



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ – CAMPUS ITABIRA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE  
RECURSOS HÍDRICOS – PROFÁGUA 2023

DIMÁRIA APARECIDA FERNANDES DIAS

**USO E OCUPAÇÃO DO SOLO, QUALIDADE DA ÁGUA E  
DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO MÉDIO CURSO DO  
RIO PIRACICABA-MG**

Área de Concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos  
Linha de Pesquisa: Metodologias para Implementação dos  
Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos

**ITABIRA**

**2023**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ – CAMPUS ITABIRA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE  
RECURSOS HÍDRICOS – PROFÁGUA 2023

DIMÁRIA APARECIDA FERNANDES DIAS

**USO E OCUPAÇÃO DO SOLO, QUALIDADE DA ÁGUA  
E DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO MÉDIO CURSO DO  
RIO PIRACICABA-MG**

Defesa apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROFÁGUA), da Universidade Federal de Itajubá Campus de Itabira (UNIFEI) como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

APROVADA EM 07 DE JULHO DE 2023

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. José Augusto Costa Gonçalves (Orientador)  
Instituto de Ciências Puras e Aplicadas - UNIFEI

---

Prof. Dr. Eliane Maria Vieira  
Instituto de Ciências Puras e Aplicadas - UNIFEI

---

Prof. Dr. Gláucio Marcelino Marques  
Instituto de Ciências Puras e Aplicadas - UNIFEI

---

Prof. Dr. Diego Roberto Sousa Lima  
Centro Universitário Santa Rita - UNIFASAR

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Prof<sup>Á</sup>gua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N<sup>o</sup> 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Agradeço a DEUS, pelo dom da vida e pelas bênçãos diante às adversidades, por me guiar e proteger, e me permitir crescer com meus erros e acertos.

Agradeço à Universidade Federal de Itajubá-UNIFEI. Aos professores e funcionários da Universidade Federal de Itajubá, Campus Itabira-UNIFEI, em especial ao meu orientador, Prof. Dr. José Augusto Costa Gonçalves, pelo apoio, transmissão de conhecimento e pela dedicação ao Mestrado Prof<sup>Á</sup>gua.

Aos Professores do Programa de Pós-graduação em Saúde Pública e Meio Ambiente da FIOCRUZ, pela oportunidade e aprendizado nas disciplinas cursadas.

Aos membros da banca examinadora da qualificação e defesa, que gentilmente aceitaram participar e colaborar com essa dissertação.

À minha família, pela torcida. Ao Rafael, pelo companheirismo e incentivo. À minha filha, Giovanna Maria, meu presente de DEUS.

Aos colegas da Turma 2019/Prof<sup>Á</sup>gua, pela convivência.

**“O Senhor é meu pastor, nada me faltará.”**

**Salmo 23. Bíblia Sagrada**

## RESUMO

DIAS, Dimária Aparecida Fernandes Dias. **Uso e ocupação do solo, qualidade da água e disponibilidade hídrica do médio curso do rio Piracicaba-MG**. 2023. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROFÁGUA), Instituto de Ciências Puras e Aplicadas, Universidade Federal de Itajubá, Campus de Itabira, Minas Gerais, 2023.

Os recursos hídricos são essenciais à sobrevivência dos seres vivos e ao desenvolvimento econômico. As formas de uso e ocupação do solo podem afetar o meio ambiente e os corpos d'água, e desencadear alterações negativas a estes recursos. A área de estudo deste trabalho engloba a região do médio curso do rio Piracicaba, que possui atividades com alto potencial de impacto ao meio ambiente e aos recursos hídricos, sendo o rio Piracicaba o seu curso d'água principal. O objetivo principal desta pesquisa é obter um diagnóstico da qualidade da água, do comportamento da vazão e precipitação e do uso e ocupação do solo do médio curso do rio Piracicaba-MG nos anos 2011 e 2020. Para tanto, serão geradas cartas de uso e ocupação do solo, calculados o Índice de Qualidade da Água-IQA, avaliados os parâmetros de qualidade da água, analisado o comportamento pluviométrico/fluviométrico, por meio de dados das estações de monitoramento presentes na região de estudo, e verificada a inter-relação entre estes fatores. A maior parte da sub-bacia ocupada por formação florestal (45,11%). Em segundo lugar estão as áreas de pastagens (31,23%), destaca-se que na região há localidades com criação de gado, o que justifica a manutenção de áreas de pastagens visando a produção agropecuária. A classe mosaico de agricultura e pastagem obteve 11,49%. Já a classe floresta plantada compõe 8,07%, havendo na região áreas de reflorestamento de eucalipto para produção de celulose e de carvão vegetal para abastecer siderúrgicas. Houve aumento de área entre os períodos estudados das classes mineração, agricultura e pastagem, formação florestal, floresta plantada e ocorreu diminuição de pastagens e classes rios e lagos. Na maioria das estações de qualidade da água e períodos analisados, os IQAs foram classificados como médios. Comparando-se os resultados de 2011 e 2020, a classe de IQA permaneceu a mesma ou melhorou em praticamente todas as avaliações de 2020, com exceção da RD034 (Mariana) que teve todos IQAs médios em 2011 e, em 2020, obteve IQA ruim no 1º trimestre (período chuvoso). De uma maneira geral, analisando-se os resultados dos parâmetros de qualidade da água, as oscilações de valores referentes ao IQA podem estar associadas principalmente às elevadas concentrações de Coliformes Termotolerantes, e também devido às variações pH, fósforo total, turbidez e sólidos totais. Já os valores de Oxigênio Dissolvido e Demanda Bioquímica de Oxigênio foram satisfatórios nas análises de qualidade da água. Houve diferença significativa no índice de chuvas nos períodos estudados e também variação nas vazões médias diárias entre alguns períodos.

**Palavras-chave:** Precipitação; Qualidade da água; rio Piracicaba; Uso e ocupação do Solo; Vazão.

## ABSTRACT

DIAS, Dimária Aparecida Fernandes Dias. Land use and occupation, water quality and water availability in the middle course of the Piracicaba River - MG. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROFÁGUA), Instituto de Ciências Puras e Aplicadas, Universidade Federal de Itajubá, Campus de Itabira, Minas Gerais, 2023.

Water resources are essential for the survival of living beings and for economic development. The forms of land use and occupation can affect the environment and water bodies, and trigger negative changes to these resources. The study area of this work encompasses the region of the middle course of the Piracicaba River, which has activities with high potential impact on the environment and water resources, being the Piracicaba River its main watercourse. The main objective of this research is to obtain a diagnosis of water quality, flow and precipitation behavior and land use and occupation of the middle course of the Piracicaba River-MG in the years 2011 and 2020. To this end, land use and occupation charts will be generated, the Water Quality Index-IQA will be calculated, water quality parameters will be evaluated, rainfall/fluviometric behavior will be analyzed using data from monitoring stations present in the study region, and the interrelationship between these factors will be verified. Most of the sub-basin is occupied by forest formation (45.11%). In second place are the pasture areas (31.23%), it is noteworthy that in the region there are localities with cattle breeding, which justifies the maintenance of pasture areas for agricultural production. The mosaic class of agriculture and pasture obtained 11.49%. The planted forest class makes up 8.07%, with eucalyptus reforestation areas in the region for the production of pulp and charcoal to supply steel mills. There was an increase in area between the periods studied of the mining, agriculture and pasture, forest formation, planted forest classes and there was a decrease in pastures and rivers and lakes classes. In most of the water quality stations and periods analyzed, the WQIs were classified as average. Comparing the 2011 and 2020 results, the WQI class remained the same or improved in practically all 2020 assessments, with the exception of RD034 (Mariana) which had all average WQIs in 2011 and, in 2020, obtained poor WQIs in the 1st quarter (rainy period). In general, analyzing the results of the water quality parameters, the oscillations of values referring to the WQI may be associated mainly with the high concentrations of Thermotolerant Coliforms, and also due to variations in pH, total phosphorus, turbidity and total solids. The Dissolved Oxygen and Biochemical Oxygen Demand values were satisfactory in the water quality analysis. There was a significant difference in the rainfall index in the periods studied and also variation in the average daily flows between some periods.

**Keywords:** Precipitation; Water quality; Piracicaba River; Land use and occupation; Flow.

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ANA – Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico

APP – Área de preservação permanente

ARPI – Região do Alto Piracicaba

BHRP – Bacia Hidrográfica do rio Piracicaba

BRPI – Região do Baixo Piracicaba

CBH – Comitê da Bacia Hidrográfica

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPAM – Colegiados dos Conselhos Estaduais de Política Ambiental

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

FEAM – Federação Estadual do Meio Ambiente

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

ICE – Índice de Conformidade ao Enquadramento

IDE – SISEMA – Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

IQA – Índice de Qualidade da Água

OD – Oxigênio Dissolvido

ONU – Organização das Nações Unidas

MRPI – Região do Médio Piracicaba

PERH – Plano Estadual de Recursos Hídricos

pH – Potencial Hidrogeniônico

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

Q – Vazão

Q<sub>10</sub> – Vazão de referência em que 10% dos dados diários de vazão da série são iguais ou superiores a ela, ou seja, 90% das vazões diárias são inferiores.

Q<sub>7, 10</sub> – Vazão de referência da menor média de 7 vazões diárias consecutivas que pode se repetir, em média, uma vez a cada 10 anos (período de retorno de 10 anos)

Q<sub>90</sub> – Vazão de referência em que 90% dos dados diários de vazão da série são iguais ou superiores a ela, ou seja, 10% das vazões diárias são inferiores.

SDT – Sólidos Dissolvidos Totais

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SISNAMA – Sistema Nacional de Meio Ambiente

SNIRH – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos

SST – Sólidos Suspensos Totais

SDT – Sólidos Dissolvidos Totais

ST – Sólidos Totais

UPGRH – Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fatores que podem afetar a qualidade e disponibilidade hídrica do médio curso do rio Piracicaba .....	19
Figura 2 - Modelo de uma bacia hidrográfica e seus principais componentes.....	21
Figura 3 - Ciclo hidrológico.....	22
Figura 4 - Os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODs) .....	23
Figura 5 - Componentes e impurezas que podem estar presentes nas águas.....	25
Figura 6 - Estações de Monitoramento de Qualidade de Água Superficial presentes em Minas Gerais.....	31
Figura 7 - Índice de Qualidade da Água - IQA no estado de Minas Gerais no 2º trimestre de 2018 .....	32
Figura 8 - Bacia Hidrográfica do rio Piracicaba e suas estações de monitoramento de qualidade da água .....	32
Figura 9 - Exemplos de inter-relações da terra e focos alteradores da qualidade da água	37
Figura 10 - Atividades antrópicas que contribuem para a poluição ambiental (difusa e pontual).....	38
Figura 11 - Relação entre rios e aquíferos.....	41
Figura 12 - Estrutura interna de um SIG.....	43
Figura 13 - Mapa de Integração de planos de informações .....	44
Figura 14 - Localização da bacia hidrográfica do rio Piracicaba em relação à bacia do rio Doce no estado de Minas Gerais .....	46
Figura 15 - Localização dos municípios na sub-bacia do rio Piracicaba - MG .....	47
Figura 16 - Clima da bacia do rio Piracicaba .....	48
Figura 17 - Biomas da bacia do rio Piracicaba .....	49
Figura 18 - Solos da bacia do rio Piracicaba .....	50
Figura 19 - Classes de suscetibilidade à erosão .....	51
Figura 20 - Produção de Sedimentos .....	52
Figura 21 - Mapa geológico do baixo curso do rio Piracicaba .....	54
Figura 22 - Hidrogeologia do baixo curso do rio Piracicaba .....	56

Figura 23 - Mapeamentos da cobertura da terra: 1985 e 2013.....	58
Figura 24 - Fluxograma das etapas metodológicas. ....	64
Figura 25 - Divisão da BHRPI em Alto, Médio e Baixo Curso. ....	65
Figura 26- Curvas médias de qualidade dos parâmetros. ....	70
Figura 27 - Mapa de Uso e ocupação do solo da sub-bacia do médio curso do rio Piracicaba, ano 2020 .....	75
Figura 28 - Mapa de Uso e ocupação do solo da sub-bacia do médio curso do rio Piracicaba (MRPI), ano 2011 .....	78
Figura 29 - Classificação das superfícies de água do médio Piracicaba (2011) .....	80
Figura 30 - Classificação das superfícies de água do médio Piracicaba (2020).....	81
Figura 31 - Boxplot da Vazão da Estação 56610000 (Rio Piracicaba), anos 2011 e 2020..	84
Figura 32 - Teste Tukey – Vazão Média em Janeiro de 2011 e Janeiro de 2020 - Estação 56610000 .....	85
Figura 33 - Boxplot para a Vazão nos meses de fevereiro de 2011 e fevereiro de 2020 - Estação 56610000.....	86
Figura 34 - Teste Tukey – Vazão Média em Fevereiro de 2011 e Fevereiro de 2020 - Estação 56610000.....	86
Figura 35 - Boxplot para a Vazão nos anos de 2011 e 2020 para as estações 56610000 e 5665999 .....	88
Figura 36- Boxplot para a Precipitação nos anos de 2011 e 2020 para as estações 01943001 e 01943100 .....	91
Figura 37 - Relação vazão x precipitação média diária , estações localizadas na cidade de Rio Piracicaba no ano de 2011.....	93
Figura 38 - Relação vazão x precipitação média diária , estações localizadas na cidade de Nova Era no ano de 2011.....	94
Figura 39 - Relação Vazão x precipitação média diária, estações localizadas na cidade de Rio Piracicaba no ano de 2020. ....	94
Figura 40 - Relação Vazão x precipitação média diária, estações localizadas na cidade de Nova Era no ano de 2020 .....	95
Figura 41 - Vazão e Precipitação médias diárias para os meses referentes ao ano de 2011 nas estações analisadas na cidade de Rio Piracicaba.....	95

Figura 42 - Vazão e Precipitação médias diárias para os meses referentes ao ano de 2011 nas estações analisadas na cidade de Nova Era.....	96
Figura 43 - Vazão e Precipitação médias diárias para os meses referentes ao ano de 2020 nas estações analisadas na cidade de Rio Piracicaba.....	96
Figura 44 - Vazão e Precipitação médias diárias para os meses referentes ao ano de 2020 nas estações analisadas na cidade de Nova Era.....	97
Figura 45 - Valores do parâmetro Coliformes Termotolerantes comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2.....	99
Figura 46 - Valores do parâmetro DBO comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2.....	101
Figura 47 - Valores do parâmetro Oxigênio Dissolvido comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2.....	102
Figura 48 - Valores do parâmetro pH comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2.....	104
Figura 49 - Valores do parâmetro turbidez comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2.....	106
Figura 50 – Encontro do rio Piracicaba e rio Santa Bárbara, em Capela Branca (Minas Gerais).....	106
Figura 51 - Valores do parâmetro Fósforo Total comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2.....	109
Figura 52 - Valores do parâmetro Nitrogênio Total comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2.....	110
Figura 53 - Valores do parâmetro Sólidos Totais comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2.....	112
Figura 54 - Valores do parâmetro Temperatura.....	113
Figura 55 - Resultados mensais e média anual do IQA-2011 e 2020.....	115

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área e percentual das classes de cobertura da terra para 1985 e 2013 e a variação da área (perda ou ganho) entre essas duas datas. ....	59
Tabela 2 - Características gerais dos municípios do MRPI.....	66
Tabela 3 - Dados de esgotamento sanitário dos municípios do MRPI.....	67
Tabela 4 - Descrições das estações de monitoramento da bacia do rio Piracicaba utilizadas neste estudo.....	68
Tabela 5 - Parâmetros de Qualidade da Água utilizados pelo IGAM para o cálculo do IQA, suas unidades e respectivos pesos .....	69
Tabela 6 - Classes de qualidade da água em função do valor do IQA .....	72
Tabela 7 - Estações fluviométricas selecionadas no médio curso do rio Piracicaba .....	73
Tabela 8 - Estações pluviométricas selecionadas no médio curso do rio Piracicaba.....	73
Tabela 9 - Composição das classes de uso e ocupação do solo da sub-bacia do MRPI (ano 2020) .....	77
Tabela 10 - Composição das classes de uso e ocupação do solo da sub-bacia do MRPI (ano 2011).....	79
Tabela 11 - Área e percentual das classes de cobertura da terra para 2011 e 2020 e a variação da área (perda ou ganho) entre estas duas datas. ....	80
Tabela 12 – Valores Médios da Vazão e Teste-t estatístico nos anos 2011 e 2020 - Estação: 56610000 .....	84
Tabela 13 - Valores Médios da Vazão e Teste-t estatístico nos anos 2011 e 2020 - Estação: 56659998 - Nova Era.....	88
Tabela 14 - Valores Médios da Precipitação e Teste-t estatístico nos anos 2011 e 2020 - Estação: 01943001 .....	90
Tabela 15 - Valores Médios da Precipitação e Teste-t estatístico nos anos 2011 e 2020 - Estação: 01943100 - Nova Era .....	91
Tabela 16 - Interpretação dos valores de coeficiente de correlação. ....	92
Tabela 17 - Análise da Correlação entre Vazão e Precipitação.....	93
Tabela 18 - Valores do parâmetro Coliformes Termotolerantes comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2.....	99
Tabela 19 - Valores do parâmetro DBO comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/200 para rios classe 2.....	100

Tabela 20 - Valores do parâmetro Oxigênio Dissolvido comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2. ....	103
Tabela 21 - Valores do parâmetro pH comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2. ....	104
Tabela 22 - Valores do parâmetro turbidez comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2. ....	106
Tabela 23 - Valores de Fósforo Total comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe .....	108
Tabela 24 - Valores do parâmetro Nitrogênio Total comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2 .....	110
Tabela 25 - Valores de Sólidos Totais comparando ao estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2. ....	111
Tabela 26 - Valores do parâmetro Temperatura .....	113
Tabela 27 - Resultados mensais e a média anual do IQA – 2011 e 2020.....	115

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fases do desenvolvimento das águas urbanas.....	27
Quadro 2 - Legislações relativas aos recursos hídricos superficiais em âmbito federal .....	28
Quadro 3 - Classificação e destinação dos corpos de água doce.....	29
Quadro 4 - Principais impactos aos solos e águas ocasionados por atividades antrópicas.....	39
Quadro 5 - Estudos que avaliaram a qualidade das águas e suas relações com o uso e ocupação do solo local.....	40
Quadro 6 - Características das formações rochosas do Quadrilátero Ferrífero .....	53
Quadro 7 - Aquíferos / Unidades lito-estratigráficas.....	55

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>1.1</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	18
<b>1.2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	19
1.2.1	Objetivo Geral.....	19
1.2.2	Objetivos Específicos.....	19
<b>1.3</b>	<b>ADERÊNCIA</b> .....	20
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	20
2.1	A Bacia Hidrográfica como mecanismo de gestão e pesquisa hídrica. ....	20
2.2	Qualidade e poluição das águas. ....	23
2.3	Monitoramentos da qualidade das águas .....	28
2.4	Índices de Qualidade das Águas - IQA.....	33
2.5	Aspectos do uso e ocupação do solo versus qualidade e disponibilidade hídrica .....	35
2.6	Disponibilidade hídrica e aspectos quantitativos dos recursos hídricos .....	41
2.7	Sistemas de Informações Geográficas e Mapas Temáticos .....	43
2.8	Bacia Hidrográfica do rio Piracicaba .....	45
2.8.1	Caracterização da Bacia Hidrográfica do rio Piracicaba .....	45
2.8.2	Clima.....	47
2.8.3	Vegetação.....	49
2.8.4	Relevos e solos.....	50
2.8.5	Hidrogeologia .....	54
2.8.6	Estudos referentes à Bacia Hidrográfica do rio Piracicaba.....	56
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	63
3.1	Procedimentos metodológicos. ....	63
3.2	Localização e caracterização da área de estudo .....	64
3.3	Monitoramento de qualidade das águas. ....	66

3.4	Dados de precipitação e vazão.....	71
3.4.1	Análises Estatísticas.....	72
3.5	Mapas de uso e ocupação do solo.....	73
3.6	Mapas de superfície da água.....	74
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>74</b>
4.1	Uso e Ocupação do Solo.....	82
4.2	Vazões e precipitações.....	82
4.2.1	Análise das Vazões.....	82
4.2.2	Análise das Precipitações.....	88
4.2.3	Análise da Correlação entre vazão e precipitação.....	89
4.2.4	Construção dos modelos de regressão vazão x precipitação.....	90.
4.3	Qualidade da água.....	97
4.3.1	Coliformes Termotolerantes.....	98
4.3.2	Demanda Bioquímica de Oxigênio.....	100
4.3.3	Oxigênio Dissolvido.....	101
4.3.4	pH.....	103
4.3.5	Turbidez.....	105
4.3.6	Fósforo Total.....	108
4.3.7	Nitrogênio Total.....	110
4.3.8	Sólidos Totais.....	111
4.3.9	Temperatura.....	112
4.4	Aplicação de Índices para Qualidade da Água - IQA.....	115
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>117</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>118</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Recursos Hídricos instituída no Brasil em 1997, pela Lei nº 9.433, a chamada Lei das Águas, estabeleceu uma intensa mudança na gestão dos recursos hídricos. A Lei contém dentre seus fundamentos o uso múltiplo das águas e objetiva a utilização racional e integrada desse bem público. E ainda define como metas e objetivos principais: a garantia da quantidade e qualidade dos recursos hídricos; a promoção do uso racional dos recursos hídricos; o consumo humano e a dessedentação de animais como usos prioritários em situações de escassez; a instituição da gestão descentralizada dos recursos hídricos e a promoção do desenvolvimento sustentável (BRASIL, 1997).

Os recursos hídricos são um dos mais importantes recursos naturais existentes, por serem indispensáveis à sobrevivência dos seres vivos e essenciais para o desenvolvimento de diversas atividades. As mudanças ambientais decorrentes das atividades humanas aumentam as taxas de uso e ocupação do solo inconciliáveis com a capacidade suporte dos ecossistemas naturais. Assim, o ambiente é modificado e, conseqüentemente, ocorrem diversas transformações (ALMEIDA, 2015). Inúmeras atividades antrópicas e de uso e ocupação do solo podem degradar e contaminar o meio ambiente e os recursos hídricos. Sendo crescentes as alterações da qualidade das águas, principalmente, em áreas industriais e muito urbanizadas, afetando também seus aspectos quantitativos, o que pode contribuir para a escassez e diminuição das águas que atendam aos padrões de potabilidade.

A qualidade da água pode ser alterada devido ao uso indiscriminado e pelo lançamento continuado de esgotos residenciais, de efluentes das indústrias e de mineração, de agrotóxicos e rejeitos da agricultura e pecuária, resíduos sólidos, bem como de poluentes de outras atividades humanas, que, direta ou indiretamente, promovem alterações na estrutura e funcionamento dos sistemas hídricos, com conseqüências finais para o próprio homem. Estes fatores podem alterar de forma drástica as características físicas, químicas e biológicas dos corpos hídricos (COSTA *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2017).

Há ainda a extração de recursos naturais e intervenções em matas ripárias que favorecem a degradação dos corpos hídricos, contribuindo com assoreamentos, e também a poluição difusa, não necessariamente direta, que acaba atingindo os cursos d'água. A qualidade e a quantidade da água podem ser afetadas também por fenômenos naturais ocorridos na bacia hidrográfica, a exemplo da erosão e variação das vazões devido às precipitações.

Este contexto demonstra a importância da gestão de recursos hídricos no sentido de regular, controlar e proteger estes recursos baseando-se nas legislações vigentes. Segundo Guedes *et al.* (2012), um dos principais instrumentos que sustentam a gestão dos recursos hídricos é o monitoramento da qualidade das águas. A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico-ANA (2021) ressalta que no monitoramento da qualidade das águas naturais são acompanhadas as alterações nas características físicas, químicas e biológicas da água, decorrentes de atividades antrópicas e de fenômenos naturais.

A disponibilidade de água em quantidade e qualidade adequadas para os mais diversos usos é fator determinante no processo de desenvolvimento econômico e social de uma comunidade, entretanto, atender a essa demanda se tornou um dos maiores desafios do homem na atualidade. Portanto, estudar a disponibilidade hídrica sob os aspectos qualitativos e quantitativos é muito importante para programar e gerenciar os instrumentos de outorga. Sendo que estes estudos podem demandar a manipulação de uma grande quantidade de dados para representação do comportamento hidrológico da região (LISBOA *et al.*, 2017).

Diante às questões que envolvem a gestão dos recursos hídricos, considera-se o diagnóstico ambiental o primeiro passo para conhecer a realidade dos impactos antrópicos. Este diagnóstico é a base para gerar o prognóstico ambiental e promover a integração das análises ambientais, políticas e econômicas que compõem um plano de gerenciamento em uma bacia hidrográfica (CRUZ, 2003). Sendo os estudos das bacias hidrográficas primordiais para o planejamento e gestão dos recursos hídricos.

A bacia do rio Piracicaba é uma sub-bacia do rio Doce, localizada na região Centro Leste do Estado de Minas Gerais. Possui um conjunto significativo de atividades econômicas (extrativismo vegetal, celulose, mineração de ferro, siderurgia, agropecuária, entre outras) com alto grau de impactos antrópicos, além da expressiva concentração urbana e os massivos de reflorestamentos, monocultura de eucaliptos, que se destinam a produção de carvão vegetal e celulose (IGAM, 2021a).

A bacia do rio Piracicaba é dividida em três regiões, a área de estudo contempla a região do médio curso do rio Piracicaba, situada na parte central da bacia, que engloba 07 municípios: Alvinópolis, Bela Vista de Minas, João Monlevade, Nova Era, Rio Piracicaba, São Domingos do Prata e São Gonçalo do Rio Abaixo (FEAM, 2013). A região possui atividades com alto potencial de impacto ao meio ambiente e aos recursos hídricos, sendo o rio Piracicaba o seu curso d'água principal, onde desaguam rios e córregos.

O rio Piracicaba é considerado o principal formador do rio Doce. Seu leito sofre gravemente com o assoreamento, desmatamento, proliferação da monocultura de eucalipto, baixa cobertura por matas ciliares e recebimento de efluentes urbanos sem tratamento, diminuição do volume e qualidade das águas, configurando-se como um dos afluentes mais degradados do rio Doce. A legislação obriga as empresas a se adequarem às normas ambientais, o rio Piracicaba já não recebe a mesma quantidade de dejetos industriais que recebia no passado, mas estas são apenas algumas providências tomadas e que muitas vezes não são respeitadas (TRINDADE, 2007).

Neste contexto, o presente estudo apresenta caráter regional, relacionado à análise hidro ambiental do médio curso do rio Piracicaba, região com grande diversidade de exploração econômica e crescente urbanização.

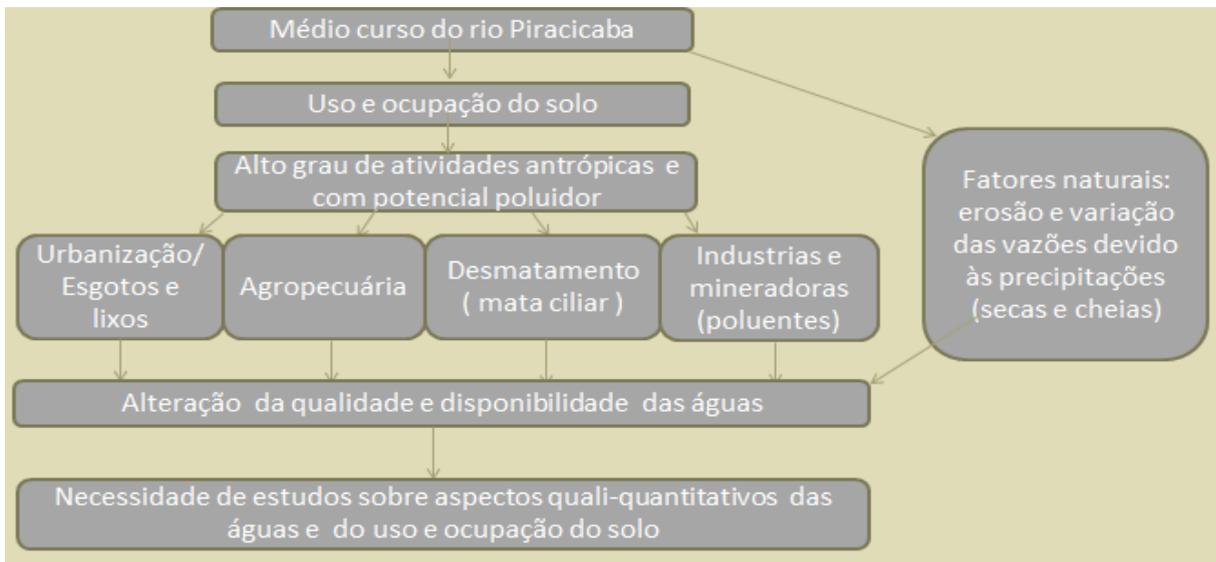
## **1.1 JUSTIFICATIVA**

A escolha da região do médio curso do rio Piracicaba como unidade de estudo se justifica por localizar-se em área bastante antropizada, receber esgotos in natura, e possuir um número considerável de atividades econômicas (mineração, agropecuária, plantações de eucalipto para carvão vegetal e celulose, siderurgia, empresas, extração de areias) com alto potencial poluidor e de degradação ao meio ambiente, aos solos e aos recursos hídricos. Os municípios da região de estudo também sofrem com alagamentos e enchentes em períodos chuvosos. Ao propor a caracterização e o diagnóstico hidro ambiental, buscar-se-á alcançar uma visão proativa para a região, o que possibilitará evidenciar os impactos sofridos pelos recursos hídricos e pelo meio ambiente que o cerca.

