfico e as primeiras fotografias aéreas foram tomadas por balões em 1858. A partir de 1930, foram obtidas as primeiras imagens coloridas. O desenvolvimento da aviação trouxe grande impulso ao uso das fotografias aéreas. Com o fim da Primeira Guerra Mundial, os recursos foram canalizados para a cartografia e desde então se

conhece o espaço terrestre cada vez mais em detalhes. O termo sensoriamento remoto foi amplamente incorporado na literatura a partir de 1960.

Conforme Florenzano (2011), as imagens de satélite permitem enxergar e identificar informações da superfície terrestre privilegiadamente. Elas proporcionam uma visão sinóptica (de conjunto) e multiespectral (em diferentes datas) de extensas áreas da superfície terrestre. As imagens obtidas por sensoriamento remoto possibilitam ampliar nossa visão espectral (para além da luz visível), espacial e temporal da superfície terrestre.

Para interpretar e dar significado aos objetos, é necessário observar cautelosamente as chaves de interpretação: tonalidade/cor, textura, tamanho, forma, sombra, altura, padrão e localização. Assim, quando se identifica e traça ruas, estradas, rios, ou se delimita uma represa, área urbana ou de cultivos, é necessário o conhecimento dessas chaves para dar um significado a elas com eficiência. Quanto melhor a resolução e mais adequada é a escala, mais direta e fácil é a identificação dos objetos em uma imagem. A partir dos elementos de fotointerpretação, podem ser elaboradas chaves (modelo) de fotointerpretação (FLORENZANO, 2011).

Com os avanços neste campo, houve melhorias nas criações de sistemas Imageadores cada vez mais complexos e com maior acurácia. Atualmente há várias missões em operação, como a CBERS, Sentinel, Galileo, Ikonos, Landsat, entre outras. Cada satélite, com seus respectivos sensores, possui propriedades com funcionalidades projetadas para diferentes propósitos. Dentre as missões, a família Landsat está entre os mais utilizados, devido à longa temporalidade de cobertura e de acesso gratuito, imageadas desde 1972 (USGS, 2024). Em 2021 a missão lançou o Landsat 9, fornecendo dados radiométricos e geometricamente mais acurados que as gerações anteriores.

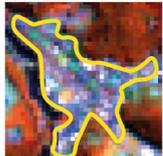
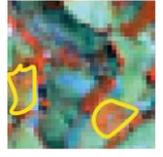
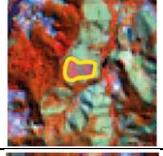
Na fase de processamento, para produzir os mapas de uso e cobertura da terra, foram aplicados algoritmos de classificação. Estes algoritmos reconhecem o conjunto de resposta espectral das amostras indicadas como entrada e, baseado nos registros espectrais de cada banda do satélite, há o reconhecimento de áreas com os mesmos atributos espectrais, sendo associados à mesma classe.

Para a coleta das amostras e identificação das classes de uso e cobertura da terra incluídas na amostragem, foi utilizada a chave de classificação indicada no Quadro 8, considerando aspectos como cor, tonalidade, forma, tamanho, padrão, textura e outros, na composição de cores RGB (sequência de bandas 5, 6 e 4). Exemplos das feições consideradas na chave de classificação são apresentados no mesmo quadro e evidenciam os padrões de cor, tamanho, padrão e textura observados durante a coleta das amostras.

Foram coletadas 422 amostras representativas das classes de uso e cobertura da terra em 1993 e 440 em 2023, sendo divididas 70% em amostras de treinamento do modelo e 30% em amostras de validação.

Coletadas as amostras, a classificação foi operada por meio do *plug-in* Dzetsaka (KARASIAK, 2024), sendo aplicado o algoritmo *Random Forest* sobre as amostras de treinamento.

Quadro 8 - Chave de fotointerpretação para a composição falsa-cor RGB do Landsat 5 – TM (453) e Landsat 9 – OLI (564)

Classe	Cor e tonalidade	Tamanho	Padrão	Textura	
Vegetação arbórea	Laranja escuro	Pode ser extenso, como nos casos de áreas de preservação, ou delgado, como nas áreas de mata ciliar.	Irregular	Rugosa	
Água	Azul escuro	Extenso (lagos) ou delgado (trechos de córregos)	Curvo e/ou irregular	Lisa	
Área construída	Azul escuro	Extenso ou curto, dependendo da complexidade da área urbana, como nas pequenas cidades (curta) ou metrópoles (extensa)	Regular	Áspera	
Café	Laranja	Pequeno	Regular	Lisa (imagem de média resolução) ou rugosa (imagem de alta resolução)	
Pastagem	Tons de verde alaranjado, com rosa e laranja. No geral, a mistura de cores na pastagem é elevada e pode não haver uniformidade	Extenso	Irregular	Média	
Agricultura	Variação de tons de laranja	Extenso	Regular	Lisa	
Área degradada	Verde escuro	Extenso	Regular	Lisa	

Fonte: A autora, 2025.

#### 2.1.4 Pós-processamento

Na etapa de pós-processamento foi realizada a reclassificação da imagem para remoção de ruídos. Dada a natureza das classificações do tipo pixel a pixel, que considera apenas a resposta espectral do pixel para categorizá-lo em sua respectiva classe, sem utilizar como parâmetro a vizinhança, alguns pixels podem apresentar-se isolados e classificados erroneamente. Esta operação foi realizada por meio da ferramenta de pós-processamento *Classification sieve* do Semi-Automatic Classification Plugin (CONGEDO, 2021).

Para analisar a qualidade das classificações, o coeficiente Kappa e a Acurácia foram aplicados. O Kappa é uma medida de qualidade da classificação em relação às amostras de teste definidas anteriormente (MASTELLA; VIEIRA, 2018).

Para o cálculo do coeficiente, obteve-se primeiramente a matriz de confusão (Tabela 2 e Tabela 3) para cada classificação por meio da comparação entre as amostras de validação e a classificação operada pelo algoritmo Random Forest. A partir da matriz de confusão foi calculado a Acurácia, descrita na equação 1 (FERREIRA; DANTAS; MORAIS, 2007).

$$E_g = \left( \frac{1}{P_t} \sum_{i=1}^n P_{ii} \right) * 100 \quad (1)$$

Em que  $E_g$  é a Exatidão Global;  $P_{ii}$  é a quantidade de pixels da coluna e linha  $i$ , ou seja, a concordância de pixels entre a referência e a classificação de determinada classe;  $n$  o total de classes; e  $P_t$  o total de pixels amostrados. O mesmo procedimento foi aplicado unitariamente às classes, para verificar a exatidão de cada classe, considerando  $E_c = \frac{P_{ii}}{P_{i+}} * 100$ , sendo  $E_c$  a exatidão da classe e  $P_{i+}$  a quantidade de pixels amostrados na classe  $i$  – a marginal da coluna  $i$ .

Tabela 2 - Matriz de confusão da classificação de 1993 (nº de amostras)

	Vegetação Arbórea	Água	Área Construída	Café	Agricultura	Pastagem	Área Degradada
Vegetação Arbórea	50	0	0	2	0	0	2
Água	1	7	1	0	0	0	0
Área Construída	0	0	17	0	0	0	0
Café	1	0	0	0	0	0	0
Agricultura	0	0	0	2	1	0	0

Pastagem	1	0	4	0	0	24	0
Área Degradada	0	0	0	0	0	0	3

Fonte: Maria Helena de Carvalho Rodrigues Silva, 2025.

Tabela 3 - Matriz de confusão da classificação de 2023 (n° de amostras)

	Vegetação Arbórea	Água	Área Construída	Café	Agricultura	Pastagem	Área Degradada
Vegetação Arbórea	33	0	0	0	0	0	0
Água	1	4	1	0	0	0	0
Área Construída	0	0	20	0	0	3	0
Café	1	0	0	5	0	1	0
Agricultura	1	0	0	0	6	0	0
Pastagem	0	0	0	1	0	28	1
Área Degradada	0	0	0	0	0	0	5

Fonte: A autora, 2025.

Tabela 4 - Resultados do índice Kappa e Acurácia

Ano	Kappa	Acurácia
1993	0,83	0,87
2023	0,88	0,90

Fonte: A autora, 2024.

O índice Kappa foi obtido por meio da equação 2 (FERREIRA; DANTAS; MORAIS, 2007).

$$K = \frac{P_t \sum_{i=1}^n P_{ii} - \sum_{i=1}^n (P_{i+} P_{+i})}{P_t^2 - \sum_{i=1}^n (P_{i+} P_{+i})} \quad (2)$$

Cujo K é o índice Kappa; e  $P_{+i}$  é a quantidade de pixels classificados na classe  $i$ , marginal da linha  $i$ . Conforme o resultado de Kappa, a interpretação do mapeamento (

Tabela 5), considerando os dados de referência – neste estudo são as amostras – e os dados classificados, é dada por Congalton e Green (2009):

Tabela 5 - Interpretação do Índice Kappa

<b>Kappa</b>	<b>Concordância</b>
<  0	Péssima
0 —  0,2	Ruim
0,2 —  0,4	Razoável
0,4 —  0,6	Boa
0,6 —  0,8	Muito Boa
0,8 —  1	Excelente

Fonte: A autora, 2025.

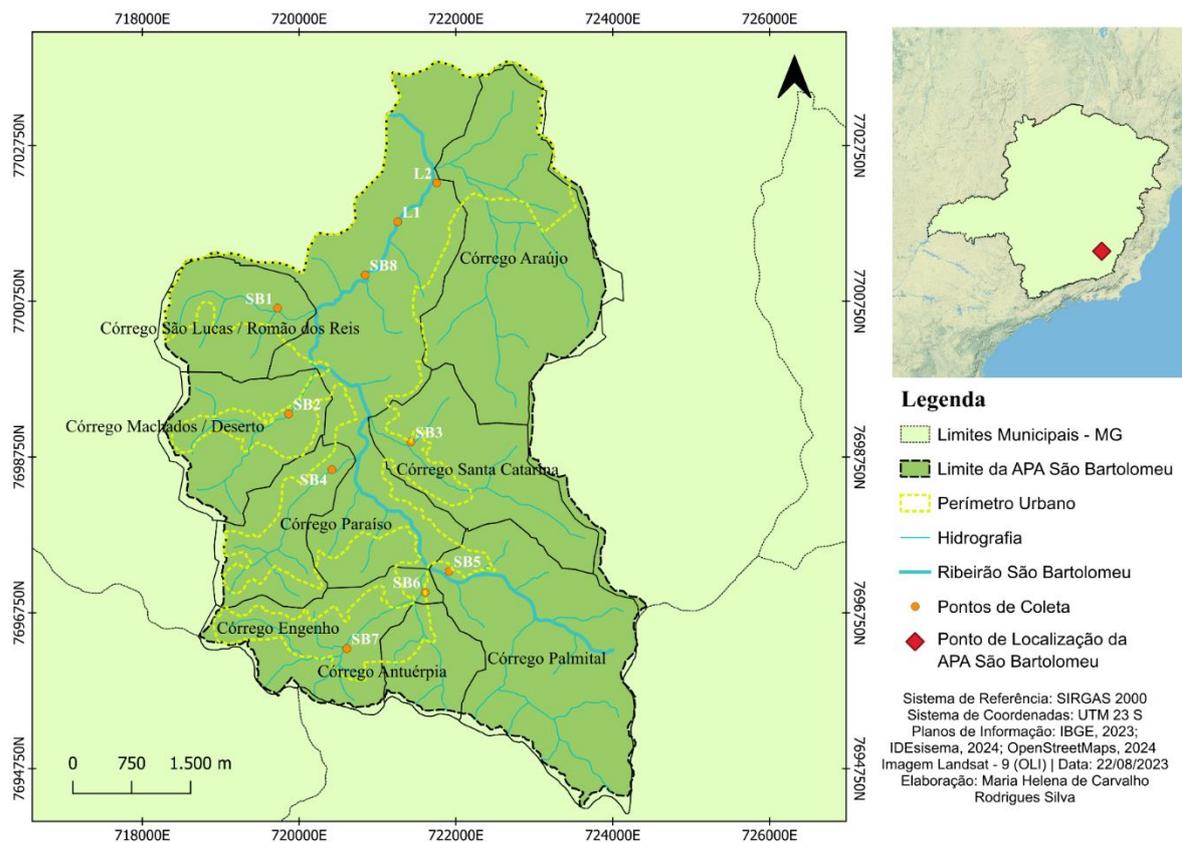
O objetivo da matriz de confusão é indicar se a classificação conseguiu reconhecer os padrões de uso e cobertura da terra adequadamente. Nos dois anos analisados a área degradada não apresentou discordância na identificação da cobertura da superfície. Em 1993, das 54 amostras de vegetação arbórea, 2 foram identificadas como café e 2 como área degradada. Em 2023, das 30 amostras de pastagem, 1 foi identificada como café e outra como área degradada.

## 2.2 Cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA)

A APA São Bartolomeu está inserida na microbacia do ribeirão São Bartolomeu, ambos inseridos inteiramente nos limites do município de Viçosa. A APA abrange 3.519,96 ha e contém os principais afluentes do São Bartolomeu, os córregos São Lucas, Machados, Santa Catarina, Paraíso, Antuérpia, Palmital, Engenho e o ribeirão São Bartolomeu - curso principal.

Na Figura 6 apresenta-se a localização da APA São Bartolomeu com o novo limite de expansão urbana estabelecido pelo Decreto 5.125/2017. Esse Decreto regulamentou as áreas já utilizadas na APA e com os novos limites permitidos, possibilitando que a expansão urbana continue ocorrendo com possibilidade de adentrar as Áreas de Proteção Permanente (APPs), caso não haja fiscalização eficiente com objetivo de fazer cumprir a legislação sobre proteção ambiental.

Figura 6 - APA São Bartolomeu -Localização dos pontos de coleta das sub-bacias hidrográficas e rede de drenagem.

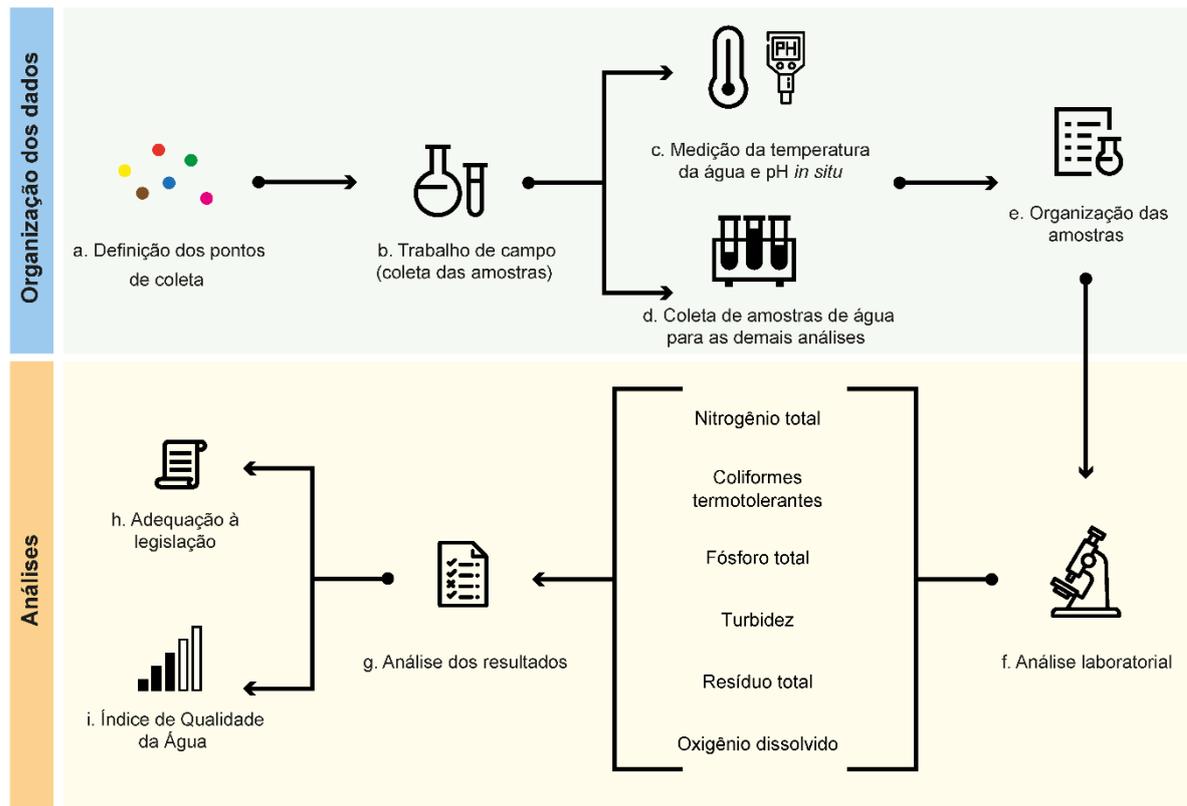


Fonte: A autora, 2025.

A análise da qualidade da água está no cerne desta metodologia, resumida no fluxograma da Figura 7, constituindo-se no principal elemento de estudo, pois se considera que seu estado reflete toda a dinâmica da interação sociedade-natureza no âmbito da microbacia. Assim, são enfocados o relevo, a hidrografia, o uso e ocupação da terra, os indicadores da degradação ambiental e a legislação ambiental pertinente.

Para a análise da qualidade da água foram coletadas amostras de 10 pontos distintos, resultando em 170 análises, distribuídos ao longo do ribeirão São Bartolomeu e de seus afluentes na APA São Bartolomeu, sob a coordenação da Divisão de Águas e Esgoto da UFV, no período de maio de 2023 a setembro de 2024. As especificações dos pontos da sub-bacia (SB) correspondente da frequência de coleta das amostras e informações de geolocalização estão descritas no Quadro 9 e especializadas no mapa da Figura 6, junto da rede de drenagem e rio principal.

Figura 7 - Fluxograma metodológico de análise da qualidade da água



Fonte: A autora, 2024.

O ribeirão São Bartolomeu recebe cinco barramentos consecutivos no campus da UFV. As duas primeiras represas cumprem função de reservatórios de acumulação, sendo que na segunda, L2, se encontram as estruturas de captação de água para abastecimento do campus universitário e de parte da população urbana de Viçosa.

As amostras destinadas à análise físico-química foram coletadas, preferencialmente, no primeiro dia do mês, em um recipiente de 5 litros e em um frasco de 100 ml (borociclato - frasco de vidro esterilizado). Ao dar entrada no Laboratório de Controle da Qualidade da Água (LCQA) da UFV, as amostras são cadastradas em uma planilha de controle. Na análise química, medições de DBO não são realizadas já que a DQO possui valores muito baixos, tornando sua medição dispensável.

Ponto de captação	Sub-bacia	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Largura (m)	Frequência
SB1	Córrego São Lucas	20° 46' 51,5''S	42° 53' 21,2''W	687	1,30	Mensal
SB2	Córrego dos Machados	20°47'35,4''S	42°53'15,7''W	698	0,80	Mensal
SB3	Córrego Santa Catarina	20°47'46,4''S	42°52'21,7''W	697	0,80	Mensal
SB4	Córrego Paraíso	20°47'58,4''S	42°52'56,3''W	695	0,65	Mensal
SB5	Córrego Palmital	20°48'40,2''S	42°52'04,2''W	705	0,80	Mensal
SB6	Córrego Antuérpia	20°48'49,1''S	42°52'14,5''W	709	1,60	Mensal
SB7	Córrego do Engenho	20°49'13''S	42°52'48,7''W	722	1,00	Mensal
SB8	São Bartolomeu	20°46'37''S	42°52'42,8''W	666	**3,65	Mensal
L1	Lagoa Hidráulica	20°46'14,60''S	42°52'28,80''W	655	* 3,12	Mensal
L2	Lagoa Funarbe	20°45'58,20''S	42°52'11,80''W	646	* 3,20	Mensal

Nota: Área (ha). Fonte: Da Silva (2020). \*\*Medição realizada ao final do condomínio Acamari. \*\*\*As medições deste córrego ocorreram no encontro no encontro do Antuérpia e córrego dos Engenhos. A maior parte do Antuérpia atravessa um sítio, o qual o proprietário impede o acesso.

Fonte: A autora 2024.

Com as amostras em mãos, a qualidade da água nos pontos ao longo dos cursos d'água do ribeirão São Bartolomeu foi avaliada por meio do Índice de Qualidade da Água (IQA). Essa análise segue os coeficientes e limites estabelecidos na Resolução Conama n.º 375/2005, além da metodologia adotada pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (São Paulo, 2015). A definição desse índice considera nove parâmetros, cada um com seu respectivo peso ( $w$ ), atribuído conforme sua relevância para a qualidade global da água (Tabela 6).

Tabela 6 - Parâmetros utilizados no cálculo do IQA e seus respectivos pesos

Parâmetros de qualidade da água	Peso ( $W_i$ ) Cetesb (2015)	Peso ( $W'_i$ ) adaptado
Oxigênio dissolvido (OD)	0,17	0,2125
Coliformes termotolerantes (CT)	0,15	0,1875
Potencial hidrogeniônico (pH)	0,12	0,15
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	0,10	-
Temperatura da água (T)	0,10	0,125
Nitrogênio total (NT)	0,10	-
Fósforo total (PT)	0,10	0,125
Turbidez (TU)	0,08	0,1
Resíduo total (ST)	0,08	0,1

Fonte: BRASIL, 2005; SÃO PAULO, 2015.

O parâmetro coliformes termotolerantes (CT) foi substituído desde 2008 por *Escherichia coli* (*E coli*) (CETESB, 2008). A ausência desse parâmetro e do oxigênio dissolvido implica na impossibilidade de aplicação da equação segundo a metodologia de cálculo do IQA adotada pelo IGAM (IGAM, 2012). Para os demais parâmetros, no caso da ausência de algum, os pesos podem ser redistribuídos igualmente, possibilitando o cálculo (IGAM, 2012).

O cálculo do índice é realizado por meio do produtório ponderado dos nove parâmetros, conforme a equação 3 (BRASIL, 2005; SÃO PAULO, 2015). Neste caso, foram utilizados sete parâmetros e realizado a redistribuição dos pesos mantendo a proporção (equação 14):

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (3)$$

Em que  $IQA$  é o Índice de Qualidade das Águas, com valor entre 0 e 100;  $n$  é o número de parâmetros utilizados no cálculo do  $IQA$ ;  $q_i$  é a qualidade do  $i$ -ésimo parâmetro, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise). Este termo ( $q_i$ ) é baseado nas curvas médias de variação da qualidade das águas (

Figura 8) e pode ser calculado segundo as equações 4 a 10, que definem as curvas da qualidade do parâmetro (GRUNITZKI et al., 2013).

$$q_{OD} = 100,8 * \exp\left(\frac{(OD-106)^2}{-3745}\right) \quad (4)$$

$$q_{OD} = 100,8 * \exp\left(\frac{(OD - 106)^2}{-3745}\right) \quad (4)$$

$$q_{CT} = 98,08 - 36,45 * \log(CT) + 3,138 * \log(CT)^2 + 0,06776 * \log(CT)^3 \quad (5)$$

$$q_{pH} = 0,05421 * pH^{(1,23*pH-0,09873*pH^2)} + 5,213 \quad (6)$$

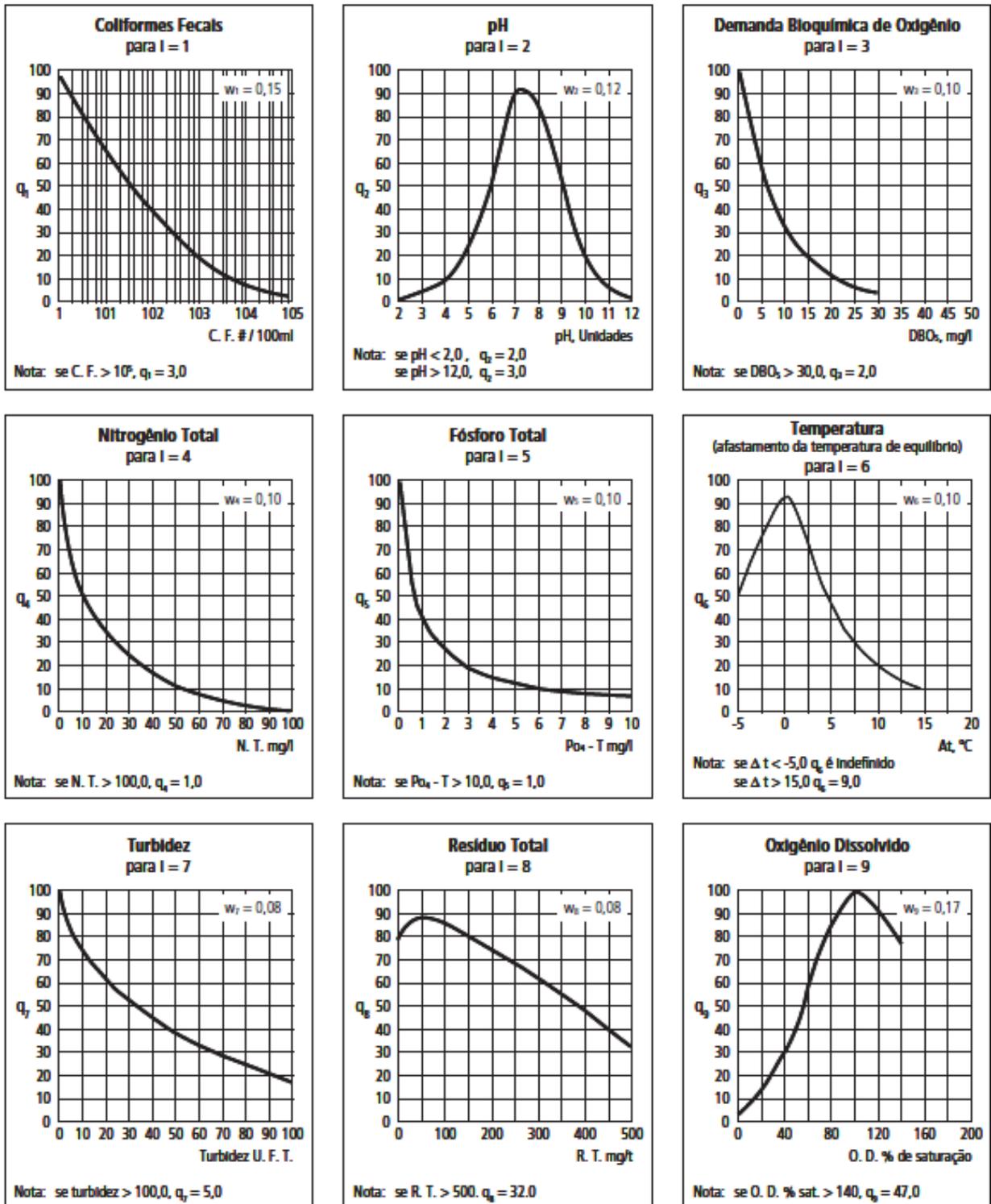
$$q_T = \frac{1}{(0,0003869 * (T + 0,1815)^2 + 0,01081)} \quad (7)$$

$$q_{PT} = 213,7 * \exp(-1,680*(0,3325*F)^{0,3325}) \quad (8)$$

$$q_{TU} = 97,34 * \exp(-0,01139 * TU - 0,04917 * \sqrt{TU}) \quad (9)$$

$$q_{ST} = 80,26 * \exp(-0,00107 * ST + 0,03009 * \sqrt{ST}) - 0,1185 * ST \quad (10)$$

Figura 8 - Curvas médias de variação da qualidade das águas



Fonte: SÃO PAULO, 2015.

No cálculo do IQA (equação 3), o termo  $W_i$  é o peso do *i-ésimo* parâmetro (Tabela 6) fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1 (CETESB, 2008), de forma que:

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1 \quad (11)$$

No entanto, nas análises laboratoriais, não foi possível realizar a medição dos parâmetros de DBO e Nitrogênio Total. Neste sentido, os pesos do IQA foram adaptados, de modo que os novos pesos ( $W'_i$ ) dos demais parâmetros foram recalculados (Tabela 6) a partir da equação 12, mantendo-se a proporção indicativa da importância de cada parâmetro para o IQA.

$$W'_i = \frac{W_i}{0.8} \quad (12)$$

O processo de medição dos parâmetros de análise da qualidade da água dos córregos da APA São Bartolomeu baseou-se no acompanhamento da coleta e análise das amostras; amparada nas definições de Mounteer (2017) e no protocolo para determinação de análises físico-químicas do Laboratório de Controle de Qualidade da Água da UFV (Universidade Federal de Viçosa, 2010).

Os métodos aplicados para a medição dos parâmetros utilizados na determinação do IQA são descritos no Quadro 10.

O oxigênio dissolvido (OD), temperatura e pH foram quantificados *in situ*. A medição do OD foi realizada pelo método da membrana polarográfica, utilizando-se um equipamento que possui uma sonda mergulhada na amostra e fez a leitura quando ela estabilizou, indicada por um sinal sonoro e uma seta que indica o resultado. Enquanto a temperatura (°C) foi realizada mediante uso de termômetro, mergulhado na amostra durante 2 minutos antes de se fazer a leitura.

Quadro 10 - Métodos utilizados na medição dos parâmetros

Parâmetros	Método	Códigos ( <i>Standard Methods</i> )
Coliformes e <i>E. coli</i>	Substrato cromogênico	9221, 9222
Fósforo total	Cloreto estanso, colorimetria	4500-P D
Oxigênio dissolvido	Membrana polarográfica	4500-O G
pH	Potenciometria	4500-H + B

Resíduo total	Gravimetria	2540 B
Turbidez	Nefelometria	2130 B

Legenda: \* Método HACH 8038 para determinação do nitrogênio amoniacal.

Fonte: MOUNTEER, 2017. Adaptada por Maria Helena de Carvalho Rodrigues Silva, 2025.

Os procedimentos para coleta de amostra para realizar a determinação dos coliformes totais e *Escherichia coli* iniciam com os procedimentos de esterilização dos frascos de coleta. No dia anterior, os frascos são lavados, enxaguados com água destilada e esterilizados na Autoclave. Antes de serem autoclavados, são acrescidas 2 gotas de tiosulfato de sódio para caso presença de cloro residual na amostra.

Assim que as amostras chegam no laboratório, é adicionado meio pacote de cultura Colilert 24 à 100 mL de amostra em um vaso estéril. Logo após a mistura ter sido agitada até a dissolução completa do pó Colilert 24, à mesma é adicionada na Cartela Quantitativa 2000 (Quanti-Tray/2000) ( Figura 9) e selada com o selador IDEXX de Cartelas Quantitativas. A cartela selada foi colocada em estufa à  $35 \pm 0,5$  °C durante 24 horas. Após as 24 horas, os resultados devem ser lidos conforme o comparador de presença/ausência (Comparador Quanti-Tray/2000) coliformes totais e *E. coli*. A cartela (Figura 9) deve ser lida sob iluminação UV de 6 watts e 365 nm, posicionada a aproximadamente 13 cm (5 polegadas) da amostra, em um ambiente escuro para contar o Número Mais Provável (NMP) disponível e determinar o valor correspondente. A interpretação da amostra foi realizada com base no quadro de resultados (Quadro 12).

Figura 9 - Processo químico



Fonte: A autora, 2025.

Quadro 11 - Interpretação de resultados de coliformes totais e *Escherichia coli* (NMP)

Aparência da amostra	Resultado
Cor amarela menos intensa do que o padrão de comparação	Negativo para coliformes totais e <i>E. coli</i>
Cor amarela igual ou mais intensa do que o padrão de comparação	Positivo para coliformes totais

Cor amarela e fluorescência igual ou mais intensa do que o padrão de comparação	Positivo para coliformes totais e <i>E. coli</i>
---	--

Fonte: A autora, 2025.

O processo da análise para a obter a cor aparente, iniciou-se com a medição do pH assim que as amostras chegaram no laboratório. O pH foi ajustado a 7,6 pela adição de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) ou hidróxido de sódio (NaOH), em concentração suficiente para evitar um aumento de mais de 3% no volume da amostra. O espectrofotômetro foi zerado e ajustado a 465 nm, com água destilada (branco). Uma alíquota de cada padrão foi transferida para a cubeta de vidro limpa, sendo verificado a ausência de bolhas de ar e lido a absorbância a 465 nm (A465). Em seguida, foi construída a curva de calibração de concentração dos padrões de cor em relação a A465 nm e preenchida a cubeta com as amostras, evitando a introdução de bolhas de ar. Por fim, foi lida a A465 e convertida para a cor, por meio de interpolação da curva padrão.

A determinação do fósforo total se deu com 100 mL da amostra adicionada em um frasco Erlenmeyer de 250 mL, seguido da adição de 1 mL de ácido sulfúrico e 5 mL de ácido nítrico concentrados. Foi levado à ebulição em chapa aquecedora (em capela de exaustão) até o desprendimento de fumaças brancas (secura). Após retirado do aquecimento e resfriado, foram adicionadas 20 mL de água destilada; 1 gota de fenolftaleína a 1%; e hidróxido de sódio (6mol/L) até atingir a coloração rosa. Utilizando ácido sulfúrico/nítrico, a amostra resultante foi descorada, adicionando uma única gota da solução ácida. 100 mL desta solução foram adicionados em cada balão, junto de 4 mL de solução de molibdato de amônio e 0,5 mL de cloreto estanoso, sendo agitada vigorosamente após cada adição (coloração azulada). Desta forma, a leitura é realizada entre 10 e 12 minutos em espectrofotômetro a 690 nm e o fósforo na amostra é medido por comparação com a curva padrão.

A medida da turbidez deu-se com o método nefelométrico (marca Hach, modelo 2100P). Foram preparadas suspensões diluídas de turbidez em água destilada a partir da suspensão primária, imediatamente antes do uso, sendo descartadas após o uso. No procedimento, aguardou-se a amostra atingir a temperatura ambiente, sendo agitada suavemente, evitando formar bolhas de ar, antes de serem transferidas à cubeta. Foram removidas qualquer condensação nas paredes da cubeta antes de colocá-la no nefelômetro para, então, realizar a leitura.

O processo para classificação dos sólidos totais se iniciou secando os cadinhos a 105 °C durante uma hora e, em seguida, foram colocados no dessecador por duas horas. Após, o cadinho foi pesado e colocado em banho-maria, com 100ml da amostra, até completar a evaporação. Em seguida, o cadinho foi levado novamente à estufa por uma hora a 105 °C,

sendo, posteriormente, destinado, novamente, ao dessecador por duas horas. A amostra resultante é então pesada para identificação dos sólidos.

A classificação do nitrogênio amoniacal consiste na quantificação da amônia por destilação, após a adição do tampão de borato (25ml em 250ml da amostra). O destilado é condensado em Erlenmeyer contendo 50 mL de ácido bórico até completar 200 mL. Em seguida, a amostra resultante é transferida para um balão de 250 mL e o menisco é ajustado com água destilada. Os resultados são gerados em  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{NH}_3\text{-N}$ .

Após as análises, os dados foram transferidos para uma planilha *Microsoft Excel*, para facilitar a avaliação inicial das amostras. A partir destes resultados, foram calculadas as equações de qualidade dos parâmetros químicos e do IQA' no *software R* (versão 4.1).

Buscando verificar a relação entre as precipitações e os parâmetros, foram aplicadas análises de correlação. Os dados de precipitação, nos meses de abril de 2023 a setembro de 2024, foram baixados do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), da estação pluviométrica A510, localizada no campus da UFV em Viçosa. As equações foram aplicadas em cada parâmetro em associação à precipitação.

Usando o *software R*, foi calculado o coeficiente de correlação linear de Spearman (equação 15 – ROVETTA, 2020; SPEARMAN, 1904) e a significância estatística dele, por meio do teste *t* de Student (equação 16, FISHER, 1950; OBILOR; AMADI, 2018), para a chuva em associação aos parâmetros químicos, físicos e biológicos utilizados no cálculo do IQA.

$$\rho = \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (15)$$

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (16)$$

Onde  $\rho$  é o coeficiente de Spearman (Rho);  $d$  é a diferença entre postos das variáveis dependente e independente na observação  $i$ ; e  $n$  é o total de observações. No cálculo do teste de hipótese, para identificar a significância estatística de  $\rho$ , o valor de  $t$  é comparado ao  $t$  crítico da tabela padronizada de distribuição *t* de Student, considerando  $\alpha$  de 0,05 e  $n - 1$  graus de liberdade. O resultado do coeficiente pode ser interpretado a partir de limiares indicados por Kumar et al. (2018) no .

## Quadro 12.

Quadro 12 - Classificação do coeficiente de correlação linear de Spearman

<b>Coeficiente de correlação</b>	<b>Interpretação</b>
0,30-0,50	Correlação fraca
0,50-0,70	Correlação moderada
0,70-1,00	Correlação forte

Fonte: KUMAR et al, 2018.

O objetivo do presente capítulo foi apresentar as etapas que constituíram todos os procedimentos do estudo até a identificação da qualidade das águas na APA São Bartolomeu. A metodologia caracteriza-se como quantitativa, com coleta de dados em campo e em bases oficiais.

As coletas das amostras de água foram realizadas em 10 pontos com análise mensal de sete (7) parâmetros para cada ponto durante o período de dezessete (17) meses. Aos resultados foram aplicadas equações matemáticas para obter o IQA. Os valores obtidos para cada ponto foram interpretados à luz da legislação vigente para as águas superficiais.

Para a elaboração dos mapas de uso e ocupação do solo foram coletadas, organizadas e pré-processadas as imagens de satélite, sendo utilizadas na classificação e posterior geração dos mapas temáticos.

Para identificar possíveis agrupamentos entre as sub-bacias, foi aplicado uma análise de cluster baseado no método K-means. Este algoritmo é do tipo não supervisionado e busca dividir um banco de dados em grupos, de modo que os elementos que permanecerem no mesmo grupo sejam mais semelhantes entre si do que em relação aos outros grupos (CHONG et al., 2021). O resultado do IQA de cada sub-bacia ao longo do período analisado foi utilizado no cálculo dos grupos de acordo com suas similaridades utilizando o software R (R CORE TEAM, 2024).



### **3 A BACIA HIDROGRÁFICA E A APA DO RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU EM VIÇOSA-MG**

As áreas de proteção ambiental (APA) dentro das bacias hidrográficas desempenham um papel indispensável na preservação do ambiente, desempenhando um papel crucial na gestão ambiental e no planejamento dos recursos naturais.

A APA é um tipo de unidade de conservação e a bacia hidrográfica é uma área geográfica na qual a precipitação é coletada e direcionada conforme a disposição do relevo. Ambas estão interligadas, pois são unidades de referência na gestão e preservação dos recursos naturais.

A seguir, para compreender a área em análise, é feita a caracterização da micro bacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu, em Viçosa, Minas Gerais, ao longo dos últimos anos do século XX e início do século XXI.

#### **3.1 Caracterização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu**

A micro bacia hidrográfica do São Bartolomeu está inserida no domínio florestal Mata Atlântica. Esta classificação é considerada genérica, pois a vegetação deste bioma se distribui de forma azonal nas regiões costeiras do Brasil e sobre o interior do território na região dos Estados da Bahia, Minas Gerais e São Paulo (CONTI e FURLAN, 2001). A substituição pela cana-de-açúcar, café, pastagens e mais recentemente, urbanização e industrialização, levou à perda considerável dessa floresta (CONTI e FURLAN, 2001).

Apesar do histórico de devastação, as florestas atlânticas guardam a maior biodiversidade por hectare entre as florestas tropicais (CONTI e FURLAN, 2001). A distribuição azonal e em altitudes variáveis favorece a diversificação de espécies adaptadas às diferentes condições topográficas, de solo e umidade (CONTI e FURLAN, 2001).

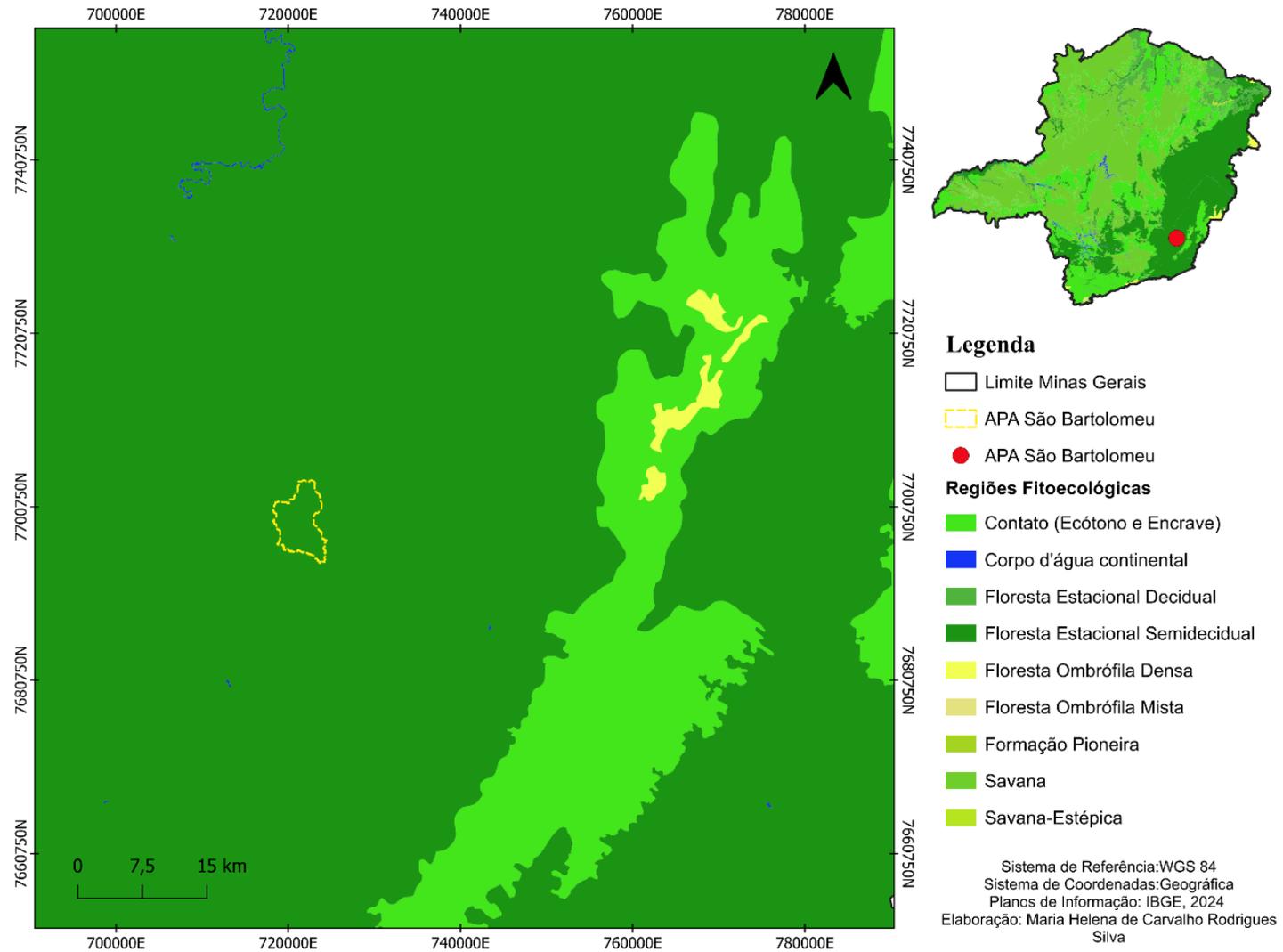
Essas são algumas das peculiaridades da Mata Atlântica: a capacidade de se desenvolver com diversidade de espécies sob diferentes condições. Em Viçosa, a vegetação natural predominante é caracterizada por Florestas Estacionais Semidecíduas Montanas e Submontanas, constituindo uma formação intermediária entre as formações florestais perenes da encosta e as formações não-florestais do interior (IBGE, 2012; OLIVEIRA-FILHO; RATTER, 1995; VELOSO et al. 1991); e compondo um mosaico de diferentes estádios sucessionais e pequenas áreas de brejo (SILVA JÚNIOR et al., 2004).

Pesquisas desenvolvidas por Braga (2015), Castro (2012), Franco (2012), Higuchi (2003), Meira Neto (2003), Pezzopane (2001), Ribas (2001) e Rocha (2019) nas matas da UFV e em fragmentos florestais encontrados na bacia do São Bartolomeu confirmam a presença de Florestas Estacionais Semidecíduas Montanas e Submontanas no município de Viçosa.

Na Figura 10, é apresentada a distribuição das Florestas Estacionais Semidecíduas Montanas e Submontanas, segundo a classificação do IBGE (2024).

O clima na região é do tipo Cwb (KÖPPEN, 1948), mesotérmico com verões quentes e chuvosos, e invernos secos. A temperatura média anual é de 19 °C, com precipitação pluviométrica média anual de 1.314,2 mm e umidade relativa em torno de 80% (CASTRO et al., 1983).

Figura 10 – Regiões Fitogeográficas de Minas Gerais.



Fonte: A autora, 2025..

Estudos recentes apresentam uma precipitação média anual de 1.289 mm (FIALHO, 2022), com variação entre menos de 813 mm a 2.030 (AVILA-DIAZ et al, 2020) A temperatura média mensal varia entre 20,3°C e 22,3°C durante o período chuvoso, e 15,4°C e 18,3°C no período seco (FIALHO, 2022). As temperaturas mínimas mais baixas ocorrem em julho, com uma média de 10,1°C. Já as temperaturas máximas variam de 25,0°C a 35,0°C ao longo do ano, sendo registradas entre 23,0°C e 25,0°C no inverno (FIALHO, 2022).

A topografia da região é acidentada, com vales estreitos e úmidos e altitude variando de 600 a 970 metros (CORRÊA, 1984), fazendo parte do domínio “Mares de Morro”. Predominam duas classes de solo, o Latossolo Vermelho-Amarelo Álico no topo das elevações e encostas e o Argissolo Vermelho-Amarelo Câmbico (EMBRAPA, 1999; CORRÊA, 1984; RESENDE, 1985).

A bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu situa-se inteiramente nos limites municipais de Viçosa. A área de estudo está a montante do campus da UFV, é orientada no sentido sul-norte, apresentando, na porção sul, limites com os municípios de Paula Cândido e Coimbra e, ao norte, ainda na área urbana do município de Viçosa, no bairro Barrinha, o ribeirão deságua no Rio Turvo Sujo. É composta por oito sub-bacias de drenagem e córregos afluentes ao curso do São Bartolomeu: Palmital, Antuérpia, Córrego do Engenho, Santa Catarina, Paraíso, Machados, São Lucas e Araújo, sendo que a contribuição da última se dá à jusante do ponto de captação de água.

O São Bartolomeu recebe cinco barramentos consecutivos no campus da UFV. As duas primeiras represas cumprem função de reservatórios de acumulação, sendo que na segunda, L2 (Lagoa Funarbe), se encontram as estruturas de captação de água para abastecimento (ETA UFV e ETA I do SAAE) do campus universitário e de parte da população urbana de Viçosa.

A área deste estudo compreende a região a montante (sentido sudoeste) do campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e da zona urbana do município, em extensão de aproximadamente 3.519,96 ha e recebe aporte hídrico dos sete córregos afluentes da microbacia São Bartolomeu, responsáveis pelo abastecimento público do município e citados anteriormente. Esta área, constitui a Área de Preservação Ambiental - APA São Bartolomeu a partir do Decreto instituído em 2017.

Em busca de ações de controle dos fatores de pressão sobre qualidade ambiental na cabeceira da microbacia São Bartolomeu, em 2017 foi instituído o Decreto nº 5.124/2017 para criação da Área de Proteção Ambiental São Bartolomeu em Viçosa, MG. Este instrumento objetivou a proteção dos recursos hídricos e a normatização da urbanização da bacia

hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu, de modo a promover maior organização e mitigação da expansão urbana irregular (VIÇOSA, 2017).

A iniciativa partiu da Prefeitura Municipal de Viçosa, que fomentou discussões entre o Poder Público, a comunidade acadêmica e a sociedade organizada, visando propor soluções para o controle do desenvolvimento urbano desordenado sobre as áreas naturais, principalmente o ribeirão São Bartolomeu, importante manancial de abastecimento de água do município (ALVARELI JÚNIOR, 2014; VIÇOSA, 2015).

A redução da vazão tem sido comprometida por diversas interferências, como pequenas represas próximas às cabeceiras, desmatamento, focos de erosão na zona rural, traçado inadequado de estradas e de caminhos que favorecem desmoronamentos, da retirada indiscriminada da cobertura vegetal e da disposição do lixo, resultando na vazão de captação (100 L/s) em épocas de seca (SOUZA; LASCHEFSKI, 2019).

Honório (2012) discorre de forma detalhada sobre como ocorreu o processo de urbanização da cidade, pautado no setor imobiliário como fator norteador da organização espacial e orientado pelo mercado imobiliário. Esse processo resultou na conformação de espaços alheios à realidade da população, com forte segregação socioespacial, onde os “espaços das extremidades” são revelados pela segregação residencial, evidenciando a desigualdade social. De um lado os loteamentos periféricos, voltados à população carente, e do outro os condomínios horizontais, ocupados pela população de renda alta. Estes últimos, segundo a autora, iniciaram as primeiras instalações já na década de 1970, sendo o Bosque Acamari, criado em finais dessa década, inserido onde hoje é a APA São Bartolomeu.

Apesar dos esforços científicos em apontar as consequências da expansão irregular na APA,

esta expansão ocorre pela confluência de interesses imobiliários em parceria com o Estado. O planejamento urbano é realizado pela ação do mercado imobiliário e da construção civil e para eles orientado. A transformação da paisagem rural e a valorização do espaço ocasionado pela expansão urbana produzem espaços fragmentados (MARIA; STEPHAN, 2021).

Conforme Ribeiro Filho (1997), a ocupação do município de Viçosa realizou-se à margem das legislações urbanísticas e em razão de um processo de urbanização acelerado. Assim, o crescimento da cidade demonstrou os traços de desigualdades sociais e espaciais que, nas décadas anteriores, se mostravam evidentes, mas não com tanta intensidade como na década de 1990 (RIBEIRO FILHO, 1997).

No ano de 1975 a população do município era de 28.331 habitantes, saltando para 70.404 na última contagem em 2007, resultando em aumento de aproximadamente 150% em

32 anos – um ritmo de crescimento atípico quando comparado com o das cidades circunvizinhas (RODRIGUES, 2009). Silva et al. (2020) apontam crescimento de 11% entre os anos de 2000-2010. O acréscimo populacional em relação ao censo de 2010 foi de 5,82% (IBGE, 2024).

O crescimento populacional demanda por recursos naturais, como a água. Lacerda et al. (2022), em estudos realizados com séries históricas sobre a precipitação em Viçosa, identificaram que não há mudanças nos padrões pluviométricos e que os problemas da escassez hídrica estão relacionados com a urbanização e o crescimento da cidade, podendo também considerar a degradação de nascentes no meio rural.

A área da APA constitui-se como uma importante fonte de água, já que atualmente abastece com água potável 100% da UFV e 30% da população, com estações de tratamento interligadas que permitem distribuição até mesmo no período de estiagem (VIÇOSA, 2024).