A disponibilidade e qualidade da água associam-se às formas de uso e ocupação do solo, aos processos produtivos da agricultura e da pecuária, ao processo de urbanização e à geração de efluentes domésticos e industriais, e também aos fatores naturais, a exemplo da variação da precipitação e alteração da vazão. Sendo importante a realização de diagnósticos de bacias Hidrográficas como ferramenta para a gestão hídrica (SANTOS *et al.*, 2018).

Neste contexto, a Figura 1 retrata os principais fatores que podem atuar na alteração da qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos do médio curso do rio Piracicaba.

Figura 1 - Fatores que podem afetar a qualidade e disponibilidade hídrica do médio curso do rio Piracicaba.



Fonte: Autora (2021).

Nesta perspectiva, é fundamental produzir levantamentos e estudos contínuos sobre as influências dos impactos das atividades antrópicas exercidas sobre o meio ambiente e os recursos hídricos. Portanto, nesta pesquisa é realizada uma análise a partir do emprego de técnicas investigativas para averiguar as possíveis interferências antrópicas do uso e ocupação do solo na qualidade e quantidade dos sistemas ambientais e fluviais. As informações geradas poderão subsidiar estudos futuros, valores de referências, guias de prevenções e alertas aos usuários e gestores.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral:

O objetivo geral deste trabalho é obter um diagnóstico da qualidade da água, as classes de uso e ocupação do solo, e o comportamento da precipitação e vazão do médio curso do rio Piracicaba-MG, nos anos 2011 (ano anterior à cobrança pelo uso da água) e 2020.

### Objetivos específicos:

- Avaliar as interferências antrópicas e naturais na qualidade das águas superficiais com a determinação do Índice de Qualidade da Água (IQA) dos anos 2011 e 2020, avaliação

dos parâmetros utilizados para o seu cálculo e verificação de atendimento aos limites estabelecidos pela DN COPAM/CERH-MG N° 01/2008;

- Gerar cartas de uso e ocupação do solo dos anos 2011 e 2020, e identificar os principais impactos e pressões exercidas sobre os recursos hídricos e meio ambiente;
- Analisar o comportamento pluviométrico/fluviométrico do período de estudo.

### **1.3 ADERÊNCIA**

O presente trabalho corrobora com o objetivo do mestrado, inserindo-se na área de concentração Instrumentos da Política de Recursos Hídricos e Linha de Pesquisa Metodologia para implementação dos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos. Nesta Linha de Pesquisa o foco central está em estabelecer a base teórica, metodológica e conceitual que permitam a representação e simulação da realidade nos processos de gestão de bacias e subsidie a implementação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos (PROFÁGUA, 2018).

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Nesse capítulo serão apresentados os referenciais teóricos que darão embasamento à pesquisa. Sendo dividido nos seguintes tópicos:

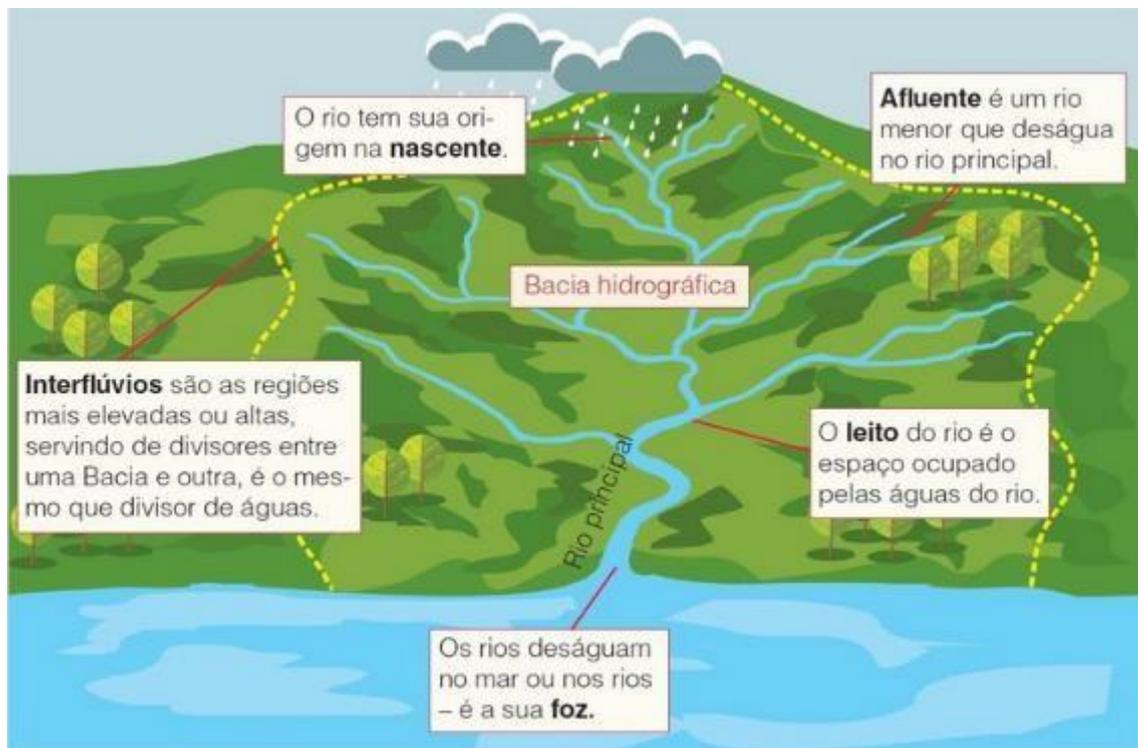
### **2.1 A Bacia Hidrográfica como Mecanismo de Gestão e Pesquisa Hídrica**

Segundo Queiroz (2017), os recursos hídricos têm papel fundamental para o atendimento aos princípios e objetivos da Política Nacional de Meio Ambiente, Política Nacional de Recursos Hídricos, Plano Nacional de Energia e do grau de susceptibilidade em termos de qualidade e quantidade, para o adequado planejamento e conservação que representam o alicerce primordial na perspectiva das bacias hidrográficas brasileiras.

Sousa (2016) considera a bacia hidrográfica a unidade física territorial fundamental para o planejamento ambiental, sendo este território geográfico delimitado por divisores de água e integrado pela rede de drenagem, por sua vez, constituída por um rio principal e seus tributários, Figura 2. Neste tocante, as bacias hidrográficas têm sido empregadas como unidades físicas de

reconhecimento, caracterização e avaliação, a fim de facilitar a abordagem sobre os recursos hídricos. Menciona-se que o comportamento de uma bacia hidrográfica ao longo do tempo ocorre por dois fatores, sendo eles, de ordem natural, características morfológicas (área, forma, tipos de solos, cobertura vegetal, dentre outros), responsáveis pela pré-disposição do meio à degradação ambiental, e antrópicos, onde as atividades humanas interferem de forma direta ou indireta no funcionamento da bacia (VILAÇA *et al.*, 2009).

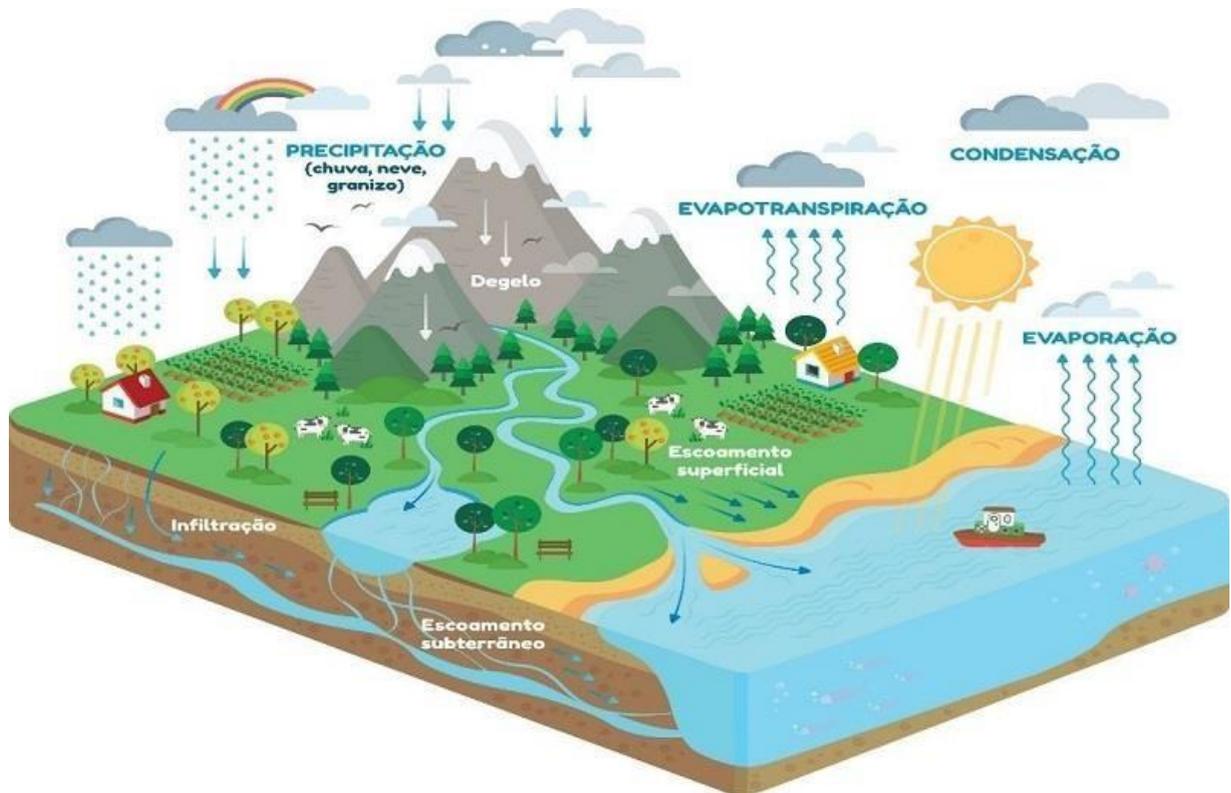
Figura 2 - Modelo de uma bacia hidrográfica e seus principais componentes.



Fonte: <https://amigopai.files.wordpress.com/2015/10/santa-catarina-historia-geografia-35-011.jpg>

Para entender o funcionamento da bacia hidrográfica é necessário compreender o seu ciclo hidrológico (Figura 3), pois é na bacia que ocorre a precipitação pela água das chuvas, a evapotranspiração (processo de respiração das plantas, animais e evaporação das águas na superfície dos solos e corpos hídricos), a percolação, drenagem e a infiltração no solo (SEIFFERT, 2014; GONZAGA, 2020).

Figura 3 - Ciclo hidrológico



Fonte: EPAL (2022).

Lima, G. A. *et al.* (2016) ainda definem a bacia como unidade de planejamento e gerenciamento que propõe uma visão abrangente incluindo em seu plano as políticas públicas, tecnológicas e de educação a fim de promover a solução de problemas, a otimização de recursos e a garantia dos usos múltiplos da água, tudo isso com a participação de usuários, autoridades, cientistas, poder público, organizações públicas e privadas com interesse pelo tema.

Já Sousa (2018) explica que o planejamento integrado é tendência atual no estudo de bacias hidrográficas e, sendo a bacia uma unidade integradora, é necessário que sua gestão também o seja. Integrar, neste sentido, quer dizer associar atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica com os impactos decorrentes; detectar os usos conflituosos e fazer valer o definido no plano de gestão; caracterizar alterações ambientais dos corpos d'água e identificar sua origem, se a causa é de ordem natural ou antrópica. Portanto, considera-se o monitoramento da qualidade das águas ferramenta de apoio, que, quando utilizada de forma investigativa e integrada com outras ferramentas pode fornecer respostas que darão suporte mais adequado às atividades de gestão da bacia hidrográfica.

Gonzaga (2020) discorre que o monitoramento dos recursos hídricos e do uso e cobertura da terra em uma bacia hidrográfica objetivam avaliar o seu estado de conservação, e que, estes

dados são importantes instrumentos para as tomadas de decisões na gestão de uma bacia, pois contribuem para o controle ou reversão da atual situação. Portanto, considerando a importância que a água tem para a sobrevivência dos seres vivos e para enfrentar os efeitos das ações humanas, torna-se necessário realizar a governança dos recursos hídricos por meio de unidades de gestão, prezando pela gestão participativa, como a Lei das Águas estabelece.

Américo e Ribeiro (2019) também elucidam que o monitoramento é essencial para a tomada de decisões em relação aos usos múltiplos das águas superficiais. Sendo que, alterações na qualidade da água podem comprometer a biota aquática, a saúde humana e a quantidade desse recurso natural com qualidade adequada para as futuras gerações. Silva *et al.* (2017) ressalta que a gestão dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas tem, historicamente, tratado de forma isolada os aspectos quantitativos e qualitativos. Todavia, cenários de degradação ambiental apontam para a necessidade de um planejamento adequado dos recursos naturais para integrar estes dois aspectos.

## 2.2 Qualidade e poluição das águas

A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU) tem dentre seus objetivos a garantia da disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos, Figura 4, constando em suas metas garantir até 2030 melhora da qualidade da água e redução da poluição, além de reduzir à metade a proporção de águas residuais que não passam por tratamento. Destaca-se seu objetivo 6 que busca assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos e a meta 6.6 que objetiva, até 2030, proteger e restaurar ecossistemas relacionados à água, como as montanhas, florestas, zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos (AGENDA 2030, 2021).

Figura 4 - Os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)



Fonte: Agenda 2030 (2021).

No Brasil, a Constituição Federal de 1988, que disciplina a questão ambiental no Capítulo VI, estabelece em seu art. 225:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988, n.p.).

Já a qualidade da água tem sua importância descrita na Política Nacional de Recursos Hídricos que objetiva “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos” (Art. 2º, Cap. II, Tit. I, Lei 9433/97).

A qualidade da água depende de um conjunto de características físicas, químicas e biológicas que este recurso natural deve possuir para atender aos diferentes usos aos quais se destina (VON SPERLING, 2007). Von Sperling (2005) destaca que os parâmetros de qualidade de água variam em função das características naturais das bacias de drenagem e do uso e ocupação do solo. Mesmo que a bacia hidrográfica esteja preservada, acontecem processos naturais, a exemplo do intemperismo físico, químico e a decomposição vegetal, processos estes que associados ao escoamento superficial influenciam na composição dos parâmetros da água. Pontes *et al.* (2012) corroboram com esta afirmação ao citarem que a qualidade da água depende de vários aspectos, dentre os quais se destacam os usos antrópicos (retiradas e lançamentos nos corpos d'água) e a variabilidade natural das vazões.

Barbosa (2015) também explica que a qualidade da água de um rio pode variar por diversos fatores, dentre eles o clima da região, o relevo e as atividades resultantes das ações humanas. Portanto, a qualidade da água de uma região pode ser influenciada tanto por processos naturais a exemplo da erosão e da precipitação, que ocasiona a infiltração da água, e posteriormente, o escoamento superficial de água no solo que incorpora partículas e substâncias que são carregadas até o corpo hídrico, como também por processos antrópicos (lançamento de esgotos, irrigação, indústrias e mineração).

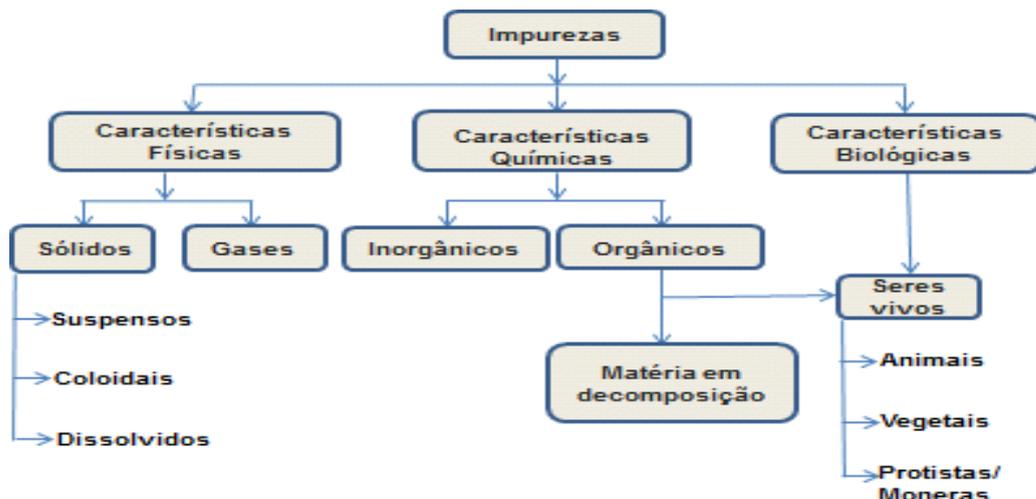
O conceito de qualidade do meio ambiente possui certo grau de subjetividade, por ser um juízo de valor sobre as condições temporais e espaciais de uma determinada realidade ambiental. Há grande complexidade de fatores que determinam a qualidade da água e uma das maneiras de caracterizá-la é associar a qualidade ao uso que se faz do recurso. Desta forma, é que a qualidade da água passa do conceito de bom ou ruim para adequada ou inadequada para determinado uso (PHILIP JR e MARTINS, 2005).

Von Sperling (2005) cita que o conceito de qualidade da água sempre se relaciona com o uso que se faz desta água. Por exemplo, uma água de qualidade adequada para o uso industrial, navegação ou geração hidrelétrica pode não ter qualidade adequada para o abastecimento humano, o uso agrícola, a recreação ou para a preservação da vida aquática (FUNASA, 2014). Os impactos negativos aos mananciais podem culminar em restrições aos usos mais exigentes. Por este motivo, reitera-se a importância de avaliar se a qualidade da água em determinada região está realmente adequada aos usos que ali são feitos.

Segundo Fraga (2015) deve-se considerar que o uso das águas para determinado propósito não deve prejudicar os usos múltiplos, como por exemplo, o consumo humano, produção agropecuária, atividades recreativas, preservação da diversidade biológica, entre outros. Esta preocupação é motivada pelo fato da qualidade da água contemplar interesses econômicos e sociais, que englobam desde o seu uso para determinadas atividades até a preservação do ecossistema.

De acordo com Tucci (2012), especificamente, em relação às águas, muitas são as atividades que podem causar poluição. Define-se o termo poluição como a alteração nas características físicas, químicas ou biológicas de águas naturais ocasionadas, principalmente, por atividades humanas. Assim, vários componentes e impurezas físicas, químicas e biológicas podem ser considerados importantes no meio aquático (Figura 5), sendo a condição do meio ambiente aquático identificada por estas características, muitas vezes denominadas de parâmetros ambientais ou de qualidade de água.

Figura 5 - Componentes e impurezas que podem estar presentes nas águas.



Fonte: Von Sperling (2005).

Uma das atividades humanas que mais afeta a qualidade das águas é a urbanização, principalmente nos locais onde o atendimento ao saneamento básico não existe ou é ineficaz, pois o lançamento de esgotos nos corpos hídricos sem o tratamento adequado compromete a qualidade da água com o potencial de afetar a saúde da população e até impossibilitar os usos à jusante, principalmente o abastecimento humano (ANA, 2017). A crescente urbanização aumenta também a demanda pelos recursos hídricos, principalmente nos grandes centros urbanos, que associada à diminuição da qualidade de água, ocasionada pelo lançamento de efluentes domésticos e industriais não tratados, pode conduzir a um cenário de conflito pelo uso da água, em especial nos países em desenvolvimento (TUCCI, 2008; TUCCI *et al.*, 2010).

Tucci (2008) destaca que, o desenvolvimento urbano tem produzido um ciclo de contaminação, gerado pelos efluentes da população urbana, que são o esgoto doméstico/industrial e o esgoto pluvial, e que este processo ocorre em razão de: despejo sem tratamento dos esgotos sanitários nos rios, contaminando este sistema hídrico; impermeabilização e canalização dos rios urbanos devido ao aumento da vazão de cheia e sua frequência; ausência de drenagem urbana, culminando em frequentes inundações com o aumento da impermeabilização; esgoto pluvial transportar grande quantidade de poluição orgânica e de metais que atingem os rios nos períodos chuvosos; contaminação das águas subterrâneas por despejos industriais e domésticos por meio das fossas sépticas, vazamento dos sistemas de esgoto sanitário e pluvial, entre outros; depósitos de resíduos sólidos urbanos, que contaminam as águas superficiais e subterrâneas, funcionando como fonte permanente de contaminação; deterioração da qualidade da água por falta de tratamento dos efluentes que potencializa os riscos ao abastecimento da população em vários cenários; ocupação do solo urbano sem controle do seu impacto sobre o sistema hídrico, sendo o mais crítico a ocupação das áreas de contribuição de reservatórios de abastecimento urbano que, eutrofizados, podem ocasionar riscos à saúde da população.

Tucci (2008) também explica que, desde os anos 1990, muitos países têm investido no desenvolvimento de uma política de desenvolvimento sustentável urbano baseado no tratamento das águas pluviais urbanas e rurais, conservação do escoamento pluvial e tratamento dos efluentes em nível terciário para retirada de nitrogênio e fósforo que eutrofizam os lagos. A base deste desenvolvimento no uso do solo é a implementação da urbanização, preservando os caminhos naturais do escoamento e priorizando a infiltração, fase denominada de desenvolvimento sustentável (Quadro 1). Apesar destas ações, ainda persiste uma parte da poluição devido às inundações urbanas e rurais, chamadas de poluição de fontes difusas. Nos

países em desenvolvimento, a exemplo do Brasil, as cidades variam de estágio. Inicialmente, quando a população é pequena, o abastecimento é realizado de poços ou de um corpo d'água próximo e o esgoto é despejado na drenagem (quando existe) ou lançado em poços negros ou fossas sépticas. Nesta situação, há risco de contaminação da água de abastecimento pelo próprio esgoto. Este cenário é dramático quando o solo possui baixa capacidade de infiltração, as fossas não funcionam e o esgoto escoar por ruas ou drenagem. Este estágio é anterior ao higienismo, o que provoca a proliferação de doenças transmitidas pela água. Neste estágio pré-higienista, doenças como diarreia são a principal causa de mortalidade infantil (TUCCI, 2008).

Quadro 1 - Fases do desenvolvimento das águas urbanas

FASE	CARACTERÍSTICAS	CONSEQUÊNCIAS
<i>Pré-higienista</i> : até início do século XX.	Esgoto em fossas ou na drenagem, sem coleta ou tratamento e água da fonte mais próxima, poço ou rio.	Doenças e epidemias, grande mortalidade e inundações.
Higienista: antes da década de 1970.	Transporte de esgoto distante das pessoas e canalização do escoamento.	Redução das doenças, mas rios contaminados, impactos nas fontes de água e inundações.
Corretiva: entre as décadas de 1970 e 1990.	Tratamento de esgoto doméstico e industrial, amortecimento do escoamento.	Recuperação dos rios, restando a poluição difusa, obras hidráulicas e impacto ambiental.
Desenvolvimento Sustentável: depois da década de 1990.	Tratamento terciário e do escoamento pluvial, novos desenvolvimentos que preservam o sistema natural.	Conservação ambiental, redução das inundações e melhoria da qualidade de vida.

Fonte: TUCCI (2008).

Conforme mencionado, muitos dos problemas relacionados com a qualidade das águas associam-se diretamente às cargas de poluentes que atingem os cursos de água por meio da drenagem. Os esgotos domésticos não tratados e industriais, e também a lixiviação do solo podem inserir matéria orgânica, nutrientes e organismos patogênicos aos corpos hídricos. A matéria orgânica pode consumir indiretamente uma parte do oxigênio dissolvido disponível, devido aos processos de estabilização exercidos por bactérias decompositoras. Já os nutrientes, principalmente o fósforo e o nitrogênio, são potenciais causadores da eutrofização, e podem influenciar na qualidade das águas estimulando o processo de envelhecimento natural dos lagos. Por fim, os organismos patogênicos, cuja origem em esgotos é predominantemente humana, retratam diretamente o nível de saúde da população e as condições de saneamento básico da região (VON SPERLING, 1996).

Segundo Braga (2003) além da redução da concentração de oxigênio, a decomposição

da matéria orgânica, altera a turbidez, a cor, o pH, a condutividade elétrica, aumenta a concentração de amônia e promove a liberação de metano e gás sulfídrico, este último responsável pelo odor desagradável dos esgotos ou rios poluídos.

Gomes (2014) também evidencia que a poluição difusa decorrente da drenagem urbana consiste em fonte significativa de poluição dos corpos d'água de bacias urbanas. Estes poluentes são gerados em toda a área da bacia, de forma que, quando associados às precipitações pluviométricas, são carreados para as águas da superfície.

Neste contexto, Granjeiro *et al.* (2014) alertam quanto à importância de diagnóstico dos fatores que afetam a qualidade da água, bem como prognósticos dos impactos futuros decorrentes da probabilidade de determinados eventos ou condições específicas, para melhor auxiliar a administração dos recursos hídricos com ações concretas e eficientes.

### 2.3 Monitoramentos da qualidade das águas

Calazans (2015) explica que não há legislação específica que trate diretamente da questão do monitoramento da qualidade das águas superficiais no Brasil. Cita ainda que o monitoramento atua como suporte para uma adequada gestão dos recursos hídricos, gestão esta que é referenciada em diversas legislações. E que o arcabouço institucional relacionado à gestão das águas superficiais envolve legislações em âmbitos federal (Quadro 2), estaduais e municipais.

Quadro 2 - Legislações relativas aos recursos hídricos superficiais em âmbito federal

LEGISLAÇÃO	CONSIDERAÇÕES
DECRETO FEDERAL Nº 24643 (1934)	Institui o Código das Águas
LEI FEDERAL Nº 6.938 (1981)	Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins, mecanismos, aplicação e estrutura do SISNAMA.
CONSTITUIÇÃO FEDERAL (1988)	Capítulo VI – dispõe sobre o Meio Ambiente
DECRETO FEDERAL Nº 99.274 (1990)	Regulamenta as Leis 6.902 (1981) e 6.938 (1981), institui o SISNAMA e cria o CONAMA.
LEI FEDERAL Nº 9.433 (1997)	Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos
LEI FEDERAL Nº 9.605 (1998)	Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao Meio Ambiente.
DECRETO FEDERAL Nº 3.179 (1999)	Regulamenta a Lei 9.605 (1998).
LEI FEDERAL Nº 9.984 (2000)	Dispõe sobre a criação da Agência Nacional das Águas.
RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357 (2005)	Dispõe sobre a classificação das águas superficiais e institui padrões de lançamentos de efluentes.
RESOLUÇÃO CONAMA Nº 397 (2008)	Alterações no Art. 34 Resolução CONAMA nº 357/2005.
RESOLUÇÃO CONAMA Nº 430 (2011)	Complementa e altera Resolução CONAMA nº 357/2005.
LEI Nº 14.026/2020	Atualiza o marco legal do saneamento básico, a ANA passa a direcionar o setor de saneamento e a ser denominada Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.

Fonte: Calazans (2015) apud Finotti *et al.* (2009).

Calazans (2015) ressalta que, mesmo que não seja diretamente citado na Lei nº 9.433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, o monitoramento contribui para sua implementação, por estar implícito em um dos objetivos do Sistema de Informação sobre Recursos Hídricos, que visa reunir, dar consistência e divulgar os dados e informações sobre a situação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos no Brasil. Em Minas Gerais, a Política Estadual de Recursos Hídricos foi estabelecida em 1999, por meio da Lei nº 13.1999.

Em âmbito federal, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão consultivo e deliberativo, responsável pela elaboração de resoluções que indicam os limites legais para parâmetros de qualidade da água, conforme a classificação do curso d'água. A Resolução CONAMA Nº 357 de 17 de março de 2005 classifica os corpos de água doce de acordo com a qualidade requerida para os seus usos preponderantes em cinco classes (Quadro 3), sendo elas: classe especial, classe 1, classe 2, classe 3 e classe 4, ainda dispõe sobre as diretrizes ambientais para o seu enquadramento e estabelece as condições e os padrões de lançamento de efluentes. Em Minas Gerais, o Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) e o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) assumem esta responsabilidade. Sendo assim, as concentrações dos parâmetros de qualidade da água em águas superficiais, em Minas Gerais, têm que atender aos padrões da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008.

Quadro 3 - Classificação e destinação dos corpos de água doce

<b>CLASSE</b>	<b>DESTINAÇÃO</b>
<b>Especial</b>	Abastecimento doméstico sem previa ou com simples desinfecção, preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
<b>Classe 1</b>	Abastecimento após tratamento simplificado, proteção das comunidades aquáticas, recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho), irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que desenvolvam rentes aos solos e que sejam consumidas cruas sem remoção de película, criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas a alimentação humana.
<b>Classe 2</b>	Abastecimento doméstico, após o tratamento convencional, proteção das comunidades aquáticas, recreação de contato primário (esqui aquático, natação e mergulho), irrigação de hortaliças e plantas frutíferas, criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.
<b>Classe 3</b>	Abastecimento doméstico, após o tratamento convencional, irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, e dessedentação de animais.
<b>Classe 4</b>	Navegação, harmonia paisagística e usos menos exigentes.