Na Figura 6 é apresentada a localização da APA São Bartolomeu com o novo limite de expansão urbana estabelecido pelo Decreto 5.125/2017. Esse Decreto regulamentou as áreas já utilizadas na APA e com os novos limites permitidos, possibilitando que a expansão urbana continue ocorrendo com possibilidade de adentrar as APPs, caso não haja fiscalização eficiente com objetivo de fazer cumprir a legislação sobre proteção ambiental.

Essa região é composta por estrutura fundiária caracterizada por pequenas propriedades, em áreas predominantemente de relevo ondulado e dedicadas, em sua maioria, às atividades de subsistência (VIÇOSA, 2022). Algumas atividades agropecuárias são desenvolvidas por pequenos produtores rurais como horticultura, café, pastagem e criação de animais (bovino, suíno, caprinos).

Boa parte dos proprietários são funcionários da UFV. Outra parcela reside na cidade e trabalha no campo o dia todo ou parte do dia e, outra parte, pequena, utiliza as propriedades como chácaras de lazer (VIÇOSA, 2022). A região da APA também possui diversos moradores que praticam a agricultura de subsistência e a agricultura familiar

Com base nos resultados do levantamento de campo, realizado por meio da aplicação de questionários, estima-se que existam aproximadamente 249 propriedades rurais e residenciais na bacia de captação do ribeirão São Bartolomeu (VIÇOSA, 2022). Dentre essas propriedades, 34,9% (87/249) desenvolvem alguma atividade agropecuária, sendo que 8,8% (22/249) utilizam irrigação e 14,85% (37/249) fazem uso de defensivos agrícolas (VIÇOSA, 2022).

O uso de agrotóxicos se dá de forma aleatória (depende da cultura) e mais frequentemente de uma a duas vezes ao ano (VIÇOSA, 2022). O levantamento revelou a existência de 25,3% (63/249) de propriedades com exploração animal, com grande densidade

de suínos, embora a maior área utilizada se dedique à criação de bovinos (criação extensiva). São observadas, ainda, criação de equinos, caprinos, aves e peixes (VIÇOSA, 2022). Cabe destaque para o fato de que na maioria dessas propriedades os animais têm livre acesso aos cursos d'água.

A APA possui quatro fragmentos secundários de florestas (Outros trechos de tamanhos menores são observados ao longo da APA, com vegetação mais baixa e esparsa nos topos de morro e ao longo dos cursos d'água, configurando as Áreas de Preservação Permanente (APPs).

O processo de desmatamento onde hoje localiza-se a UFV e a APA decorre, sobretudo, das atividades rurais do município de Viçosa, até a criação da ESAV em 1926 (MAGNO, 2014). No entanto, somente a partir de 1960 o processo de urbanização se consolidou com o êxodo rural, que foi largamente influenciado pela federalização da UFV em 1969 (MAGNO, 2014). O aumento da oferta de cursos da universidade foi acompanhado pelo crescimento da cidade, o agravamento das questões municipais, a especulação imobiliária e os problemas sobre o abastecimento hídrico (MAGNO, 2014).

Figura 11), todas extensas, em processo de recuperação e sucessão ecológica:

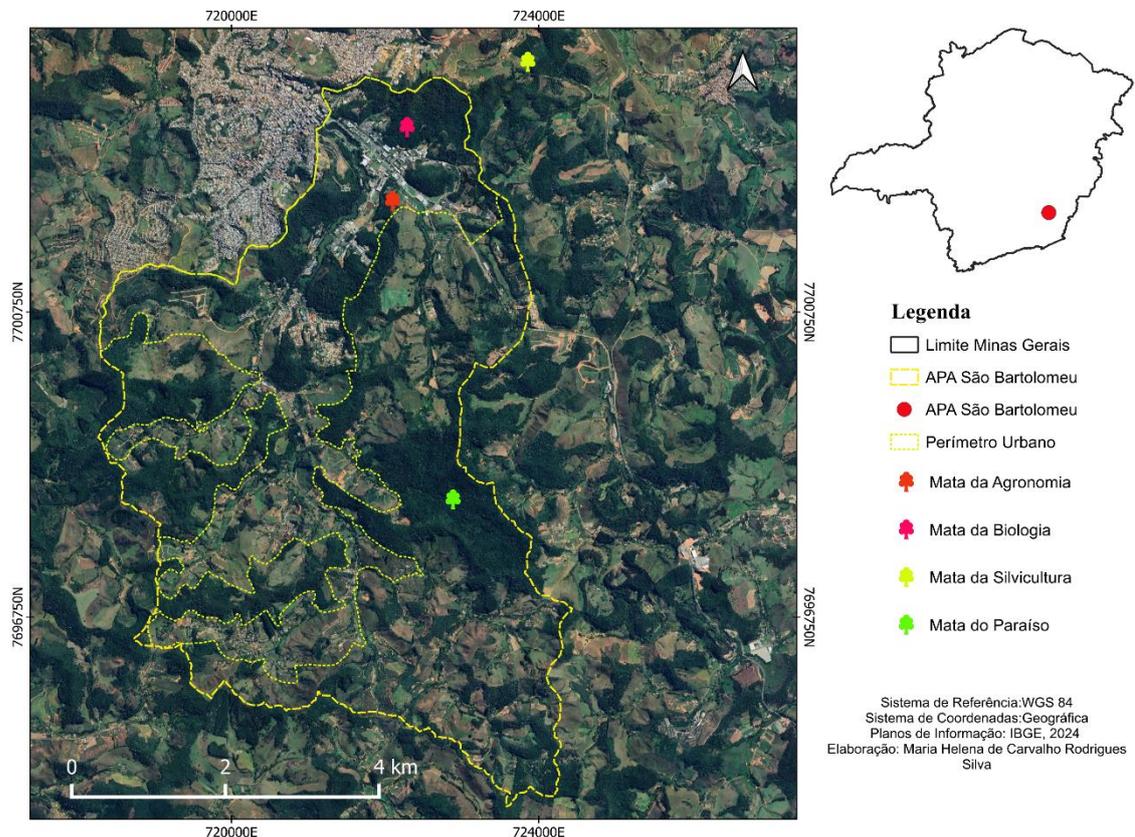
- a) A Mata da Agronomia é caracterizada como Floresta Estacional Semidecidual Montana (VELOSO et al., 1991) e o clima da região é do tipo Cwb (Köppen), mesotérmico com verões chuvosos e invernos frios e secos. A temperatura média anual é de 19° C, e a umidade relativa do ar varia em torno de 80%, sendo a precipitação média anual de 1.314 mm (CASTRO et al., 1983), com altitude variando de 688 a 782 m. Predomina o Latossolo Vermelho-Amarelo Álico, presentes nos topos; e o Argissolo Vermelho-Amarelo Câmbico, com ocorrência tanto nas encostas das elevações quanto nas feições do relevo denominadas terraços fluviais (VALVERDE, 1958; RESENDE et al., 1988). Essa mata, com área de 50 ha, se encontra em estado de recuperação há mais de 50 anos, instaurada após a cobertura vegetal original ter sido removida por corte raso e substituída por plantio de café e pastagem (BRAGA et al, 2011).
  
- b) A Mata da Biologia, classificada originalmente como Floresta Estacional Semidecidual Montana (VELOSO et al., 1991), possui 75 ha e foi totalmente erradicada no ano de 1922, para implantação de cultura do café. Com a fundação da Escola Superior de Agricultura e Veterinária (ESAV), em 1926, a cultura foi abandonada e a área passou a fazer parte do *campus*,

- permanecendo sob processo de regeneração natural até os dias atuais (CAMPOS, 2009). Localiza-se em encostas com elevação que varia de 725 m de altitude até 745 m, possui características montanhosas, com predominância de solos do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo Álico, nos topos dos morros e encostas e Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico, nos terraços (CORREA, 1984). O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwb, subtropical moderado úmido, com médias de umidade relativa e temperatura de 81% e 19,4°C, respectivamente.
- c) A Mata do Paraíso, originalmente classificada como Floresta Estacional Semidecidual Montana (VELOSO et al., 1991), possuía área de 195 ha, altitudes variando de 690 a 800m e os solos de tipo Latossolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Vermelho-Amarelo (SANTOS et al., 2013). O relevo é do tipo ondulado a fortemente ondulado, com encostas embutidas em vales de fundo chato, formados por terraços, onde meandram cursos d'água pouco expressivos (CORRÊA, 1984). O clima é Cwb (KÖPPEN, 1948), com temperatura média anual de 21,8° C e precipitação pluviométrica média anual de 1314,2 mm (CASTRO et al., 1983). A mata foi totalmente suprimida para pecuária e em 1963 foi abandonada, estando em processo de regeneração natural até os dias atuais (KUNZ, 2014). Atualmente, consiste no maior fragmento florestal da APA, com 234,6 ha (PINHEIRO et al., 2021).
- d) A Mata da Silvicultura é um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Montana (VELOSO et al., 1991). Apresenta extensão de 17 ha, situa-se em altitudes que variam de 670 a 730 m e está em processo de regeneração natural (MARISCAL FLORES, 1993). Essa área foi adquirida pela UFV em 1936 e desde então passou a ser protegida contra cortes e extração de madeiras (MARISCAL FLORES, 1993). O solo apresenta predominância de Latossolos (nas encostas e elevações) e Argissolo Vermelho-Amarelo (nos terraços) (CORRÊA, 1984). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, mesotérmico úmido com verões chuvosos e invernos secos.

Outros trechos de tamanhos menores são observados ao longo da APA, com vegetação mais baixa e esparsa nos topos de morro e ao longo dos cursos d'água, configurando as Áreas de Preservação Permanente (APPs).

O processo de desmatamento onde hoje localiza-se a UFV e a APA decorre, sobretudo, das atividades rurais do município de Viçosa, até a criação da ESAV em 1926 (MAGNO, 2014). No entanto, somente a partir de 1960 o processo de urbanização se consolidou com o êxodo rural, que foi largamente influenciado pela federalização da UFV em 1969 (MAGNO, 2014). O aumento da oferta de cursos da universidade foi acompanhado pelo crescimento da cidade, o agravamento das questões municipais, a especulação imobiliária e os problemas sobre o abastecimento hídrico (MAGNO, 2014).

Figura 11 – Remanescentes florestais da Bacia hidrográfica ribeirão São Bartolomeu.



Fonte: Maria Helena de Carvalho Rodrigues Silva, 2025.

Vimos neste capítulo que o processo de ocupação deveria ser minimamente planejado. Em viagem realizada pelos países do norte da América do Sul (1799 a 1804), Alexander Humboldt desenvolveu a ideia sobre a mudança do clima induzida pela ação humana. Deixou clara suas observações sobre a destruição das florestas, as fontes de água que secam por completo ou se tornam escassas. Humboldt foi o primeiro a explicar as funções fundamentais

da floresta para o ecossistema e o clima devido a capacidade de armazenamento de água e equilíbrio do clima.

Portanto, as evidências da capacidade humana em alterar o espaço ocupado já vem de longa data. Em *Invenção da Natureza*, de Andrea Wulf (2019), os leitores podem aprofundar nos registros mais antigos sobre como a humanidade já discorria sobre a importância dos recursos naturais para a sobrevivência humana, como por exemplo, citou John Evelyn (1664): “Seria melhor ficarmos sem ouro do que sem madeira”.

Neste contexto, muitas críticas e reflexões surgiram sobre o impacto da mineração de ouro sobre a vida das pessoas no Brasil durante os séculos XVII e XVIII. No auge da mineração, Diamantina (MG) e outras cidades estavam inundadas de ouro, no entanto, não havia comida. Essa situação é muitas vezes descrita simbolicamente como um paradoxo: havia muito ouro, mas o essencial para a sobrevivência cotidiana não estava disponível. Assim, é necessário reflexões sobre o impacto da exploração da natureza e como este processo pode, muitas vezes, não resultar na melhora da qualidade de vida da população geral, mas apenas beneficiar grupos específicos.

#### 4 A QUALIDADE DA ÁGUA NA APA DO RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU – VIÇOSA/MG

Neste capítulo são apresentados os resultados das análises químicas, físicas e biológicas das amostras coletadas nos córregos das sub-bacias inseridas na APA do Ribeirão São Bartolomeu: sub-bacia 1, Córrego São Lucas; sub-bacia 2, Córrego dos Machados; sub-bacia 3, Córrego Santa Catarina; sub-bacia 4, Córrego Paraíso; sub-bacia 5, Córrego Palmital; sub-bacia 6, Córrego “Antuérpia”; sub-bacia 7, Córrego do Engenho; sub-bacia 8, Córrego São Bartolomeu; e dos pontos de captação das lagoas Hidráulica (L1) e Funarbe (L2) para o período de abril de 2023 a setembro de 2024.

Cada gráfico consta um dos parâmetros analisados. Nos mesmos, são apresentados os 10 pontos onde as amostras foram coletadas para as análises. Conforme demonstrado no Quadro 3, o presente trabalho visa classificar os corpos d’água observando as legislações vigentes sobre enquadramento dos cursos d’água superficial no Brasil. As campanhas de campo, coletas e análises foram possíveis com o apoio do Laboratório de Controle da Qualidade da Água da UFV (DAG/LCQA/UFV). O acompanhamento das campanhas e das análises mensais do LCQA, é realizada desde abril de 2023.

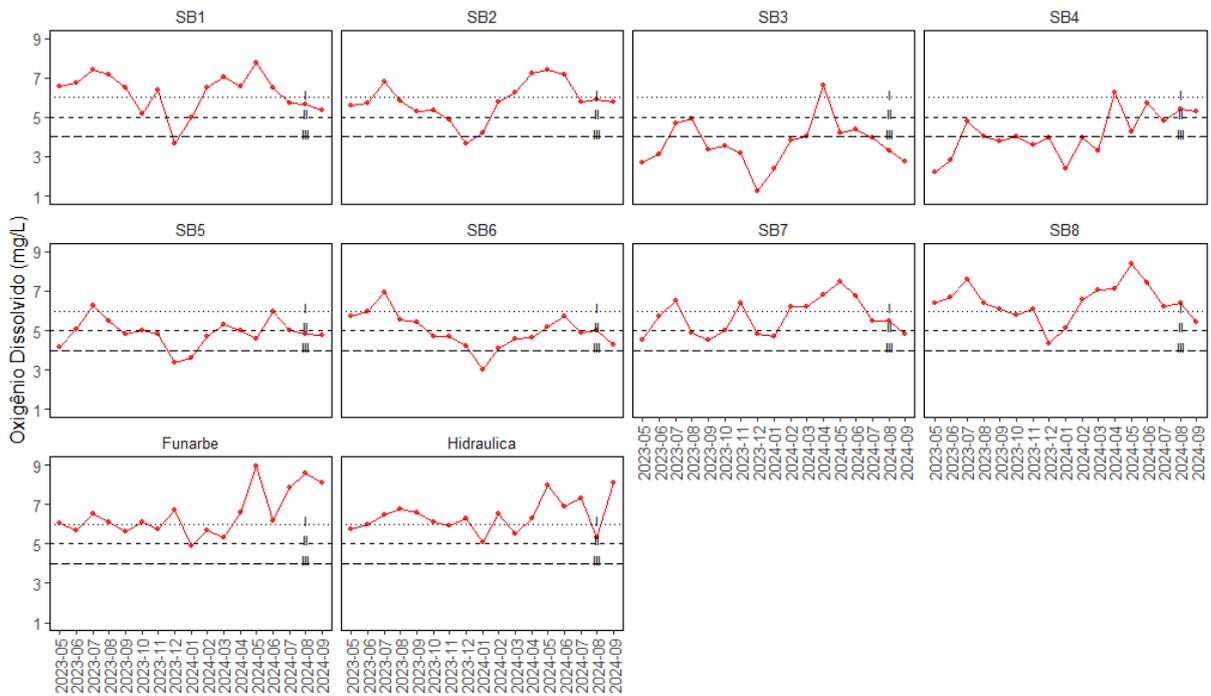
O método convencional é o utilizado para o tratamento da água antes da sua distribuição. Esse método consiste no conjunto dos processos sequenciais de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, fluoretação e correção da acidez antes da distribuição para a população.

Nas figuras constam três linhas tracejadas. Cada linha indica a respectiva classificação para águas doces conforme estabelecido pela Resolução Conama n.º 357/2005. A linha tracejada mais fina indica condição classe I; a linha com tracejo médio, condição classe II e a linha com traços mais espaçados, condição classe III.

A seguir, são apresentados os resultados de cada parâmetro relacionando-o com as legislações vigentes sobre águas superficiais e diretrizes ambientais para sua condição e correlacionado ao uso e ocupação do solo na APA São Bartolomeu. O estado geral da água objetiva assegurar a qualidade e compatibilidade da água com seus usos mais exigentes a que forem destinadas, a fim de reduzir os custos de combate à poluição da água mediante ações preventivas permanentes (MESQUITA, 2018) e permite facilmente a compreensão da qualidade do corpo hídrico por índices de fácil leitura para a população em geral (ABBASI; ABBASI, 2012).

Para garantia da preservação da qualidade da água, o oxigênio dissolvido (OD) é um dos gases dissolvidos mais importantes na dinâmica e caracterização dos ecossistemas aquáticos (ESTEVEZ, 1998), portanto, é o primeiro parâmetro e possui o maior peso ( $w$ ) 0,17 dentre os demais para a determinação do IQA, conforme a metodologia proposta pela FSC (USA), adaptada pela CETESB e IGAM. É um gás vital para os seres aquáticos aeróbios e o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos. Segundo Von Sperling (2014), a solubilidade do OD na água é um indicador da capacidade do corpo d'água em manter a vida aquática. Quanto maior a quantidade de OD mais eficiente o processo de auto depuração da matéria orgânica na água (MICHELI et al, 2022).

Figura 12 - Oxigênio dissolvido (OD) nas sub-bacias do Ribeirão São Bartolomeu entre maio de 2023 e setembro de 2024



Legenda: A linha tracejada mais fina indica classe I; a linha com tracejo médio, classe II e a linha com traços mais espaçados, classe III.

Fonte: A autora, 2025.

Uma revisão crítica dos modelos de cálculo IQA, aplicados globalmente para avaliação de águas superficiais, apresentou uma variação de 4 a 26 parâmetros utilizados nos modelos (UDDIN, 2021). Os autores identificaram 21 modelos diferentes e o oxigênio dissolvido foi o único parâmetro está presente em todos os trabalhos revisados.

Os meses com menores níveis de OD foram dezembro e janeiro, especialmente nas SB 1, 2, 4, 5, 6 e 8 (Figura 12), indicando, possivelmente, efluentes domésticos, *in natura* nos cursos d'água. Ao observar a imagem do Google Satélite (Figura 13), evidencia-se a presença

de áreas em processo de urbanização próximo aos pontos de coleta das amostras (SB2, SB3, SB4 e SB6).

Figura 13 - Ribeirão São Bartolomeu/Viçosa-MG - Localização dos pontos de coleta das amostras de água



Fonte: A autora, 2025.

Baixos níveis de OD são indicativos de poluição da água, enquanto valores acima de 5 mg/L indicam boa qualidade da água (SRIVASTAVA; KUMAR, 2013; VON SPERLING, 2014). O valor médio geral de OD encontrado para os cursos d'água da APA foi de 5,3 mg L<sup>-1</sup> e a maior média encontrada foi na SB8, com 6,3 mg L<sup>-1</sup>, estando, portanto, nos padrões definidos nas legislações (para condições classe I), que estabelece limite mínimo de 6 mg L<sup>-1</sup>. Muniz (2019), encontrou valor de 6,37 mg L<sup>-1</sup> e Andrade (2015) apresentou valor médio de 5,3 mg L<sup>-1</sup>, ambos na bacia do ribeirão São Bartolomeu.

Um dos principais fatores determinantes para OD é a atividade biológica, em que o consumo de O<sub>2</sub> aumenta em decorrência de maior quantidade de matéria orgânica no corpo d'água. Embora os níveis de OD estejam nos limites desejáveis, deve-se atentar que níveis baixos apresentados (valores absolutos) nos meses de janeiro/2024 nas SB1 (3,6 mg L<sup>-1</sup>), SB2 (4,2 mg L<sup>-1</sup>), SB3 (2,4 mg L<sup>-1</sup>); SB4 (2,4 mg L<sup>-1</sup>), SB5(3,6 mg L<sup>-1</sup>), SB6 (3 mg L<sup>-1</sup>), SB7 (4,7 mg L<sup>-1</sup>), devem ser mais profundamente como ocorrido no mesmo período.

Valores absolutos abaixo das condições para classe III foram encontrados em todos os córregos no mês de janeiro de 2024. O menor registro de OD foi 1,25 mg L<sup>-1</sup> e o máximo de 4,91 mg L<sup>-1</sup> na SB3 (córrego Santa Catarina) e o valor médio foi de 3,66 mg L<sup>-1</sup>, abaixo do

limite permitido para classe III. Os baixos valores de OD podem estar relacionados com a baixa capacidade do corpo hídrico em depurar efluentes, compostos orgânicos e inorgânicos recebidos. É indicado que estudos mais aprofundados nesta sub bacia sejam realizados a fim de verificar a vazão, tipos e origem dos efluentes.

Valores de vazão muito heterogêneos foram encontrados na SB3 (córrego Santa Catarina). Vazão de 103 L/s para o mês de março de 2007 e 39,5 L/s para o mês de junho do mesmo ano, foram apresentados por Dias (2007). Valores tão heterogêneos podem indicar baixa capacidade desta sub bacia no armazenamento de água, mesmo em época de transição de estações de chuvosa para seca. A precipitação nos meses anteriores a junho foram de 40,6 mm (abril), 17,6 mm (maio) e 6,2 mm (junho).

Valores de OD ( $6,3 \text{ mg L}^{-1}$ ) obtidos na SB8 (ribeirão São Bartolomeu) estão nos limites aceitáveis pela legislação. Níveis baixos foram registrados nos meses de verão e podem estar relacionado à maior exposição do solo ao intenso escoamento superficial, carreando material particulado acompanhado de lixo, matéria orgânica e demais detritos. Essa repercussão nociva da poluição em um corpo hídrico exposto à concentração de matéria orgânica, repercutindo na queda dos níveis de oxigênio dissolvido, (FIORESE, 2018).

Supostamente, a maior vazão na SB8 foi decisiva para a diluição mais eficiente da matéria orgânica, sendo que o mesmo não ocorre nos córregos afluentes deste. Além disso, os córregos são estreitos e com pequena lâmina d'água, comprometendo a capacidade de diluição de esgoto e demais efluentes.

Em estudo realizado por Bezerra (2009), foi constatado que a APA sofre pressão devido ao crescimento urbano, ainda que as áreas urbanizadas, na ocasião, representassem apenas 5,4%. Dois anos antes, Dias (2007), havia identificado que essa expansão já acontecia com a implantação paulatina de condomínios e loteamentos.

O modelo imobiliário e comercial adotado no município de Viçosa foi produzido para atender o mercado promissor promovido pela UFV. A situação acabou beneficiando os empresários do ramo imobiliário e comercial, se desdobrando em dois problemas:

- a) Na perspectiva imobiliária, essa expansão é geradora de mais concentração de renda e se tornou um mercado forte que avança com abertura de novos loteamentos nas áreas ao redor da UFV.
- b) Redução das áreas florestais, resultando na ausência de um cenário sustentável para a APA, cuja idealização deveria garantir equilíbrio entre ocupação humana e proteção ambiental.

As imagens da Figura 13 corroboram com as identificações encontradas nas imagens de satélites utilizadas para a produção do mapa de uso e cobertura do solo. A expansão urbana ocorre em direção à cabeceira da APA. Alvareli Junior (2014), apresenta em seu trabalho duas vertentes relacionadas ao uso da área acima do campus universitário, onde hoje é a APA São Bartolomeu. Na ocasião, as vias distintas conflitantes eram de criação de uma área de unidade de conservação e outra de urbanização da parte alta da bacia do Ribeirão São Bartolomeu até os limites com a universidade.

A expansão urbana atinge a APA com a ocupação aos arredores da UFRV e com a criação de condomínios que inicia em 1980. Essas ocupações se dão ao longo dos cursos d'água das sub bacias do São Bartolomeu. A partir desse momento inicia a abertura de estradas que muitas acabaram sendo asfaltadas devido ao intenso fluxo de veículos. Na Figura 13 pode-se observar que todas as vias de acesso abertas estão ao longo dos cursos d'água e que em seu entorno evidencia atividade rural (pastagem) com focos de áreas degradadas.

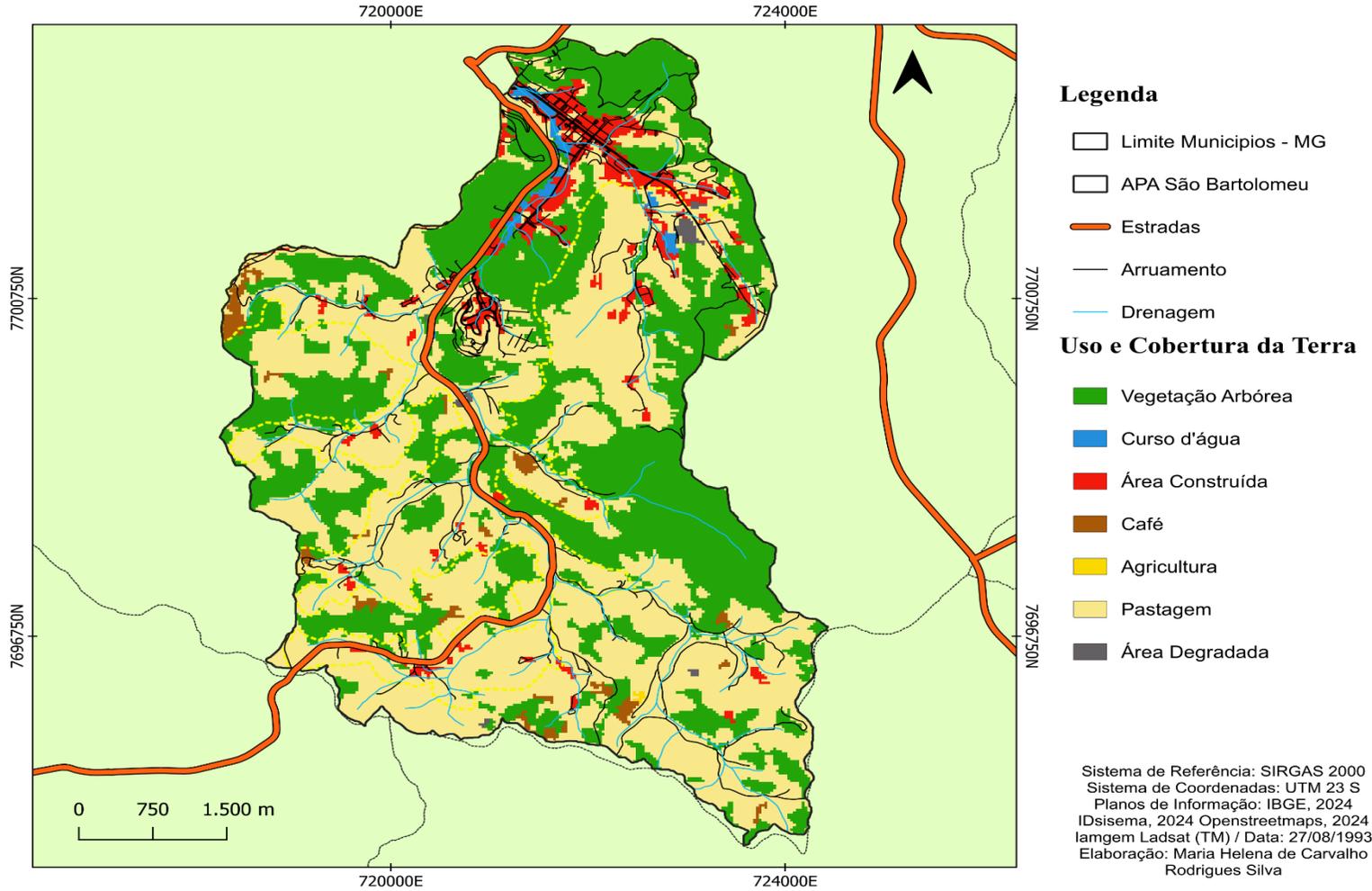
A mudança de uso da terra na APA durante as últimas 3 décadas foi intensa e pode ser constada por meio dos mapas de 1993 e 2023 (  Figura 14 e

Figura 15). A matriz de transição (Tabela 7) permitem verificar em maior detalhe os tipos de mudanças principais. Entre os anos 1993 e 2023, 13,17 km<sup>2</sup> (37%) da área total da APA apresentou algum tipo de mudança de cobertura ou uso.

Uma área considerável da APA apresentou substituição da área degradada e pastagem pela cobertura florestal e área construída. A vegetação arbórea apresentou ganho de 61%, passando de 13,82 km<sup>2</sup> em 1993 para 22,50 km<sup>2</sup> em 2023, enquanto a pastagem reduziu 47% de sua área.

Alguns fatores podem ser elencados para o quadro positivo de expansão da vegetação arbórea, embora várias habitações estão localizadas em áreas de APP. Estas informações foram constatadas em visitas a campo e podem ser confirmadas em Soares (2011) e em estudo recente de Stephan (2024). O restabelecimento dos fragmentos florestais (Mata do Paraíso, Mata da Biologia, Mata da Silvicultura e Mata da Agronomia), se encontram em estágio de recuperação há mais de 50 anos e estão entre as áreas de aumento da vegetação arbórea.

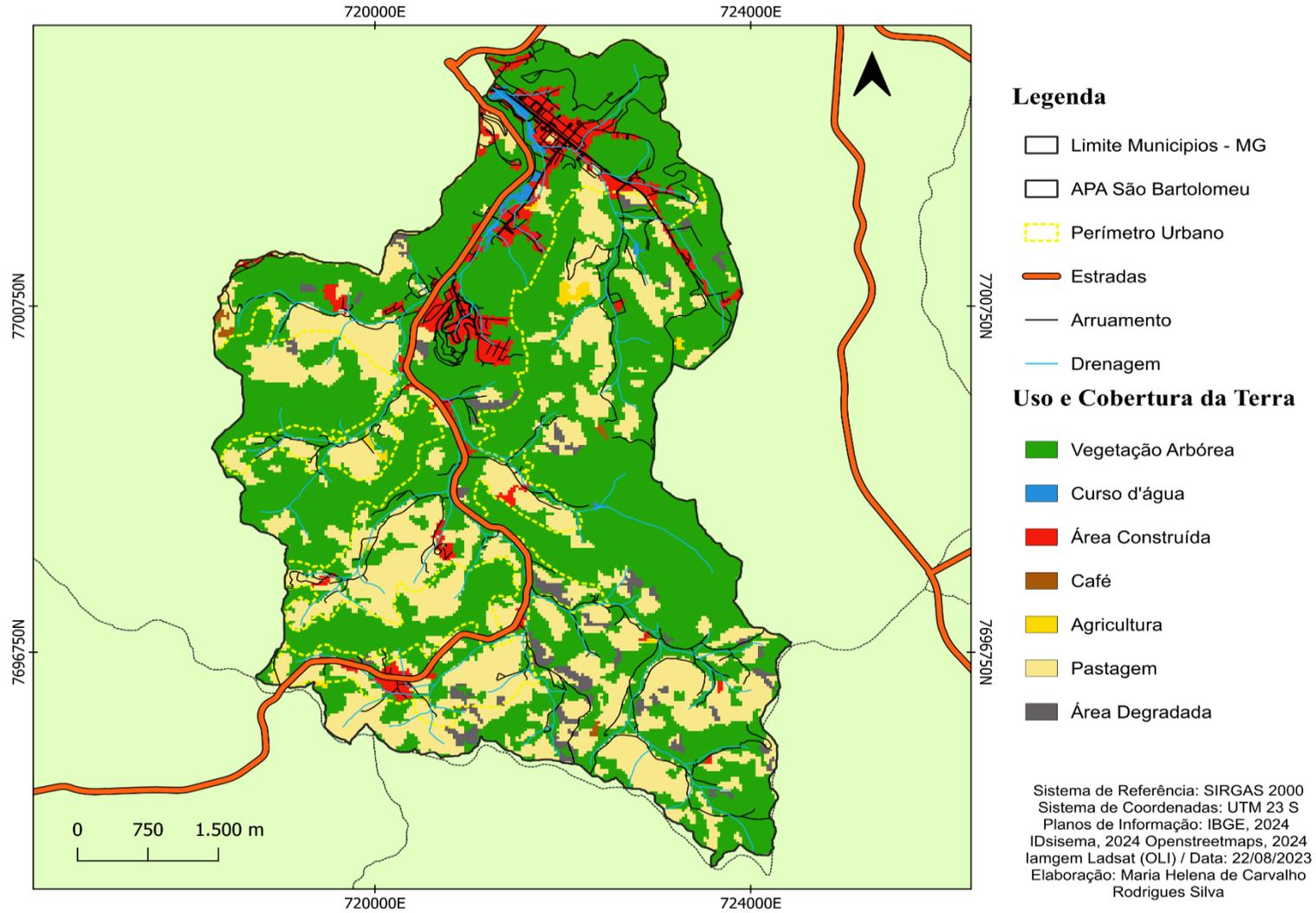
Figura 14 - Uso e cobertura do solo na APA São Bartolomeu,



Fonte: A autora, 2025..

Viçosa (1993)

Figura 15 - Uso e cobertura do solo na APA São Bartolomeu, Viçosa (2023)



Fonte: A autora, 2025..

Tabela 7 - Matriz de transição de coberturas da superfície entre os anos 1993 e 2023 na APA São Bartolomeu, Viçosa – MG em Km<sup>2</sup>

		2023							
		Vegetação Arbórea	Água	Área Construída	Café	Agricultura	Pastagem	Área Degradada	Total
1993	Vegetação Arbórea	12,71	0,02	0,20	0,00	0,01	0,65	0,23	13,82
	Água	0,08	0,13	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,23
	Área Construída	0,45	0,02	0,87	0,00	0,02	0,39	0,00	1,75
	Café	0,23	0,00	0,00	0,04	0,00	0,19	0,00	0,46
	Agricultura	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
	Pastagem	8,74	0,01	0,82	0,01	0,12	8,58	0,57	18,85
	Área Degradada	0,06	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03	0,01	0,10
	<b>Total</b>	22,50	0,17	1,92	0,06	0,15	9,88	0,82	35,51

Fonte: A autora, 2025.

Ações efetivas são desenvolvidas pelo Instituto Socioambiental de Viçosa (ISAVIÇOSA) e podem ter contribuído na recuperação de áreas desmatadas. Além disso, a instituição possui O Programa Microbacia Escola, cuja atividades estão associadas à educação para regeneração e sustentabilidade, realizadas, em sua maior parte, no sítio Palmital, sede do ISAVIÇOSA, onde abriga as nascentes de maior altitude do ribeirão São Bartolomeu.

Desde 2004, a ISAVIÇOSA desenvolve projetos na micro bacia São Bartolomeu, com práticas sustentáveis de uso e ocupação da terra. Entre estas práticas, estão os sistemas agroflorestais (SAFs), recuperação de matas ciliares, construção de banheiros secos e fossas de evapotranspiração, implantação de unidade participativa de experimentação em Plantio de Água, bioconstruções, agricultura agroecológica e reflorestamento com mudas de árvores nativas e frutíferas, associado ao favorecimento da regeneração natural em áreas sensíveis das zonas de captação e transmissão da microbacia.

Para além das ações da sociedade civil e de organizações, a institucionalização do Plano Diretor Municipal (PDM) de Viçosa (Lei n° 1383/2000) pode ter contribuído para o reflorestamento. O PDM assegura que o território municipal seja utilizado de forma ordenada e compatível ao desenvolvido sustentável. A partir de 2023, o novo PDM (Lei 3.018/2023) reforça o estágio atual de desenvolvimento urbano, com maior detalhamento quanto às normas ambientais, saneamento básico, habitação, mobilidade e ordenamento territorial. Além disso, a partir do enfoque dado aos problemas ambientais, o PDM aponta, em virtude do diagnóstico, a necessidade de adoção de medidas para a mitigação de impactos ambientais nas bacias hidrográficas dos Rios Turvo Sujo e Turvo Limpo e do Ribeirão São Bartolomeu, objetivando

a proteção dos mananciais hídricos superficiais e subterrâneos de abastecimento de água do Município.

Ao mesmo tempo que ocorre essa expansão, inicia também o processo de fragmentação da área, com a construção de chácaras, sítios, abertura de condomínios e estradas. Ferreira (2004) produziu um levantamento sobre uso e ocupação do solo e apontou que muitas propriedades se estendiam até a margem do ribeirão, onde a mata ciliar foi suprimida para dar lugar a pomares, em especial para o plantio de bananas. Dados de imagens de satélite de 2008, constataram que 76,75% das Áreas de Preservação Permanente (APPs) da bacia do São Bartolomeu já estavam sendo utilizada de maneira incorreta e contrária aos usos permitidos para estes espaços conforme a legislação ambiental (ANDRADE, 2009).

Em geral, as margens dos rios são os terrenos mais férteis de uma propriedade, portanto são as primeiras áreas utilizadas para a prática agrícola (FERREIRA, 2004). A tendência de expansão urbana na bacia pode acelerar ainda mais o processo de fragmentação florestal se os critérios de planejamento urbano não forem bem definidos (PINHEIRO et al., 2021).

A frequência de uso e ocupação do solo de 1993 e 2023, são apresentados na Tabela 8. A expansão urbana não se apresenta tão evidente no mapa devido à mistura da resposta espectral, que concentra, recorrentemente, no mesmo espaço, fragmentos florestais, hortas, pomares, piscinas, tanques, casas, jardins e pequenas pastagens. Essa mistura de usos em pequenas porções do espaço dificultam a análise da resposta espectral, devido à resolução espacial das imagens. Este contexto evidencia-se nas imagens do Google satélite e visitas a campo confirmam que a APA está em pleno “canteiro de obras”, com aberturas de novos loteamentos, placas de lançamento de novos condomínios e montagem de chácaras de lazer.

Tabela 8 – Áreas de Uso e cobertura do solo na APA Ribeirão São Bartolomeu

Uso e cobertura	Área km <sup>2</sup> 1993	% (1993)	Área km <sup>2</sup> 2023	% (2023)
Vegetação arbórea	13,82	38,9	22,5	63,3
Água	0,23	0,65	0,17	0,48
Área urbana	1,75	4,9	1,92	5,4
Café	0,46	1,3	0,06	0,16
Agricultura	0,01	0,3	0,15	0,42
Pastagem	18,85	53,0	9,88	27,8
Área degradada	0,01	0,3	0,82	2,3
<b>Área total</b>	<b>35,51</b>	<b>100,0</b>	<b>35,51</b>	<b>100,0</b>

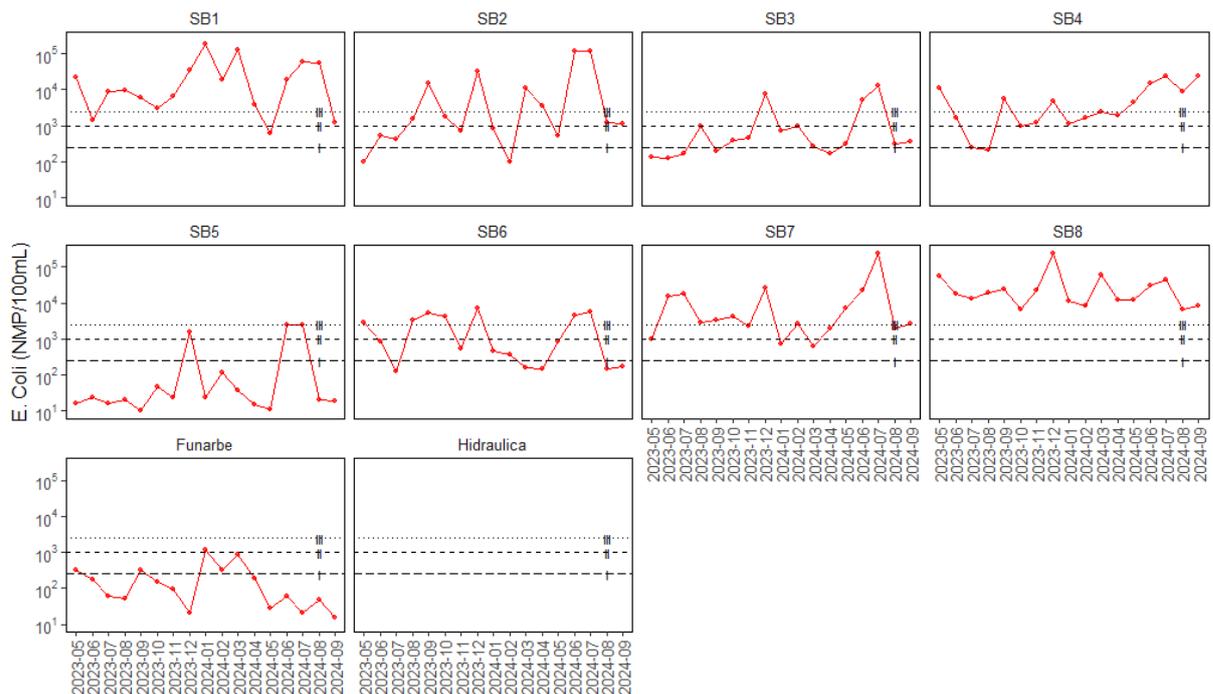
Fonte: A autora, 2025.

Conforme as análises de Foley et al. (2005), as atividades humanas de conversão de uso da terra, seja para agricultura de subsistência, intensificação do uso de terras agrícolas ou para expansão urbana, resultam em impactos na escala global, regional e local.

Foley (2005), pontua que as mudanças realizadas nos cursos de água doce para abastecimento industrial, consumo doméstico e irrigação afetam consideravelmente a vida aquática, a qualidade da água e do solo em função da pressão crescente sobre os recursos naturais. Apesar de cada vez mais os seres humanos estarem dependentes desses recursos e estes serem essenciais à nossa sobrevivência, um desafio é posto: reduzir os efeitos negativos da mudança do uso da terra, mantendo simultaneamente os benefícios econômicos e sociais.

Na Figura 16 apresentam-se as informações para *E. coli*, bactérias exclusivamente de origem fecal (humanos, cães, ruminantes, porcos) (DE ANDRADE; POELKING; FERNANDES FILHO, 2009) e considerada o principal indicador deste tipo de contaminação e de possível presença de organismos patogênicos (BRASIL, 2005c). Isso não foi determinado na L1 (Hidráulica), pois se caracteriza como um reservatório de acumulação e que, a determinação ocorre na L2 (Lagoa Funarbe), onde é realizada a captação para tratamento.

Figura 16 - Sub-bacias do Ribeirão São Bartolomeu - *E. coli* ou coliformes termotolerantes /entre maio de 2023 e setembro de 2025



Fonte: A autora, 2025.

As SB1, SB2, SB7 e SB8 apresentam valores elevados em todo o período analisado. Ao comparar a localização geográfica dessas áreas, constata-se a possibilidade desses valores elevados estarem relacionados à concentração urbana em função de condomínios, loteamentos nas áreas circunvizinhas com expansão urbana em direção às extremidades da APA. Neste caso, fatores antropogênicos como o descarte direto de efluentes domésticos nos cursos d'água e

criação animal sem o manejo adequado possibilita carrear fezes de animais para os cursos d'água (BIASSIO, 2017; PASSOS et al., 2019; PÊSSOA 2013; SANTOS, 2022; SENER, 2017), especialmente nos períodos com maior volume de chuva, contribuindo para os elevados níveis de *E. coli*.

Os resultados das análises bacteriológicas (*E. coli*), do período de maio de 2023 a setembro de 2024 no Ribeirão São Bartolomeu são apresentados na Tabela 9. A apresentação desse parâmetro se torna relevante, ao ser o principal curso d'água da APA que recebe aporte dos demais 7 contribuintes a montante. Conforme os resultados apresentados na tabela, os valores de *E. coli* ultrapassam os níveis permitidos pela legislação.

Tabela 9 - Ribeirão São Bartolomeu - *E. coli*

Ribeirão São Bartolomeu	Dia e mês da coleta 2023/2024	Escherichia coli (NMP 100 mL <sup>-1</sup> )
SB8	15/05/2023	55000
SB8	12/06/2023	18000
SB8	11/07/2023	13000
SB8	21/08/2023	19000
SB8	11/09/2023	24000
SB8	02/10/2023	6600
SB8	06/11/2023	23000
SB8	11/12/2023	240000
SB8	23/01/2024	11000
SB8	05/02/2024	8200
SB8	04/03/2024	61000
SB8	08/04/2024	12000
SB8	06/05/2024	12000
SB8	17/06/2024	31000
SB8	01/07/2024	46000
SB8	05/08/2024	6600
SB8	02/09/2024	8200

Fonte: A autora, 2025.

Os resultados de *E. coli* para os córregos da APA São Bartolomeu, apresentaram resultados que variam de condição boa a razoável. Foi observado que em todos os meses este parâmetro se apresenta acima do permitido pela Resolução Conama 357/2005 para águas de classe I (250 NMP 100 mL<sup>-1</sup>), II (1000 NMP 100 mL<sup>-1</sup>) e III (2500 NMP 100 mL<sup>-1</sup>).

Caso a captação de água para tratamento fosse realizada no ponto da SB8, este não teria água de qualidade para abastecimento público, pois os valores medidos estão muito acima dos permitidos em todas as legislações aqui analisadas para qualidade da água bruta visando abastecimento público.

Dias (2007) encontrou valor de 3790 NMP 100 mL<sup>-1</sup> no curso do Ribeirão São Bartolomeu. A *E. coli* é considerada o mais específico indicador de contaminação fecal recente

e de eventual presença de organismos patogênicos. O resultado observado era esperado, uma vez que o Ribeirão São Bartolomeu recebe todo o aporte hídrico dos demais cursos d'água e, à montante do ponto de coleta, situa-se a descarga do efluente da ETE do bairro Romão dos Reis (DIAS, 2007).

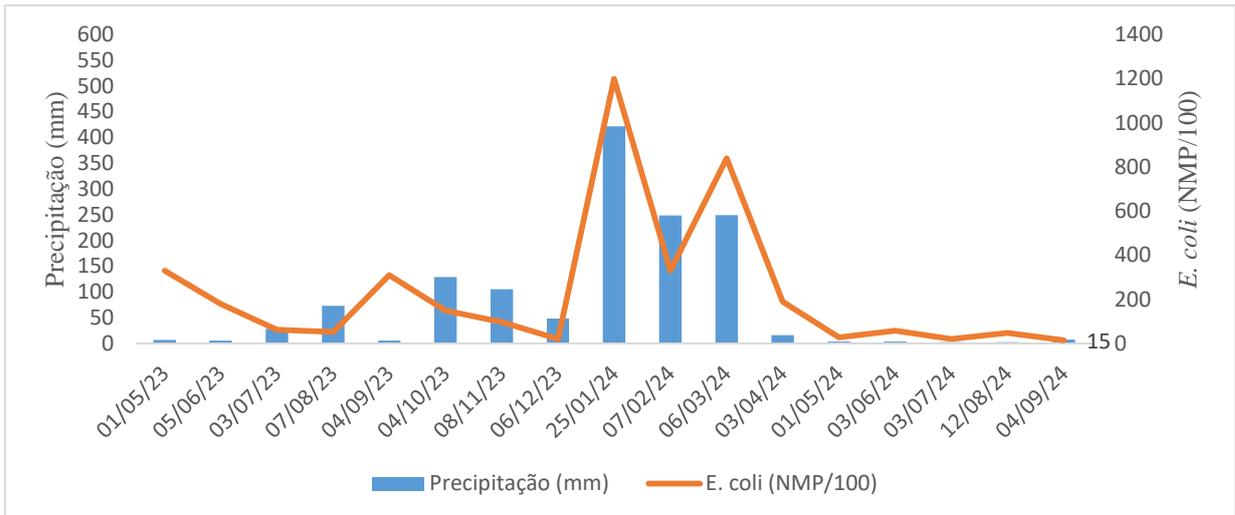
A principal fonte de *Escherichia coli* para as águas de corpos d'água e reservatório é o despejo de esgoto, principalmente doméstico, sem tratamento prévio (BUZELLI e SANTINO, 2013). Este efluente possui alta concentração de fósforo e formas nitrogenadas (amônia, nitrito) (FERREIRA et al., 2015), características que podem ter contribuído para o elevado valor do *E. coli*.

Impactos atribuídos ao lançamento de esgoto sanitário *in natura* em corpos hídricos superficiais são apontados por Pêessoa (2013), e resultam na redução da concentração de OD, emissão de gases e conferência de aspecto visual desagradáveis, além da possibilidade de contaminação de animais e seres humanos através do contato, direto ou indireto, com a água.

Os coliformes termotolerantes possuem peso (w) 0,15 e quando se apresenta mais alterado que o permissível pela legislação, é indicado inspeção sanitária no referido corpo hídrico, para se estabelecer a origem da contaminação fecal — presença de lançamentos de esgoto doméstico ou de despejo da criação de animais (BRASIL, 2005). Nos casos dos cursos d'água com concentração elevada, recomenda-se que estudos mais detalhados sejam realizados e que a normatização estabelecida pelo Decreto n.º 5.124/17 possa tornar-se eficiente diante da urbanização da APA São Bartolomeu, de modo a promover maior organização e limitações quanto ao avanço urbano desordenado.

Após as reflexões acima sobre o uso e ocupação da terra e suas consequências para os cursos hídricos, a seguir, a Figura 17 apresenta os resultados de *E. coli* para a L2 (Lagoa de captação), juntamente da precipitação para o mesmo período de estudo. Analisar essa relação entre precipitação e *E. coli* é uma possibilidade que o pesquisador tem para inferir e confirmar na literatura que, superfícies descobertas, principalmente decorrente de atividades antrópicas, com exposição de dejetos urbanos, lixo, resíduos decorrentes de atividades agropecuárias, interferem diretamente na qualidade das águas superficiais.

Figura 17 - Viçosa/MG - *E. coli* (NMP 100 mL-1) na L2 (Lagoa da Funarbe/ponto de captação de água para tratamento e posterior abastecimento público) e precipitação mensal (mm) - entre maio de 2023 e setembro de 2024



Fonte: A autora, 2025.

Nesta comparação, os máximos de *E. coli* correspondem ao mesmo período dos registros mais elevados de precipitação. Neste caso, é possível que chuvas mais intensas, como foi no caso de janeiro de 2024 (423 mm/mensal), produzam impactos mais profundos nos corpos d'águas, especialmente quando em locais com maior exposição do solo e declividade.

Os valores de *E. coli* na L2 se apresentaram elevados quando houve níveis volumosos de precipitação, caso contrário, os registros se mantêm a níveis baixos e as águas da L2, captadas para fins de tratamento e distribuição para abastecimento humano, apresentam boas condições desejáveis na maior parte do tempo. No entanto, conforme legislação, sua condição geral equivalente a classe II, pois, os eventos elevados de precipitação comprometem sua qualidade nos períodos de chuva.