Fonte: CONAMA (2005).

O monitoramento da qualidade das águas é ferramenta essencial para o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), tanto para fazer cumprir com seus objetivos, quanto para servir como base na execução dos seus instrumentos. Ambas as parcelas de água que contribuem para a vazão dos rios, superficial e subterrânea, devem ser monitoradas para que se determine a quantidade de recursos hídricos e verifique suas condições (ANA, 2020). O monitoramento permite acompanhar sistematicamente os corpos d'água, sendo fundamental, proporcionar informações sobre a qualidade e quantidade de água necessária para verificar a adequação aos diversos usos (ZEH *et al.*, 2015). Além de servirem para o estabelecimento de políticas ambientais, os resultados do monitoramento devem ser utilizados para informar o público em geral. Estas informações têm sido cada vez mais cobradas das agências ambientais governamentais, visto que há uma crescente consciência de que estes aspectos se vinculam à qualidade de vida da população (LAMPARELLI, 2004).

Monitorar a qualidade da água é essencial para a saúde pública e, assim, evitar que epidemias se proliferem junto às populações, assim, proporcionando a prevenção de doenças infecciosas intestinais e helmintíases. Desta forma, a contribuição da disponibilização de água de boa qualidade está relacionada à melhoria da saúde pública e à redução de consultas médicas (PHILIPPI JUNIOR e MARTINS, 2005). A Fundação Nacional de Saúde - FUNASA (2014) também esclarece que as doenças de veiculação hídrica, causadas por bactérias, vírus, protozoários, helmintos e outros micro-organismos patogênicos são os problemas de saúde públicas mais comuns dos países em desenvolvimento.

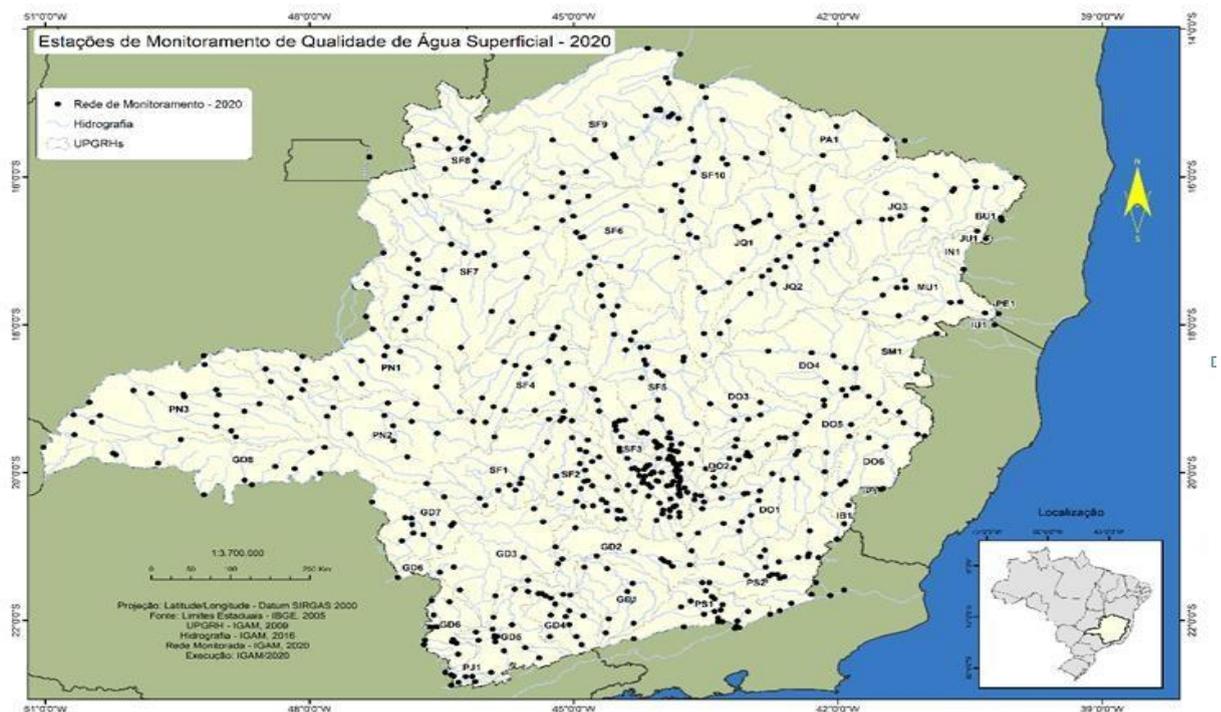
Diante ao exposto, cabe ressaltar que, segundo Sousa (2018) implantar um programa de monitoramento de qualidade de águas não é tarefa fácil. Para alcançar dados confiáveis e que possibilitem aos gestores de águas terem embasamento para tomada de decisões há necessidade de constante adequação do plano de monitoramento à realidade local. Assim, os aspectos locais devem ser considerados na configuração do programa de monitoramento, na seleção dos pontos e dos parâmetros de qualidade, e também na escolha do período de realização.

Conforme Lima, H. S. (2016), o monitoramento de recursos hídricos é um conjunto de ações e esforços que visam permitir o conhecimento da situação da qualidade das águas e seu padrão de comportamento ao longo do espaço e do tempo. Assim, as redes de monitoramento de qualidade das águas são implantadas para auxiliar a gestão dos recursos hídricos, fornecer subsídios para elaboração de uma adequada legislação de recursos hídricos e disponibilizar informações para um efetivo gerenciamento de recursos hídricos. Para divulgação dos dados

coletados nos monitoramentos, informando os valores de concentração dos poluentes nos corpos d'água, o Índice de Qualidade das Águas - IQA retrata por meio de um índice único global, a qualidade das águas em um determinado ponto de monitoramento.

Dados do IGAM (2021b) mostram que, em 2020, a rede básica de monitoramento de qualidade de águas superficiais (macro rede) de Minas Gerais contava com 666 estações de amostragem distribuídas nas bacias hidrográficas dos rios São Francisco, Grande, Doce, Paranaíba, Paraíba do Sul, Mucuri, Jequitinhonha, Pardo, Buranhém, Itapemirim, Itabapoana, Itanhém, Itaúnas, Jucuruçu, Peruípe, São Mateus e Piracicaba, Figura 6.

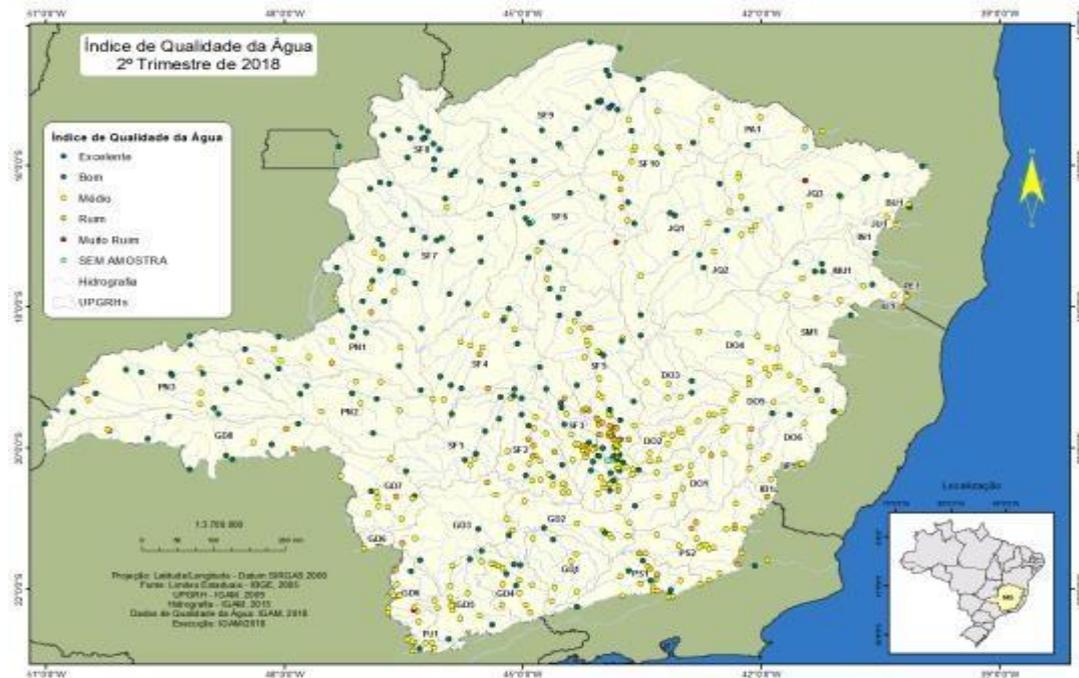
Figura 6 - Estações de Monitoramento de qualidade de água superficial presentes em Minas Gerais



Fonte: IGAM (2021b).

Já na Figura 7, é apresentado o mapa com os resultados de Índice de Qualidade da Água- IQA obtidos no segundo trimestre de 2018 nas estações de amostragem do Estado de Minas Gerais. Nos resultados, verificou-se em todo o estado que o maior percentual da frequência de ocorrência de IQA ocorreu nas faixas de IQA Médio e Bom, representando, respectivamente, 51,20% e 36,90% dos resultados. Já a ocorrência de IQA Ruim representou no Estado 11,10% dos resultados, IQA Muito Ruim 0,60%, IQA Excelente 0,20%. Sendo o Coliformes Termotolerantes/*Escherichia Colie* a turbidez os parâmetros que mais afetaram o IQA na Bacia do Rio Doce (IGAM, 2018a).

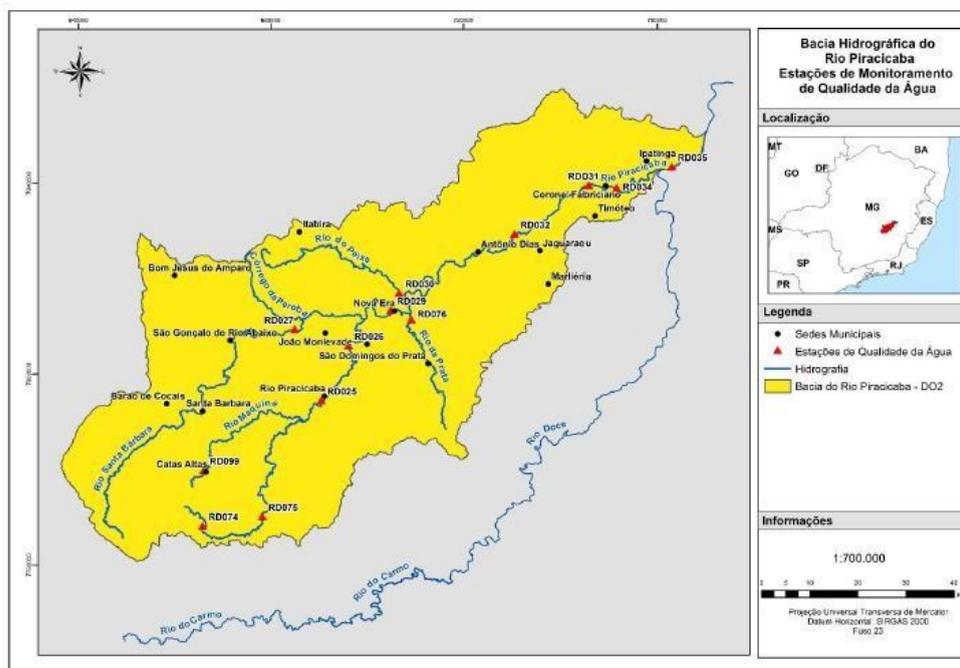
Figura 7 - Índice de Qualidade da Água - IQA no Estado de Minas Gerais no 2º trimestre de 2018.



Fonte: IGAM (2018a).

No rio Piracicaba, o IGAM opera 14 estações de amostragem de qualidade das águas, Figura 8. Além dos parâmetros físico-químicos, analisa os resultados da qualidade das águas tendo como base dois indicadores ambientais: o Índice de Qualidade da Água - IQA e a Contaminação por Tóxicos - CT.

Figura 8 - Bacia Hidrográfica do rio Piracicaba e suas estações de monitoramento de qualidade da água



Fonte: Soares (2017).

## 2.4 Índices de qualidades das águas - IQA

O Índice de Qualidade da Água - IQA foi desenvolvido pela National Sanitation Foundation dos Estados Unidos, em 1970, por meio de pesquisa de opinião junto a vários especialistas da área ambiental. No estudo cada técnico selecionou, a seu critério, os parâmetros relevantes para avaliar a qualidade das águas e estipulou, para cada um deles, um peso relativo na série de parâmetros especificados. Em 1975, este índice foi adaptado pela Companhia Ambiental do estado de São Paulo - CETESB, sendo atualmente o mais usado no Brasil. Já em Minas Gerais, o IGAM é responsável por estas avaliações (IGAM, 2018b).

Pesquisadores e autores, a exemplo de Von Sperling, utilizam IQA em seus trabalhos, pesquisas e publicações a fim de obterem a caracterização quantitativo-qualitativa dos cursos d'água. Von Sperling (2005) evidencia que para a aquisição da caracterização de um corpo hídrico, são necessárias avaliações de variáveis que demonstrem suas características físicas, químicas e biológicas. Sendo a análise destas variáveis importantes indicadores de qualidade da água, por possibilitarem caracterizar e quantificar as ações das atividades antrópicas sob os corpos hídricos, assim atribuindo condições favoráveis onde não há impacto sobre o sistema hídrico ou condições impactantes onde há valores superiores aos estabelecidos para determinado uso.

O IQA combina as variáveis monitoradas em um único resultado, assim, gera informações de caráter mais geral e de fácil entendimento sobre as condições das águas. Para a gestão de recursos hídricos é uma ferramenta útil, por descrever, em linguagem simples, o estado da água e da vida aquática, e ainda classificar a qualidade das águas para os mais variados usos, tais como consumo humano e preservação de ecossistemas (CCME, 2009).

O IQA traz como informação agregada a contaminação das águas em decorrência de matéria orgânica e fecal, sólidos e nutrientes e qualifica os resultados dos 9 parâmetros (físicos, químicos e biológicos). Assim, os índices podem ser entendidos como “notas”, que retratam condições que variam de “muito ruim” a “excelente”, ou que permitem inferências sobre alguns aspectos específicos sobre o curso d'água, tal como biodiversidade e toxicidade. Sendo que, estes valores podem variar entre 0 e 100 e a classificação é tida como Muito Ruim ( $0 \leq \text{IQA} \leq 25$ ), Ruim ( $25 < \text{IQA} \leq 50$ ), Médio ( $50 < \text{IQA} \leq 70$ ), Bom ( $70 < \text{IQA} \leq 90$ ) e Excelente ( $90 < \text{IQA} \leq 100$ ) (VON SPERLING, 2007). Abaixo estão descritas as características gerais de cada um dos 09 parâmetros utilizados no cálculo do IQA:

**-Oxigênio Dissolvido (OD)** - Essencial à manutenção dos seres aquáticos aeróbios a concentração de oxigênio dissolvido na água varia segundo a temperatura e, sendo a sua introdução condicionada pelo ar atmosférico, à fotossíntese e ação dos aeradores. “Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias utilizam do oxigênio em seu metabolismo, podendo vir a causar uma redução da sua concentração no meio. Caso o oxigênio seja totalmente consumido, têm-se condições de ausência de oxigênio (anaeróbicas), com possível geração de maus odores” (VON SPERLING, 2007)

**-Coliformes Termotolerantes** - são alguns dos principais indicadores de contaminações fecais, resultantes do lançamento de efluentes industriais e domésticos, originadas do trato intestinal dos homeotermos (humano e de outros animais). Podem ser causadoras de doenças de veiculação hídrica, tais como febre tifóide, febre paratifóide, disenteria bacilar e cólera.

- **Potencial Hidrogeniônico (pH)** - define o caráter ácido, básico ou neutro de uma solução aquosa. Sua origem natural está associada à dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica e a fotossíntese, enquanto sua origem antropogênica está relacionada aos despejos domésticos industriais. Segundo Von Sperling (2005), a variação do pH dos corpos hídricos pode ser de origem natural (dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera e fotossíntese) ou antropogênica (despejos domésticos e industriais). A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece que em águas doces, independentemente da classe, o pH deve estar entre 6 e 9.

- **Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)** - é definida como a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica biodegradável sob condições aeróbicas, isto é, avalia a quantidade de oxigênio dissolvido, em mg/L, que será consumida pelos organismos aeróbios ao degradarem a matéria orgânica. Seu valor é determinado com base na diferença de concentração de Oxigênio Dissolvido em amostra de água no período de cinco dias e temperatura de 20°C. Para Von Sperling (2005) a DBO é um dos parâmetros mais importante para a identificação do grau de poluição de um corpo d'água, pois de uma forma indireta, representa o teor de matéria orgânica, indicando o potencial do consumo do oxigênio dissolvido.

- **O Fósforo Total** - sua origem natural está associada à composição celular dos micro-organismos e decomposição da matéria orgânica por eles, além de se apresentar devido ao intemperismo de rochas que possuem o fósforo em sua estrutura química. “Na água o fósforo apresenta-se principalmente sobre a forma de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico” (Von Sperling 2007, p.32). Contudo, grande parte dos compostos fosfatados encontrados no ambiente

tem origem antropogênico, advindo do lançamento de efluentes domésticos, industriais, além dos surfactantes aniônicos (detergentes), excrementos de animais e insumos agrícolas (fertilizantes).

- **Nitrato** - é uma fase essencial no processo de depuração dos lançamentos de efluentes ricos em nitrogênio sobre os corpos hídricos, representando a forma mais oxidada do nitrogênio. Sua fonte natural nas águas superficiais compete à assimilação de nitrogênio e sua fixação em cadeia trófica, sendo este o produto da ação de micro-organismos sob a matéria orgânica (restos animais e vegetais). Outra forma de se encontrar nitratos no recurso hídrico é através do intemperismo de rochas ígneas vulcânicas. Em concentrações naturais, os resultados de Nitrato são baixos, uma vez que em índices reduzidos é facilmente sintetizado.

- **A Temperatura da água** - é um fator que influencia a grande maioria dos processos físicos, químicos e biológicos na água como, por exemplo, a solubilidade dos gases dissolvidos. Uma elevada temperatura diminui a solubilidade dos gases como, por exemplo, do oxigênio dissolvido, além de aumentar a taxa de transferência de gases, o que pode gerar mau cheiro, no caso da liberação de compostos com odores desagradáveis.

- **Turbidez** - representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água, conferindo uma aparência turva à mesma. A turbidez tem como origem natural a presença de matéria em suspensão como partículas de rocha, argila, silte, algas outros microrganismos e como fonte antropogênica os despejos domésticos, industriais e a erosão.

- **Os Sólidos Totais** - consistem em todas as impurezas da água, com exceção dos gases dissolvidos e contribuem para a carga de sólidos presentes nos corpos de água e podem ser classificados de acordo com seu tamanho e características químicas. Os sólidos totais (ST) são a soma dos sólidos dissolvidos totais (SDT) com os sólidos suspensos totais (SST).

## **2.5 Aspectos do uso e ocupação do solo versus qualidade e disponibilidade hídrica**

Segundo Luiz (2017), compreender como as mudanças na cobertura da terra influenciam as alterações da paisagem e o equilíbrio das relações ecológicas tem despertado a atenção de pesquisadores, pois entender as causas destas mudanças e suas implicações é fundamental na proposição de ações econômicas ambientalmente sustentáveis. Para Gyawali *et al.* (2013b), as mudanças no uso da terra são o resultado de interações complexas como política, gestão, economia, cultura, comportamento humano e meio ambiente.

Tucci (2008) evidencia que o meio formado pelo ambiente natural e urbano é um ser vivo dinâmico capaz de gerar um conjunto de efeitos, que, quando não controlado pode resultar em prejuízos significativos. Sendo assim, a ocupação e o uso da terra pelo homem, alinhados à falta de planejamento têm intensificado a escassez cotidiana dos recursos naturais. Kouakou e Silva (2004) consideram ainda que, a deterioração do ambiente natural se configura atualmente como um dos maiores desafios a serem superados, quando se busca alcançar melhor qualidade de vida. Assim, é necessário estabelecer sistemas de conservação do solo e da água, associados à regulação do uso e também à preservação da paisagem.

Considerando os efeitos do desenvolvimento urbano e consequente avanço no uso e ocupação do solo, os mais expressivos e que apresentam maiores prejuízos à população são os que compreendem a escassez qualitativa e quantitativa da água. Bertolo *et al.* (2009) afirmam que a poluição antrópica é a principal responsável pela deterioração dos mananciais, e que é vinculada principalmente ao uso inadequado do solo, lançamentos de resíduos industriais, esgoto sanitário nos corpos d'água e a deposição inadequada do lixo doméstico. Sendo o uso dos recursos naturais comum em todo o mundo, mas a prática de gestão sustentável deste uso, a fim de minimizar os impactos negativos da degradação da água e dos solos, deve ser sempre reivindicada para que a utilização dos recursos não resulte na privação do bem-estar humano (MUTOKO *et al.* 2014).

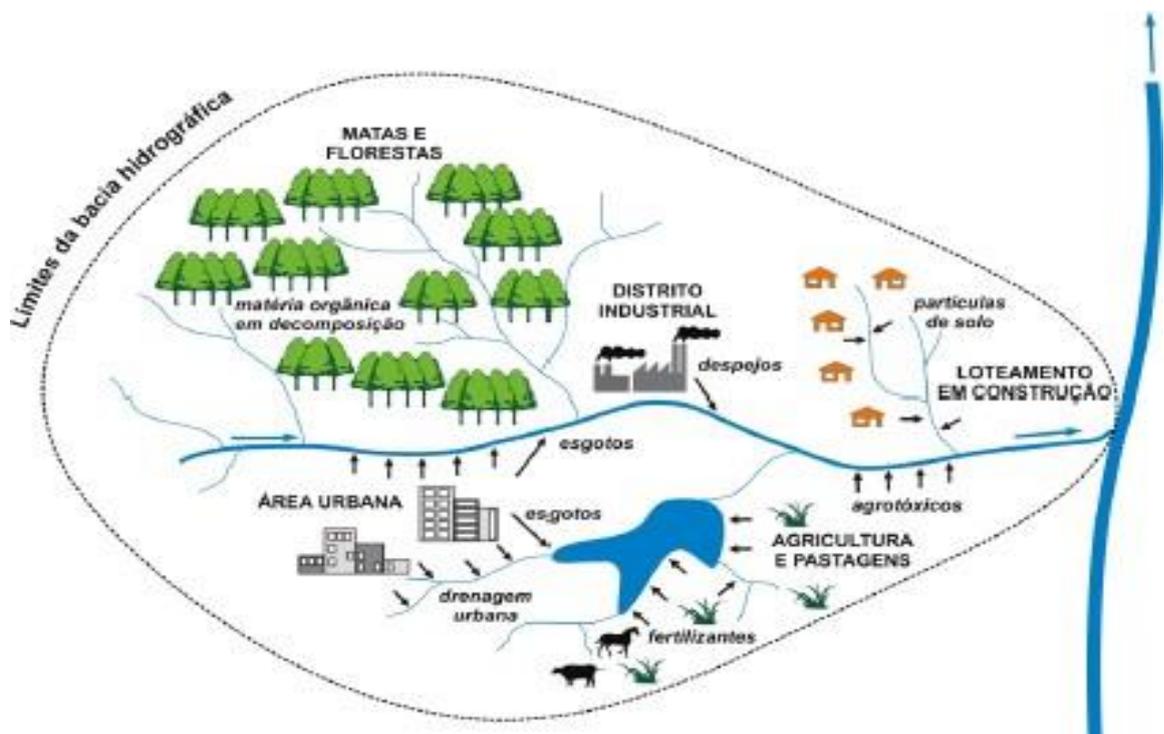
Cornelli *et al.* (2015) descrevem que o uso e ocupação do solo podem influenciar diretamente na qualidade e na disponibilidade dos recursos hídricos, seja pela urbanização acelerada, pela supressão da vegetação ou uso agrícola. Os mesmos autores citam ainda que os impactos podem variar em função do uso, aporte de carga orgânica, nutrientes, contaminantes metálicos e o arraste de sedimentos comprometendo a qualidade e o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos. Menezes *et al.* (2016) acrescentam que o uso e a ocupação do solo alteram sensivelmente os processos físico-químicos e biológicos dos sistemas naturais. Sendo os mananciais de superfície integradores dos fenômenos ocorrentes sobre a área da bacia hidrográfica.

Tucci (2011) também discorre que, geralmente, o uso do solo relaciona-se com atividades econômicas e o desenvolvimento destas terras gera impacto adverso na qualidade da água, ou seja, terras muito desenvolvidas relacionam-se com altas concentrações de poluentes, pior qualidade de água. Já ao contrário disso, terras menos desenvolvidas, a exemplo de florestas, possuem baixos percentuais de concentração de poluentes, assim evidenciando a relação dessas terras com uma boa qualidade de água.

De acordo com Rosa (2014) para realizar uma análise geoambiental integrada de uma bacia hidrográfica é necessário explicar os impactos dos diversos usos da terra sobre a qualidade da água, dentre eles: presença de contaminação biológica ou química, alterações na temperatura da água, impactos na flora e fauna aquática ou ribeirinhos, dentre outros. Na Figura 9 são ilustrados exemplos de inter-relações da terra e focos alteradores da qualidade da água.

Conforme apresentado nas Figura 9 e 10, há atividades urbanas e rurais que podem alterar o solo e corpos d'água em uma bacia hidrográfica. Pinheiro (2019) descreve que o manejo do uso do solo, em relação às atividades agrícolas e urbanas, pode causar mudanças em sua estrutura, suprimir a vegetação natural e a substituir por paisagens urbanas, plantações e pastagens. Seeboonruang (2012) destaca que a liberação de águas residuais de vários usos do solo ameaça a qualidade das águas superficiais. E que, diferentes usos da terra representam vários graus de perigo para os recursos hídricos, a extensão perigosa de cada atividade depende da quantidade e das características das águas residuais.

Figura 9 - Exemplos de inter-relações da terra e focos alteradores da qualidade da água.



Fonte: Von Sterling (2005).

A poluição difusa é a mais complexa por apresentar ampla abrangência e origem, pois quando se acumula ao solo, é um desafio identificar a sua fonte. A poluição difusa envolve transporte de poluentes por meio de sistemas de ar/solo/água. Assim, para rastreá-la, o que nem sempre é possível, são necessários protocolos sofisticados que envolvem análises de amostras provenientes dos três compartimentos ambientais. Destaca-se que na poluição difusa, a substância já sofreu transformações físico-químicas antes de atingir seu repositório final, o solo, por isso essa dificuldade em se identificar o tipo do contaminante e delimitar a extensão da área atingida. Na Figura 10, há uma representação esquemática sobre algumas fontes difusas e pontuais de poluição, que atingem os compartimentos ambientais (DURÃES *et al.* 2018).

Figura 10 - Atividades antrópicas que contribuem para a poluição ambiental (difusa e pontual).



Fonte: Zabotto *et al.* (2019).

No Quadro 4, também são apresentados alguns dos principais impactos aos solos e recursos hídricos, ocasionados por atividades antrópicas, a exemplo da agricultura, pecuária, indústria e urbanização. Constata-se, ao analisá-lo, que diversas atividades antrópicas podem ser responsáveis por variados impactos aos recursos hídricos e aos solos. A recuperação destes ambientes após determinadas alterações e contaminações pode ser difícil e demorar, ou muitas vezes até gerar um quadro irreversível em razão da diminuição do poder de superação do local. Por exemplo, o tratamento destas águas a fim de que se tornem potáveis ao abastecimento humano pode ser muito trabalhoso e custoso, ou nem ser possível. Guimarães *et al.* (2019)

também explicam que os cursos de água possuem limitações quanto às cargas poluentes que recebem, sendo assim, necessitam de espaço e tempo para que, por meio de processos naturais, possam reestabelecer o equilíbrio na qualidade da água.

Quadro 4 - Principais impactos aos solos e águas ocasionados por atividades antrópicas.

<b>Tipos de uso</b>	<b>Principais problemas</b>	<b>Consequências no solo</b>	<b>Consequências na água</b>	<b>Parâmetros alterados</b>	<b>Medidas mitigadoras</b>
<b>Agricultura</b>	Desmatamento, uso de defensivos agrícolas e perda da fertilidade.	Compactação, lixiviação, perda de fertilidade e processos erosivos.	Contaminação por agrotóxicos, eutrofização e assoreamento.	Fósforo, nitrato, nitrito e metais pesados.	Técnicas de manejo do solo e manutenção da APP.
<b>Pecuária</b>	Super pastejo	Compactação do solo e erosão	Contaminação microbiológica	Coliformes Termotolerantes e totais	Técnicas de manejo do solo e manutenção da APP.
<b>Indústria</b>	Uso intensivo dos recursos naturais, poluição do ar, água e solo.	Contaminação por poluentes químicos.	Contaminação por efluentes.	Turbidez, pH, metais pesados, temperatura, OD e DBO.	Tratamento dos efluentes e reuso das águas.
<b>Urbanização</b>	Desmatamento, disposição final de resíduos sólidos e esgotos não tratados.	Impermeabilização, contaminação do solo e erosão.	Assoreamento e contaminação por efluentes domésticos e industriais.	Coliformes Termotolerantes e totais, DBO e OD.	Tratamento de esgotos, reciclagem e implantação de aterros sanitários.