Conclui-se que, o aumento de *E. coli* na L2 pode ter relação com a quantidade de precipitação neste mês. Ao observarmos o valor diário precipitado e data de coleta de análises, percebe-se que é possível que um maior aporte de sedimentos carregados de toda a APA tenha chegado a L2 com maior velocidade em função do elevado índice de precipitação mensal para o mês de janeiro.

Os valores baixos de *E. coli* estão condicionados às condições locais da L2, um processo natural chamado decaimento por mecanismos físicos (sedimentação), químicos (radiação) e biológicos (decesso). No caso da L2, o processo é potencializado por ser uma represa com baixa altura de lâmina d'água, auxiliando na ação dos raios UV (Raios Ultravioleta) que, por sua vez, inativam um conjunto de bactérias. No local onde ocorre a captação de água, as águas da APA já passaram pelo processo de autodepuração e a maioria dos sólidos já se sedimentaram (MUNIZ, 2019). A L1 (reservatório de acumulação) contribui e potencializa o processo de

autodepuração, considerando a sedimentação e a decomposição da matéria orgânica e o processo de estabilização do OD no final desse processo.

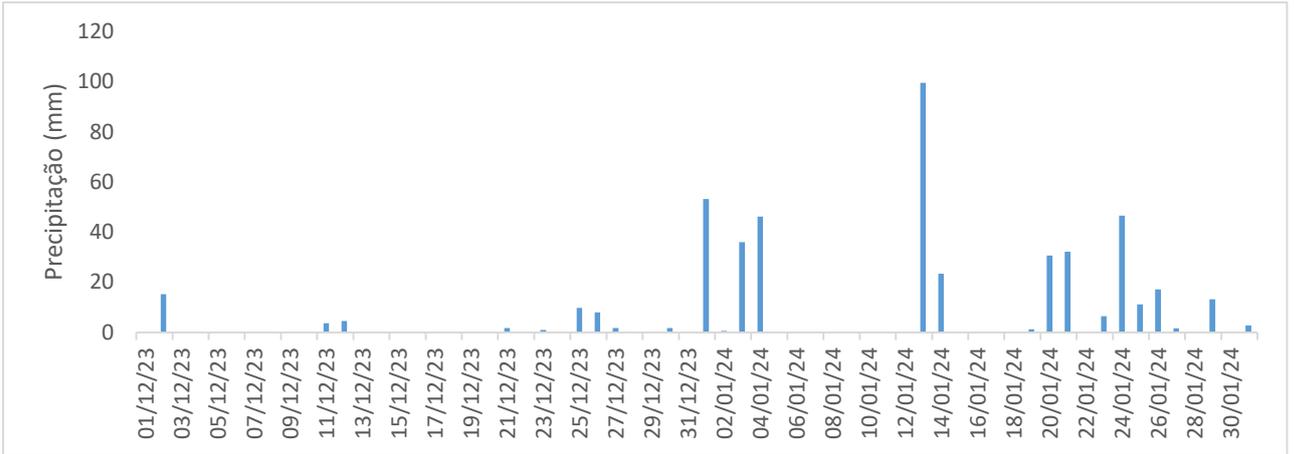
Processos naturais e eficientes de autodepuração em reservatórios de acumulação foram encontrados por Cunha (2020), na lagoa do Salto Grande, em Americana–SP, utilizando variáveis do monitoramento de diversos parâmetros da água local para construção de um modelo matemático de análise desse processo. Apesar do processo natural de autodepuração dos reservatórios, Akbayeva et al. (2024), concluíram que a capacidade de autodepuração é fortemente violada quando produtos químicos estão presentes no corpo d'água, ao inibirem a atividade do bacterioplâncton. Após análises laboratoriais, os autores constaram que a capacidade de autodepuração em massas de água do rio Yesil e o lago Bolshoy Taldykol – Astana/Cazaquistão, teve queda em função da poluição química.

Após tais verificações, conclui-se que é vantajoso que a gestão na L1 deva ser eficiente pois além dela regularizar os fluxos de vazão, armazenamento de água e autodepuração. Este processo contribui para que quando essa água chegar na L2, ela esteja com seus níveis de qualidade podendo ser enquadrada em classe II, conforme os requisitos das resoluções em vigor sobre qualidade da água para abastecimento público.

Na Figura 18, são apresentados os valores diários de precipitação registrados na estação A510 de Viçosa, nos meses de dezembro/2023 e janeiro/2024. Pode-se observar que os maiores volumes precipitados coincidem com valores elevados de *E. coli* para o mesmo período. Menores valores de OD ( $4,9 \text{ mg L}^{-1}$ ) também foram determinados neste mês de janeiro para este mesmo ponto, indicando maior demanda por oxigênio.

Embora valores elevados de precipitação tenham ocorrido nos dois meses seguintes, como pode ser constatado na Figura 17, os valores de *E. coli* elevado corresponde ao mesmo período, portanto, não ultrapassa os limites estabelecidos para a classe II pela legislação.

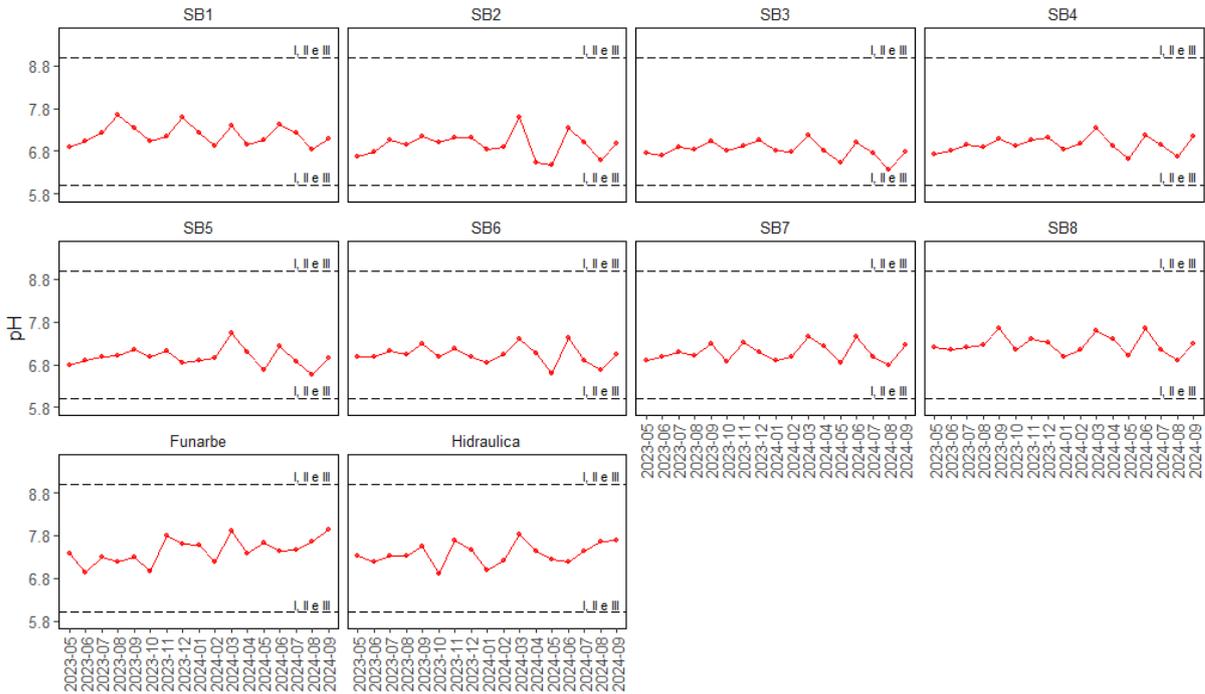
Em análise da água de uma bacia hidrográfica urbanizada na França, Ogorzaly (2009), obteve relação entre eventos de chuvas intensas e aumento da contaminação fecal provenientes de fontes não pontuais em águas superficiais e relaciona que a intensidade e a duração da precipitação podem influenciar a qualidade da água superficial, pois na sequência de chuvas intensas o material fecal de áreas agrícolas e urbanas pode ser carregado com partículas superficiais expostas no solo. Elevados níveis de coliformes (totais e *E. coli*), matéria orgânica e sólidos também são relacionados a eventos chuvosos em bacia hidrográfica urbanizada de Belo Horizonte–MG (VIEIRA et al., 2009).



Fonte: Estação A510-INMET. Organização: A autora, 2025.

Os valores de pH (potencial hidrogeniônico) são apresentados na Figura 19 e estão nos limites permitidos pela legislação, entre 6 e 9, para todas as classes de águas doces superficiais. Os valores deste parâmetro não apresentaram variações significativas ou fora dos limites em nenhum dos pontos coletados.

Figura 19 - Sub-bacias do Ribeirão São Bartolomeu: pH entre maio de 2023 e setembro de 2024



Fonte: A autora, 2025.

Embora esse parâmetro não tenha implicações em termos de saúde pública, a menos que esteja muito acima ou abaixo dos valores permitidos, ele possui importância em diversas etapas do tratamento da água. Alterações neste parâmetro, afeta a solubilidade dos metais, a alcalinidade e a dureza da água, prejudicando seu uso para consumo e irrigação (SENER, 2017).

De acordo com Von Sperling (2007, 2014), nos casos do tratamento da água para abastecimento público, o pH está associado a diferentes faixas de atuação ótima de coagulantes. Frequentemente, o pH precisa ser corrigido antes e depois da adição de produtos químicos no tratamento da água e sempre está associado a diferentes faixas de atuação ótima de coagulantes.

A temperatura da água constitui-se em um parâmetro indispensável em todas as etapas do tratamento da água, uma vez que muitas características físicas, biológicas e químicas de um rio são diretamente afetadas pela temperatura (GARIMA e KUMAR, 2013).

Análises produzidas por Nengz et al. (2023) constataram que temperaturas reduzidas diminuem a eficiência na remoção da matéria orgânica e de produtos químicos no processo de tratamento da água, ao inibir a atividade das bactérias heterotróficas, embora retomem sua eficiência após a aclimação ambiental.

Pode-se observar na

Figura 20, que as temperaturas se mantiveram em intervalos adequados, tanto para os meses quentes quanto frios na região estudada. Os menores valores registrados foram de 12 °C e máximo de 28 °C. A média do período foi de 20,6 °C. Os resultados do monitoramento demonstram que os valores de temperatura estão nos padrões aceitáveis para água superficial doce, 0 °C a 30 °C (BRASIL, 2005a).

Figura 20 - Sub-bacias do Ribeirão São Bartolomeu: Temperatura da água entre maio de 2023 e setembro de 2024



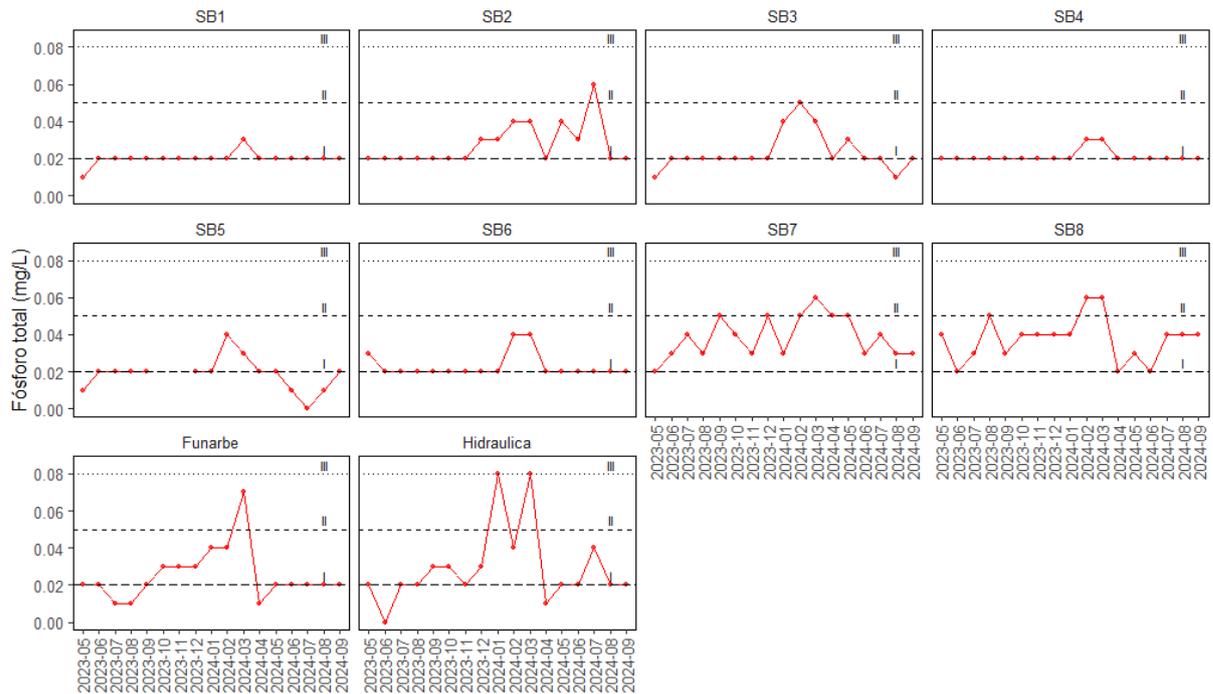
Fonte: A autora, 2025.

Desequilíbrios na temperatura influenciam e controla o paladar, a viscosidade, a solubilidade, os odores, as reações químicas da água (OMER, 2019) e afetam os processos químicos e biológicos durante o processo de distribuição (ZLATANOVIĆ et al., 2017).

O fósforo (P), tem sido apontado como o principal fator responsável pela eutrofização das águas superficiais (ESTEVES, 1998). Na APA São Bartolomeu, observou-se que o uso do solo, em sua maior parte, é de pastagem, juntamente com considerável extensão de área urbana, mas com reduzida área de agricultura. Deste modo, os resultados de P apresentados na

Figura 21 corroboram que os cursos d'água estão recebendo esse nutriente, especialmente na SB8, que recebe maior aporte de água e sedimentos das demais sub bacias.

Figura 21 - Sub-bacias do Ribeirão São Bartolomeu - Fósforo total entre maio de 2023 e setembro de 2024



Fonte: A autora, 2025.

Valores frequentemente elevados de P, considerando o período analisado, podem ser observados nas SB7 e SB8. Na L1 e L2 foram visualizados picos que podem estar relacionados com a precipitação. De novembro de 2023 até março de 2024, o município de Viçosa recebeu volumes expressivos de precipitação. Nessa condição, o movimento de material (fezes de animais, solos de pastagens, áreas com agricultura) e lavagem do solo e rochas produz maior incidência de sedimentos para os cursos d'água. Associado ao esgoto doméstico in natura, os níveis desse parâmetro tendem a ser elevados nesse cenário.

Por ser a principal forma química assimilada pelos vegetais aquáticos, a quantificação do P em pesquisas sobre qualidade da água torna-se indispensável (ESTEVEZ, 1998). A concentração de P total encontrado na água pode ser proveniente de ações naturais, como a decomposição de matéria orgânica e a dissolução de rochas, e ações antrópicas, como despejo de esgoto, especialmente detergentes, uso de fertilizantes e pesticidas (PASSOS, 2018).

Conforme os resultados apresentados, a concentração de P total nas SB1, SB3, SB4, SB5 e SB6 estão dentro dos valores equivalente para águas de classe II, conforme a Resolução 357/2005 (BRASIL, 2005). Valores compatíveis foram apresentados por Muniz (2019) e Pereira (2014). No entanto, estudos sobre esse parâmetro realizados por Bezerra (2011), na bacia do ribeirão São Bartolomeu, identificaram valores de P acima do permitido pela legislação ao analisar a variável Grau de Trofia do corpo d'água.

O processo de eutrofização nos corpos d'água podem ter origem humana ou natural, podendo ocorrer tanto em águas doces quanto em águas costeiras. Níveis elevados são encontrados especialmente em áreas densamente ocupadas com fontes diversas, pontual (efluentes de criatórios de animais, industriais ou urbanos) ou difusa (agricultura) (SARMA e KUMAR, 2024). Este aumento da taxa de eutrofização acarreta em declínio da qualidade da água; ampliação da nebulosidade e odores desagradáveis devido ao excesso de fitoplâncton, o que resulta no crescimento de cianobactérias tóxicas, interrompendo as cadeias alimentares e reduzindo a biodiversidade aquática; e afeta o abastecimento de água (SARMA e KUMAR, 2024).

Na

Figura 15 apresenta-se o uso e a ocupação do solo na APA. Quando observado cuidadosamente pelas imagens do Google Satélite, são identificadas áreas muito além daquelas reconhecidas pelas imagens de satélite. Esse é um fator que demanda muitas idas a campo, além das já acontecidas, para verificar com maior acurácia os tipos de cultura que estão sendo praticadas e se os lançamentos de águas efluentes acontecem diretamente no curso d'água ou se recebe algum tipo de tratamento antes do seu lançamento.

Estudos sobre a APA São Bartolomeu, entre os anos 1987 a 2015, apontam que, em média, 50% das Áreas de Proteção Ambiental (APP) estão sendo usadas como pastagens e agricultura, com predominância de pastagens degradadas, principalmente nos locais com maior declividade (ANDRADE, 2009; ANDRADE, 2015; COSTA, 2013; DIAS, 2007; ISAIAS SILVA, 2014). A região possui relevo fortemente acidentado, com 85% do seu território classificado como montanhoso (ALVARELI JUNIOR, 2014), o que se converte em fonte para escorregamentos (NUNES, 2016), ao predominarem solos rasos susceptíveis a erosão e geralmente com exposição do horizonte C (PINHEIRO, 2021). Esse conjunto de fatores potencializa o escoamento superficial do solo, muitas vezes, com fezes de animais, e possivelmente, fertilizantes e agrotóxicos convergindo para os cursos d'água.

Nesta perspectiva de uso, reflexões acerca da valorização da terra nas áreas ao redor da universidade torna-se elemento indispensável para discussão em virtude dos efeitos que acompanha essa valorização, acarretando conflitos entre as comunidades ali estabelecidas e setores da rede imobiliária do município. Paixão (2023), apresenta formas de usos atuais de apropriação e reapropriação da terra em áreas da APA e traz para cenário atual os conflitos, ambientais e sociais, resultantes dessa valorização e expansão urbana ocorrida nos seus espaços, pois esse processo altera significativamente o uso da terra na APA.

De acordo com Pereira (2014), o município de Viçosa vivencia elevado valor da terra e a incorporação das áreas rurais para construção de novos loteamentos, abertura de condomínios e a expansão de bairros já consolidados. Desde 1970, Viçosa experimenta uma profunda valorização da terra urbana, decorrente da atividade imobiliária, ocupando áreas com declividade acentuada e próximas de mananciais (PEREIRA, 2014; PINHEIRO, 2015).

É possível observar, na

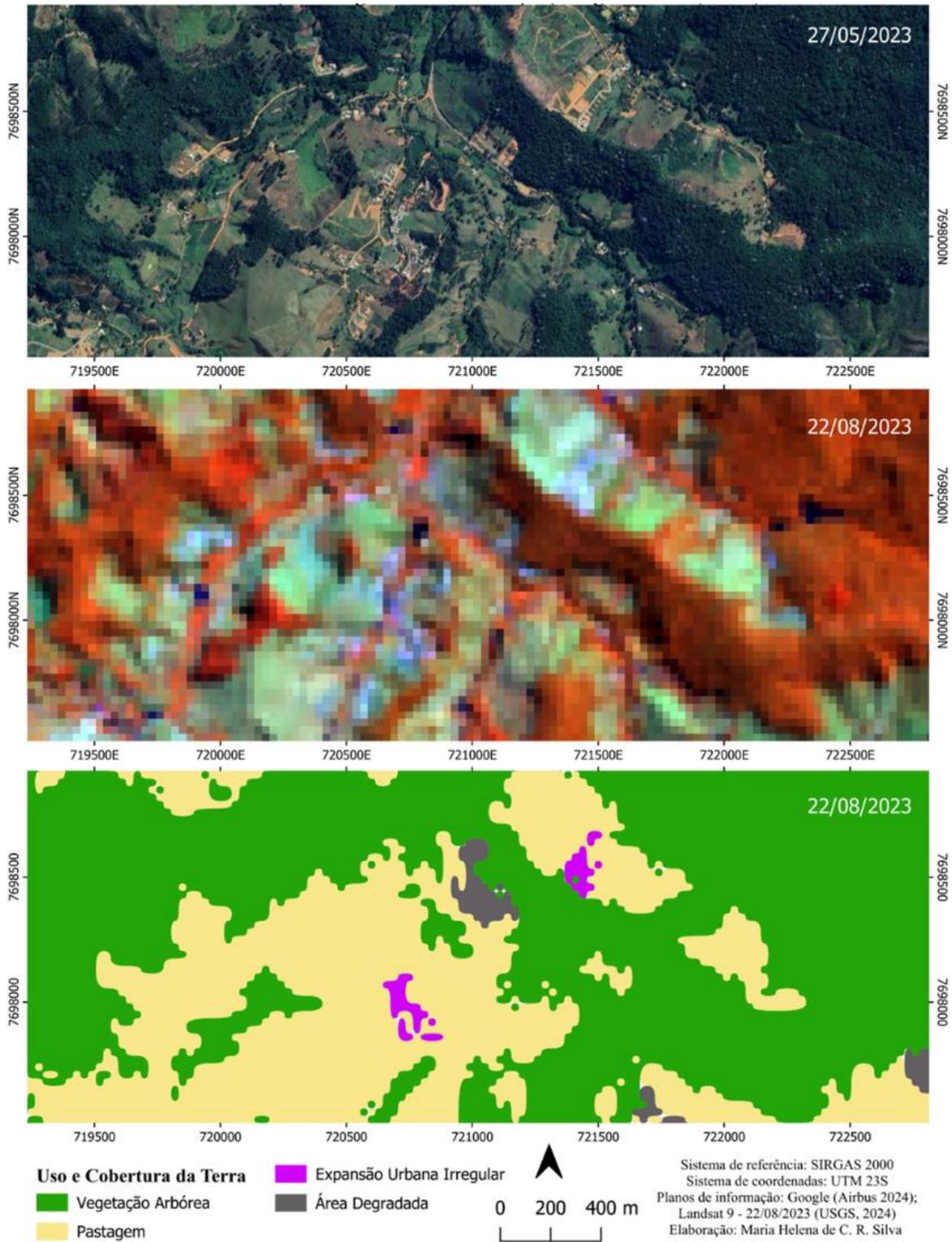
Figura 15, o processo de urbanização da APA São Bartolomeu e que o avanço imobiliário caminha em direção às cabeceiras de drenagem das principais nascentes da microbacia. Essa expansão não fica nítida na imagem de satélite devido ao tamanho do píxel (30×30). Para melhor visualização, na

Figura 22, a imagem de satélite, o mosaico e a imagem do Google, da mesma área, são apresentados.

Nesta figura, é possível perceber que os usos diversos dificultam a resposta espectral. Uma propriedade possui um fragmento florestal, uma horta, piscina, um tanque, casa, jardins, pequena pastagem, refletindo intensa fragmentação do espaço das propriedades assim como da APA na totalidade. Essa diversidade de usos é confirmada por Pereira (2014).

Nas Figura 23 e Figura 24 da SB 4 (Paraíso), podemos observar a fragmentação do espaço com objetivo da construção de mais um condomínio, acompanhado por Stephan (2015), onde o processo de avanço da urbanização nessa região da cidade é intenso.

Figura 22 - APA ribeirão São Bartolomeu / Viçosa-MG. Comparativo entre a resposta espectral (Landsat 9 – RGB564), a imagem classificada (Random Forest) e a imagem de alta resolução (Google – Airbus, 2024)



Fonte: A autora, 2025.

Figura 23 - Micro bacia Paraíso - Imagem do Google Earth



Fonte: Italo Stephan, 2014

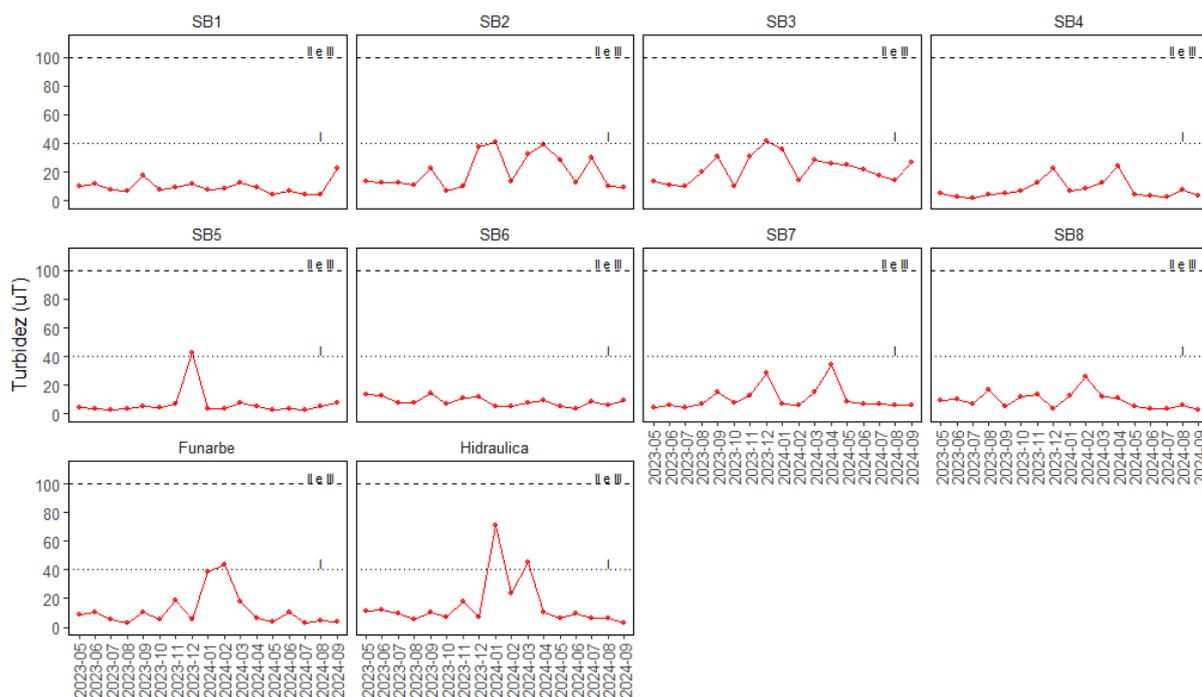
Figura 24 - Micro bacia Paraíso - Imagem do Google Earth



Fonte: Italo Stephan, 2019.