Fonte: Fonseca (2006).

De acordo com Philippi Junior e Martins (2005) para alcance de soluções para a conservação e recuperação das condições naturais do meio ambiente deve-se implantar sistemas de esgotamento sanitário, coleta e destinação adequada dos lixos, controle de fertilizantes e pesticidas, regulação do uso do solo e modificação dos processos industriais poluidores. E que, para tanto, são necessárias ações planejadas de forma integrada entre as diversas instituições do governo e da sociedade.

Barbosa (2015) explica que vários estudos mostram que o uso e ocupação do solo impactam a qualidade das águas e que existe uma correlação entre os parâmetros de qualidade e o uso do solo do local. No Quadro 5 são exemplificados estudos que avaliaram a relação entre o uso e ocupação do solo e consequentes alterações no meio ambiente e recursos hídricos.

Quadro 5 - Estudos que avaliaram a qualidade das águas e suas relações com o uso e ocupação do solo local

REFERÊNCIA	ÁREA ESTUDADA	DADOS ANALISADOS	OBJETIVOS DO ESTUDO	RESULTADOS
BARBOSA, 2015	Bacia do Rio Paracatu	34 parâmetros de qualidade das águas em 27 estações de monitoramento controladas pelo IGAM	Relacionar o uso e ocupação do solo da bacia do rio Paracatu com a qualidade das águas superficiais.	A atividade mais comum na bacia é a agricultura e esta atividade impacta a qualidade da água, porém, não tanto quanto a falta de saneamento básico que eleva os níveis de coliformes termotolerantes. Já a mineração eleva os níveis de arsênio em algumas estações de monitoramento.
BU <i>et al.</i> , 2014	Bacia do Rio Taizi, China	69 locais de amostragem; 15 parâmetros de qualidade de água; 2 coletas em 1 ano; 11 tipos de uso do solo	Avaliar as relações entre a qualidade de água do rio e tipos de uso do solo; detectar as correlações; identificar as principais fontes de poluentes.	Áreas vegetadas tiveram uma contribuição positiva para a qualidade de água; a área urbana influenciou fortemente os parâmetros de fósforo e nitrogênio
GYAWALI <i>et al.</i> , 2013a	Bacia do Rio Utapao, Tailândia	10 locais de amostragem; 13 parâmetros de qualidade de água; 37 tipos de uso do solo (agrupados em 5 categorias)	Avaliar as variações espaciais e temporais do uso da terra; e investigar sua relação com a qualidade da água.	Terras de agricultura mostraram significativas correlações positivas com sólidos suspensos e sólidos dissolvidos; e correlações negativas com temperatura e oxigênio dissolvido.
GYAWALI <i>et al.</i> , 2013b	Bacia do Rio Utapao, Tailândia	9 locais de amostragem; 6 parâmetros de qualidade de água; 4 tipos de uso do solo	Examinar a possível relação estatística e espacial do uso do solo com a qualidade das águas superficiais.	Áreas urbanas e de agricultura mostraram relação com a concentração de poluentes nas águas, já as áreas de vegetação nativa mostraram relações positivas com a qualidade das águas.
LI <i>et al.</i> , 2012	Bacia do Rio Liao, China	76 locais de amostragem; 58 coletas (2010) e 42 coletas (2009); 6 tipos de uso do solo	Investigar a variabilidade espaço-temporal do Rio Basin em relação ao uso e ocupação do solo.	Os parâmetros DBO, DQO, nitrato e sólidos dissolvidos totais estão significativamente relacionados com terras usadas para agricultura.
PONTES <i>et al.</i> , 2012	Microbacia do córrego Banguelo da sub-bacia Bom Jesus	09 pontos de monitoramento	Avaliar o efeito do uso e ocupação do solo na qualidade da água num ciclo sazonal em diferentes pontos da microbacia	O IQA indicou que a qualidade da água oscilou entre média e ruim no período seco, tendo-se observado a melhoria da qualidade da água para boa e média no período chuvoso.
SEEBOONRUANG, 2012	Província Nakhon Nayok, Tailândia	33 locais de amostragem; 6coletas; 4 tipos de uso do solo	Avaliar relações entre índices de qualidade de água e índices de contaminações potenciais de atividades de uso da terra.	Três tipos de uso do solo (agricultura de entressafra do arroz, criação de aves e atividade residencial) afetam a qualidade das águas.
WAN <i>et al.</i> , 2014	Bacia do Rio Xitiaoxi, China	41 locais de amostragem; coletas mensais	Avaliar o impacto do uso e ocupação do solo na qualidade do fluxo de água numa escala de sub-bacias.	Áreas urbanas e de agricultura são importantes fontes de concentração de nitrogênio total e de fósforo total.

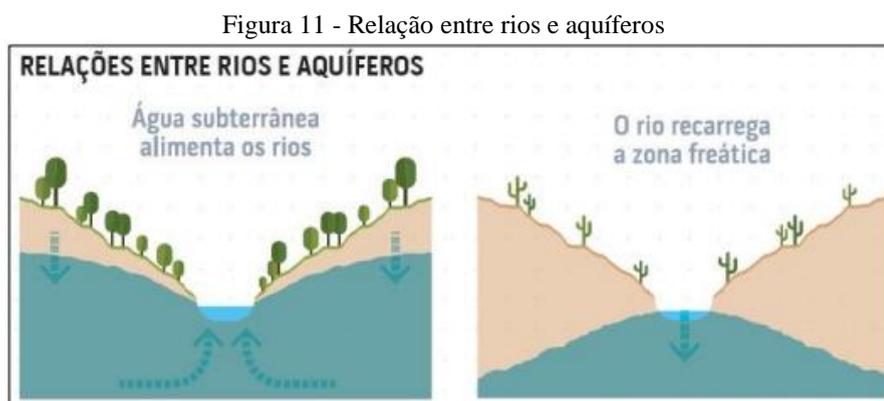
Fonte: Modificado de Barbosa (2015).

Neste contexto, considerando que o processo evolutivo de ocupação de áreas geralmente se manifesta de maneira desordenada, impulsionado pelo crescimento acelerado da população, industrialização, expansão das áreas agrícolas e intensa urbanização. O que pode resultar em graves e irreversíveis modificações ambientais na dinâmica natural dos ecossistemas associados às áreas afetadas (MELO NETO *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2006; VASCO, 2011). Este problema indica a necessidade de estudos integrados que contemplem a compreensão do uso e ocupação do solo e funcionamento básico destas bacias, e forneçam subsídios para programas de monitoramento da qualidade da água em recursos hídricos localizados próximos aos centros urbanos (VASCO *et al.*, 2011).

## 2.6 Disponibilidade hídrica e aspectos quantitativos dos recursos hídricos

Ambientes lóticos apresentam grande variabilidade e complexidade em seus componentes bióticos e abióticos retratando o dinamismo destes ecossistemas. Estes sistemas hídricos são fundamentalmente estruturados pelo regime climático, ambiente físico (luz, temperatura, correnteza e habitat), químico (carbono orgânico, carbono inorgânico, oxigênio e nutrientes), biológico (herbivoria, bovinos, competição) que interagem com repercussões no desempenho ambiental (AGOSTINHO *et al.*, 2013; ALMEIDA e FRISCHKORN, 2015; QUEIROZ *et al.*, 2019).

Segundo a ANA (2020) a disponibilidade de água superficial, apesar da relevante influência da regularização do fluxo de água dos rios pelos reservatórios, é garantida pela contribuição de água dos aquíferos, que representam o fluxo de base da maior parte dos rios em território nacional, Figura 11.



Fonte: ANA (2020).

O IGAM (2020) ressalta que, em relação à disponibilidade hídrica, os valores de vazão dos corpos hídricos refletem os valores do acumulado de precipitação, em outras palavras, locais que chovem mais tendem a possuir corpos hídricos com maiores valores de vazão específica. Sendo que o aumento das precipitações pode elevar também o carreamento de materiais e poluentes ao longo dos corpos hídricos. Com o aumento das chuvas, o escoamento superficial e a lixiviação podem levar materiais e poluentes aos cursos d'água, a exemplo de fertilizantes, óleos, chumbo, esgotos de galerias, principalmente em áreas não vegetadas. Já a diminuição da chuva diminui o volume e a vazão dos rios, assim, reduzindo o poder de diluição dos poluentes e de cargas tóxicas.

De acordo com a ANA (2014) para que os recursos hídricos e os potenciais hidráulicos sejam gerenciados de maneira adequada é imprescindível conhecer o comportamento dos rios, suas sazonalidades e vazões, bem como os regimes pluviométricos das diversas bacias hidrográficas, considerando as suas distribuições espaciais e temporais. Para tanto, é fundamental que se realize um trabalho permanente de coleta e interpretação de dados, cuja confiabilidade torna-se maior à medida que suas séries históricas ficam mais extensas, envolvendo eventos de cheias e de secas.

A ANA (2020) esclarece que a disponibilidade hídrica superficial é uma estimativa da quantidade de água oferecida aos mais diversos usos, determinada para fins de gestão e baseada em vazões mínimas ou vazões de estiagem. Nos rios de domínio da união, essa disponibilidade é definida a partir da  $Q_{95}$  (vazão que passa no rio em pelo menos 95% do tempo), das vazões nos lagos de reservatórios e das vazões liberadas a jusante das respectivas barragens. Rodrigues (2004) também explica que a disponibilidade hídrica de uma bacia pode ser avaliada pela análise das vazões mínimas, caracterizadas pela sua magnitude, duração e frequência de ocorrência, refletindo o potencial natural disponível para abastecimento humano, industrial, navegação, geração de energia e lançamento de efluentes.

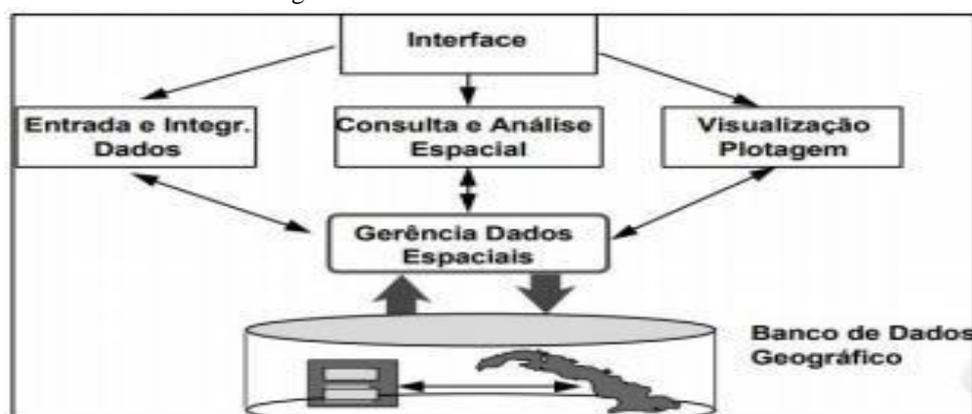
Dados do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil-MapBiomias (2021), revelam que o Brasil possui 12% das reservas de água doce do planeta, constituindo 53% dos recursos hídricos da América do Sul. Cientistas do MapBiomias analisaram dados orbitais de 36 anos (1985 a 2020) para caracterizar a superfície de água no Brasil, que indicaram redução de 15% na superfície de água desde o início dos anos 90, demonstrando clara tendência de perda de superfície de água em todas as regiões hidrográficas, e em todos os biomas do País. O Estado de Minas Gerais ocupa o terceiro lugar entre os estados

com a maior perda absoluta e proporcional de superfície de água na série histórica analisada pela equipe do MapBiomas, com um saldo negativo, entre a água que entrou e a que se esvaiu, de mais de 118 mil hectares. Na pesquisa é evidenciada que, no geral, a perda da superfície de água natural por causa da água armazenada em estruturas construídas pelo homem tem consequências preocupantes na alteração do regime hídrico, afetando a biodiversidade e a dinâmica dos rios. Também é explicado que a dinâmica de uso da terra baseada na conversão da floresta para pecuária e agricultura e a construção de represas contribuem para a diminuição deste fluxo hídrico. O coordenador da pesquisa ressalta que “a dinâmica de uso da terra baseada na conversão da floresta para pecuária e agricultura interfere no aumento da temperatura local e muitas vezes altera cabeceiras de rios e de nascentes, podendo também levar ao assoreamento de rios e lagos”. Neste contexto, as pessoas já vivenciam os impactos negativos com o aumento de queimadas, impacto na produção de alimentos, e na produção de energia, e até mesmo com o racionamento de água em grandes centros urbanos. O que demonstra a necessidade de um diagnóstico do problema na escala de bacias hidrográficas para identificar quais fatores estão comprometendo a disponibilidade de recursos hídricos (MAPBIOMAS, 2021).

## 2.7 Sistemas de Informações Geográficas e Mapas Temáticos

Câmara e Medeiros (1998) definem que os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são instrumentos computacionais do Geoprocessamento que permitem a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados e, ainda, tornam possível a automatização da produção de documentos cartográficos. A Figura 12 ilustra a estrutura de um SIG.

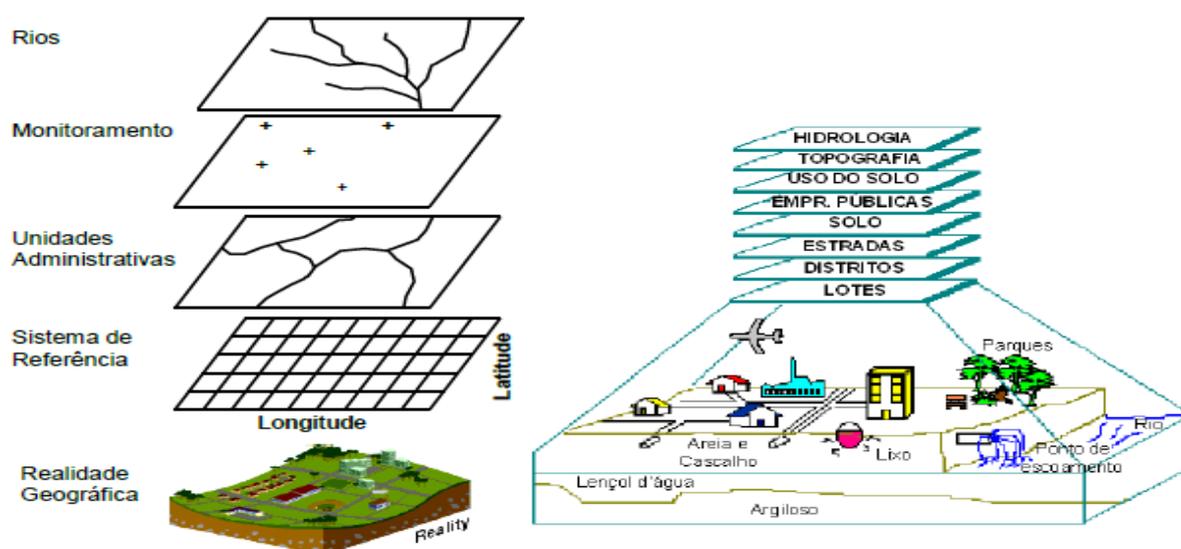
Figura 12 - Estrutura interna de um SIG.



.Fonte: Câmara e Ortiz, 1998.

De acordo com Rubert (2011), um SIG deve permitir inserir e integrar informações espaciais provenientes de diversas fontes, tais como: cartografia, fotografias aéreas, imagens de satélite, dados tabulares de censos e cadastros, além de oferecer ferramentas para o gerenciamento destas informações (consulta, visualização, atualização, edição e plotagem). O autor cita ainda que todas as visões de descrição de SIG conduzem a um conjunto formado por equipamentos, programas, dados, procedimentos e pessoas com a finalidade de capturar, gerenciar, manipular, analisar, modelar e visualizar os dados espaciais referenciados com o propósito de tomar decisões a partir da modelagem de dados do mundo real, Figura 13.

Figura 13 - Mapa de Integração de planos de informações.



Fonte: Rubert (2011)

Segundo Barbosa (2015) as ferramentas de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) possibilitam a realização de operações analíticas em grandes conjuntos de dados, como a combinação de vários mapas com intuito de obter informações da superfície terrestre. Ressalta ainda que o sensoriamento remoto aliado às técnicas de SIG apoia a análise de longos resultados que são formados a partir de extensas análises de banco de dados de programas de monitoramento de qualidade das águas.

Wrublack (2012) afirma que o uso de técnicas de geoprocessamento possibilita realizar com maior precisão o armazenamento, o gerenciamento e a análise de dados espaciais e não espaciais, que auxiliam nas análises e ferramentas para o planejamento do desenvolvimento ambiental. Reis et. al (2020) também ressaltam que a manipulação destas informações espaciais

em ambiente SIG, apresenta-se como excelente alternativa, em se tratando de técnicas que viabilizem, de maneira vantajosa e eficiente, a geração de um banco de dados que ofereça suporte à caracterização de um determinado território.

Portanto, o uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG) para elaboração de mapas temáticos possibilita a descrição de territórios geográficos, de forma a espacializar e evidenciar suas características, sejam elas culturais, fenômenos da natureza e possíveis fragilidades, determinação de atividades, uso e ocupação do solo e índices (qualidade da água, pluviométrico, fluviométrico, dentre outros). Assim, permitindo não apenas a representação e caracterização, mas também a reinterpretação destes dados de forma a apoiar a tomada de decisões em busca de melhorias aos ambientes estudados.

## **2.8 Bacia Hidrográfica do rio Piracicaba**

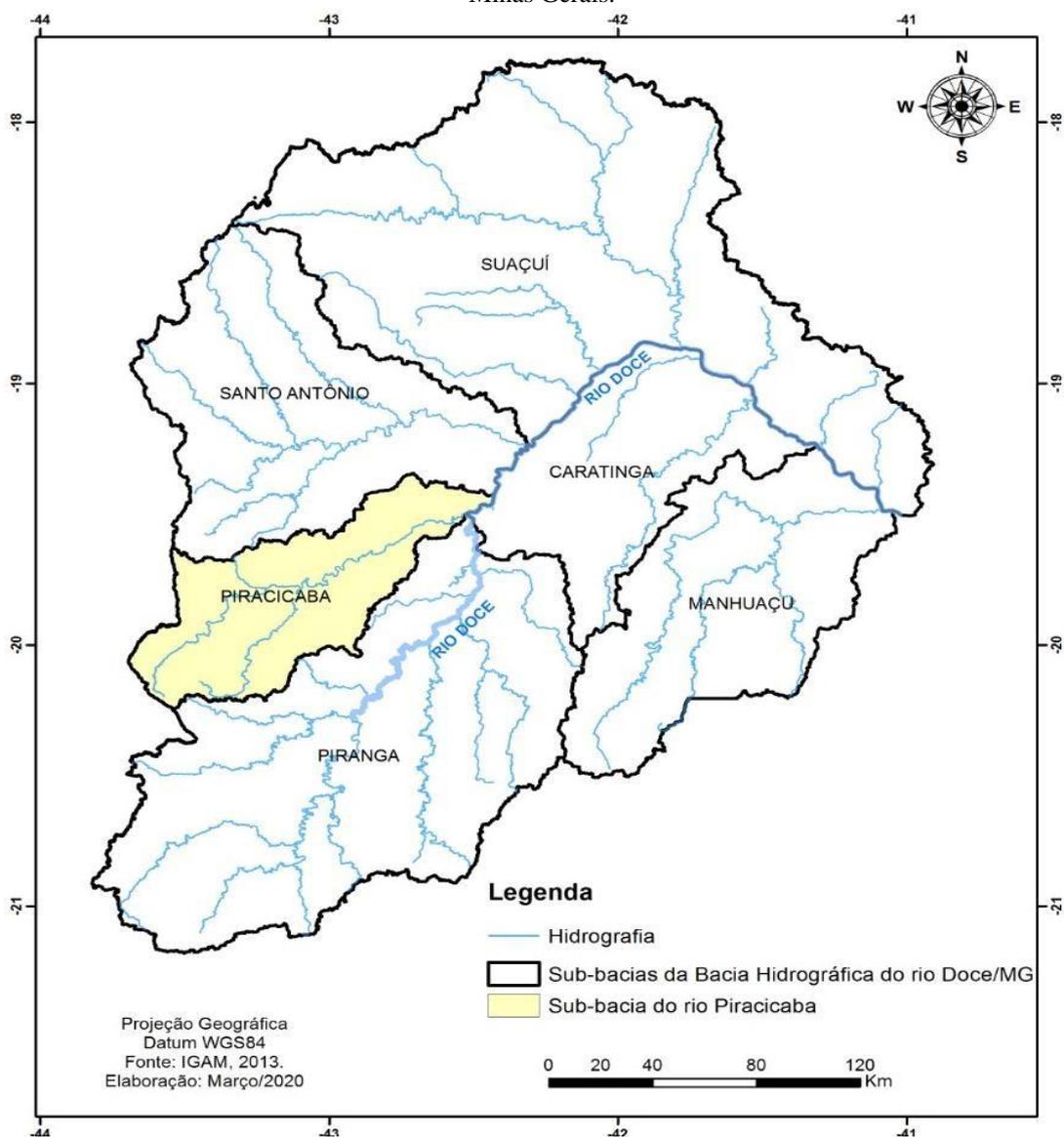
### **2.8.1 Caracterização da Bacia Hidrográfica do rio Piracicaba**

A bacia hidrográfica do rio Piracicaba, Figura 14, localiza-se na bacia hidrográfica do rio Doce, e é definida como a Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos - UPGRH DO2, tendo 5.465,38 km<sup>2</sup> de área, representando cerca de 1% do território do estado de Minas Gerais e 7% da bacia do rio Doce. O rio Piracicaba tem 241 Km de extensão, nasce no município de Ouro Preto e segue até a divisa das cidades de Ipatinga e Timóteo, onde se encontra com o rio Doce. Tem dentre seus efluentes os rios Turvo, Conceição, Una, Machado, Santa Bárbara, Peixe e Prata. Além dos rios mais significativos, ao longo do seu curso, o rio Piracicaba recebe também descarga de quase uma centena de córregos e ribeirões, os quais compõem sua rede de drenagem (CBH-PIRACICABA, 2013).

A população estimada da bacia do rio Piracicaba é de 954.861 pessoas (IBGE, 2023), abrangendo 21 municípios mineiros, Figura 15 : Alvinópolis, Antônio Dias, Barão de Cocais, Bela Vista de Minas, Bom Jesus do Amparo, Catas Altas, Coronel Fabriciano, Ipatinga, Itabira, Jaguaráçu, João Monlevade, Mariana, Marliéria, Nova Era, Ouro Preto, Rio Piracicaba, Santa Bárbara, Santana do Paraíso, São Domingos do Prata, São Gonçalo do Rio Abaixo, Timóteo. Destes municípios, 17 possuem suas sedes municipais dentro dos limites da bacia (CBH-PIRACICABA, 2013).

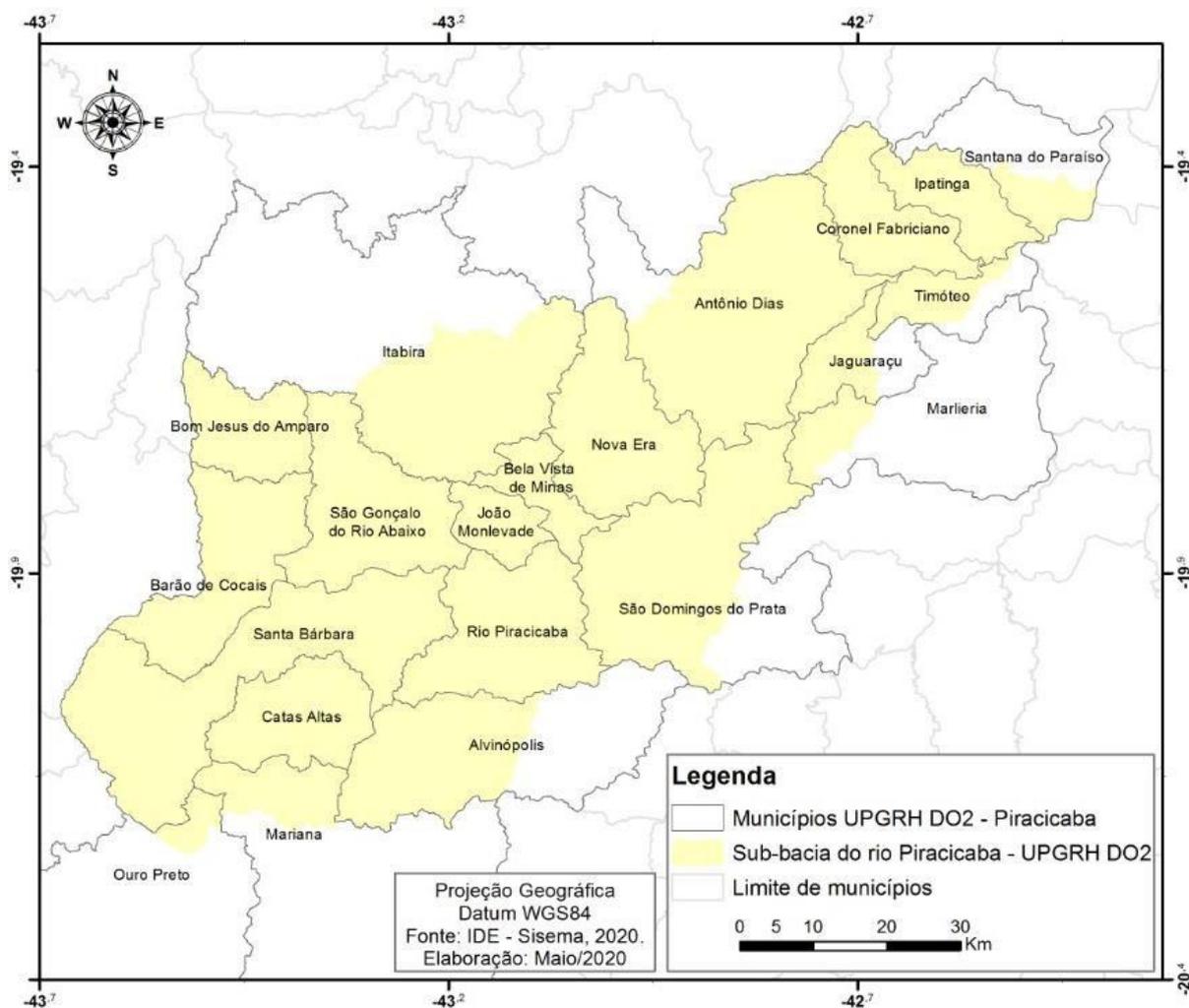
Em 17 de fevereiro de 2000, por Ato Governamental do Estado de Minas Gerais, foi criado o Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba - CBH Piracicaba, que abrange os 21 municípios. O CBH-Piracicaba exerce funções deliberativas e normativas e tem por objetivo gerenciar de forma participativa e descentralizada os recursos hídricos na sua área de atuação (CBH-DOCE, 2010).

Figura 14 - Localização da bacia hidrográfica do rio Piracicaba em relação à bacia do rio Doce no estado de Minas Gerais.



Fonte: Sokolowski (2021).

Figura 15 - Localização dos municípios na sub-bacia do rio Piracicaba - MG.



Fonte: Sokoloski (2021)

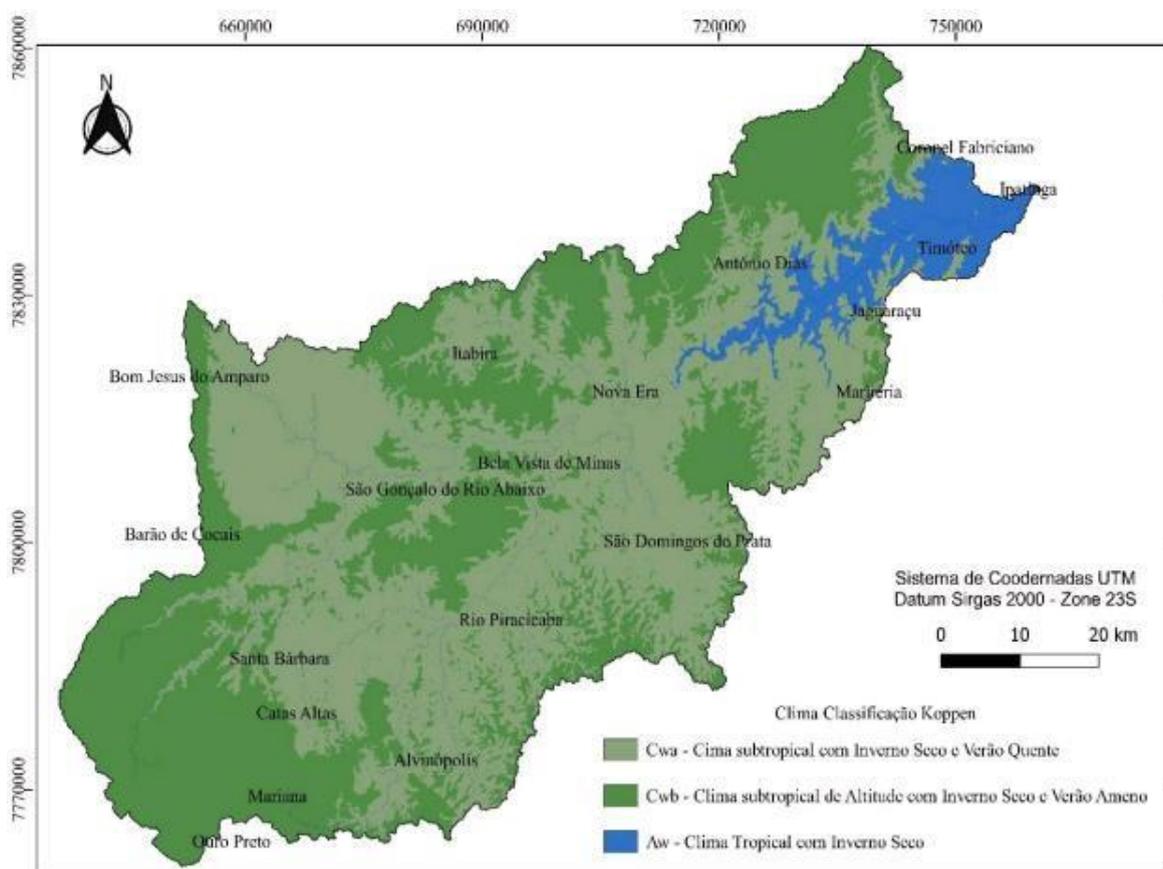
## 2.8.2 Clima

Assim como em todo Estado de Minas Gerais, o clima da bacia do rio Piracicaba é considerado de transição, sendo influenciado pela continentalidade e latitude. Na bacia ocorrem três variações climáticas de acordo com a classificação de Köppen, sendo elas: clima tropical (Aw), mesotérmico de verões quentes (Cwa) e mesotérmico de verões brandos (CWb) (CRUZ, 2009), conforme evidenciado na Figura 16.

No inverno a presença do anticiclone do Atlântico Sul favore o domínio da alta pressão, impedindo aumento da umidade, ocorrendo assim a estação seca. Neste período há também a intrusão de massa de ar polar, dificultando o aumento das temperaturas e formação de instabilidades. Já no verão, a temperatura aumenta e a influência de instabilidades tropicais

configura a estação das chuvas. Sendo que, a região da cabeceira tem classificação climática Cwb (mesotérmico de verões brandos), e assim, apresenta as maiores médias de precipitação devido à ocorrência de chuvas orográficas, atingindo os 1500 ml ao ano (CRUZ, 2009; SILVA, 2014). A maior parte da bacia (área central) está sob o clima Cwa (mesotérmico de verões quentes), caracterizado por climas tropicais chuvosos e quentes, ocorrendo chuvas de verão e verões quentes. A estação seca é bem definida e o menor índice de pluviometria ocorre no inverno. No verão a aumento da intensidade de chuvas e a temperatura média é maior que 22°C (AYOADE, 2001). Já o clima Aw (Tropical) ocorre no Vale do aço (foz do rio Piracicaba), região em que há menor média anual de precipitação, que é de 1000 mm (CRUZ, 2009; SILVA, 2014). Sendo este clima caracterizado por duas estações bem definidas, uma seca e outra chuvosa. A temperatura média no mês mais frio é de 18°C, considerado uma variação climática de tropical típico com verões chuvosos e quentes, e invernos secos (AYOADE, 2001).

Figura 16 - Clima da bacia do rio Piracicaba.

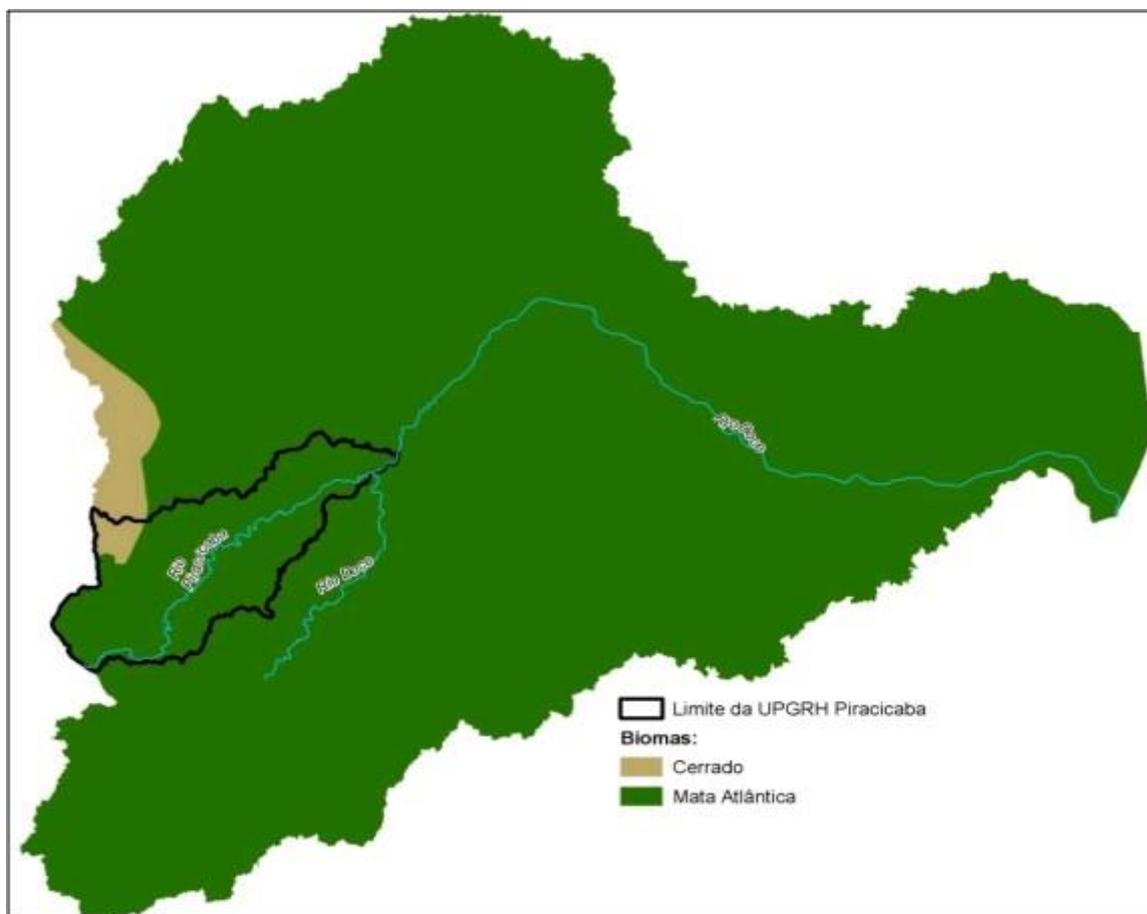


Fonte: Rocha (2021).

### 2.8.3 Vegetação

Conforme ilustrado na Figura 17, a UPGRH - DO2 desenvolve-se predominantemente sobre o bioma da Mata Atlântica, que representa um dos maiores repositórios de biodiversidade do planeta. O bioma da Mata Atlântica divide-se em duas principais ecorregiões: a floresta Atlântica costeira e a do interior, incluindo as florestas nos diferentes gradientes de altitude (desde o nível do mar até 1.800 m), assim ocorre variação dos tipos de solos, de umidade, temperatura e demais fatores cuja combinação resulta em uma diversidade de paisagens com extraordinária diversidade biológica. E possui ainda uma pequena parte da sua área sobre o bioma do Cerrado (CBH-DOCE, 2010). A vegetação original, composta de 90% de Mata Atlântica, foi devastada e o percentual remanescente é de apenas 0,2% (CBH-PIRACICABA, 2013).

Figura 17 - Biomas da bacia do rio Piracicaba.

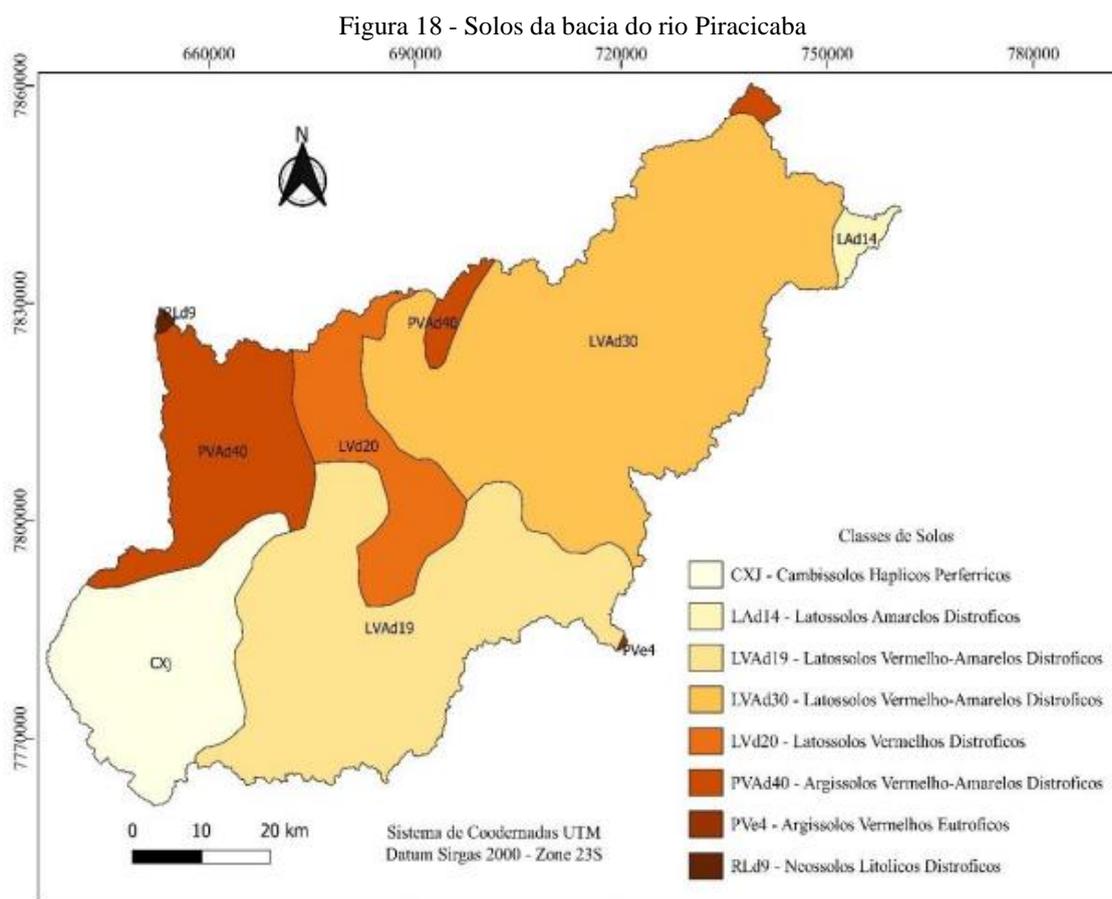


Fonte: CBH-Doce (2010).

## 2.8.4 Relevo e Solos

Segundo o CBH-Piracicaba (2013) a topografia é acidentada e há alto índice de erosão. De acordo com Guerra (2001), o relevo da bacia do rio Piracicaba é muito acidentado, com predominância de serras e colinas. Com pouca frequência ocorrem os “vales em V”, dentre os quais o chamado Vale do Aço, na região de sua foz. Neste local, ocorre a presença de serras e uma morfologia ondulada, formando os chamados “mares de morros”.

Na UPGRH - DO2 predominam os solos das classes Latossolos, Argissolos e Cambissolos, sendo os Argissolos os de maior erodibilidade e os Latossolos os de menor, Figura 18 (CBH-DOCE, 2010).



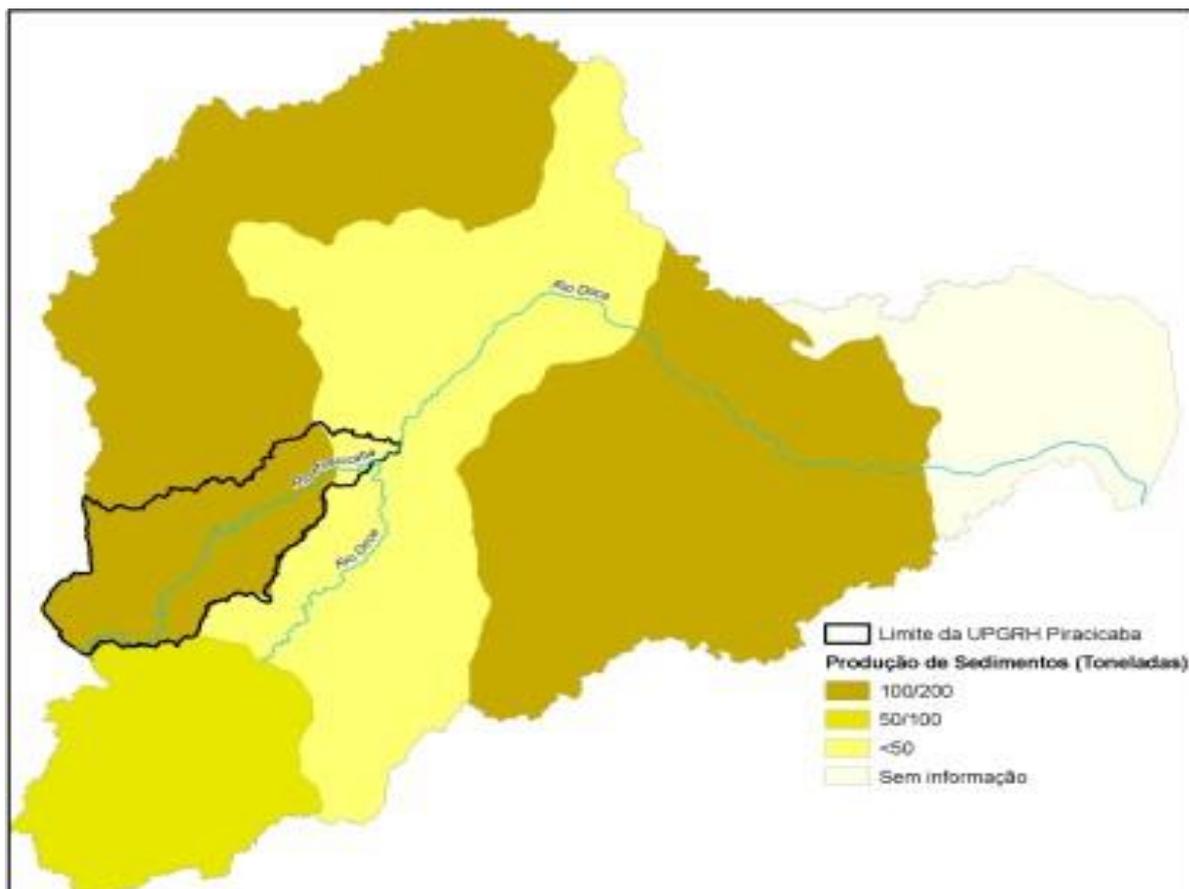
Fonte: CBH-Doce (2010).

Já a Figura 19, apresenta as classes de suscetibilidade à erosão da UPGRH - DO2, de forma geral, predomina na UPGRH a erosão em sulcos, seguida da erosão laminar. A suscetibilidade nesta unidade é predominantemente forte (52%) e média para o trecho drenado pelos afluentes da margem direita do rio Piracicaba, ocupando 34% da área. As áreas mais



considerada baixa (50 ton/km<sup>2</sup>/ano). Entre outros fatores, as altas taxas de geração de sedimentos estão associadas às características de usos dos solos na UPGRH, a qual apresenta cerca de 60% de áreas antropizadas (CBH-DOCE, 2010).

Figura 20 - Produção de Sedimentos



Fonte: CBH-Doce (2010).

A região da BHRP é muito rica em recursos minerais, nela encontra-se uma das maiores reservas do mundo em minério de ferro, manganês, bauxita, ouro, esmeralda, alumínio, quartzito entre outros. Na UPGRH localizam-se as principais minerações a céu aberto do país, como a Mina do Brucutu em São Gonçalo do Rio Abaixo, Gongo Soco em Barão de Cocais, o Complexo Água Limpa em Rio Piracicaba, Fazendão São Luiz e Tamanduá em Catas Altas, além de minerações da Companhia Vale do Rio Doce em Itabira, mineração de ouro em Santa Bárbara e Mina do Andrade da ArcelorMittal em Bela Vista de Minas. Outra ocorrência mineral importante é a de areia para construção civil, que é retirada dos rios da região, havendo outorgas para dragagem para extração deste mineral. Esta exploração aumenta a quantidade de sólidos supenses, resultando na alteração de cor e turbidez (CBH – DOCE, 2010).

A Geologia da bacia do Rio Piracicaba divide-se em duas partes diferentes, sendo sua parte superior influenciada pelas unidades litológicas do Quadrilátero Ferrífero e a inferior por rochas graníticas da Província Mantiqueira (SILVA, 2010). No Quadrilátero Ferrífero, cerca de 95% das estruturas são do Arqueano ou Proterozóico. E as rochas são agrupadas em três formações, dentre elas: Complexo Granito-gnaíssico (embasamento) , Supergrupo Rio das Velhas, Supergrupo Minas mais Grupo Itacolomi, caracterizadas no Quadro 6. Já o Embasamento Cristalino é formado por rochas cristalinas, com formação intrusiva, composto por rochas granito-gnaisses, magmatitos e está relacionado com Arqueano (CBH-DOCE, 2010; ULEIN e OLIVEIRA, 2000).

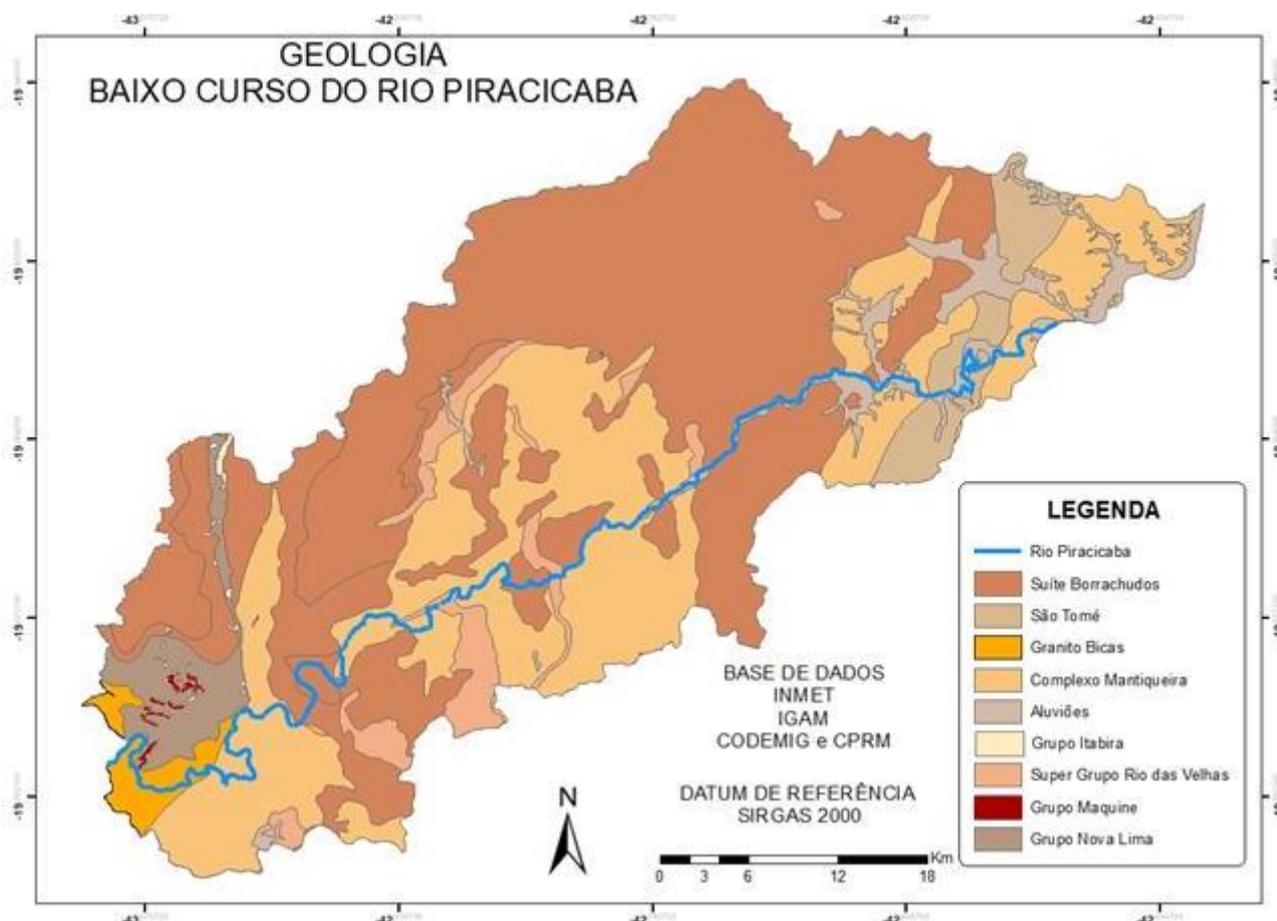
**Quadro 6 - Características das formações rochosas do Quadrilátero Ferrífero.**

<b>FORMAÇÕES ROCHOSAS</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>Complexo Granito-Gnaíssico (embasamento) de idade arqueana</b>	Compostos basicamente por feldspatos, quartzos e micas. Estas rochas são intensivamente intemperizadas e frequentemente transformadas em solos lateríticos. Durante o intemperismo liberam principalmente Ca, Mg, K e Na.
<b>Supergrupo Rio das Velhas</b>	Um <i>Greenstone Belt</i> arqueano, composto principalmente de xistos verdes, metassedimentos clássicos, químicos e unidades meta-vulcânicas. Neste supergrupo foram encontradas as famosas minas de ouro do Quadrilátero Ferrífero. Durante os processos de mineração são liberados via drenagem ácida os elementos calcófilos: Ag, As, Pb, Cu, Zn e Cd. Elementos como Cr, Ni e Co são liberados pelo intemperismo das unidades meta-vulcânicas
<b>Supergrupo Minas+Grupo Itacolomi</b>	De idade proterozóica, contém dentro da formação Cauê os itabiritos, nome local das famosas <i>Banded Iron Formations</i> (BIF), minérios de Fe, que representam a riqueza da região. Estes minérios contêm principalmente magnetita, hematita e quartzo (em alguns casos carbonatos) e podem ter até 70% de ferro no estado mais puro.

Fonte: Adaptado de Silva (2010); Ulein e Oliveira (2000).

Na Figura 21 é ilustrada a geologia do baixo curso do rio Piracicaba, a maior parte da sub-bacia está sob áreas de Suíte Borrachudo, que é composto por corpos graníticos diversos (monzogranitos a sienogranitos porfíricos com encraves máficos), seguido do Complexo Mantiqueira.

Figura 21 - Mapa geológico do baixo curso do rio Piracicaba.



Fonte: Castro (2021).

## 2.8.5 Hidrogeologia

A maior parte da UPGRH - DO2 situa-se sobre os sistemas aquíferos fissurados, apenas em uma pequena parte da unidade são encontrados sistemas aquíferos granulares. Estes litotipos possuem distribuição espacial e comportamentos diferentes, diferem-se por suas estruturas físicas das rochas, formas de circulação das água e também pelas condições de armazenamento (CBH-DOCE, 2010).

Segundo dados do CBH-Doce (2010), os sistemas aquíferos fissurados ocupam 96% da área da BHRP e são distribuídos em: 44% sobre os sistemas aquíferos em rochas cristalinas, composto de rochas granitóides de composições diversas; 36% sobre os sistemas aquíferos fissurados xistosos; 16% sobre sistemas aquíferos fissurados em quartzitos. O restante (4%), corresponde aos aquíferos granulares ou porosos. Os aquíferos fissurados em rochas cristalinas

são heterogêneos, descontínuos e pouco extensos. Os aquíferos fissurados xistosos apresentam porosidade desenvolvida fruto de eventos tectônicos que traduz em aquíferos descontínuos, aleatórios e de pequena extensão. Os xistos geram aquíferos de baixa favorabilidade hidrogeológica. Os aquíferos fissurados quartzíticos têm maior favorabilidade hidrogeológica em relação aos aquíferos desenvolvidos em rochas cristalinas e xistosas, assim, podem ser usados para exploração de água para usos consuntivos. O principal sistema aquífero da bacia está presente nas rochas da Formação Cauê do Grupo Itabira, constituídas de itabiritos. Este aquífero apresenta elevada capacidade de armazenamento. Já os aquíferos granulares ouporosos são considerados bons produtores de água subterrânea e podem ser usados para exploração de água para usos consuntivos. Entretanto, sua importância geral como fonte de água é bem restrita devido à baixa ocorrência deste tipo de aquífero na BHRP (CBH-DOCE, 2010).

Na Figura 22, é ilustrada a Hidrogeologia do baixo curso do rio Piracicaba. Já na Quadro 7, é apresentada a proposição e a sistematização dos sistemas aquíferos e sua relação com as unidades lito-estratigráficas identificadas.

Quadro 7 - Aquíferos / Unidades lito-estratigráficas

SISTEMA AQUÍFERO	DOMÍNIO	FORMAÇÃO	LITOLOGIA
AQUÍFERO FISSURAL	Cristalino	Suíte Borrachudos Granito Bicas Complexo Mantiqueira	Granitoides, gnaisses, migmatitos e granulitos.
AQUÍFERO POROSO	Formações Cenozoicas	Aluviões	Rochas sedimentares, como areias e demais formações de coberturas residuais.
AQUÍFERO FISSURAL	Metassedimentos/ Metavulcânicas	Grupo Nova Lima Super grupo Rio das Velhas Formação São Tomé Grupo Maquiné Grupo Itabira	Xistos, filitos, metarenitos, anfibolitos, quartzitos.
AQUÍFERO MISTO	Poroso/Fissural	-	Litologias arenosas com pelitos e carbonatos

Fonte: Castro (2021).

Figura 22 - Hidrogeologia do baixo curso do rio Piracicaba.



Fonte: Castro (2021).

### 2.8.6 Estudos referentes à Bacia Hidrográfica do rio Piracicaba

O uso do solo da Bacia Hidrográfica do rio Piracicaba - BHRP implica em alto grau de impactos antrópicos, sendo identificada elevada concentração urbana e massivos reflorestamentos por monocultura de eucaliptos (carvão vegetal e celulose), constituindo importante nicho socioeconômico (QUEIROZ *et al.*, 2017).

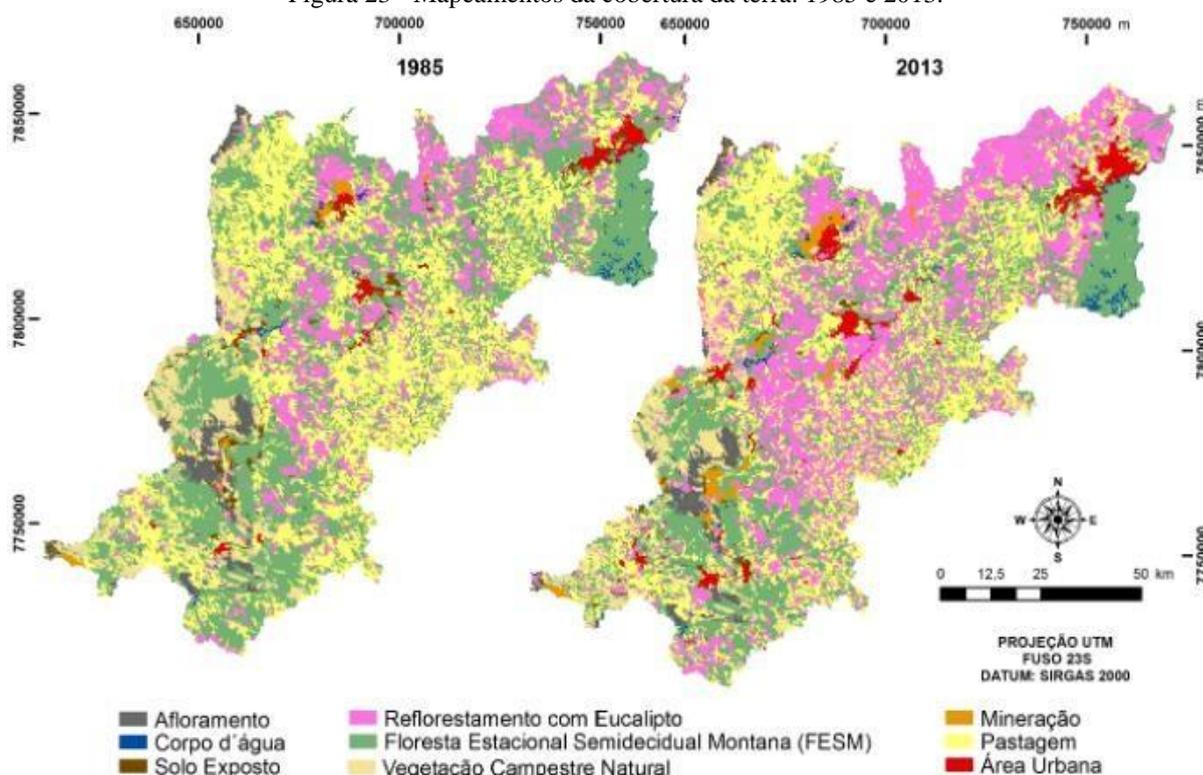
Sutil *et al.* (2020) também explicam que a bacia do rio Piracicaba passa por um longo histórico de degradação e, o cenário de fragmentação florestal e de perda da biodiversidade, principalmente, próximo às cidades devido ao desmatamento de matas ciliares, é cada vez mais perceptível. Os mesmos autores relatam que uma das principais causas da remoção da mata ciliar e da vegetação nativa desta bacia são as diversas atividades agrícolas, ocupação irregular da terra, exploração mineral e outros meios de desmatamento, que podem resultar em diversas consequências, principalmente quando se trata da sobrevivência da fauna, flora e de serviços para a sociedade, como o auxílio na recarga dos recursos hídricos. Dados do CBH-Doce (2010) corroboram com estas informações ao explicitarem que a mata ciliar dos principais cursos

d'água foi bastante alterada, devido às áreas marginais aos talvegues serem mais propícias à implantação de lavouras, pastagens e ocupação urbana, assim, os remanescentes florestais da bacia ficaram restritos às áreas mais declivosas dos terrenos.