A Figura 25 apresenta os níveis de turbidez nos cursos d'água da APA. O parâmetro atendeu níveis nos limites estabelecidos pela Resolução Conama 375/2005 para corpos d'água classe II, não apresentando variações significativas no período estudado. Os casos elevados foram simultâneos aos períodos com maior precipitação para a região, podendo estar relacionado ao aporte de sedimentos provindos de escoamento superficial.

Figura 25 - Sub-bacias Ribeirão São Bartolomeu - Turbidez da água entre maio de 2023 e setembro de 2024



Fonte: A autora 2025.

De modo geral, a erosão do solo constitui fator importante nos níveis de turbidez da água, sendo um processo complexo que depende de fatores naturais e em especial, antropogênicos (OBIALOR et al., 2019). Além disso, lavouras manejadas incorretamente e atividades de pastoreio excessivo podem levar à exposição do solo, causando a erosão e elevando os níveis de turbidez das águas (OBIALOR et al., 2019).

Os resultados de turbidez encontrados por Bezerra (2011) corroboram aos visualizados neste trabalho. Andrade (2015), Dias (2007) e Muniz (2019) encontraram relações entre os níveis elevados de turbidez nos períodos de chuva em função do movimento de fezes antigas de animais, resultando em maior concentração de bactérias do grupo *E. coli*, enterococos e enterovírus na APA São Bartolomeu (DIAS, 2007).

Utilizando o método de Análises de Componentes Principais (ACP), Muniz (2019) encontrou valores médios de 9,87 (uT) e desvio padrão de 13,44 na lagoa L2, onde ocorre a captação de água pelo SAAE e pela UFV. Para o autor, os registros baixos estão associados à origem da água. Os córregos da APA são menos turbulentos, em função disso, apresentam baixas concentrações de sólidos, a não ser os corpos receptores de efluentes que possuem abundância de sólidos. Na ocasião de seu trabalho, os valores encontrados se apresentaram abaixo do limite permitido pela Resolução Conama n.º 357/2005.

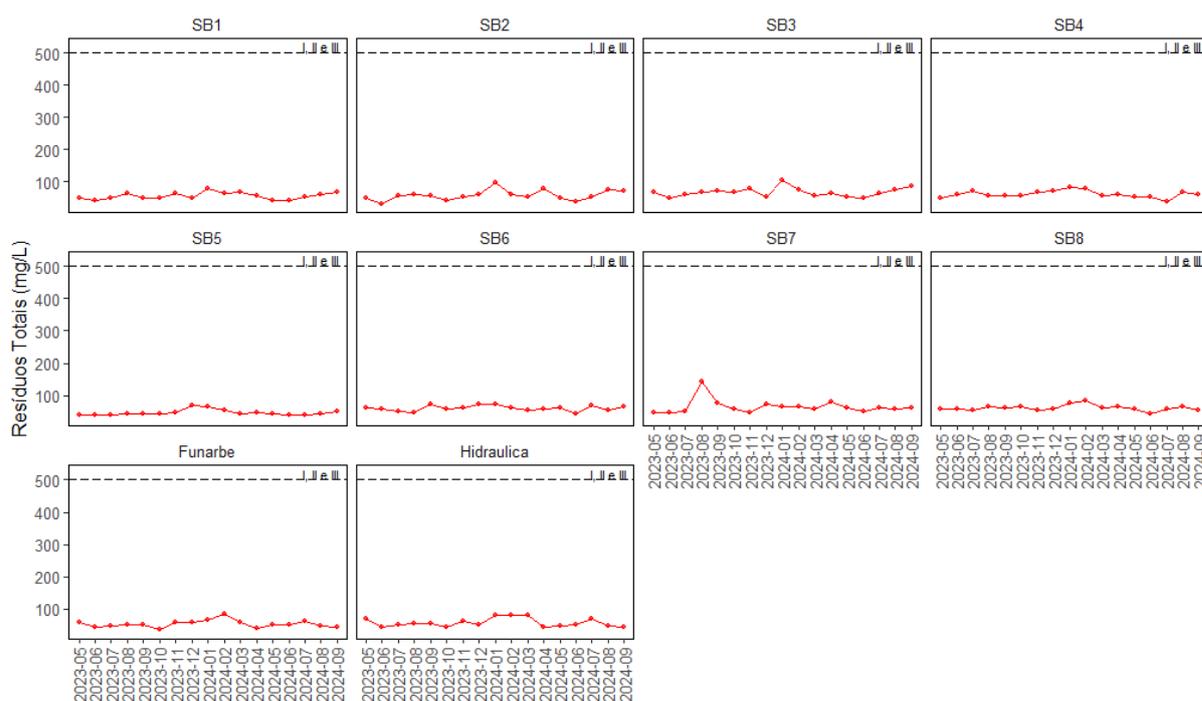
É relevante observar que o monitoramento da turbidez da água associa-se ao padrão microbiológico de tratamento da água, com processos de decantação e filtração anteriores à

desinfecção. Além disso, considerando que cistos e (oo)cistos, estão associados à turbidez na água (DIAS, 2007), mantendo-se a turbidez a níveis baixos e confiáveis, reduzem-se cistos e (oo)cistos.

Silva (2014) expõe que o aumento da turbidez no curso d'água é diretamente proporcional ao consumo de oxigênio dissolvido, provavelmente pelo processo de decomposição da matéria orgânica. A mesma tendência de consumo de oxigênio foi observada para os coliformes totais, possivelmente pelo aumento da população microbiana na água.

Os resíduos totais (Figura 26) não apresentaram valores expressivos para os corpos d'água analisados, mas, ainda assim, elevam-se relativamente nos meses chuvosos. No presente estudo, os resultados para este parâmetro apresentaram poucas diferenças nas SB analisadas, sendo que a SB8 registrou a maior média (62 mg L<sup>-1</sup>).

Figura 26 - Sub-bacias do Ribeirão São Bartolomeu - Resíduos totais entre maio de 2023 e setembro de 2024



Fonte: A autora 2025.

A descrição individual das variáveis físico, químicas e biológicas até o momento, apresenta o padrão de variação temporal e espacial durante o mês de abril de 2023 a setembro de 2024 em 10 pontos distribuídos na APA São Bartolomeu. Segundo Cunha et al. (2013), a avaliação individual dos parâmetros de qualidade torna-se elemento indispensável para que o resultado do IQA não seja mascarado e se compensam umas às outras, mantendo o índice relativamente estável em um patamar, pois flutuações importantes no ambiente devem ser monitoradas e analisadas cuidadosamente.

Os cursos d'águas (córregos São Lucas, Machados, Palmital, Paraíso, Antuérpia, Engenho e Santa Catarina) que desaguam no ribeirão São Bartolomeu, podem ser caracterizados ecologicamente como rasos, estreitos e, portanto, podem ser considerados sensíveis às pressões naturais ou antrópicas devido à sua pequena profundidade e vazão, podendo apresentar grande variação espacial e temporal das suas características físicas e químicas ao longo do ano.

Ambientes como o da APA São Bartolomeu são frágeis à poluição antrópica e sua resiliência pode ser impactada pelo recebimento dos efluentes *in natura* e por mudanças severas ocorridas em seu entorno.

Os resultados individuais dos parâmetros mostram que a maioria (cerca de 80%) atende às condições equivalentes de classes I e II da resolução CONAMA 357/2005, mas também houve parâmetros indicados na classe III (20%). Além disso, concentrações elevadas dos parâmetros *E. coli* foram observadas nas águas destinadas ao tratamento e abastecimento público.

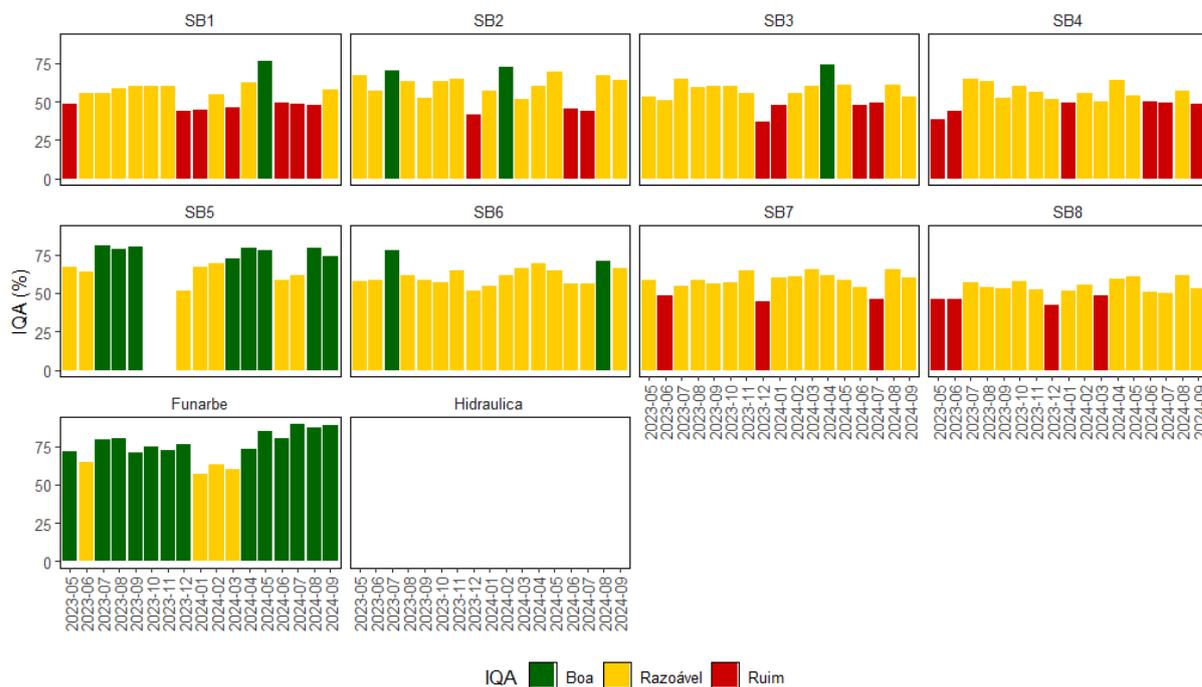
#### **4.1 Índice de Qualidade da Água (IQA) na APA do ribeirão São Bartolomeu – Viçosa/MG.**

Para conhecermos a qualidade das águas, utilizamos o IQA, um cálculo que produz uma nota atribuída ao corpo d'água, variando de 0 a 100. Os parâmetros que compõem a nota, estão relacionados ao lançamento de esgotos domésticos.

Maiores níveis de poluição requerem mais uso de produtos químicos durante o processo de tratamento. Neste caso, é possível que problemas de gosto e odor impeçam a confiança pública na água potável e impor grandes custos no processo de tratamento às concessionárias de água (KEHOE et al., 2015).

Durante o período de 17 meses (maio/23 a set/24), foram acompanhadas as campanhas de campo realizadas pelo Laboratório de Controle da Qualidade da Água (LCQA) da UFV, para análise da qualidade da água bruta dos córregos da APA São Bartolomeu. Após os quatro estágios que envolvem a seleção dos parâmetros de qualidade da água, a geração de sub índices para cada parâmetro, cálculo dos valores de ponderação dos parâmetros e agregação desses sub índices para calcular o índice geral de qualidade da água, tem-se, a partir do IQA, uma visão geral do corpo d'água e seu enquadramento em qualidade péssima, ruim, razoável, boa ou ótima, conforme a Figura 27.

Figura 27 - APA do Ribeirão São Bartolomeu / Viçosa-MG. Índice de Qualidade da Água (IQA-NSF) de abril de 2023 a setembro de 2024

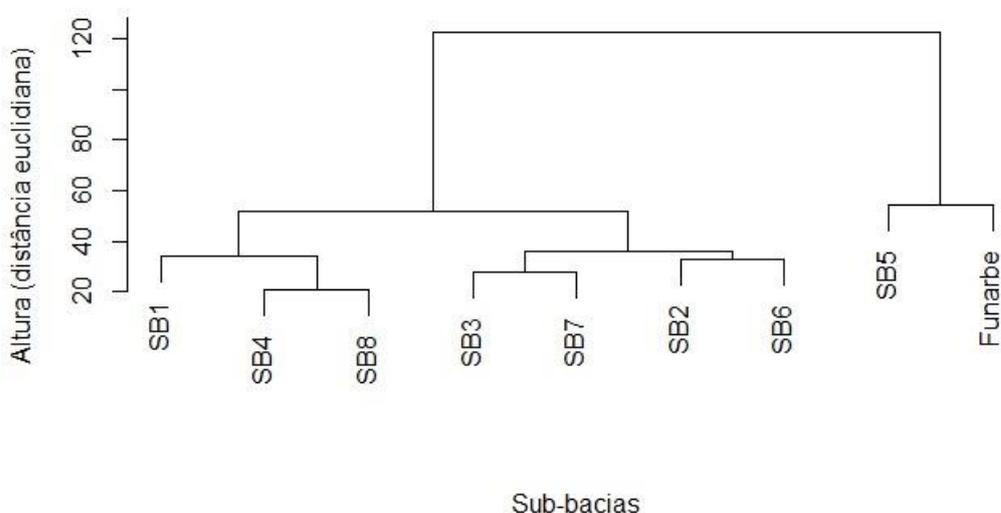


Fonte: A autora 2025..

A partir da Figura acima, constata-se que a qualidade da água nas sub-bacias da APA São Bartolomeu encontra-se predominantemente com padrão razoável. Durante o período analisado, as águas da APA se mantiveram em condições razoáveis em 64,8% das amostras coletadas, 17,6% permaneceram com qualidade ruim e 17,6% com qualidade boa. A ausência de dados sobre o P total no ponto da SB5, nos meses 10 e 11, impossibilitou a aplicação da equação para obtenção do IQA utilizando a mesma metodologia que os demais.

O dendrograma a seguir (Figura 28), apresenta o agrupamento hierárquico das sub-bacias da APA São Bartolomeu. As SB 1, 4 e 8 formam um agrupamento com semelhanças e corresponde às sub-bacias com os menores IQA (Figura 27). Destacando-se pelo alto IQA, houve a formação de um grupo composto por SB5 e L2 (Lagoa de captação). Com resultados de IQA que contrastam, as SB 2, 3, 6 e 7 apresentam resultados que se assemelham entre si, formando um terceiro grupo.

Figura 28 - Dendrograma do agrupamento hierárquico do IQA nas sub-bacias da APA São Bartolomeu.



Fonte: A autora 2025.

Além da Funarbe, a SB5 apresentou os melhores resultados, pois em 53,3% do tempo estudado a água se manteve com qualidade boa e o restante do tempo com qualidade razoável. Tal resultado pode estar associado às ações empregadas pela comunidade do Palmital. Essa é uma comunidade ativa na realização de ações de proteção aos mananciais. Nesta sub bacia também é desenvolvido o projeto ISA, o que fortalece o comprometimento com as questões ambientais e comprova que ações, mesmo que pontuais, são eficazes. Além disso, ao comparar os mapas de uso e ocupação do solo dos anos 1993 e 2023, constata-se um aumento da vegetação arbórea na área da SB5, fato que também pode ter contribuído com a qualidade da água dessa sub bacia.

De forma geral, as águas da APA São Bartolomeu não apresentam oscilações importantes e discrepantes. Pode-se considerar que as SB 1, 2, 3, 4, 7 e 8 (córrego São Lucas, córrego dos Machados, córrego Santa Catarina, córrego do Paraíso, córrego do Engenho e ribeirão São Bartolomeu, respectivamente) apresentaram os IQA's mais baixos. Ao fazer comparações entre as figuras 6, 13, 14 e 15 é possível verificar intensa mudança no uso da terra e muitas superfícies descobertas em torno dos córregos citados, o que pode ter influenciados os resultados do IQA.

Análise das águas da APA São Bartolomeu, realizada por Dias (2008), apontaram que as sub bacias Antuérpia e Engenho apresentaram os maiores níveis de contaminação por fezes de animais. O autor constatou que na ocasião, os dejetos da caprino cultura e da suinocultura,

na SB6-Antuérpia e SB7-Engenho, não eram tratados antes do despejo no curso d'água. Em visita a região, constatou-se que essas suinoculturas foram desativadas.

Com relação à L2, de onde a água é diretamente captada para tratamento, há predominância de qualidade boa em 77% do tempo e 23% com condições razoáveis. O reservatório de acumulação, L1, possui atribuição fundamental de autodepuração, promovendo água de boa qualidade para a lagoa de captação.

Na tabela 10, a seguir, é possível verificar o quão distante os valores da qualidade Boa estão do limiar 70, pois apesar da qualidade encontrada na maior parte da bacia seja razoável (51 a 70), os valores estão mais próximos de 51 do que de 70. Portanto, é pertinente registrar que pequenas alterações nos parâmetros químicos podem resultar em perda de qualidade das águas superficiais dos córregos da APA São Bartolomeu.

Tabela 10 - Sub bacias da APA do ribeirão São Bartolomeu / Viçosa – MG. IQA mensal das 8 sub-bacias e da lagoa de captação para o período de abril de 2023 a setembro de 2024

mês/ponto	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5	SB6	SB7	SB8	L2
mai/23	49,0	66,9	53,2	38,6	66,9	57,3	58,8	45,9	71,9
jun/23	55,0	57,0	50,7	43,5	63,9	58,7	48,8	46,4	64,8
jul/23	55,0	70,1	64,5	65,1	81,1	78,2	54,5	57,3	79,1
ago/23	59,0	63,2	59,7	63,2	78,7	61,4	58,6	53,6	80,3
set/23	60,0	52,0	59,9	52,6	79,8	58,2	56,1	53,3	71,2
out/23	60,0	63,5	60,4	60,1		56,8	56,8	57,6	75,0
nov/23	60,0	64,6	55,7	56,4		64,8	64,3	52,3	72,1
dez/23	44,0	41,6	36,8	51,5	51,4	51,4	44,7	42,6	76,4
jan/24	45,0	56,9	48,1	49,5	67,0	54,6	60,2	51,9	57,0
fev/24	54,0	72,5	55,7	55,6	69,6	61,3	60,5	55,3	63,1
mar/24	46,0	51,5	59,8	50,3	72,7	66,1	65,1	48,0	59,6
abr/24	62,0	60,5	74,1	63,8	79,8	69,1	61,5	58,9	73,3
mai/24	76,0	69,2	61,2	54,2	77,7	64,6	58,9	60,5	85,1
jun/24	50,0	45,2	48,0	49,9	58,7	56,5	53,9	51,0	80,1
jul/24	48,0	43,5	49,6	49,0	61,8	56,2	45,9	50,0	89,7
ago/24	48,0	67,4	60,9	57,3	79,7	70,9	65,3	61,5	87,1
set/24	58,0	63,9	52,8	48,3	73,8	65,9	59,9	53,2	88,9
*K-means	2	4	2	2	1	4	4	2	3

Nota: \* Resultado do agrupamento não hierárquico baseado no algoritmo K-means.

Fonte: A autora 2025.

O agrupamento realizado pelo algoritmo Kmeans (Tabela 10) apresentou resultados semelhantes ao agrupamento hierárquico, reforçando os resultados apresentados anteriormente sobre as análises da qualidade das águas da APA São Bartolomeu.

Após as análises dos parâmetros, é possível inferir que os níveis do *E. coli* e o OD contribuíram para que os valores do IQA fossem reduzidos. Andrade (2009), encontrou

contaminação por *E. coli* em 90% das amostras das águas das nascentes da APA São Bartolomeu, apresentando relação direta com a presença de animais próximos às nascentes.

A Figura 29, é uma nascente do córrego do Paraíso. Ela se encontra pisoteada pelo gado e sem proteção em seu entorno. Ausência de mata ciliar, animais, moradia e canos de esgoto são observados na Figura 30, no córrego São Lucas. Andrade (2009) registrou situações como as encontradas em 2024.

Figura 29 - SB4 — APA do ribeirão São Bartolomeu / Viçosa – Nascente do córrego do Paraíso – 10/10/2024



Fonte: A autora 2025.

Figura 30 - APA do ribeirão São Bartolomeu / Viçosa – SB 1-Córrego São Lucas – 10/10/2024



Fonte: A autora 2025.

Circunstância como solo exposto, animais criados próximos às nascentes e próximos aos cursos d'água, amplas áreas destinadas à abertura de novos condomínios e fragmentação da área verde são recorrentes na APA, comprometendo a manutenção da qualidade da água

Os principais usos da água na APA São Bartolomeu são para agricultura, pecuária e piscicultura, todos em pequena escala. Uso urbano, doméstico e recreativo. Esses são os principais setores de uso da água que necessitam de maior atenção e monitoramento.

O resultado da superfície onde os recursos hídricos não recebem devida atenção e a população a considera apenas como mais um componente espacial, é uma paisagem que não passa despercebida, pois córregos receptores de esgoto *in natura* tanto urbano quanto de criatórios de animais, nascentes que recebem contato direto do gado e solo exposto. Todos esses comprometimentos afetam a paisagem superficial quanto a qualidade da água produzida na APA.

#### **4.2 Correlação da precipitação com os parâmetros físicos, químicos e biológicos utilizados no cálculo do IQA**

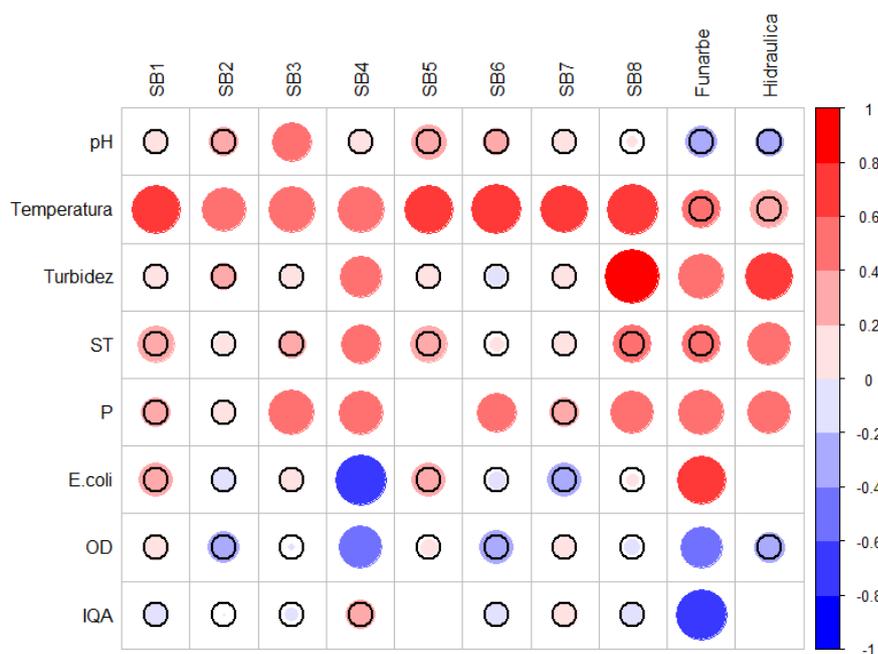
A relação estatística entre os parâmetros do IQA e os índices de precipitação estão apresentados no correlograma a seguir (Figura 31). Este gráfico contribui com a análise da relação entre a precipitação e os parâmetros físicos, químicos e biológicos. O teste de *t* de *Student* foi aplicado para verificar a significância estatística do coeficiente considerando 95% ( $\alpha$  de 0,05) de confiança.

O eixo das ordenadas, à esquerda, indica os parâmetros físicos, químicos e biológicos. As cores e tamanhos dos círculos indicam a força da correlação, azul para negativa (aumenta a precipitação e diminui a variável) e vermelho para positiva (aumenta a precipitação e aumenta a variável). A significância estatística é indicada por círculos de contorno preto para os casos estatisticamente insignificantes considerando  $\alpha$  de 0,05.

O parâmetro temperatura e turbidez apresentaram correlação positiva na presença de maiores volumes de precipitação. A temperatura apresentou resultados estatisticamente significativos para todas as sub bacias; e a turbidez apresentou na SB8 e L2 (lagoa de acumulação). De acordo com Kun et al (2021), superfícies impermeabilizadas dificultam a infiltração natural da água da chuva, levando a uma diminuição da capacidade de regulação e armazenamento da superfície subjacente das superfícies impermeabilizadas, resultando em aumento significativo do escoamento da precipitação.

Portanto, superfícies impermeabilizadas resultam em águas superficiais com temperaturas mais elevadas em decorrência de maior exposição ao sol. Em vista da situação, é possível que a correlação entre temperatura e precipitação esteja atrelada à maior absorção de calor pelas áreas impermeáveis e conseqüentemente, pelas águas pluviais.

Figura 31 - APA São Bartolomeu, Viçosa–MG - Correlação de Spearman entre os parâmetros físicos, químicos e biológicos e a precipitação nas sub bacias da, em 2023–2024



Legenda: Círculos em preto indicam insignificância estatística ( $\alpha$  de 0,05) utilizando o teste *t-student*.  
Fonte: A autora 2025.