Estudo realizado por Luiz (2017) analisou as mudanças na cobertura da terra na BHRP no período de 1985 a 2013, e também indicou transformações associadas à substituição da cobertura vegetal natural por áreas de pastagem e reflorestamento com eucalipto. O reflorestamento com Eucalipto aumentou 43,40% no período estudado. O autor explica que o aumento destas áreas se relaciona ao estabelecimento e expansão das indústrias siderúrgicas, de papel e de celulose, sendo que estas florestas são comumente cortadas para abastecimento destas indústrias. Ainda evidencia que o reflorestamento por eucaliptos pode ter efeitos positivos e negativos em longo prazo. Ambientalmente pode ter problemas resultantes da substituição de florestas nativas, culminando em perda da biodiversidade, já por outro lado, este tipo de cultivo pode aumentar a captação de carbono atmosférico, podendo assim contribuir para redução do efeito estufa, porém apenas enquanto as árvores não são cortadas.

Ainda de acordo com Luiz (2017) em relação à análise da estrutura da paisagem, os resultados mais expressivos obtidos foram sobre o aumento da fragmentação e do isolamento das áreas de floresta e a diminuição do isolamento das áreas de reflorestamento. Sendo a compatibilização das atividades industriais e agropecuárias com a conservação ambiental uma meta a ser alcançada na região estudada. Ainda foi constatada a possibilidade da demanda por reflorestamento continuar crescendo, devido ao crescimento da indústria siderúrgica, de papel e de celulose, no entanto, ressalta que esta demanda não deve ser suprida com árvores da mata nativa. Pois, a substituição dos remanescentes nativos por reflorestamento com eucalipto pode levar a diminuição da biodiversidade, tendo em vista que as áreas de reflorestamento não são capazes de oferecer as mesmas condições e funções ecológicas para a fauna e flora que a vegetação nativa, sendo um sistema baseado na monocultura, mais simplificado e mais pobre do que o sistema florestal nativo. Os resultados dos estudos dos mapeamentos de cobertura da terra para 1985 e 2013 são apresentados na Figura 23, e a área e percentual para cada classe de cobertura da terra, para 1985 e 2013, são apresentados na Tabela 1, bem como a variação em área (perda ou ganho) entre estas duas datas. No período analisado, houve perda de 4,49% de afloramento, de 10,58% de vegetação campestre natural, de 23,58% de floresta estacional semidecidual montanha, de 11,53% de pastagem e de 47,78% de solo exposto. Os aumentos de classes de cobertura chamam a atenção, tendo a atividade de mineração aumentado 66,14%, a área urbana 56,54% e os corpos d'água 7,69% (LUIZ, 2017).

Figura 23 - Mapeamentos da cobertura da terra: 1985 e 2013.



Fonte: Luiz (2017).

Tabela 1- Área e percentual das classes de cobertura da terra para 1985 e 2013 e a variação da área (perda ou ganho) entre essas duas datas.

Classe de Cobertura	Área					
	1985		2013		Variação (%)	
	(Ha)	(%)	(Ha)	(%)	Perda	Ganho
Afloramento	23.925,38	2,37	22.849,16	2,26	4,49	-
Corpo d'água	6.636,33	0,66	7.189,35	0,71	-	7,69
Solo exposto	14.761,29	1,46	7.707,26	0,76	47,78	-
Vegetação Campestre Natural	60.246,78	5,96	53.867,30	5,33	10,58	-
Reflorestamento com Eucalipto	157.260,00	15,55	277.884,99	27,47	-	43,40
Floresta Est. Sem. Montana	397.674,03	39,32	303.884,24	30,04	23,58	-
Mineração	5.216,26	0,52	15.405,99	1,52	-	66,14
Pastagem	333.674,03	33,00	295.313,91	29,20	11,53	-
Área Urbana	11.957,32	1,18	27.388,50	2,71	-	56,34
Total	1.011.490,70	100,00	1.011.490,70	100,00	-	-

Fonte: Luiz (2017).

Em relação ao enquadramento dos corpos de água em classes, de acordo com a DN-COPAM 9/1994 (COPAM, 1994) a bacia do rio Piracicaba está totalmente enquadrada na classe 2. Dados do Plano de Ação de Recurso Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Piracicaba – CBH-Doce (2010) indicam que o uso predominante da água é

o uso industrial, seguido do abastecimento humano, segundo maior uso consultivo, enquanto o uso para irrigação e a dessedentação animal são poucos expressivos na bacia.

Em pesquisa realizada por Lisboa et al. (2019), dados relativos ao Cadastro de outorgas de captação de água na bacia do rio Piracicaba (2012 a 2015) indicaram que usuários de captação outorgados na bacia somaram 57 interferências com demanda de 4,69 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, 98% desse valor correspondente a apenas três empreendimentos, localizados nas cidades de Ipatinga e Santa Bárbara. Dentre as finalidades de uso observadas no cadastro de usuários outorgados para captação, menciona-se: abastecimento público (17 usuários com vazão demandada de 1,026 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>), consumo industrial (26 usuários com vazão demandada de 3,52 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>), irrigação (6 usuários com vazão demandada de 0,10 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>), extração mineral e dessedentação animal (8 usuários com vazão demandada de 0,04 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>), dentre outras finalidades. Assim, 75,05% da vazão outorgada é do setor industrial, correspondendo a mais de 45% dos usuários outorgados. O cadastro de empreendimentos que abrangem os relatórios de Declaração de Carga Poluidora da Fundação Estadual de Meio Ambiente - FEAM na bacia do rio Piracicaba contempla, ao todo, 79 declarações, representadas por 19 empresas. Entretanto, nem todos os empreendimentos lançam os efluentes diretamente nos cursos d'água, há casos em que o efluente tratado é lançado no solo ou sumidouro ou recolhido por empresa especializada, direcionado por meio de uma instalação de recalque para outra empresa que o utiliza em seu processo ou recirculado dentro da própria empresa pela implantação do programa de descarte zero de efluentes industriais (LISBOA, 2019).

Em relação ao Índice de Qualidade das Águas - IQA, conforme divulgado pelo IGAM (2021a), o IQA na bacia do rio Piracicaba, considerando a sua média anual de 2005, foi classificado como médio em 100% das estações de amostragem contidas nesta bacia.

Segundo a Fundação Estadual de Meio Ambiente - FEAM (2013), o Projeto Águas de Minas do IGAM analisou dados de 13 estações de amostragem na bacia do Piracicaba. No relatório referente ao primeiro trimestre de 2012 (IGAM, 2012a), a qualidade das águas conforme o Índice de Qualidade das Águas (IQA), foi classificada como média em onze (IQA entre 51,0 e 68,7) e boa em duas (IQA 71,8 e 79,8) estações de amostragem. Em relação à média anual de 2011 todas as estações apresentaram IQA médio (IGAM, 2012b). Em dez estações de amostragem, os níveis do parâmetro coliformes termotolerantes ultrapassaram os limites legais, relacionados à classe de enquadramento da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1/2008, apresentando percentuais de violação entre 120 e 6.400%. A ocorrência de

elevadas concentrações de coliformes termotolerantes se deve principalmente ao lançamento de esgotos domésticos e às atividades pecuárias.

Já Vilarinho *et al.* (2021) avaliaram se o Índice de Qualidade da Água - IQA em bacias Hidrográficas de Minas Gerais melhorou entre os períodos de 2011 (ano anterior ao início da cobrança pelo uso da água) e em 2019. Em seus resultados para a bacia do rio Piracicaba, obtiveram valores de IQA de 37, 93 % em 2011 e de 39, 53 % em 2019, havendo melhoria significativa do IQA entre os dois períodos, porém estes valores de IQA são considerados ruins, não havendo evolução entre os períodos para alcance do nível médio ( $50 < \text{IQA} \leq 70$ ) de IQA (águas apropriadas para tratamento convencional para abastecimento público). Os autores ainda destacam a necessidade de sistemas de tratamento de água avançados visando abastecimento público, uma vez que o IGAM estabelece que valores de IQA menores que 50% (referentes às classes ruim e muito ruim), apontam que as águas estão impróprias para o tratamento convencional. E que, ainda conforme o IGAM, devido à sensibilidade do índice à contaminação por esgotos, os valores apurados podem indicar a falta de tratamento dos esgotos domésticos e presença de atividades produtivas nestas localidades.

Queiroz (2015) explica que a precipitação pluviométrica também pode alterar significativamente a qualidade da água repercutindo em suas características físico-químicas e biológicas, em função do transporte de material alóctone para a Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba-BHRP, ocasionando alterações pertinentes aos teores dos compostos químicos na coluna d'água. Nos meses que compreendem o verão há prevalência de instabilidade atmosférica, com ocorrência de chuvas causando em diversas oportunidades transtornos à população.

Gomes *et al.* (2017) destacam que a agricultura e a pecuária intensiva são atividades econômicas de grande relevância em algumas cidades pertencentes à bacia hidrográfica do rio Piracicaba - MG. Estas atividades, além de fomentarem a economia e gerarem um grande desenvolvimento local, estão diretamente relacionadas à contaminação dos corpos d'água da bacia. O que demonstra a necessidade em se realizar uma fiscalização mais adequada e eficiente em relação à degradação dos corpos d'água na bacia, visto que as atividades econômicas presentes nesta são agentes de grande impacto ambiental. A agricultura irrigada utiliza grande volume de água, motivo pelo qual, geralmente, localiza-se próximo aos rios e riachos. Nesta atividade, os solos são usados de forma intensiva, muitas das vezes aplicados defensivos agrícolas, produtos químicos, que podem culminar em evidente degradação resultante do deflúvio superficial, principalmente pelo aumento da atividade primária das plantas e algas

devido à carga de nitrogênio e fósforo, resultante dos agrotóxicos usados nas lavouras. Além da deterioração ambiental causada aos ecossistemas aquáticos, o elevado índice de nutrientes na água pode comprometer sua utilização, devido à capacidade de gerar alterações no sabor e odor da água (MERTEN e MINELLA, 2002; GOMES, 2017 et. al).

Em relação à eutrofização o rio Piracicaba recebe aporte de efluentes contendo quantidades expressivas de nutrientes, Nitrogênio (N) e Fósforo (P), nas formas totais e dissolvidas, documentado pela Agencia Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Fenômeno este que é resultante da poluição das águas por ejeção de adubos, fertilizantes, detergentes e esgotos domésticos sem tratamento prévio que culminam no aumento de minerais e, conseqüentemente, a proliferação de algas microscópicas localizadas nas superfícies. Estes processos podem ocorrer de forma natural, como consequência da lixiviação da serrapilheira acumulada numa bacia de drenagem por fortes chuvas ou por ações antrópicas, por meio da descarga de efluentes agrícolas, urbanos ou industriais, chamada "eutrofização cultural" (QUEIROZ, 2017; ANA, 2015).

Já o uso e manejo inadequado do solo, constatados na agropecuária intensiva, geram a substituição da cobertura vegetal natural de grandes áreas por pastagens, assim, alterando a taxa de infiltração do solo e possibilitando perdas aceleradas de solo e água devido ao aumento do escoamento superficial, provocando processos erosivos e também carreamento superficial (PANACHUKI, 2013). Outro problema na atividade pecuária, principalmente quando em grande escala, é a elevada produção de resíduos sólidos que aumentam a quantidade de materiais componentes no solo com matéria orgânica, inorgânica e compostos químicos nos corpos hídricos (CARVALHO *et al.*, 2000; GOMES, 2017 *et al.*).

Há cidades da bacia com Indústrias e Mineradoras de grande porte, caso os rejeitos destas atividades não sejam tratados adequadamente podem ocasionar riscos de contaminações por componentes tóxicos nos corpos hídricos pelos efluentes lançados. Veras (2020) analisou contaminação por metais pesados na água e em sedimentos, e concluiu que a estação RD029, no rio Piracicaba, indicou contaminação alta para Chumbo em 2014 e alta para Alumínio em 2016. E que, por esta estação localizar-se na parte do rio dentro da cidade de Nova Era, com centro urbano a montante da estação, esta contaminação por Chumbo e Alumínio pode ser oriunda de efluentes da cidade. Já na estação RD026 no rio Piracicaba localizada jusante, a 400 metros de distância, da metalúrgica ArcelorMittal Brasil S/A no Centro Industrial de João Monlevade, os dados de concentrações de metais em água, no período de 2016 a 2018, indicaram contaminação alta para Alumínio, além de Ferro e Manganês. De acordo com o

IBAMA (2018) o efluente gerado é tratado em nível primário e liberado no rio Piracicaba, porém, uma provável contaminação pode ocorrer se o efluente desse tipo de empresa não for devidamente tratado (VERAS, 2020).

Já em pesquisa realizada por Silva (2010) foram determinados parâmetros físico-químico e biológicos de qualidades das águas, bem como a geoquímica dos sedimentos da parte média e baixa da bacia hidrográfica do rio Piracicaba nas estações seca e chuvosa. A amostragem durante a estação chuvosa ocorreu em fevereiro de 2009 e a de estação seca no mês de agosto de 2009. Sendo detectadas altas concentrações de coliformes fecais, e altos níveis de arsênio, cádmio e cobre nas águas de alguns sítios analisados, acima do permitido em legislação ambiental. Já quanto aos sedimentos, foram encontrados níveis muito altos de arsênio, cádmio, cobre, zinco, cromo, níquel. Em relação aos elementos químicos avaliados nas águas e nos sedimentos do rio, a pesquisa concluiu que a presença da maioria se relaciona com a formação litológica da área pesquisada, e que, em alguns casos, as poluições de origem antropogênicas não podem ser descartadas como possíveis causas.

Há também problemas acarretados pela presença de resíduos sólidos e lixos ao longo dos cursos dos rios. Romão (2020) implantou ecotela e ecobarreira para a remoção e posterior classificação dos resíduos sólidos em um ponto ao longo do rio Piracicaba, no Bairro Santa Cruz, localizado no Município de João Monlevade - MG. Em seus resultados constatou que grande parte dos resíduos sólidos coletados na ecobarreira foi composta por plásticos, que também estavam retidos nas margens do rio, outros materiais como vidro, couro e brinquedos também ficaram aprisionados na ecobarreira, em quantidades consideráveis e que contribuem para a poluição do rio Piracicaba. Já na ecotela, grande parte dos resíduos era orgânico, a exemplo de folhas, galhos, lodo, além de ter retido também uma considerável quantidade de sacolas plásticas, embalagens, dentre outros. O período de coleta com ecobarreira foi de 4 (quatro) semanas, sendo retidos um total de 1,031 kg de resíduos, já na ecotela em 3 (três) semanas foram retidos 0,842 kg de resíduos. Foi ressaltado que os resíduos coletados podem também ser oriundos dos bairros a montante do bairro Santa Cruz. Cabe citar que o referido bairro possui histórico de cheias dos rios e enchentes, que já causaram alagamentos de vias públicas e de residências nos últimos anos.

Quanto ao esgotamento sanitário, a maioria dos esgotos são lançados *in natura* nos cursos de água ou em suas margens, demonstrando a necessidade de ações em busca de avanços nos planos de saneamento básico municipais. Estudos realizados por Soares (2017) indicaram

que os lançamentos de esgotos domésticos e de afluentes industriais, atividades minerárias a poluição difusa por agricultura e pecuária, e áreas de pastagens foram os principais responsáveis pela deterioração da qualidade das águas superficiais na bacia do rio Piracicaba. E que as cargas difusas, os processos erosivos e assoreamento também contribuem para impactar a qualidade das águas. O mesmo autor constatou o indicador microbiológico, como parâmetro crítico para a bacia do Piracicaba, principalmente devido ao elevado lançamento de esgoto sanitário sem o devido tratamento ao longo da bacia. Deste modo, para que sejam devolvidas as condições adequadas de qualidade destas águas, são necessários investimentos em saneamento básico, melhorias na eficiência dos tratamentos dos efluentes industriais, manejos adequados dos solos, preservação das vegetações marginais e ações de educação ambiental. Este contexto demonstra a necessidade de universalizar o atendimento aos serviços de esgotamento sanitário, evitando o lançamento clandestino na rede pluvial e o uso de fossas negras, uma vez que foram identificadas violações aos padrões de qualidade para o parâmetro indicador microbiológico (FEAM, 2013; SOARES, 2017).

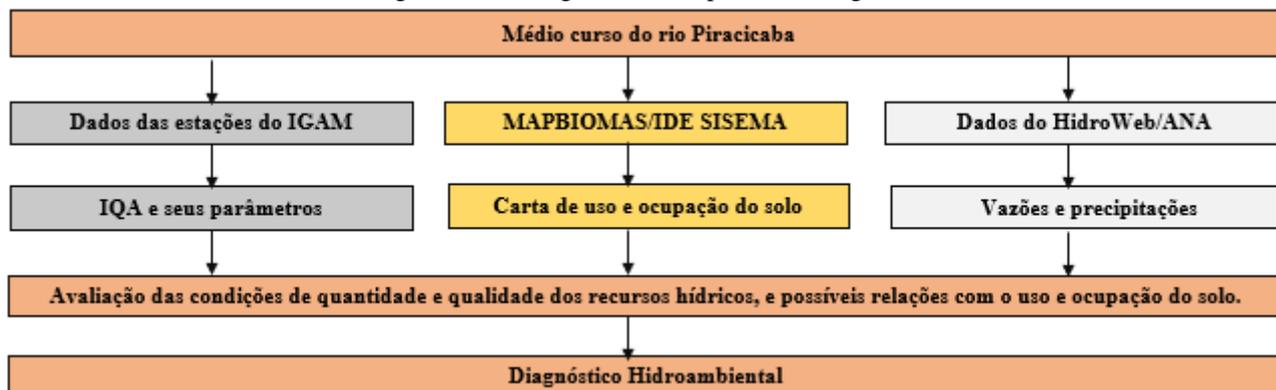
Com o novo Marco Regulatório do Saneamento Básico, introduzido por meio da Lei nº 14.026/2020, que objetiva a universalização do saneamento básico municipal até 2033, alguns municípios já têm discutido projetos junto à Fundação Nacional de Saúde - FUNASA, visando a implantação da coleta e tratamento de esgotos.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Procedimentos metodológicos**

No presente trabalho é realizada uma ampla revisão de literatura, por meio de consulta a sites, artigos, livros, dissertações e teses, a fim de obter um adequado embasamento teórico. A Figura 24 apresenta, resumidamente, os passos utilizados para alcançar os resultados da pesquisa.

Figura 24 - Fluxograma das etapas metodológicas



Fonte: Autora (2022).

### 3.2 Localização e Caracterização da área de estudo

A Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) do rio Piracicaba é dividida em três regiões: alto, médio e baixo rio Piracicaba, conforme explicitado na Figura 25. A região do Alto Piracicaba (ARPI) engloba os municípios de Barão de Cocais, Bom Jesus do Amparo, Catas Altas, Itabira, Mariana, Ouro Preto e Santa Bárbara. Já a região médio rio Piracicaba (MRPI), abrange os municípios de Alvinópolis, Bela Vista de Minas, João Monlevade, Nova Era, Rio Piracicaba, São Domingos do Prata e São Gonçalo do Rio Abaixo, enquanto a região do Baixo Piracicaba (BRPI) compreende os municípios de Antônio Dias, Coronel Fabriciano, Ipatinga, Jaguaráçu, Marliéria, Santana do Paraíso e Timóteo (FEAM, 2013).

A área de estudo do presente trabalho refere-se ao médio curso do rio Piracicaba-MG (MRPI), Figura 25, os municípios são limítrofes e estão localizados no centro-leste de Minas Gerais, pertencem à região do Médio Piracicaba. Na economia destaca-se a atividade mineradora e siderúrgica, silvicultura (eucalipto) e agropecuária. No quadro ambiental a área de estudo está predominantemente sobre o bioma Mata Atlântica, entretanto, grande parte da vegetação natural foi substituída por pastagem e reflorestamento. Possui relevo montanhoso e clima tropical semiúmido.

Figura 25 - Divisão da BHRPI em Alto, Médio e Baixo Piracicaba



Fonte: Autora (2022).

Dentre os 07 municípios do médio curso do rio Piracicaba, apenas Alvinópolis não possui sua sede municipal dentro do limite da sub-bacia. Na Tabela 2, estão quantificadas as populações e áreas territoriais dos municípios do MRPI, já na Tabela 3 estão dispostos os dados de esgotamento sanitário.

Tabela 2 - Características gerais dos municípios do MRPI

Município	População/Censo 2022 (pessoas)	Área territorial (Km <sup>2</sup> )
Alvinópolis	15.059	599,443
Bela Vista de Minas	10.167	109,143
João Monlevade	80.187	99,158
Nova Era	17.438	361,926
Rio Piracicaba	14.631	373,037
São Domingos do Prata	17.392	743,768
São Gonçalo do Rio Abaixo	11.850	363,828

Fonte: IBGE (2023).

Tabela 3 - Dados de esgotamento sanitário dos municípios do MRPI

Município	Ano	Índice de coleta de esgoto (%)	Índice de tratamento de esgoto (%)	Volume de esgotos coletado	Volume de esgotos tratado
Alvinópolis	2020	100	0	550	0
Alvinópolis	2011				
Bela Vista de Minas	2020	100	0	526,7	0
Bela Vista de Minas	2011				
João Monlevade	2020	90	0	3.803,65	0
João Monlevade	2011	100	0	4.661,00	0
Nova Era	2020	100	0	759	0
Nova Era	2011				
Rio Piracicaba	2020	100	0	849	0
Rio Piracicaba	2011	6,72	0	41,92	0
São Domingos do Prata	2020	100	0	544	0
São Domingos do Prata	2011	41,31	0	385,37	0
São Gonçalo do Rio Abaixo	2020	100	0	1.575,00	0
São Gonçalo do Rio Abaixo	2011				

Fonte: SNIS (2023).

Os principais afluentes do médio curso do rio Piracicaba são o rio Peixe, rio Santa Bárbara, rio do Prata, Córrego Jacuí, Córrego do Onça e Ribeirão do Turvo.

Os mapas do presente estudo foram confeccionados a partir dos dados gratuitos fornecidos pelo MAPBIOMAS, Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais de Minas Gerais - IEDE e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Sendo os dados do IEDE usados para a Hidrografia, do IBGE para os Limites territoriais do MapBiomias para a carta de Uso e Ocupação do Solo.

### 3.3 Monitoramento de qualidade da água

Em Minas Gerais, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), por meio da coordenação do Projeto Águas de Minas, é responsável pelo monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas do Estado. Em execução desde 1997, o programa disponibiliza uma série histórica de dados da qualidade das águas e gera informações indispensáveis ao gerenciamento efetivo dos recursos hídricos (IGAM, 2019).

A existência de séries históricas de dados e sua interpretação possibilitam compreender melhor a evolução temporal da qualidade ambiental e sua correlação com outros fenômenos, climáticos ou econômicos, indicando prioridades para a elaboração de ações de controle e

fiscalização, investimentos ou de legislações específicas que levem à proteção e/ou à melhoria da qualidade ambiental (LAMPARELLI, 2004). Já a série temporal constitui-se em uma sequência de observações de demanda ao longo do tempo e comumente espaçadas igualmente. O uso das séries temporais tem como possibilidade a hipótese que os dados futuros sejam estimados com base nos valores passados, (MANCUZO, 2003).

Os dados dos parâmetros monitorados e dos índices de qualidade da água - IQA foram obtidos a partir de planilhas Excel e dos Relatórios da qualidade das águas, portal Infohidro - base de dados de qualidade das águas disponibilizados à sociedade pelo IGAM, ambos gerados trimestralmente e anualmente, tratando-se, portanto, de uma análise de dados secundários. Foram consideradas no presente estudo as séries históricas de 2011 (ano anterior ao início da cobrança pelo uso da água na BHRP) e em 2020, para tanto, serão utilizados os dados das estações de monitoramento da qualidade da água do IGAM, existentes no médio curso do rio Piracicaba (Tabela 4). Também foram analisados os dados de uma estação do alto curso do rio Piracicaba (RD074) e uma do baixo curso do rio Piracicaba (RD034), a fim de comparar os dados de qualidade da água do médio curso do rio Piracicaba com dados da estação próxima à nascente e à foz do rio.

Tabela 4 - Descrições das estações de monitoramento da bacia do rio Piracicaba utilizadas neste estudo

Estação Código	Classe de Enquadramento	Curso d'água	Município	Latitude	Longitude	Altitude (m)
<b>RD025</b>	Classe 2	Rio Piracicaba	Rio Piracicaba	-19,94	-43,18	614
<b>RD026</b>	Classe 2	Rio Piracicaba	João Monlevade	-19,83	-43,13	564
<b>RD027</b>	Classe 2	Rio Santa Bárbara	São Gonçalo do Rio Abaixo	-19,81	-43,23	590
<b>RD029</b>	Classe 2	Rio Piracicaba	Nova Era	-19,77	-43,04	533
<b>RD034</b>	Classe 2	Rio Piracicaba	Coronel Fabriciano, Timóteo	-19,53	-42,60	235
<b>RD074</b>	Classe 2	Rio Piracicaba	Mariana	-20,18	-43,41	819
<b>RD075</b>	Classe 2	Rio Piracicaba	Alvinópolis	-20,16	-43,29	693

O IGAM adota como indicador para refletir a situação ambiental dos corpos hídricos superficiais o Índice de Qualidade das Águas (IQA). Neste estudo serão trabalhados os dados de 09 parâmetros físico-químicos e biológicos: oxigênio dissolvido (OD), coliformes termotolerantes, potencial hidrogeniônico (pH), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrato, fosfato total, variação da temperatura da água, turbidez e sólidos totais.

Para realizar o cálculo do IQA é atribuído um peso de qualidade ( $w_i$ ) para cada parâmetro, relacionado ao seu potencial e importância nos corpos hídricos para a sua qualidade e manutenção da vida aquática, cujos valores variam de 0 a 1 (Tabela 5).

Tabela 5 - Parâmetros de Qualidade da Água utilizados pelo IGAM para o cálculo do IQA, suas unidades e respectivos pesos

PARÂMETROS	UNIDADES	PESOS-WI (WATER INDICE)
Oxigênio Dissolvido – (OD)	% OD	0,17
Coliformes Termotolerantes – (CF)*/ <i>E. Coli</i>	NMP	0,15
Potencial Hidrogeniônico – (pH)	pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO (DBO <sub>5 20</sub> )	mg/L <sup>-1</sup>	0,10
Nitratos –(NO <sub>3</sub> )	mg/L <sup>-1</sup>	0,10
Fosfato total (PO <sub>4</sub> )	mg/L <sup>-1</sup>	0,10
Variação na temperatura – (T)	° C	0,10
Turbidez – (Tu)	UTN	0,08
Sólidos Totais – (ST)	mg/L <sup>-1</sup>	0,08

\* Substituído por *Escherichia coli* a partir de 2013.

Fonte: IGAM (2018b).

A partir do ano de 2013, o parâmetro coliformes termotolerantes foi substituído por *Escherichia coli* (IGAM, 2018 b).

O valor do IQA é calculado pelo produto ponderado das qualidades de água correspondentes às variáveis que integram o índice, como expresso pela equação I (CETESB, 2008). Conforme a fórmula abaixo:

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

Sendo:

IQA = Índice de Qualidade das Águas. Um número entre 0 e 100;

$q_i$  = qualidade do  $i$ -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido do respectivo gráfico de qualidade, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise);

$i$  = número do parâmetro, variando de 1 a 9 ( $n = 9$ , ou seja, o número de parâmetros que compõem o IQA é 9);

$w_i$  = peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1, de forma que:

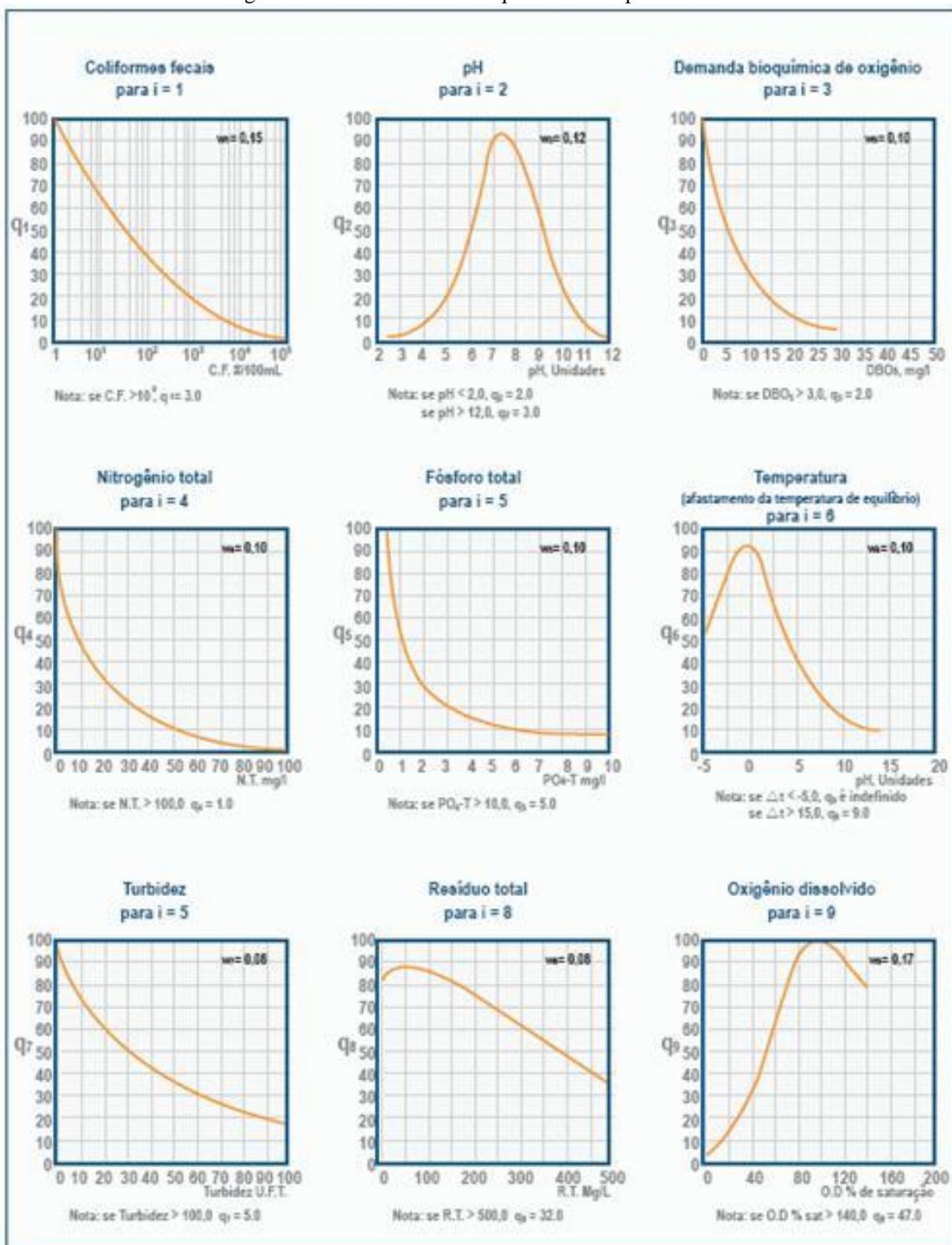
O somatório dos pesos de todos os parâmetros é igual a 1, conforme a equação 2 abaixo:

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1$$

Sendo  $n$  o número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

Há determinadas condições para o cálculo do IQA, na ausência de resultado do parâmetro oxigênio dissolvido e/ou coliformes termotolerantes/E. coli, o sistema não calcula o indicador. Já em relação à ausência dos outros parâmetros, o sistema redefine os pesos correspondentes, de forma a obter-se um resultado final compatível, ou seja, o peso é repartido igualmente entre os demais parâmetros. As curvas médias de qualidade de cada parâmetro estão apresentadas na Figura 26. No âmbito do Projeto Águas de Minas, para o cálculo do IQA considera-se o qs da variação de temperatura constante igual a 92 (IGAM, 2018b).

Figura 26 - Curvas médias de qualidade dos parâmetros



Fonte: ANA (2021).

As variáveis de qualidade utilizadas no cálculo do IQA refletem, principalmente, a contaminação dos corpos hídricos acarretada pelos lançamentos de esgotos domésticos e outros materiais orgânicos, nutrientes e sólidos, tendo como determinante principal seu uso para o

abastecimento público, considerando aspectos relativos ao tratamento destas águas (COSTA, 2018).

O IQA resume as variáveis analisadas em um só número, caracterizado por ser adimensional e que varia de 0 a 100, e exprime, sobretudo, a qualidade da água para abastecimento e baliza o tipo e a forma de tratamento da água (PIASENTIN *et al.*, 2009). Na Tabela 6 estão dispostas as classes de qualidade da água em função do valor do IQA.

Tabela 6 - Classes de qualidade da água em função do valor do IQA.

VALOR DO IQA	COR INDICADORA	CLASSES	SIGNIFICADO
90<IQA≤100	Azul Escuro	Excelente	Águas apropriadas para tratamento convencional visando o abastecimento público.
70<IQA≤90	Verde Claro	Bom	
50<IQA≤70	Amarelo	Médio	
25<IQA≤50	Laranja	Ruim	Águas impróprias para tratamento convencional visando o abastecimento público, sendo necessários tratamentos mais avançados.
IQA≤25	Vermelho	Muito ruim	

Fonte: IGAM (2018b) e CETESB (2008).

Os parâmetros de qualidade da água foram comparados aos padrões permissíveis para águas superficiais classe 2, de acordo com a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG 01/2008 (MINAS GERAIS, 2008). Para tanto, as informações foram organizadas em tabelas e gráficos de cada parâmetro por trimestre e comparadas aos limites estabelecidos.

### 3.4 Dados de precipitação e vazão

Os parâmetros hidráulicos foram levantados por meio de pesquisas em banco de dados de trabalhos já realizados, imagens de satélites, dados de estações fluviométricas e de vazões a serem consultados no Sistema de Informações Hidrológicas (Portal HidroWeb) pertencente à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas e de Saneamento Básico (ANA). O HidroWeb reúne dados de níveis fluviais, vazões, chuvas, climatologia, qualidade da água e sedimentos. Os dados serão exportados do HidroWeb para o Excel em planilhas.

Para análise dos dados das vazões foram analisadas as séries históricas das vazões e precipitações dos anos 2011 e 2020 das estações fluviométricas, pertencentes à rede

hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), disponibilizados no Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) e localizadas no médio curso do rio Piracicaba, nos municípios de Nova Era e Rio Piracicaba. A Tabela 7 exhibe os dados das estações fluviométricas utilizadas neste estudo.

Tabela 7. Estações fluviométricas selecionadas no médio curso do rio Piracicaba.

<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>Latitude (Sul)</b>	<b>Longitude (Oeste)</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Área de drenagem (Km<sup>2</sup>)</b>
<b>56610000</b>	Rio Piracicaba	-19° 55' 54"	- 43° 10' 23"	748	1.164,2
<b>56659998</b>	Nova Era	-19° 45' 56"	-43° 01' 58"		3203

Já para a análise dos dados das precipitações foram utilizadas as estações pluviométricas (Tabela 8), referentes aos anos de 2011 e 2020. Foi observado o acumulado de chuvas e a sazonalidade. Os dados obtidos foram devidamente tabulados, organizados e tratados, permitindo a geração de produtos intermediários como tabelas, gráficos e hidrogramas.

Tabela 8. Estações pluviométricas selecionadas no médio curso do rio Piracicaba.

<b>Código</b>	<b>Município</b>	<b>Latitude Sul</b>	<b>Longitude Oeste</b>
1943001	Rio Piracicaba	-19° 55' 22"	-43° 10' 40"
1943100	Nova Era	-19° 46' 00"	-43° 01' 34"

### 3.4.1 Análises Estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas a partir dos dados referentes à vazão e precipitação nas estações localizadas nas cidades de Nova Era e Rio Piracicaba. Os dados foram coletados no sistema Hidroweb relativos aos meses dos anos de 2011 e 2020. As seguintes técnicas estatísticas foram empregadas:

- Teste-t e teste Tukey, para verificar se houverá diferenças estatisticamente significativas entre a vazão e precipitação entre os meses dos anos de 2011 e 2020 para as duas estações analisadas;
- Estatísticas descritivas, como cálculo de médias e dispersão, por meio da construção de boxplot;

- Análise de correlação, para verificar a associação a influência que uma variável promove em outra;
- Modelos de regressão linear simples entre os dados de vazão e precipitação, com os respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), que analisam o ajuste linear entre as variáveis.

Para alcance das análises estatísticas, foi usado o Software Estatístico Minitab 18, que consiste em um programa de computador voltado para fins estatísticos. Sua interface é parecida com a de uma planilha eletrônica, mas com a capacidade de executar análises estatísticas complexas. Por ser um software estatístico de capacidade intuitiva, permite obter estatísticas descritivas, simulações e distribuições, inferência estatística elementar, análise da variância, regressão, análise de dados categóricos, métodos não paramétricos, análise de séries temporais, dentre outros (MINITAB, 2021).

### 3.5 Mapas de uso e ocupação do solo

A caracterização do uso e ocupação do solo foi realizada pela delimitação dos trechos do médio curso do rio Piracicaba, utilizando-se de bases de dados da Coleção 6 do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil-MapBiomas que apresentam os 36 anos (1985 a 2020) dos mapas anuais de cobertura e uso de terra do Brasil em escala de 30 m com melhorias nas acurácias nos biomas e novas classes de agricultura (MapBiomas, 2021).

Os dados foram validados, incorporados e manuseados no *software* ArcGIS Pro para obtenção dos mapas contendo as classes de uso e ocupação do solo dos anos 2011 e 2020. Segundo Rubert (2011), o ArcGIS é um pacote de softwares da ESRI (Environmental Systems Research Institute) de elaboração e manipulação de informações vetoriais e matriciais para o uso e gerenciamento de bases temáticas. Ademais, o ArcGIS disponibiliza no SIG uma gama de ferramentas de forma integrada e de fácil manuseio.

Para confecção do mapa de uso e ocupação do solo do ano 2020, primeiramente, foi realizado o download do Shapefile dos limites da bacia de estudo. Em seguida, realizada a aquisição do uso e ocupação do solo do MapBiomas do ano 2020 (setembro). Com o auxílio do *software* ArcGis Pro foi realizado o processamento dos produtos baixados, as camadas foram projetadas para o DATUM Oficial SIRGAS 2000. Posteriormente, foi recortado o raster de uso e ocupação do solo pela máscara de limites da bacia com o uso da ferramenta “extract by mask”. Com os limites definidos, transformou-se o raster de uso e ocupação para polígonos, a fim de

retirar as áreas de cada classe, utilizando a ferramenta “raster to polygon”. Após, utilizou-se o “summary statistics” para soma de cada polígono representante de cada classe para obter a área total de cada classe na sub-bacia.

### **3.6 Mapas de superfície da água**

O MapBiomias utiliza uma combinação de técnicas de processamento de imagem e análise de séries temporais de imagens de satélite para identificar a superfície de água em diferentes regiões do Brasil. O processo começa com a seleção de imagens de satélite de alta resolução espacial, que são processadas por meio de algoritmos de processamento de imagem para identificar a presença e extensão de corpos d'água. Os algoritmos de processamento de imagem utilizados pelo MapBiomias incluem a análise de índices espectrais, como o NDWI (Normalized Difference Water Index) e o MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index), que são capazes de identificar a presença de água em imagens de satélite com base nas características espectrais das superfícies de água. Além disso, o MapBiomias utiliza técnicas de análise de séries temporais de imagens de satélite para identificar variações sazonais na presença de água em diferentes regiões. Isso envolve o uso de algoritmos de classificação de séries temporais, que permitem detectar mudanças na superfície de água ao longo do tempo e avaliar a dinâmica hidrológica da região.

Por fim, os dados de satélite processados são validados por meio de técnicas de verificação em campo, como a comparação com dados de monitoramento de estações hidrológicas ou com imagens de alta resolução capturadas por drones ou aviões. Em resumo, o MapBiomias utiliza uma combinação de técnicas de processamento de imagem e análise de séries temporais de imagens de satélite para identificar a superfície de água em diferentes regiões do Brasil, incluindo a análise de índices espectrais, algoritmos de classificação de séries temporais e validação em campo.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

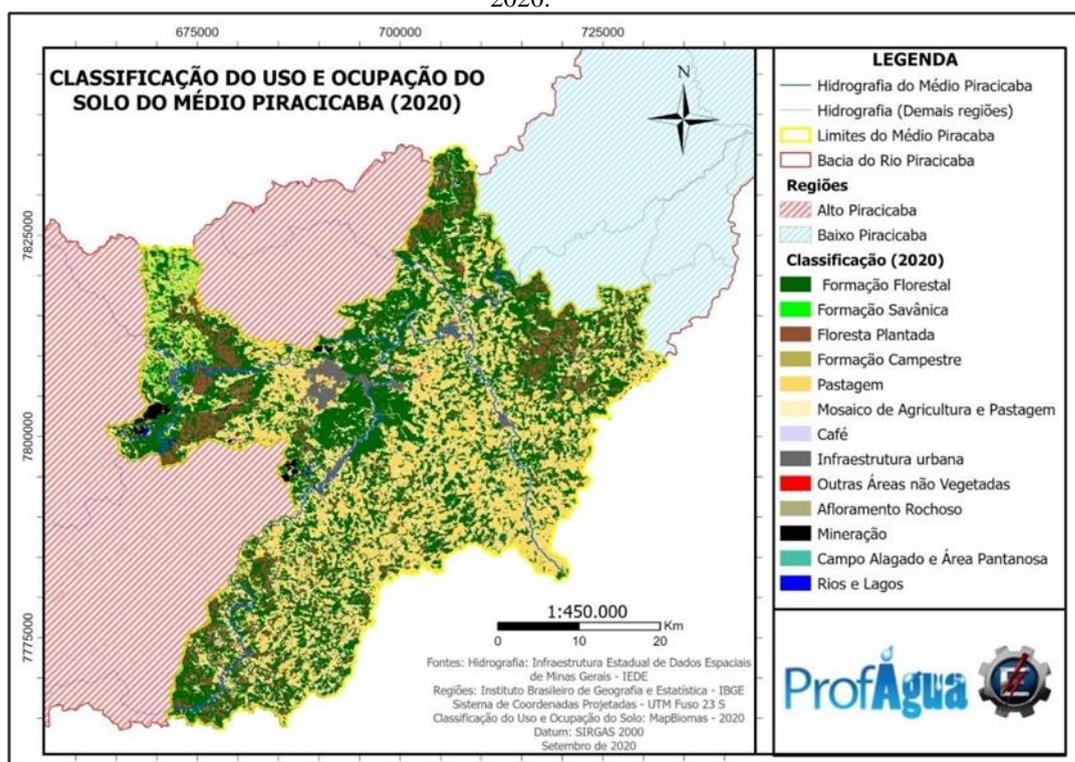
Nesse capítulo são apresentados os resultados e discussões do uso e ocupação do solo, dos parâmetros de qualidade da água e IQA, e dados de vazão e precipitação, e as correlações entre estes fatores, referentes à região do Médio curso do rio Piracicaba, analisando-se os anos de 2011 (ano anterior à cobrança pelo uso da água) e 2020.

#### 4.1 Uso e Ocupação do Solo

A intervenção antrópica é fator que pode agravar ou atenuar as condições morfodinâmicas potenciais apresentadas na carta de fragilidade potencial (DEMANBORO, 2013). Obter as classes do uso e ocupação do solo é importante na identificação de potenciais fontes de poluição e contaminação em uma determinada área. Desta forma, na construção da carta ambiental, foram levantadas as classes de uso e ocupação do solo e seus respectivos percentuais de áreas.

A Figura 27 apresenta o mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia do médio curso do rio Piracicaba referente ao ano de 2020 (setembro). Já na Tabela 9, são discriminadas as classes de uso e ocupação do solo referentes ao ano de 2020, contendo 13 classes: formação florestal, formação savânica, floresta plantada, campo alagado e área pantanosa, formação campestre, pastagem, mosaico de agricultura e pastagem, café, infraestrutura urbana, outras áreas não vegetadas, afloramento rochoso, mineração, e rios e lagos.

Figura 27 - Mapa de Uso e ocupação do solo da sub-bacia do médio curso do rio Piracicaba (MRPI), ano 2020.



Fonte: Autora (2021).

Tabela 9 - Composição das classes de uso e ocupação do solo da sub-bacia do MRPI (ano 2020).

<b>Classes (Descrição)</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Composição (%)</b>
Formação Florestal	983,87	45,11
Formação Savânica	16,21	0,74
Floresta Plantada	175,97	8,07
Campo Alagado e Área Pantanosa	0,38	0,02
Formação Campestre	8,69	0,40
Pastagem	681,16	31,23
Mosaico de Agricultura e Pastagem	250,72	11,49
Café	0,15	0,01
Infraestrutura Urbana	37,92	1,74
Outras Áreas não Vegetadas	4,48	0,21
Afloramento Rochoso	2,40	0,11
Mineração	11,90	0,55
Rios e Lagos	7,37	0,34
	<b>2181,22</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Autora (2021), adaptado de MapBiomias (2020).

Constata-se que em 2020, período mais recente, a maior parte da área da sub-bacia era ocupada por formação florestal (45,11%), que são tipos de vegetações compostas por árvores altas. Em segundo lugar estão as áreas de pastagens (31,23%), naturais ou plantadas, destaca-se que na região há localidades com criação de gado, o que justifica a manutenção de áreas de pastagens visando a produção agropecuária. Já a classe mosaico de agricultura e pastagem obteve 11,49%. A cultura perene do café correspondeu a 0,01% de área. O mapa de 2020 disponibilizado pelo MapBiomias é de setembro, período seco, por isso algumas culturas anuais já poderiam ter sido colhidas na data da imagem ou estarem presentes no mosaico de agricultura e pastagem.

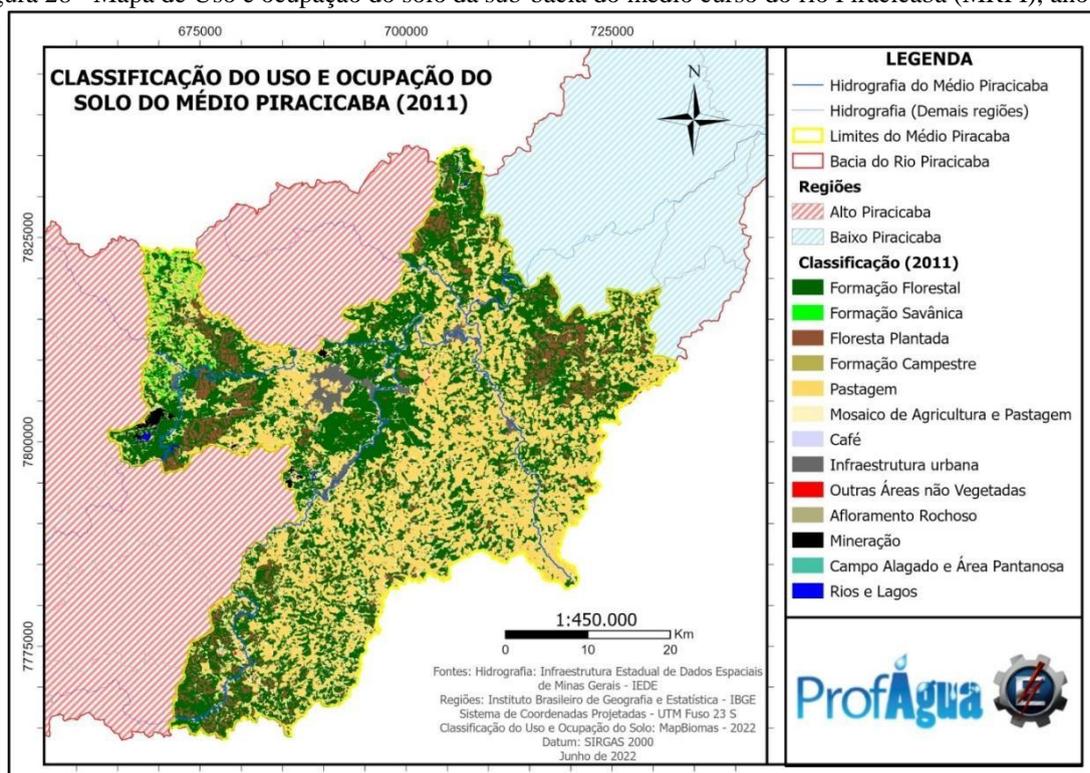
Na classe floresta plantada (8,07%), espécies arbóreas plantadas para fins comerciais, cabe destacar que na região de estudo há áreas de reflorestamento de eucaliptos visando produção de celulose da Cenibra, e plantações de eucaliptos para produção de carvão vegetal usados, principalmente, para abastecer siderúrgicas. As áreas de formação Savânica, tipos de vegetação composta por árvores de pequeno porte e estrato arbustivo-herbáceo correspondem a 0,74% de área. Outras áreas não vegetadas, classe mista que incluem áreas agrícolas em preparo, solo exposto e superfícies arenosas, correspondem a 0,21% da área. As áreas de rios e lagos correspondem a 0,34%. Já as áreas de campo alagado correspondem a 0,02%.

Dentre as atividades econômicas de grande impacto da área de estudo destacam-se as atividades de mineração (0,55%), áreas referentes à extração mineral de grande porte e que possuem exposição do solo por ações de maquinário pesado, que ocorrem nos municípios de São Gonçalo do Rio Abaixo e Rio Piracicaba pela mineradora Vale S.A., e em Bela Vista de Minas pela Arcelor Mittal (Mina do Andrade). Ressalta-se que nas atividades de mineração da Mina do Brucutu (São Gonçalo do Rio Abaixo) e Mina da Água Limpa (Rio Piracicaba) há barragens de rejeitos de mineração. Já a Mina do Andrade (Bela Vista de Minas) realiza as atividades de mineração sem utilizar barragens de rejeitos.

As áreas de infraestrutura urbanas, áreas urbanizadas com predomínio de superfícies não vegetadas a mais de 5 anos incluindo edificações, estradas e vias, compreendem o total de 1,74% da cobertura do solo, sendo mais predominante no município de João Monlevade, o mais urbanizado e populoso do médio curso do rio Piracicaba, onde destacam-se as atividades econômicas da Usina Arcelor Mittal (produção de aços longos) e de suas empreiteiras, e outras atividades comerciais. Com exceção de João Monlevade, que possui 99% de sua população considerada urbana (IBGE, 2021), os demais municípios do médio curso do rio Piracicaba possuem extensas áreas rurais.

Na Figura 28, é apresentado o mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia do médio curso do rio Piracicaba (MRPI), ano 2011. A Tabela 10, apresenta a composição das classes de uso e ocupação do solo da sub-bacia do MRPI, ano 2011. Já a tabela 11 expõe a área e o percentual das classes de cobertura da terra para os anos de 2011 e 2020, e a variação de área (perda ou ganho) entre estas duas datas.

Figura 28 - Mapa de Uso e ocupação do solo da sub-bacia do médio curso do rio Piracicaba (MRPI), ano 2011.



Fonte: Autora (2022), adaptado de MapBiomas (2020).

Tabela 10 - Composição das classes de uso e ocupação do solo da sub-bacia do MRPI (ano 2011).

Classes (Descrição)	Área (Km <sup>2</sup> )	Composição (%)
Formação Florestal	923,76	42,35
Formação Savânica	18,20	0,83
Floresta Plantada	160,85	7,37
Campo Alagado e Área Pantanosa	0,40	0,02
Formação Campestre	9,13	0,42
Pastagem	833,31	38,20
Mosaico de Agricultura e Pastagem	177,80	8,15
Café	0,02	0,00
Infraestrutura Urbana	35,16	1,61
Outras Áreas não Vegetadas	3,00	0,14
Afloramento Rochoso	2,55	0,12
Mineração	8,24	0,38
Rios e Lagos	8,80	0,40
	<b>2181,22</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Autora (2022), adaptado de MapBiomas (2020).

Tabela 11 - Área e percentual das classes de cobertura da terra para 2011 e 2020 e a variação da área (perda ou ganho) entre estas duas datas.

Classe de cobertura	Área							
	2011		2020		Variação (%)		Variação (Km <sup>2</sup> )	
	(Km <sup>2</sup> )	(%)	(Km <sup>2</sup> )	(%)	Perda	Ganho	Perda	Ganho
Formação Florestal	923,76	42,35	983,87	45,11	-	2,76	-	60,11
Formação Savânica	18,20	0,83	16,21	0,74	0,09	-	1,99	-
Floresta Plantada	160,85	7,37	175,97	8,07	-	0,70	-	15,12
Campo Alagado e Área Pantanosa	0,40	0,02	0,38	0,02	-	-	-	0,02
Formação Campestre	9,13	0,42	8,69	0,40	0,02	-	0,44	-
Pastagem	833,31	38,20	681,16	31,23	6,97	-	152,15	-
Mosaico de Agricultura e Pastagem	177,80	8,15	250,72	11,49	-	3,34	-	72,92
Café	0,02	0,0	0,15	0,01	-	0,01	-	0,13
Infraestrutura Urbana	35,16	1,61	37,92	1,74	-	0,13	-	2,76
Outras Áreas não vegetadas	3,00	0,14	4,48	0,21	-	0,07	-	1,48
Afloramento Rochoso	2,55	0,12	2,40	0,11	0,01	-	0,15	-
Mineração	8,24	0,38	11,90	0,55	-	0,17	-	3,66
Rios e Lagos	8,80	0,40	7,37	0,34	0,06	-	1,43	-
Total	2181,22	100,00	2181,22	100,00	-	-	-	-

Fonte: Autora (2022)

Ao analisar as variações de uso e ocupação do solo entre os anos de 2011 e 2020, Tabela 9 e Figura 27 e 28, constata-se que houve ganho de área de 3,66 Km<sup>2</sup> (0,17%) na atividade de mineração, com aumento da área de mineração em todos os municípios do MRPI que possuem esta atividade (Bela Vista de Minas, João Monlevade, Rio Piracicaba e São Gonçalo do Rio Abaixo). Houve perda de área de pastagem em 152,15 Km<sup>2</sup> (6,97%), esta variação pode ter ocorrido devido ao aumento das atividades de agricultura, já que em 2020 houve acréscimo do mosaico de agricultura e pastagem em 72,92 Km<sup>2</sup> (3,34%), também pode ter sido ocasionada pelo não manejo de pastagens, assim, podendo ter ocorrido regeneração destas áreas, ou recuperação destas áreas com formação florestal, sendo que a formação florestal aumentou 60,11 Km<sup>2</sup> (2,76%) e a floresta plantada 15,12 Km<sup>2</sup> (0,70%). Já a Infraestrutura urbana aumentou 2,76 Km<sup>2</sup> (0,13%) e pode também ter contribuído para adiminuição da classe pastagem, pois terrenos e lotes com pastagens podem ter dado lugar a construções de imóveis e áreas pavimentadas.

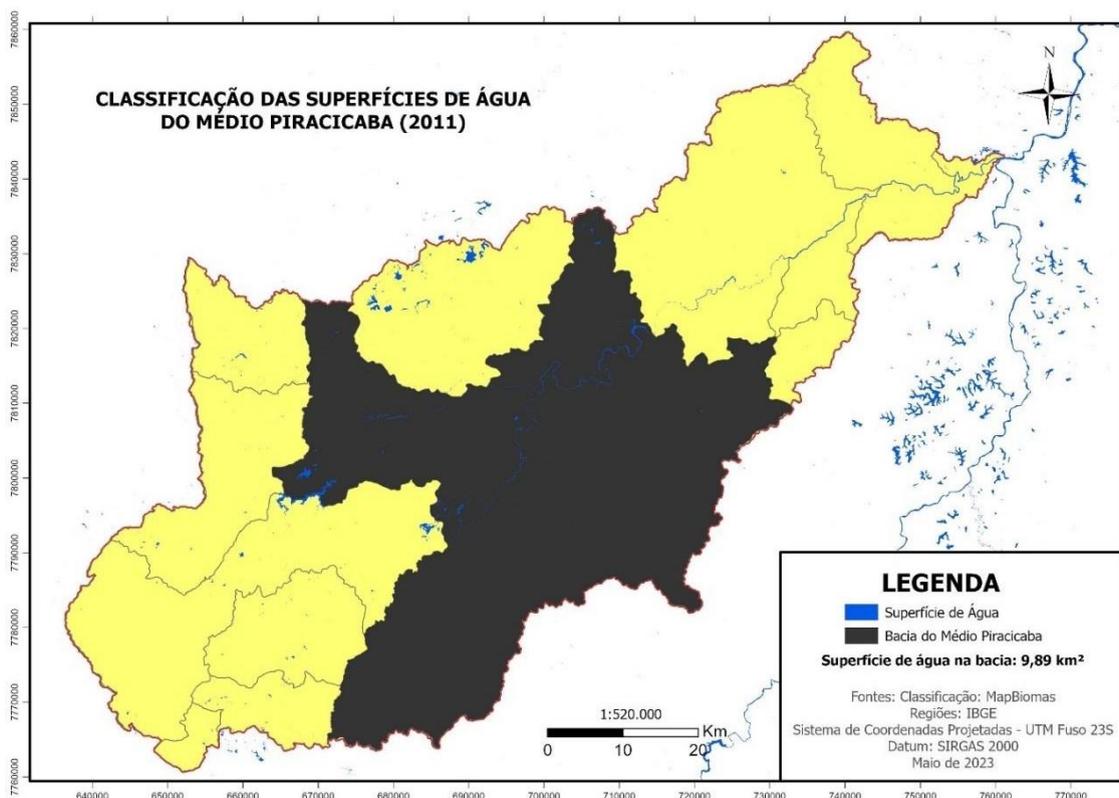
Ainda, a Lei nº 20.922 de 16 de outubro de 2013, que rege sobre as políticas florestais e de proteção à biodiversidade no estado de Minas Gerais pode ter favorecido o aumento da formação florestal na região, pois versa sobre a manutenção e recomposição de Áreas de Preservação Permanente em áreas rurais. O aumento da fiscalização de órgãos ambientais

também pode ter contribuído para manutenção e ampliação de áreas florestais. Sendo primordial a adoção de políticas voltadas para restauração florestal e preservação das águas, manutenção de vegetações nativas em torno das nascentes e nas margens dos rios. No município de São Gonçalo do Rio Abaixo houve incentivo, nos últimos anos, para que produtores rurais preservassem suas nascentes, com bonificação em dinheiro.