Correlações positivas entre precipitação e turbidez encontradas na SB8 e L2 podem ser associados com o escoamento superficial. Neste ponto, o que se deve considerar é o acúmulo de sedimento proveniente dos córregos contribuintes e da L1. Correlações positivas entre precipitação e turbidez mostradas no correlograma, são semelhantes aos resultados encontrados por Rodrigues (2021), no rio das Antas (Paraná), utilizando a correlação de Pearson, em áreas com diferentes ocupações humanas. Utilizando correlação de Spearman, Oliveira e Cunha (2014), encontraram forte correlação entre turbidez, *E. coli* e precipitação mensal, na bacia hidrográfica do rio Jari – Amapá. Os autores pontuaram que turbidez elevada compromete as condições sanitárias, especialmente o abastecimento, envolvendo custos com captação e tratamento da mesma (OLIVEIRA e CUNHA, 2014).

A intensidade e a duração da precipitação podem influenciar a qualidade da água superficial, pois na sequência de chuvas intensas o material fecal de áreas agrícolas e urbanas

podem ser carregados com partículas em suspensão para os cursos d'água, o que impactaria diretamente na turbidez da água (OGORZALY et al., 2009).

Em análise de água de bacia hidrográfica urbanizada na França, Ogorzaly (2009), obteve relação entre eventos de chuvas intensas e aumento da contaminação fecal provenientes de fontes não pontuais em águas superficiais e relaciona que a intensidade e a duração da precipitação podem influenciar a qualidade da água superficial, pois na sequência de chuvas intensas o material fecal de áreas agrícolas e urbanas é carregado com partículas superficiais expostas no solo.

Ainda de acordo com os resultados apontados pelo correlograma, alguns parâmetros apresentaram alteração na redução ou ausência de precipitação. Os menores níveis de precipitação estão correlacionados com valores elevados de *E. coli* na SB4, demandas elevadas de OD na SB4 e L2 e IQA reduzido na L2.

A escassez de oxigênio é generalizada em águas doces tropicais, especialmente em riachos (CHAPMAN, 2000) e quedas em seus níveis são consideráveis nos períodos de seca (MOHAMMED, 2024). A depleção de OD pode estar associada a águas menos turbulentas (ARNOTT et al. 2021), que neste caso, confere com largura e volume de água contido no córrego do Paraíso (SB4). Águas mais turbulentas são mais oxigenadas e possuem maior capacidade de promover a decomposição de resíduos naturais e antrópicos.

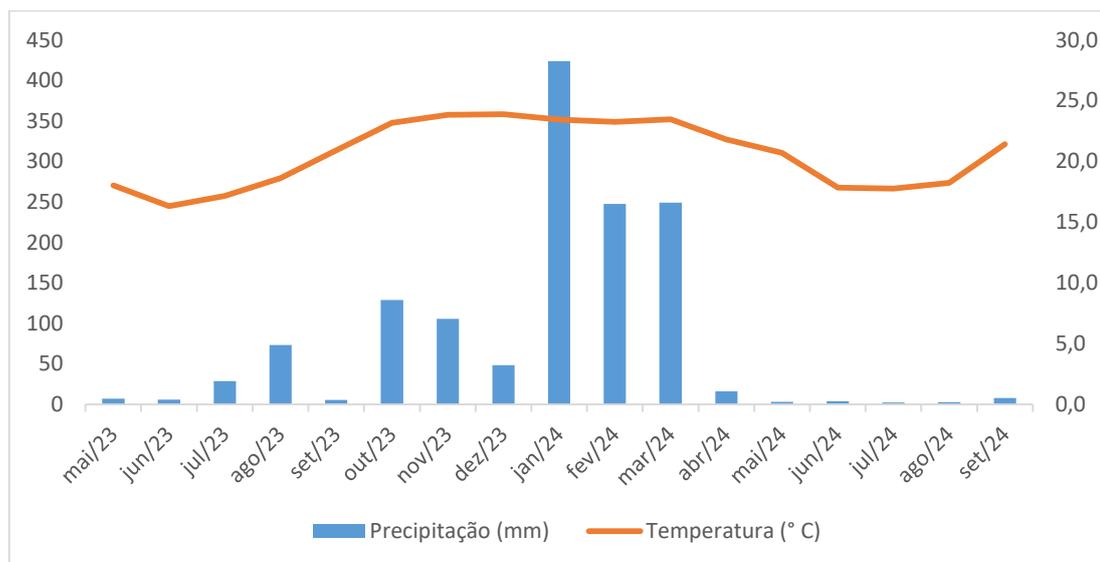
Estudo realizado por Catalão et al, 2024, apontam que a precipitação reduzida pode levar um ecossistema lacustre a um regime mais produtivo, mesmo com declínio na carga externa de nutrientes.

Trabalhos como este, são potencializados com banco de dados históricos que possibilitam o acompanhamento das tendências nos parâmetros químicos, físicos e biológicos que ocorrem junto com a urbanização, enquanto a análise das alterações na cobertura do solo ajuda a identificar conexões entre as tendências da qualidade da água e as transformações na paisagem

De forma geral, os padrões de precipitação apresentam-se conforme o regime chuvoso da região, com inverno seco e verão chuvoso (Figura 32). Durante o período estudado os valores de precipitação encontrados (1290 mm) na estação chuvosa são corroborados com a literatura. Lacerda et al. (2022), em análise detalhada sobre os índices de precipitação em Viçosa, confirmou a permanência dos registros pluviométricos 1968. No entanto, Comini et al. (2020) aponta que nos anos de 2014, 2015 e 2016, houve redução nos valores de precipitação e prolongamento da estação seca na área de estudo, registrada a menor vazão no São Bartolomeu (16L/s) em 25 de setembro de 2017.

Diversas interferências locais têm contribuído para a redução da vazão do São Bartolomeu. A construção de pequenas represas próximas às cabeceiras, o desmatamento das matas ciliares, do aparecimento de focos de erosão na zona rural, o traçado inadequado de estradas e de caminhos que favorecem desmoronamentos, a retirada indiscriminada da cobertura vegetal e a disposição inadequada do lixo (SOUZA; LASCHEFSKI, 2019).

Figura 32 - Viçosa-MG – Precipitação (mm) e temperatura (°C) em Viçosa entre maio de 2023 e setembro de 2024.



Fonte: Estação A510/INMET. Organização: A autora 2025..

O processo de prolongamento dos períodos de estiagem afeta substancialmente o abastecimento de água no município de Viçosa. Na campanha de campo de outubro de 2024 foi registrada a construção de uma estrutura para instalação de uma bomba para captação do volume morto da lagoa de armazenado (L1), (abaixo do nível das tubulações de captação das ETAs da UFV e do SAAE), para bombear água para a lagoa de captação (L2), conforme Figura 33. De toda forma, é possível que a distribuição espacial da precipitação esteja sendo afetada pelos processos das mudanças climáticas. Estudos direcionados são importantes para verificar se o município está sujeito ao longo período de estiagem como ocorrido entre 2014 e 2017, para que ações que visem minimizar os impactos sociais e ambientais sejam realizadas.

As Figuras 34 e 35 (STEPHAN, 2014; 2017) mostram a L1 nos dois períodos de longa estiagem que atingiu o município de Viçosa. O autor aponta como a seca expõe a quantidade de solo carreado até o reservatório, resultado do processo de ocupação agressiva à montante e maior demanda por água, na APA como um todo, mas especialmente na comunidade do Paraíso, objeto de estudo do autor.

Figura 33 - Ribeirão São Bartolomeu/Viçosa-MG. Estrutura para captação do ponto morto da L1 para L2. 10 de outubro de 2024



Fonte: A autora 2025.

Figura 34 – Ribeirão São Bartolomeu – Viçosa/MG - Lagoa de acumulação – UFV.



Fonte: Italo Stephan, 2014. Nota: L1 (reservatório de acumulação) no período da crise hídrica no município de Viçosa-MG no ano de 2014.

Figura 35 - Ribeirão São Bartolomeu – Viçosa/MG - Lagoa de acumulação – UFV.



Fonte: Italo Stephan, 2014. Nota: no período da crise hídrica no município de Viçosa–MG no ano de 2017.

Um dos principais pontos a serem considerados na situação atual da APA São Bartolomeu está relacionado ao uso e ocupação do solo. A baixa capacidade de armazenamento de água subterrânea na APA é resultado do atual estado de degradação (COMINI et al., 2020). Impactos das ocupações antropogênicas realizadas na superfície, como conversão da terra para agricultura e urbanização, afetam drasticamente as taxas de recarga das águas subterrâneas (HAN, 2017). Estas mudanças de uso da terra resultam em mudanças complexas no balanço hídrico, produzindo modificação dos mecanismos de recarga em função da impermeabilização e escoamento superficial, reverberando perda de quantidade e qualidade da água (HAN, 2017).

Neste cenário, ações concretas com objetivo de recuperação das áreas degradadas são necessárias objetivando a recuperação do potencial de recarga e manutenção da água no solo, para que nos períodos de estiagem os serviços ecossistêmicos permaneçam. Apoio, atividades de conscientização e orientação são necessárias aos pequenos agricultores para o desenvolvimento de práticas conservacionistas de proteção do solo e treinamento sobre o manejo e recuperação da cobertura vegetal adequados para minimizar os impactos negativos, uma vez que a APA é constituída de estrutura fundiária caracterizada por pequenas propriedades rurais que desenvolvem agricultura de subsistência e criação de bovinos para produção de leite (BEZERRA, 2011; DIAS, 2007).

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os estudos circunscritos no campo de análise dos recursos hídricos são complexos por envolverem múltiplos fatores que o afetam, desde situações naturais, antrópicas e, possivelmente, mudanças climáticas, uma vez que a o curso de água é sensível a quaisquer alterações em sua proximidade.

O desenvolvimento deste trabalho demonstrou uma relação entre a qualidade da água e o uso e ocupação da terra na APA do ribeirão São Bartolomeu; e as metodologias utilizadas se mostraram eficientes, ao revelar resultados que corroboram com a literatura.

As hipóteses levantadas foram confirmadas no sentido de que, APAs produzem água de qualidade potável condicionado as práticas de uso da terra circundante e a necessidade de gerenciamento contínuo para se adaptar às mudanças nas condições ambientais. Isso ressalta a importância de integrar considerações ecológicas no planejamento do uso da terra.

Constatou-se que houve expansão de 63% da vegetação arbórea na APA entre os anos de 1993 e 2023. Essa expansão pode ser resultado da institucionalização de legislações sobre o uso do solo, do Decreto de criação da APA São Bartolomeu e dos projetos socioambientais de organizações e sociedade civil organizada. Apesar do aumento da área de vegetação na superfície, foi constatado, a partir dos resultados encontrados por Alvareli Junior (2014), Comini (2020), Gomes (2012) e Souza e Laschefski (2019), uma redução da vazão nos cursos d'água da APA.

As águas do córrego São Bartolomeu são as mais contaminadas, ao receberem maior aporte de água dos demais córregos contribuintes, sendo que os principais parâmetros que afetam a qualidade da água são o *E. coli* e OD. Possivelmente, essa contaminação de *E. coli* e maior demanda de OD é proveniente de esgoto *in natura* e do escoamento superficial acompanhado de matéria orgânica dispostos na superfície. Além disso, a quantidade de água nos córregos pode ser insuficiente para realizar a autodepuração dessa carga depositada nos mesmos.

Com isso, salienta-se a importância de identificar e monitorar os locais com lançamento de efluentes oriundos de criadores de animais e ampliar o monitoramento das propriedades dos agricultores e pecuaristas, a fim de reverter o quadro de pastagens degradadas e excesso de uso de fertilizantes naturais.

Conforme apresentado, os índices de precipitação não apresentaram alterações significativas no padrão do regime de chuvas. Apesar disso, há indícios de redução da vazão, o

que pode estar relacionada ao uso da terra, superfície impermeabilizada e pastagens degradadas, impactando na infiltração da água.

Esses fatores podem ter contribuído para a alteração nas análises de correlação entre os parâmetros de sólidos totais, turbidez e fósforo total, pois foram os que apresentaram a maior correlação com a precipitação.

Outra possível fator que impactou na redução da vazão pode ter sido a expansão da vegetação arbórea, devido a necessidade de mais água. Portanto, até que essa vegetação atinja seu clímax, é possível que uma das razões da redução das vazões esteja atrelada às necessidades da floresta. No entanto, ao atingir sua fase adulta, a água retorna com maior quantidade e as vazões não se apresentam tão discrepantes diante das estações secas e chuvosas.

Esse processo de retorno das vazões em níveis desejáveis dependerá da interferência na superfície da APA, pois os resultados encontrados neste trabalho apontam que intervenções antropogênicas podem resultar no sistema da APA São Bartolomeu, impactando na redução das vazões, contaminação de suas águas e na queda do IQA, índice utilizado para avaliação da qualidade da água dos córregos que compõem a APA São Bartolomeu.

Aliado a esses resultados, sugere-se análises futuras mais direcionadas sobre a precipitação em associação aos registros de vazão de cada córrego que alimenta o ribeirão São Bartolomeu; estudar o nível de assoreamento das lagoas de acumulação e captação, observando que a primeira recebe volume considerável de material carreado a montante; realizar trabalhos efetivo junto às comunidades, bairros e condomínios localizados no interior da APA, sobre tratamento de esgoto e disposição do lixo urbano; e identificar, mapear e monitorar os efluentes dos criadores de bovinos e suinocultores, objetivando manter a qualidade das águas da APA.

Finalmente,

## **AVANÇOS EM RELAÇÃO AOS TRABALHOS ANTERIORES**

- a) Atualização das informações sobre os recursos hídricos;
- b) Atualização do uso e ocupação do solo na APA;
- c) Análise da correlação entre precipitação e os parâmetros químicos, físicos e biológicos da água na APA;
- d) Identificação da expansão da cobertura vegetal na APA.

## REFERÊNCIAS

- ABBASI, T.; ABBASI, S. A. Water quality indices. [S. l.]: Elsevier, 2012.
- AHMAD, I. et al. Harmonious level indexing for ascertaining human–water relationships. *Environmental earth sciences*, [S. l.], v. 77, p. 1-9, 2018.
- AKBAYEVA, L. K. H. et al. The ability of natural waters to self-purify, depending on the degree of chemical pollution. *Eurasian Journal of Ecology*, [S. l.], v. 79, n. 2, p. 32-41, 2024.
- ALENCAR, V. E. S. A. et al. Análise de parâmetros de qualidade da água em decorrência de efeitos da precipitação na baía de Guajará–Belém–PA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 12, n. 2, p. 661-680, 2019.
- ALVARELI JÚNIOR, S. Strategic environmental assessment: application potential to the watershed of São Bartolomeu river, Viçosa - MG. 2014. 62 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Surface freshwater quality in Brazil: outlook 2012: executive summary**. Brasília: ANA, 2012.
- ANDRADE, R. C. Indicadores não convencionais para o rastreamento de fontes de contaminação fecal em bacias hidrográficas. 2015. 129 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2015.
- ANGELAKIS, A. N. et al. Water conflicts: From ancient to modern times and in the future. *Sustainability*, [S. l.], v. 13, n. 8, p. 4237, 2021.
- Arnott R. N., Cherif M., Bryant L. D. & Wain D. J. 2021 Artificially generated turbulence: A review of phycollogical nanocosm, microcosm, and mesocosm experiments. *Hydrobiologia* 848 (5), 961–991. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04487-5>.
- ARAÚJO, J. C. et al. Water Management causes increment of reservoir silting and reduction of water yield in the semiarid State of Ceará, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, [S. l.], e104102, 2023.

ASSIS, L. C. L.; BUFFO, M. M.; SILVEIRA, A. Desenvolvimento de metodologia para correlação entre precipitação e a variação da concentração de sedimentos em suspensão no escoamento superficial urbano. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, [S. l.], v. 27, n. 2, p. 423-434, 2022.

BEILICCI, E. B. M.; BEILICCI, R. F.. The study of the variation of the hydrological regime in a representative hydrographic basin during a hydrological cycle. *Aerul si Apa. Componente ale Mediului*, [S. l.], p. 147-158, 2024.

BENETTI, A.; BIDONE, F. *O Meio ambiente e os recursos hídricos*. In: TUCCI, C. E. M. (Org.) *Hidrologia: ciência e aplicação*. 3. ed. Porto Alegre: Ed. da UFRGS/ABRH, 2002. p. 849-875.

BENJAMIN, A. H.; MARQUES, C. L.; TINKER, C. The water giant awakes: an overview of water law in Brazil. *Tex L. Rev.*, [S. l.], v. 83, p. 2185, 2004.

BEZERRA, N. R. Aplicação de redes bayesianas na identificação de perigos em sistemas de abastecimento de água para consumo humano: estudo de caso no município de Viçosa-Minas Gerais. 2011. 164 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

BIASSIO, Vanessa Cristina de. Tratamento de efluente na indústria de eucalipto utilizando eletroflotação: Effluent treatment in the eucalyptus industry using electroflotation. 2017. 1 recurso online (82 p.) Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, 2017.

BORSATO, F. H.; MARTONI, A. M. Estudo das fisiografias das bacias hidrográficas urbanas no município de Maringá, Estado do Paraná. *Acta Scientiarum*, Maringá, v. 26, n. 2, p. 273-285, 2004.

BRAGA, A. J. T. et al. Influência dos fatores edáficos na variação florística de floresta estacional semidecidual, em Viçosa, MG. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.39, n.4, p.623-633, 2015.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de

março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm). Acesso em: 07 mai. 2024.

BRASIL. Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, §1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19985.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm). Acesso em: 07 mai. 2024.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: [www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf). Acesso em: 03 fev. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Seção 1, p. 58-63, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: [www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf). Acesso em: 03 fev. 2024.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2 set. 1981. Disponível em: [www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf). Acesso em: 03 fev. 2024.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. *Revista Ambiente & Água*, [S. l.], v. 8, p. 186-205, 2013.

CABRAL, D. de C. A bacia hidrográfica como unidade de análise em história ambiental. *Revista de História Regional*, [S. l.], v. 12, n. 1, 2007.

CARVALHO, R. G. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. *Caderno Prudentino de Geografia*, [S. l.], v. 1, n. 36, p. 26–43, 2014.

CASTRO, P.S.; VALENTE, O.F.; COELHO, D.T. Interceptação da chuva por mata natural secundária na região de Viçosa, MG. *Revista Árvore*, v.7, n.1, p.76-88, 1983.

CASTRO, R. V. A. Modelagem de árvore individual para uma floresta estacional semidecidual utilizando redes neurais. 2012. 116 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

Catalan, J., Monteoliva, AP, Vega, JC et al. A precipitação reduzida pode induzir mudanças no regime do ecossistema em lagos aumentando a reciclagem interna de nutrientes. *Sci Rep* 14 , 12408 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-62810-9>

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Apêndice E. Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem. Manual técnico. 2016. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2018/03/Apendice-E-Significado-Ambiental-e-Sanitario-das-Variaveis-de-Qualidade-2016.pdf>. Acesso em 20 fev. 2024.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo: 2009. São Paulo: CETESB, 2009.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Monitoramento de *Escherichia coli* e coliformes termotolerantes em pontos da rede de avaliação da qualidade de águas interiores do Estado de São Paulo. 2008. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguasinteriores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/2008-ecoli.pdf>. Acesso em 10 ago. 2024.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo: Apêndice E – Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade. 2017b. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguasinteriores/wpcontent/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-E-Significado-Ambiental-eSanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-2016.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2024.

Chapman, L. J., Chapman, C. A., Crisman, T. L., & Prenger, J. (2000). Preditores dos níveis sazonais de oxigênio em um sistema de pântano/rio de Uganda: um perfil de 3 anos. *Anais SIL*, 1922-2010, 27(5), 3048–3053. <https://doi.org/10.1080/03680770.1998.11898237>

CHIVANGA BARROS, A. A.; PINTO, A. N. F.; AFONSO FUTA, M. de A.; NGOLA, A. J.; AMÕES, C.; OLIVEIRA, C.; ALVES, P.; MATEUS, E.; MINUNSIDI, C.; PIPPO, T.; ZAU, F. S. de P.; AFONSO, H. Estudo de destilador solar para produção de água doce por dessalinização de água do mar. *Atualizações de pesquisa do Journal of Chemical Engineering*, [S. l.], v. 49–59, 2022.

CHONG, Bao et al. K-means clustering algorithm: a brief review. *Academic Journal of Computing & Information Science*, v. 4, n. 5, p. 37-40, 2021.

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

COELHO, M. C. N. Impactos ambientais urbanos em áreas urbanas: teorias, conceitos e métodos de pesquisa. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). *Impactos Ambientais Urbanos no Brasil*. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. p. 19-45.

COELHO, A. C.; GONTIJO JUNIOR, W. C.; CARDOSO NETO, A. *Unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos: uma proposta metodológica*. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2004.

COMINI, U. B. et al. Hydrological modelling in small ungauged catchments. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 92, n. 2, p. e20180687, 2020.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. 2 ed. [S. l.]: CRC Press, 2009.

CONGEDO, L. Semi-automatic classification plugin: a python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software*, [S. l.], v. 6, n. 64, p. 3172, 2021.

CONTI, J. B.; FURLAN, S. A. Geocologia: o clima, os solos e a biota. In: ROSS, J. L. S. (org.). *Geografia do Brasil*. 4 ed. São Paulo: EdUSP, 2001.

CORREA, L. M. W. A aplicabilidade da Política Nacional de Recursos Hídricos – Lei nº 9.433/97. 2017. 51 f. Tese (Doutorado em Direito) – Universidade Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2017.

CORRÊA, G. F. Modelo de evolução e mineralogia da fração argila de solos do planalto de Viçosa, MG. 1984. 187f.. Dissertação (Mestrado em Solos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1984.

COSTA, T. A. et al. Conflitos de uso da terra na microbacia do São Bartolomeu-Viçosa, MG. *Floresta e Ambiente*, v. 20, p. 281-295, 2013.

CUNHA, A. C. Modelo matemático de avaliação do processo de autodepuração de matéria orgânica em reservatórios: uma ferramenta de gestão. 2020. Tese (doutorado em Tecnologia) – Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2020.

CUNHA, R. W. et al. Qualidade de água de uma lagoa rasa em meio rural no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 17, n. 7, p. 760-767, jul. 2013.

DAMAME, D. B.; LONGO, R. M.; DE OLIVEIRA, E. D. Impactos ambientais do uso e ocupação do solo em sub-bacias de Campinas, São Paulo, Brasil. *Acta Brasiliensis*, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 1-7, 2019.

DE ANDRADE, A. M.; POELKING, E. L.; FERNANDES FILHO, E. I. Uso e ocupação das áreas de preservação permanente na bacia do São Bartolomeu. 2009. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/281443663\\_USO\\_E\\_OCUPACAO\\_DAS\\_AREAS\\_DE\\_PRESERVACAO\\_PERMANENTE\\_NA\\_BACIA\\_DO\\_SAO\\_BARTOLOMEU\\_VICOSA\\_MG](https://www.researchgate.net/publication/281443663_USO_E_OCUPACAO_DAS_AREAS_DE_PRESERVACAO_PERMANENTE_NA_BACIA_DO_SAO_BARTOLOMEU_VICOSA_MG). Acesso em: 20 jan. 2024.

DE CAMPOS, E. P. et al. Chuva de sementes em Floresta Estacional Semidecidual em Viçosa, MG, Brasil. *Acta bot. bras*, [S. l.], v. 23, n. 2, p. 451-458, 2009.

DE PAULA, M. R.; BENEDETTI, A. C. P.; PEREIRA FILHO, W. Influência do uso e cobertura da terra aliado à precipitação pluviométrica na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Ingaí-RS/Brasil. *Revista do Departamento de Geografia*, [S. l.] v. 32, p. 143-152, 2016.

DE OLIVEIRA, B. S. S.; DA CUNHA, A. C. Correlation between water quality and precipitation variability in the Southern State of Amapá. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, [S. l.] v. 9, n. 2, p. 261-275, 2014.

DIAS, G. M. F. Qualidade microbiológica da água da bacia do ribeirão São Bartolomeu, Viçosa – MG: análise epidemiológica, ambiental e espacial. 2007. 136 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

DUARTE, G. S.; COSTA, G. E.; OLIVEIRA, A. P.; BARROS, R. S.; CRUZ, C. B. M. O uso da geometria do Landsat 8 como base para georreferenciamento semiautomático visando estudos espaço-temporais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17, 2015, João Pessoa. Anais... Cachoeira Paulista: INPE, 2015.

ESTEVES, F. de A. *Fundamentos de limnologia*. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FAYER, G. C. et al. Crise hídrica: Evolução dos decretos estaduais sobre escassez hídrica em Minas Gerais. In: Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do SUL, 3., 2017, Juiz de Fora. Anais do III Simpósio de Recursos Hídricos do Rio Paraíba do Sul. Juiz de Fora: [s. n.], 2017. p. 1-10.

FERREIRA, K. C. D. et al. Adaptação do índice de qualidade de água da National Sanitation Foundation ao semiárido brasileiro<sup>1</sup>. *Revista Ciência Agronômica*, [S. l.], v. 46, n. 2, p. 277-286, 2015.

FERREIRA, E.; DANTAS, A. A. A; MORAIS, A. R. de. Exatidão na classificação de fragmentos de matas em imagem do satélite Cbers-CCD, no município de Lavras, MG. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento, 13., 2007, Florianópolis. Anais [...]. Florianópolis: INPE, 2007. 887-894.

FERREIRA, D. A. C; DIAS, H. C. T. Situação atual da mata ciliar do ribeirão São Bartolomeu em Viçosa, MG. *Revista Árvore*, [S. l.], v. 28, p. 617-623, 2004.

FIEP. Reuso da Água. 2024. Disponível em:

<https://paineldemudancasclimaticas.org.br/noticia/reuso-da-agua>. Acesso em: 20 jan. 2024.

FIGUR, C.; REIS, J. T. A influência do uso e cobertura da terra nos parâmetros da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Abaúna, em Getúlio Vargas, RS. *Ciência e Natura*, [S. l.], v.39, n.2, pp. 352-365, maio/ago. 2017

FIGLIANO, C. H. U. Estudo do oxigênio dissolvido aliado à análise de uso de solo da área de preservação permanente do Rio Castelo-ES, Brasil / Dissolved oxygen study allied in the soil use analysis of the permanent preservative area of the castelo River-ES, Brazil. *Brazilian Journal of Development*, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 887–900, 2018.

FLORENZANO, T. G. *Iniciação em sensoriamento remoto*. 3.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

FOLEY, J. A. et al. Global consequences of land use. *Science*, [S. l.], v. 309, n. 5734, p. 570-574, 2005.

FRAGOSO JR, C. R.; FERREIRA, T. F.; DA MOTTA MARQUES, D. *Modelagem ecológica em ecossistemas aquáticos*. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

NASCIMENTO, A. R. et al. Abordagem sistêmica aplicada à compreensão da dinâmica de degradação Ambiental – um estudo de caso. In: FONTES, L. E. F. et al. Recursos hídricos e percepção ambiental no município de Viçosa, MG. Viçosa: [s. n.], 2006.

GARDON, F. R. Land prioritization: An approach to the effective environmental planning of hydrographic basins. *Environmental Management*, [S. l.], v. 67, n. 4, p. 623-631, 2021.

GITHUB. nkarasiak/dzetsaka. 2024. Disponível em: <https://github.com/nkarasiak/dzetsaka>. Acesso em: 29 abr. 2024.

GOMES, M. A. et al. Solos, manejo e aspectos hidrológicos na bacia hidrográfica do Araújos, Viçosa – MG. *Revista Árvore*, Viçosa, v.36, n.1, p.93-102, 2012.

GRUNITZKI, R.; FERRARI, J. C.; SILVA, A. C.; ZAMBÃO, P. H.; NECKEL, E. V. P. Ferramenta Web para determinação do Índice de Qualidade de Água a partir da reestruturação das equações que descrevem as curvas dos indicadores de qualidade. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2013, Bento Gonçalves, RS. Anais... Bento Gonçalves, 2013.

HAN, D. et al. Alterations to groundwater recharge due to anthropogenic landscape change. *Journal of Hydrology*, [S. l.], v. 554, p. 545-557, 2017.

HE, C. et al. Exploring the influence mechanism of meteorological conditions on the concentration of suspended solids and chlorophyll-a in large estuaries based on MODIS imagery. *Water*, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 375, 2019.

HIGUCHI, P. Dinâmica da regeneração natural da vegetação arbórea em um fragmento de floresta estacional semidecidual montana secundária, em Viçosa, MG. 2003. 119 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

HONÓRIO, L. M. A produção do espaço em uma cidade universitária: o caso de Viçosa, MG. 2012. 119 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

HORTON, R. K. An index number system for rating water quality. *Water quality criteria-stream vs. effluent standards*. *J Wat Pollut Contr Fed*, v. 37, n. 3, p. 292-315, 1965.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Brasil: redes geográficas. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/>. Acesso em: 29 abr. 2024.

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Monitoramento da Água Superficial. Disponível em: <http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/gestao-dasaguas/monitoramento/agua-superficial>. Acesso em: 05 ago. 2024.

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Relatório de Gestão e Situação de Recursos Hídricos de Minas Gerais. 2012. Disponível em: <http://repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/handle/123456789/3451>. Acesso em: 10 fev. 2024.

KEHOE, M. J.; CHUN, K. P.; BAULCH, H. M. Who smells? Forecasting taste and odor in a drinking water reservoir. *Environmental science & technology*, [S. l.], v. 49, n. 18, p. 10984-10992, 2015.

KEMERICH, P. D. da C.; RITTER, L. G.; DULAC, V. F. Gerenciamento de comitês de bacia: desafios e potencialidades. *Revista Monografias Ambientais*, [S. l.], v. 13, n. 4, p. 3737–3743, 2014.

KÖPPEN, W. P. *Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra*. México: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478 p.

KUNZ, S. H.; MARTINS, S. V. REGENERAÇÃO NATURAL DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL EM DIFERENTES ESTÁGIOS SUCESSIONAIS (ZONA DA MATA, MG, BRASIL). *Floresta*, [S. l.], v. 44, n. 1, 2014.

LACERDA, Maurício Silva et al. Precipitation pattern in Viçosa-MG: a case study via time series. *Revista Agrogeoambiental*, [S. l.], p. e20221642-e20221642, 2022.

LIBÂNIO, M. *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. 3.ed. Campinas: Átomo, 2010.

LIMA, S. C. M. Avaliação Histórica da Qualidade da Bacia Representativa do Rio Piabanha através de Índices de Qualidade da Água. 2021. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, 2021.

LIMA, A. C. S. O. L. Adequação do índice de qualidade de água da National Sanitation Foundation para a bacia hidrográfica do rio Guandu, no Estado do Rio de Janeiro. 2023.104 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

LONGO, R. M.; SILVA, A. L.; CARVALHO, M. M.; RIBEIRO, A. Í. Métricas da paisagem e qualidade ambiental nos remanescentes florestais do Ribeirão Quilombo em Campinas/SP. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 34, n. 1, e71899, p. 1-22, 2024.

MAGNO, L. Conflitos ambientais e planejamento urbano: algumas considerações a partir do caso de Viçosa-MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFOS, 7, 2014, Vitória. Anais... São Paulo: AGB, 2014. p. 1-12.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. *Fundamentos de metodologia científica*. 8.ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; NOBRE, C. A. Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos. In: de MATTOS BICUDO, C.; GALIZIA TUNDISI, J.; CORTESÃO BARNSLEY SCHEUENSTUHL, M. (Org.). *Águas do Brasil*. [S. l.]: Springer, 2017.

- MARIA, A. C. S.; CAIXEIRO STEPHAN, Ítalo I. Expansão urbana para as áreas rurais da zona sul do município de Viçosa-MG. *Brazilian Geographical Journal*, Ituiutaba, v. 12, n. 2, p. 4–19, 2021.
- MARISCAL-FLORES, E. J. Potencial produtivo e alternativas de manejo sustentável de um fragmento de Mata Atlântica secundária, Município de Viçosa, Minas Gerais. 1993. 165 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.
- MATOS, F. C. et al. A Gestão de Recursos Hídricos e os Comitês de Bacias Hidrográficas em Minas Gerais. *Rev. Min. Rec. Hidr.*, Belo Horizonte, v.1, n.2, p. 1- 37, 2020.
- RMRH - Rev. Min. Rec. Hidr., Belo Horizonte, v.1, n.2, p. 1- 37. jul./dez. 2020.
- MEDEIROS, A. D.; COSTA, D. F. S.; DE LIMA, E. R. V.; OLIVEIRA, A. Abordagem de multiescalas como estratégia de análise ambiental em Microbacias Hidrográficas (A multi-scale approach as a strategy for environmental analysis of hydrographic microbasins). *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 9, n. 6, p. 2003–2012, 2016.
- MENDES, S. A. N. S. Influência da sedimentação de sólidos em suspensão na dinâmica da contaminação fecal no estuário do Tejo. 2017. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Gestão Ambiental) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2017.
- MENDONÇA, F. Diagnóstico e análise ambiental de microbacia hidrográfica: proposição metodológica na perspectiva do zoneamento, planejamento e gestão ambiental. *RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise*, [S. l.], v. 3, 1999.
- MENEZES, J. P. C. et al. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, [S. l.], v. 21, n. 03, p. 519-534, 2016.
- MESQUITA, L. F. G. Os comitês de bacias hidrográficas e o gerenciamento integrado na Política Nacional de Recursos Hídricos. *Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente*, [S. l.], v. 45, p. 56-80, 2018.
- MICHELI, Camila de Mello et al. Utilização do modelo matemático de Streeter-Phelps de oxigênio dissolvido aplicado na qualidade da água do Rio Quilombo na região oeste catarinense. *Anais de Engenharia Química*, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 166-187, 2022.

MINAS GERAIS. Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e institui o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LEI/13199/1999/?cons=1>. Acesso em: 20 fev. 2024.

Mohammed, A., Mengistou, S., & Fetahi, T. (2024). <i>Evaluation of water quality and trophic status in relation to seasonal water mixing in a highland Lake Ardibo, Ethiopia</i>. <https://doi.org/10.2166/wst.2024.128>. Acesso em 20 fev. 2025

MOUNTEER, A. H. *CIV 442 – Qualidade da Água*: apostila de aulas práticas. Viçosa: UFV, 2017.

MOURA, R. W. M. Impacto das mudanças climáticas na qualidade da água na bacia do rio Piracicaba/MG. 84 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua), Instituto de Ciências Puras e Aplicadas, Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Campus de Itabira, Minas Gerais, Brasil, 2023.

MUNIZ, G. L. Qualidade da água do ribeirão São Bartolomeu avaliada pelo índice de qualidade da água em ponto de captação para abastecimento no período seco. *Holos*, [S. l.], ano 35, v. 7, e5579, 2019.

NENGZI, L. et al. Influence of Temperature on the Removal Efficiency of Organic Matter and Ammonia from Micro-Polluted Source Water. *Water*, [S. l.], v. 15, n. 15, p. 2695, 2023.

NETO, J. A. A. M.; MARTINS, F. R. Estrutura do sub-bosque herbáceo-arbustivo da Mata da Silvicultura, uma floresta estacional semidecidual no município de Viçosa-MG. *R. Árvore*, Viçosa-MG, v.27, n.4, p.459-471, 2003.

NOVO, E. M. L. M. *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. 4.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.

NUNES, D. M. USO INTEGRADO DO MODELO SHALSTAB E ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS AOS

ESCORREGAMENTOS DE TERRA NA BACIA DO RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU, VIÇOSA – MG. *Revista Brasileira de Cartografia*, [S. l.], v. 68, n. 9, 2017.

OBIALOR, C. A. et al. Reservoir sedimentation: causes, effects and mitigation. *International Journal of Advanced Academic Research*, [S. l.], v. 5, n. 10, p. 92-109, 2019.

OBILOR, E. I.; AMADI, E. C. Test for Significance of Pearson's Correlation Coefficient (r). *International Journal of Innovative Mathematics, Statistics & Energy Policies*, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 11-13, 2018.

OGORZALY, L. et al. Relationship between F-specific RNA phage genogroups, faecal pollution indicators and human adenoviruses in river water. *Water research*, [S. l.], v. 43, n. 5, p. 1257-1264, 2009.

OLIVEIRA, A. R. M. Desenvolvimento de índices de qualidade da água com número reduzido de parâmetros. 2017. 129 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

OLIVEIRA, A. R. M. Development of a water quality index with a reduced number of parameters. *Engenharia Agrícola*, [S. l.], v. 42, n. 3, 2022.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. A. A study of the origin of central Brazilian forests by the analysis of plant species distribution patterns. *Edinburgh Journal of Botany*, [S. l.], v. 52, n. 2, p. 141-194, 1995.

OLIVEIRA-FILHO, E. C.; LIMA, J. E. F. W. Impacto da agricultura sobre os recursos hídricos na região do cerrado. Distrito Federal: Embrapa Cerrados, 2002.

OMER, N. H. Water quality parameters. *Water quality-science, assessments and policy*, [S. l.], v. 18, p. 1-34, 2019.

PAIXÃO, J. P. A. Conflitos ambientais na comunidade do Paraíso e seus entornos: cotidiano, mobilizações e embates na definição do rural e do urbano. 2023. 105 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de Viçosa, Viçosa, 2023.

PARFITT, C. M.; DE MATTOS, V. L. AVALIANDO O DESEMPENHO DE PLANO DIRETOR DE DESENVOLVIMENTO URBANO NA PRODUÇÃO DO ESPAÇO EM

ÁREAS DE PRESERVAÇÃO AMBIENTAL. Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território, [S. l.], n. 22, p. 230-253, 2021.

PARRON, L. M. et al. *Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica*. Brasília, DF: Embrapa, 2015.

PASSOS, A. L. L. Seleção de melhores parâmetros na definição de um índice de qualidade de água para o Distrito Federal. 2018. 74 f., il. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

PEARSON, VII. Mathematical contributions to the theory of evolution.—III. Regression, heredity, and panmixia. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, [S. l.], n. 187, p. 253-318, 1896.

PEREIRA, I. S. Indices of water quality for human consumption: modeling and influence of the use and occupation of land. 2014. 120 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

PEREIRA, B. W. F. et al. Uso da terra e degradação na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, PA, Brasil. *Ambiente & Água*, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 472-485, 2016

PINHEIRO, Joana Angélica. Análise da paisagem e áreas prioritárias para restauração florestal em uma microbacia da Zona da Mata mineira. 2015. 1 DVD. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

PINHEIRO, J. A. C. et al. Forest analysis in the landscape context at São Bartolomeu river basin, Viçosa-MG. *Revista Árvore*, [S. l.], v. 45, p. e4533, 2021.

POPPER, K. R. *A lógica da pesquisa científica*. São Paulo: Cultrix, 2001.

PRADO, R. B.; DI LULLO, L. B. Aplicação e Mapeamento de Índice de Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos - RJ. 2007. Disponível em: [https://abrh.s3.sa-east-](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/19/23f61b78e4f637c4ffbfd48701822093_f306fbdae52d418e771e44606af714ac.pdf)

[1.amazonaws.com/Sumarios/19/23f61b78e4f637c4ffbfd48701822093\\_f306fbdae52d418e771e44606af714ac.pdf](https://abrh.s3.amazonaws.com/Sumarios/19/23f61b78e4f637c4ffbfd48701822093_f306fbdae52d418e771e44606af714ac.pdf). Acesso em 15 fev. 2024.

QGIS. *Guia do usuário QGIS 3.34*. 2024. Disponível em:

[https://docs.qgis.org/3.34/pt\\_BR/docs/user\\_manual/](https://docs.qgis.org/3.34/pt_BR/docs/user_manual/). Acesso em: 29 abr. 2024.

R CORE TEAM. *R: a language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 30 ago. 2024.

RESENDE, M. Clima e solo: suas relações com o ambiente agrícola. *Informe Agropecuário*, [S. l.], v.12, n.138, p.43-49, 1985.

RIBAS, F. R. et al. Composição florística de dois trechos em diferentes etapas serais de uma floresta estacional semidecidual em Viçosa, Minas Gerais. *R. Árvore*, Viçosa-MG, v.27, n.6, p.821-830, 2003.

ROCHA, S. J. S. S. et al. Efeito da borda na estrutura e estoque de carbono de uma Floresta Estacional Semidecidual. *Adv. For. Sci.*, Cuiabá, v.6, n.2, p.645-650, 2019.

RODRIGUES, L. A. P. et al. Correlations between water quality and precipitation in areas with different levels of human occupation. *International Journal of Energy and Water Resources*, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 25-31, 2021.

RODRIGUES, C.; ADAMI, S. Técnicas de hidrografia. In: VENTURI, L. A. B. (org.). *Geografia: práticas de campo, laboratório e sala de aula*. São Paulo: Sarandi, 2009. p. 55-82.

ROVETTA, Alessandro. Raiders of the lost correlation: a guide on using Pearson and Spearman coefficients to detect hidden correlations in medical sciences. *Cureus*, v. 12, n. 11, 2020.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. (Eds.). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013.

SANTOS, M. L. R. M. A. Uso de marcadores moleculares na identificação das fontes de contaminação fecal em amostras de água e de areia. 2022. 120 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Humana e Ambiente) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2022.

SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas. 2.ed. São Paulo: Cetesb; Brasília: Ana, 2023.

SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo: parte 1 – Águas doces 2014. São Paulo: Cetesb, 2015. (Série Relatórios). Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Cetesb\\_QualidadeAguasSuperficiais2014\\_ParteI\\_vers%C3%A3o2015\\_Web.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Cetesb_QualidadeAguasSuperficiais2014_ParteI_vers%C3%A3o2015_Web.pdf). Acesso em: 01 abr. 2024.

SCHOBER, P.; BOER, C.; SCHWARTE, L. A. Correlation coefficients: appropriate use and interpretation. *Anesthesia & analgesia*, [S. l.], v. 126, n. 5, p. 1763-1768, 2018.

ŞENER, Şehnaz; ŞENER, Erhan; DAVRAZ, Ayşen. Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey). *Science of the total Environment*, [S. l.], v. 584, p. 131-144, 2017.

SERRAGLIO, S. D. a bacia do Córrego Limoeiro na perspectiva do Índice de Qualidade de Água para proteção da vida aquática. 2020. 135 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2020.

SILVA, R. S. B. et al. Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do Lixão de Salinópolis, PA. *Revista Ambiente & Água*, Taubaté, v. 13, n. 2, p. e2072, 2018.

SILVA, G. J. da; FRAGA, M. de S.; SILVA, D. D. da. Estudo da Capacidade de Regularização de Vazão na Bacia do Ribeirão São Bartolomeu visando abastecimento público. *Nativa*, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 102–111, 2020.

SILVA, P. L. C. et al. Developing a Modified Online Water Quality Index: A Case Study for Brazilian Reservoirs. *Hydrology*, [S. l.], v. 10, n. 115, p. 1-17, 2023.

SILVA, C. H. C. Identificação de fragilidades ambientais na Bacia do Ribeirão São Bartolomeu, Viçosa-MG utilizando análise multicritério. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

SILVA JUNIOR, W. M. Caracterização florística e fitossociológica da regeneração natural em dois trechos de uma floresta estacional semidecidual no município de Viçosa, MG. 2002. 87 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2002.

SILVEIRA, L. G. Estudo comparativo da utilização do IQA-NSF e IQA-CCME para análise da qualidade da água no estado do Rio De Janeiro. 2018. 63 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) - Universidade Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

SIMÕES, D. P.; OLIVEIRA, A. M. S. Spatial planning of the Bueno Brandão (MG) municipality with emphasis on hydrographic sub-basins. *Revista Agrogeoambiental*, [S. l.], v. 16, n. unico, p. e20241849-e20241849, 2024.

SINGH, Vir. *Water Pollution*. In: Textbook of Environment and Ecology. Singapore: Springer Nature Singapore, 2024. p. 253-266.

SHEN, L. et al. Dynamic sustainability performance during urbanization process between BRICS countries. *Habitat International*, [S. l.], v. 60, p. 19-33, 2017.

SOARES, V. P. et al. Mapeamento de áreas de preservação permanentes e identificação dos conflitos legais de uso da terra na bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu-MG. *Revista Árvore*, [S. l.], v. 35, p. 555-563, 2011.

SOUSA, A. Coeficiente de correlação de Pearson e coeficiente de correlação de Spearman. O que medem e em que situações devem ser utilizados?. «Correio dos Açores: Matemática», 2019, p. 19.

SOUZA DIAS, S.; LASCHEFSKI, K. CONFLITOS AMBIENTAIS E GESTÃO DA ÁGUA: PROBLEMAS DE ABASTECIMENTO, URBANIZAÇÃO E MINERAÇÃO EM VIÇOSA, MG. *Boletim de Geografia*, [S. l.], v. 37, n. 3, 2019.

SRIVASTAVA, G. Water Quality Index with Missing Parameters. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, v. 2, n. 4, p. 604-614, 2013.

STEPHAN, Ítalo. *Viçosa, MG: Conselho Municipal de Patrimônio Cultural e Plano Diretor como Instrumentos aliados na preservação*. Disponível em: [http://www.forumpatrimonio.com.br/seer/index.php/forum\\_patrimonio/article/view/77](http://www.forumpatrimonio.com.br/seer/index.php/forum_patrimonio/article/view/77). Acesso em jan. 2025.

STEPHAN, I. I. C. Desafios do controle da produção do espaço urbano em Viçosa (MG). *Revista de Ciências Humanas*, Viçosa, v. 1, n. 24, 2024.

SYEED, M. M. et al. Surface water quality profiling using the water quality index, pollution index and statistical methods: A critical review. *Environmental and Sustainability Indicators*, [S. l.], v. 18, p. 100247, 2023.

THEODORO, H. D.; MARQUES, D. Análise de modelos institucionais de recursos hídricos, com foco em Minas Gerais, Brasil. *Sustentabilidade em Debate*, Brasília, v. 5, n. 1, p. 117-135, 2014.

TORRES, L. A. F.; BATISTA, R. A. N.; MEDEIROS, Y. Índices de qualidade das águas na gestão de Recursos Hídricos. 2001. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/155/86.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2024.

TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 3.ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2002a.

TUCCI, C. E. M. *Impactos da variabilidade cíclica e mudança no uso do solo sobre os recursos hídricos: estudo preparado como contribuição da ANA – Agência Nacional de Águas para a Câmara Temática sobre Recursos Hídricos do Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas*. Brasília: ANA, 2002b.

TUCCI, C. E. M. *Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 2, n. 2, p. 5-12, 1997.

UCKER, F. E.; RODRIGUES, N. L. Physico-Environmental Characterization of the Micro Basin Contributing to Fazenda Nova's (Goiás) Public Water Supply. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, [S. l.], v. 6, n. 6, p. 593-601, 2019.

UDDIN, M. G.; NASH, S.; OLBERT, A. A Review of Water Quality Index Models and Their Use for Assessing Surface Water Quality. *Ecological Indicators*, [S. l.], v. 122, 2021.

USGS - United States Geological Survey. *Landsat 9 data users handbook*. 2022. Disponível em: <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-9-data-users-handbook>. Acesso em: 29 abr. 2024.

USGS - United States Geological Survey. *Earth Explorer*. 2024. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 29 abr. 2024.

VALVERDE, O. Estudo regional da Zona da Mata de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geografia*, [S. l.], v.20, n.1, p.1-82, 1958.

VELOSO, H. P. et al. Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. [S. l.]: IBGE, 1991.

VIÇOSA. Decreto nº 5.124/2017. Cria a Área de Proteção Ambiental São Bartolomeu e dá outras providências. Diário Oficial, Viçosa- Minas Gerais. 2017.

VIÇOSA. Lei Ordinária nº 2671, de 2017. Dispõe sobre o Código de Meio Ambiente do Município de Viçosa e dá outras providências. Disponível em:  
<https://leismunicipais.com.br/a/mg/v/vicosa/lei-ordinaria/2017/268/2671/lei-ordinaria-n-2671-2017-dispoe-sobre-o-codigo-de-meio-ambiente-do-municipio-de-vicosa-e-da-outras-providencias>. Acesso em: 24 fev. 2024.

VIÇOSA. Serviço Autônomo de Água e Esgoto. Água: distribuição. Disponível em:  
<https://www.saaevicosa.mg.gov.br/pagina/93/distribuicao>. Acesso em: 24 fev. 2024.

VIÇOSA. Lei Ordinária nº 2.528, de 30 de abril de 2015. Institui a Política Municipal de Saneamento Básico e dá outras providências. Disponível em:  
<https://leismunicipais.com.br/a/mg/v/vicosa/lei-ordinaria/2015/253/2528/lei-ordinaria-n-2528-2015-institui-a-politica-municipal-de-saneamento-basico-e-da-outras-providencias>. Acesso em: 22 jan. 2024.

VIEIRA, P. et al. Avaliação de Fluxo de poluentes em Tempo seco e Durante Eventos de Chuva em uma Microbacia Urbanizada no Município de belo Horizonte, Minas Gerais. *Manejo de águas pluviais urbanas*, [S. l.], p. 347-369, 2009.

VILELA, M. F.; ROMANOVZKI, Z. O uso do solo e a conservação da vazão dos cursos d'água na bacia do ribeirão São Bartolomeu, Viçosa – MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10, 2001, Foz do Iguaçu. Anais... Cachoeira Paulista: INPE, 2001. p. 699-706.

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

VITÓRIA, B. S.; PIZELLA, D. G. The Brazilian State Water Resources Councils: diagnosis of civil society participation through criteria of access to information, parity, and decision-making procedures. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, [S. l.], v. 60, p. e2136-e2136, 2025.

VON SPERLING, M. *Estudos e modelagem da qualidade da água de rios*. 2.ed. Belo Horizonte: UFMG, 2007.

WANG, M. et al. A triple increase in global river basins with water scarcity due to future pollution. *Nature Communications*, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 880, 2024.

WANG, Y.; BORTHWICK, A. G. L.; NI, J. Human affinity for rivers. *River*, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 4-14, 2022.

Yang, K., Zhang, Y., Luo, Y. et al. Precipitation events impact on urban lake surface water temperature under the perspective of macroscopic scale. *Environ Sci Pollut Res* 28, 16767–16780 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12093-0>

ZLATANOVIĆ, L. J.; VAN DER HOEK, J. P.; VREEBURG, J. H. G. An experimental study on the influence of water stagnation and temperature change on water quality in a full-scale domestic drinking water system. *Water research*, [S. l.], v. 123, p. 761-772, 2017.

**ANEXO A – Sites**

<https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa>  
<https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/mg/vicosa>

LEI Nº 2671/2017. LEI Nº 2671/2017: Dispõe sobre o Código de Meio Ambiente do Município de Viçosa e dá outras providências. Disponível em  
<https://leismunicipais.com.br/a/mg/v/vicosa/lei-ordinaria/2017/268/2671/lei-ordinaria-n-2671-2017-dispoe-sobre-o-codigo-de-meio-ambiente-do-municipio-de-vicosa-e-da-outras-providencias>