Se por um lado houve aumento de formação florestal, o que contribui para a manutenção de ecossistemas ambientais e aquáticos, em contrapartida houve perda de 1,43 Km<sup>2</sup> (0,06%) de rios e lagos no médio curso do rio Piracicaba ao comparar os anos de 2011 e 2020.

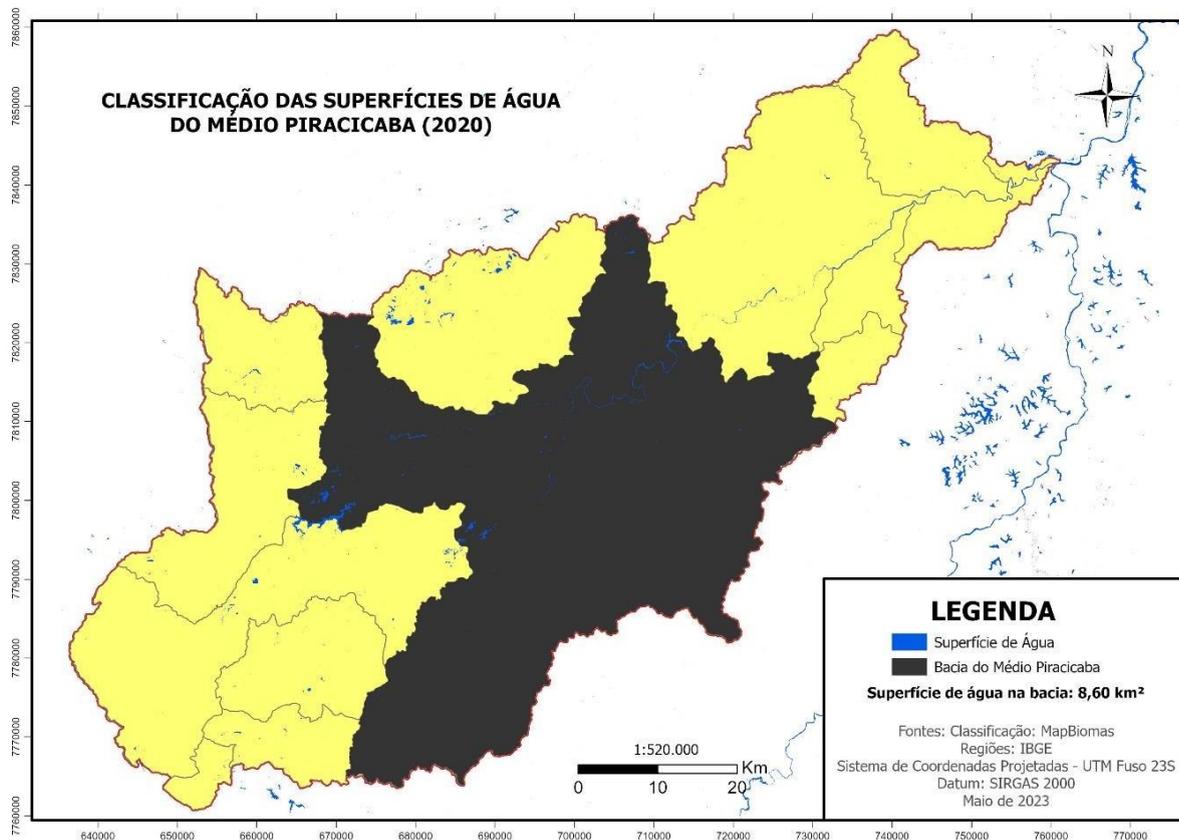
Também foi verificada a quantidade de águas superficiais disponíveis nos anos de 2011 e 2020, utilizando-se dados de superfície de água do MapBiomas, que se referem especificamente à presença e distribuição de corpos d'água, como rios, lagos, represas e reservatórios, bem como áreas de inundação e manguezais. Sendo esta classificação importante para entender a dinâmica hidrológica da região e como os corpos d'água estão distribuídos ao longo do território. As Figuras 29 e 30 representam, respectivamente, a classificação de superfície de água do médio curso do rio Piracicaba nos anos 2011 e 2020.

Figura 29 – Classificação das superfícies de água do médio Piracicaba (2011).



Fonte: Autora (2023).

Figura 30 - Classificação das superfícies de água do médio Piracicaba (2020).



Fonte: Autora (2023).

Os dados obtidos no mapeamento de uso e ocupação do solo já haviam indicado diminuição de 1,43 Km<sup>2</sup> da classe rio e lagos em 2020 quando comparado a 2011, Tabela 9. Sendo também evidenciada a diminuição de superfície de água utilizando-se dados de Classificação das superfícies de água do MapBiomias, em 2011 havia 9,89 km<sup>2</sup> de superfície de água na Bacia, já em 2020 o valor caiu para 8,60 Km<sup>2</sup>, o que evidencia diminuição de 1,29 Km<sup>2</sup>.

Comparando-se os resultados da Classificação de uso e cobertura do solo e dados de superfície de água do Mapbiomas, percebe-se uma diferença no tamanho da área. O MapBiomias é um projeto de mapeamento da cobertura e uso do solo do Brasil, que tem como objetivo gerar informações detalhadas sobre as mudanças na vegetação, ocupação do solo e recursos naturais ao longo do tempo. A classificação de uso e cobertura do solo do MapBiomias refere-se à categorização das diferentes formas como a superfície da terra é utilizada e ocupada, incluindo florestas, pastagens, áreas urbanas, corpos d'água, entre outros. Esta classificação é baseada em critérios como a presença ou ausência de vegetação, a intensidade do uso do solo e as características da paisagem.

Em resumo, enquanto a classificação de uso e cobertura do solo abrange todas as formas de ocupação da superfície terrestre, a classificação de superfície de água se concentra especificamente na presença e distribuição de corpos d'água. Sendo ambas importantes para entender a dinâmica da paisagem e auxiliar na tomada de decisões relacionadas ao uso e conservação dos recursos naturais. Cada método pode ter suas próprias limitações e pode levar a diferenças nas áreas classificadas; Mudanças na paisagem: as mudanças na paisagem, como a conversão de áreas florestais em pastagens ou a construção de barragens, podem levar a mudanças nas áreas classificadas como uso e cobertura do solo e superfície de água ao longo do tempo. Estas mudanças podem ser difíceis de detectar ou classificar com precisão; Variações naturais: A paisagem natural também pode variar ao longo do tempo, como a expansão ou contração de áreas de inundação ou a mudança de padrões de fluxo de água em rios. Estas variações podem afetar a classificação de superfície de água.

## **4.2 Vazões e precipitações**

### **4.2.1 Análise das vazões**

A Tabela 12 representa os dados de vazão na estação 56610000, localizada no município de Rio Piracicaba, referente aos anos de 2011 e 2020. Todas as informações foram retiradas do Sistema HidroWeb, onde se obteve os valores diários de vazão para os períodos estudados. São apresentados os valores de vazão média diária para cada mês referentes aos dois anos analisados. Além disso, aplicou-se a técnica estatística teste t de Student, como o objetivo de analisar, com significância estatística, se houve diferenças de vazão média diária entre os meses de 2011 e 2020.

Tabela 12 – Valores Médios da Vazão e Teste-t estatístico nos anos 2011 e 2020 - Estação: 56610000

Mês	Média 2011	Média 2020	P-valor teste -t	Análise
Janeiro	40,300	51,060	0,297	p-valor > $\alpha=0.05$ . Vazão diária em Jan/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Jan/2011
Fevereiro	14,970	33,970	0,000	p-valor < $\alpha=0.05$ . Vazão média diária em Fev/2020 maior que em Fev/ 2011.
Março	42,970	52,680	0,235	p-valor > $\alpha=0.05$ . Vazão diária em Mar/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Mar/2011
Abril	19,620	24,380	0,010	p-valor < $\alpha=0.05$ . Vazão média diária em Abr/2020 maior que em Abr/ 2011.
Mai	12,468	14,567	0,000	p-valor < $\alpha=0.05$ . Vazão média diária em Mai/2020 maior que em Mai/ 2011.
Junho	10,334	11,352	0,000	p-valor < $\alpha=0.05$ . Vazão média diária em Jun/2020 maior que em Jun/ 2011.
Julho	8,995	9,512	0,000	p-valor < $\alpha=0.05$ . Vazão média diária em Jul/2020 maior que em Jul/ 2011.
Agosto	7,509	8,566	0,000	p-valor < $\alpha=0.05$ . Vazão média diária em Jul/2020 maior que em Jul/ 2011.
Setembro	6,219	6,465	0,273	p-valor > $\alpha=0.05$ . Vazão diária em Ago/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Ago/2011
Outubro	11,580	15,140	0,244	p-valor > $\alpha=0.05$ . Vazão diária em Ser/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Set/2011
Novembro	38,620	18,660	0,020	p-valor < $\alpha=0.05$ . Vazão média diária em Nov/2020 menor que em Nov/ 2011.
Dezembro	90,600	32,330	0,000	p-valor < $\alpha=0.05$ . Vazão média diária em Dez/2020 menor que em Dez/ 2011.
Anual	25,349	23,224	0,804	p-valor > $\alpha=0.05$ . Vazão diária em 2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de 2011

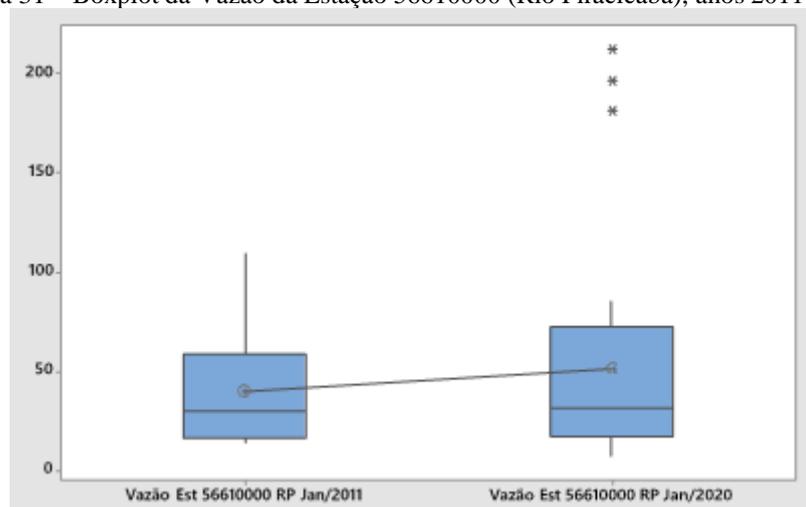
Fonte: Autora (2022).

Segundo Montgomery (2019), O teste t de Student é um tipo de estatística inferencial usado para determinar se há uma diferença significativa entre as médias de dois grupos em alguma determinada característica. O teste t considera duas hipóteses: A hipótese nula  $H_0$ , que propõe igualdade entre as médias; e a hipótese alternativa,  $H_a$ , que aponta que as médias são diferentes. Os pressupostos de normalidade e independência foram analisados e atendidos. A variância entre os conjuntos de dados foi igual para os períodos, sendo aplicado o teste t para variáveis independentes e variâncias iguais. O critério de decisão considerado para escolha de

uma hipótese em detrimento da outra foi por meio da análise do p-valor. Quando os p-valores são inferiores ao nível de significância considerado ( $\alpha=0,05$ ), as médias podem ser consideradas diferentes. Em caso contrário, não se pode afirmar que houve diferença entre as mesmas.

Realizando-se a análise pareada do mês de janeiro, observou-se que não houve diferença estatisticamente significativa, considerando um nível de confiança de 95% e nível de significância estatística  $\alpha=0,05$ , entre os valores média diários de vazão entre os anos de 2011, que apresentou valor médio diário de 40,30 m<sup>3</sup>/s, e 2020, cujo valor médio diário foi de 51,06m<sup>3</sup>/s, na estação 56610000. Como o p-valor estatístico obtido foi de 0,297, superior em relação ao nível de significância estatística  $\alpha=0,05$ , não é possível considerar que houve diferenças significativas dos valores de vazão média diária entre o mês de janeiro entre os anos de 2011 e 2020. A Figura 31 representa o boxplot com aos dados de vazão destes dois anos estudados. É possível observar que durante o mês de janeiro de 2020 houve uma maior dispersão dos valores de vazão diários, especialmente representados por três outliers, cujos valores de vazão diários foram em torno de 200m<sup>3</sup>/s. Estas três observações contribuíram para o aumento da vazão média diária observada no mês de janeiro de 2020 em relação a janeiro de 2011, mas não foi capaz de promover uma diferença estatisticamente significativa entre as mesmas, conforme observado por meio do teste-t.

Figura 31 – Boxplot da Vazão da Estação 56610000 (Rio Piracicaba), anos 2011 e 2020.

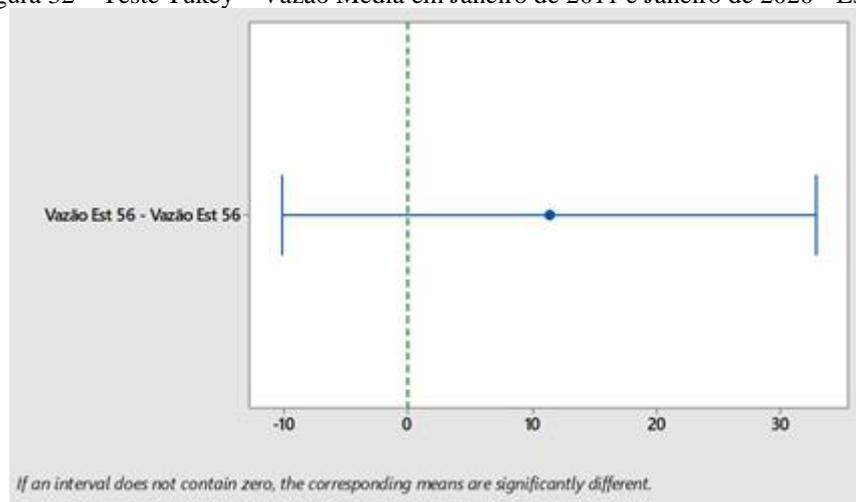


Fonte: Autora (2022).

A diferença entre as médias também pode ser observada por meio do teste de Tukey. De acordo com Minitab (2017), o gráfico de intervalo de confiança de Tukey pode ser usado para determinar os intervalos prováveis das diferenças e para avaliar a significância prática dessas

diferenças. Pelo critério utilizado, sugerido pelo Minitab (2017) se o intervalo entre as médias do fator conter o zero, significa que aquelas médias não apresentam diferenças significativas, ao nível de significância considerado. Observando-se a Figura 32, é possível notar que o intervalo formado entre os valores médios de vazão para os meses de janeiro de 2011 e janeiro de 2020 contém o zero, o que significa que não se pode considerar que houve diferenças significativas entre elas, ao nível de significância  $\alpha=0,05$ .

Figura 32 – Teste Tukey – Vazão Média em Janeiro de 2011 e Janeiro de 2020 - Estação 56610000



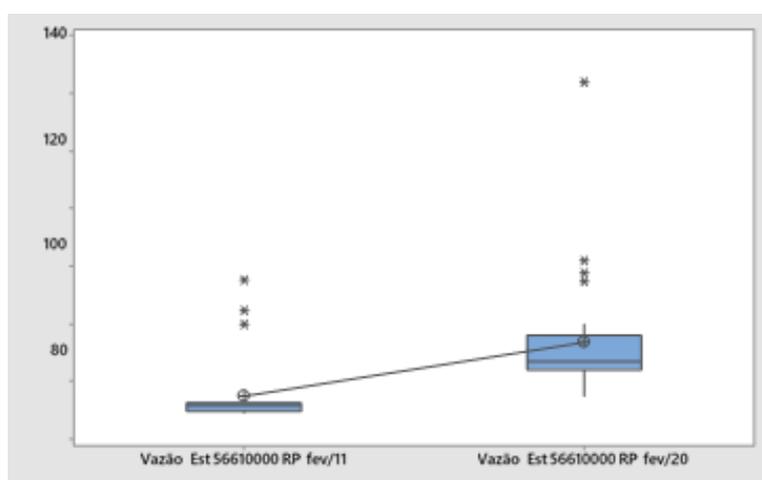
Fonte: Autora (2022).

Resultados semelhantes aos de janeiro foram obtidos para os meses de março, setembro e outubro. Para todos esses períodos não é possível considerar que houve diferenças de vazão média diária realizando-se a comparação pareada entre anos de 2011 e 2020, ao nível de significância  $\alpha=0,05$ , conforme pode ser observado na Tabela 12. Já para os demais meses da análise considerada na Tabela 12, observou-se que os p-valores obtidos foram inferiores em relação ao nível de significância  $\alpha=0,05$ , o que representa que houve diferença na vazão média diária entre esses períodos. As vazões médias diárias foram superiores em 2020 em relação ao ano de 2011 para os meses de fevereiro, abril, maio, junho, julho e agosto. Já os meses de novembro e dezembro de 2011 apresentaram valores superiores em relação ao ano de 2020. A Figura 33 exemplifica o boxplot para o mês de fevereiro, que apresenta valor médio de vazão diária superior para o ano de 2020 (33,97 m<sup>3</sup>/s) em relação ao ano de 2011 (14,97 m<sup>3</sup>/s). Já por meio da Figura 34, que representa o teste de Tukey, é possível notar que o intervalo formado entre os valores médios de vazão para os meses de fevereiro de 2011 e fevereiro de 2020 não

contém o zero, o que representa que houve diferença estatisticamente significativa para a vazão média diária entre esse período, ao nível de significância  $\alpha=0,05$ .

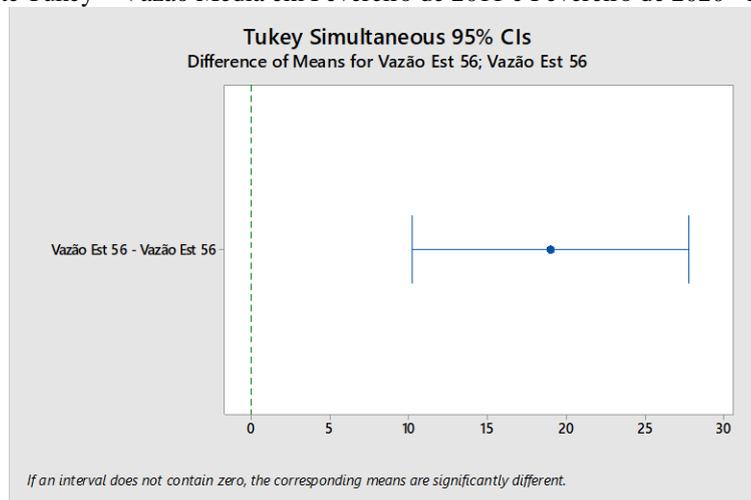
A última linha da Tabela 12 representa a análise anual dos valores médios de vazão diária. Observa-se que a estação 56610000, localizada no município de Rio Piracicaba, apresentou vazão média diária de 25,349 m<sup>3</sup>/s para o ano de 2011 e 23,224 m<sup>3</sup>/s para o ano de 2020. Entretanto, como o p-valor do teste t obtido foi de 0,804, não é possível considerar que a vazão média diária para o ano de 2011 foi estatisticamente superior ao ano de 2020.

Figura 33 – Boxplot para a Vazão nos meses de fevereiro de 2011 e fevereiro de 2020 - Estação 56610000



Fonte: Autora (2022).

Figura 34 - Teste Tukey – Vazão Média em Fevereiro de 2011 e Fevereiro de 2020 - Estação 56610000



Fonte: Autora (2022).

Metodologia de análise semelhante à realizada para a Tabela 12 foi aplicada aos dados de vazão referente à estação: 56659998, localizada no município de Nova Era. Observando-se a Tabela 13, nota-se que para os meses de janeiro, março, julho, setembro e outubro não se

podem considerar que houve diferenças entre os anos e 2011 e 2020 para os valores médios diários de vazão (pois o p-valor foi maior que o nível de significância  $\alpha=0,05$ ). Já para os meses de fevereiro, abril, maio, junho, agosto, novembro e dezembro houve diferenças entre os valores médios diários considerando os anos de 2011 e 2020. Apesar do ano de 2011 ter apresentado vazão média diária superior ao ano de 2020 ( $63,764\text{m}^3/\text{s}$  e  $53,683\text{m}^3/\text{s}$ , respectivamente), não é possível afirmar que esta diferença média seja estatisticamente significativa, pois o p-valor do teste t foi superior a  $\alpha=0,05$ .

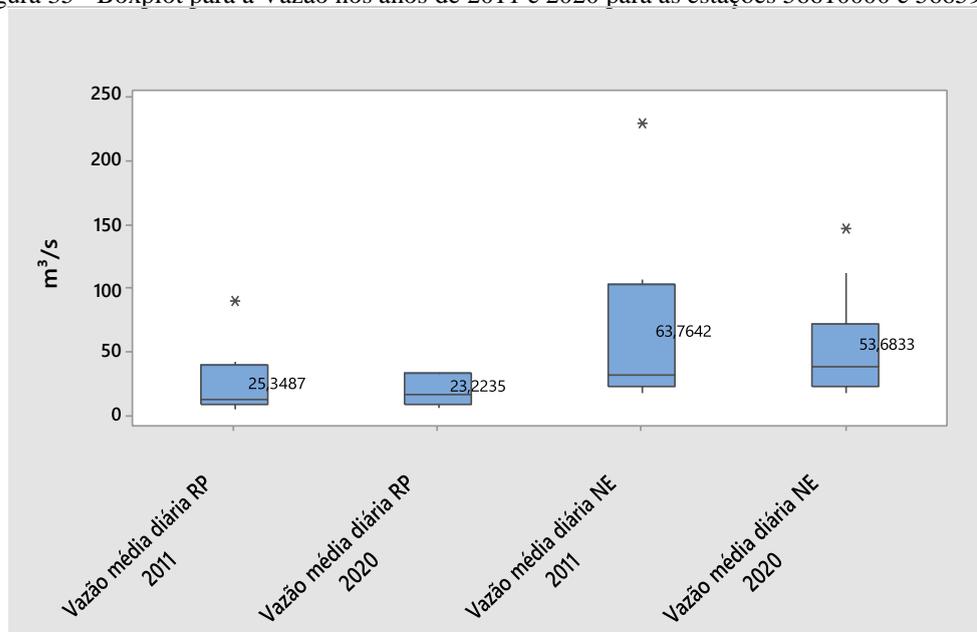
Tabela 13 - Valores Médios da Vazão e Teste-t estatístico nos anos 2011 e 2020 - Estação: 56659998 - Nova Era

Mês	Média 2011	Média 2020	P-valor teste -t	Análise
Janeiro	107,300	147,000	0,378	p-valor $> \alpha=0.05$ . Vazão diária em Jan/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Jan/2011
Fevereiro	35,000	75,600	0,000	p-valor $< \alpha=0.05$ . Vazão média diária em Fev/2020 maior que em Fev/2011.
Março	99,300	112,100	0,477	p-valor $> \alpha=0.05$ . Vazão diária em Mar/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Mar/2011
Abril	43,100	49,170	0,028	p-valor $< \alpha=0.05$ . Vazão média diária em Abr/2020 maior que em Abr/2011.
Maio	30,090	31,800	0,012	p-valor $< \alpha=0.05$ . Vazão média diária em Mai/2020 maior que em Mai/2011.
Junho	26,700	25,630	0,011	p-valor $< \alpha=0.05$ . Vazão média diária em Jun/2020 menor que em Jun/2011.
Julho	23,190	22,600	0,126	p-valor $> \alpha=0.05$ . Vazão diária em Jul/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Jul/2011
Agosto	19,320	21,440	0,000	p-valor $< \alpha=0.05$ . Vazão média diária em Ago/2020 maior que em Ago/2011.
Setembro	17,870	18,060	0,542	p-valor $> \alpha=0.05$ . Vazão diária em Set/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Set/2011
Outubro	29,300	33,700	0,368	p-valor $> \alpha=0.05$ . Vazão diária em Out/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Set/2011
Novembro	105,000	43,200	0,005	p-valor $< \alpha=0.05$ . Vazão média diária em Nov/2020 menor que em Nov/2011.
Dezembro	229,000	63,900	0,000	p-valor $< \alpha=0.05$ . Vazão média diária em Dez/2020 menor que em Dez/2011.
Anual	63,764	53,683	0,644	p-valor $> \alpha=0.05$ . Vazão diária em 2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de 2011

Fonte: Autora (2022).

Por fim, a Figura 35 ilustra o boxplot para os dados de vazão referente à duas estações analisadas em relação aos anos de 2011 e 2020. É possível observar, para os boxplots da estação 56610000, localizada no município de Rio Piracicaba, apresentaram valores próximos para o primeiro quartil, mediana e terceiro quartil. Já os boxplots que representam a estação 56659998, localizada no município de Nova Era, apresentou uma maior dispersão para o ano de 2011 em relação ao ano de 2020. Nota-se, também, que os valores médios diários de vazão do Rio Piracicaba são superiores na estação 56659998 em relação à estação 56610000.

Figura 35 - Boxplot para a Vazão nos anos de 2011 e 2020 para as estações 56610000 e 56659998



Fonte: Autora (2022).

#### 4.2.2 Análise das Precipitações

Metodologia de análise semelhante à realizada para a vazão, ilustrados pelas Tabela 12 e 13, foi aplicada aos dados que representam a Precipitação. A Tabela 14 representa os dados de precipitação referentes aos anos de 2011 e 2020 para a estação de coleta Estação:01943001, localizada no município de Rio Piracicaba. Por meio desta tabela, é possível notar que houve diferença significativa no índice de chuvas apenas para o mês de janeiro, onde em 2011 a média diária de precipitação para este mês foi de 4,420 mm, enquanto para 2020 foi de 8,420 mm. A média diária de precipitação para o ano de 2011 foi de 3,885 mm, enquanto para o ano de 2020 foi de 3,694 mm, valores muito próximos e, portanto, não sendo observado diferença estatisticamente significativa entre elas. Esse achado vai de encontro com o p-valor estatístico obtido (0,914), superior ao nível de significância considerado ( $\alpha=0,05$ ).

Tabela 14 - Valores Médios da Precipitação e Teste-t estatístico nos anos 2011 e 2020 - Estação: 01943001

Mês	Média 2011	Média 2020	P-valor teste -t	Análise
Janeiro	4,420	8,420	0,000	p-valor < $\alpha=0.05$ . Precipitação média diária em Jan/2020 maior que em Jan/2011.
Fevereiro	1,082	2,514	0,654	p-valor > $\alpha=0.05$ . Precipitação média diária em Fev/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Fev/2011
Março	8,010	7,230	0,839	p-valor > $\alpha=0.05$ . Precipitação média diária em Mar/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Mar/2011
Abril	2,270	2,230	0,981	p-valor > $\alpha=0.05$ . Precipitação média diária em Abr/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Abr/2011
Maió	0,490	1,126	0,316	p-valor > $\alpha=0.05$ . Precipitação média diária em Mai/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Mai/2011
Junho	0,493	0,083	0,260	p-valor > $\alpha=0.05$ . Precipitação média diária em Jun/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Jun/2011
Julho	0,116	0,068	0,410	p-valor > $\alpha=0.05$ . Precipitação média diária em Jul/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Jul/2011
Agosto	0,026	0,006	0,512	p-valor > $\alpha=0.05$ . Precipitação média diária em Ago/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Ago/2011
Setembro	0,180	0,250	0,750	p-valor > $\alpha=0.05$ . Precipitação média diária em Set/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Set/2011
Outubro	5,370	4,930	0,874	p-valor > $\alpha=0.05$ . Precipitação média diária em Out/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Out/2011
Novembro	11,520	5,520	0,211	p-valor > $\alpha=0.05$ . Precipitação média diária em Nov/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Nov/2011
Dezembro	12,640	11,950	0,866	p-valor > $\alpha=0.05$ . Precipitação média diária em Dez/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Dez/2011
Anual	3,885	3,694	0,914	p-valor > $\alpha=0.05$ . Precipitação média diária em 2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de 2011

Fonte: Autora (2022).

Já a Tabela 15 representa os dados de precipitação referentes aos anos de 2011 e 2020 para a estação de coleta 01943100 - Nova Era. Por meio desta tabela, é possível notar que houve diferença significativa no índice de chuvas apenas para o mês de maio, onde em 2011 a média diária de precipitação para este mês foi de 0,000 mm, enquanto para 2020 foi de 1,545 mm. A média diária de precipitação para o ano de 2011 foi de 3,883 mm, enquanto para o ano de 2020 foi 3,581 mm, valores também muito próximo e, portanto, não sendo observado diferença estatisticamente significativa entre elas. Como o p-valor estatístico obtido para a comparação

pareada anual foi superior ao nível de significância estatístico, considera-se que não houve diferença de precipitação média diária entre os anos de 2011 e 2020 medidos nesta estação.

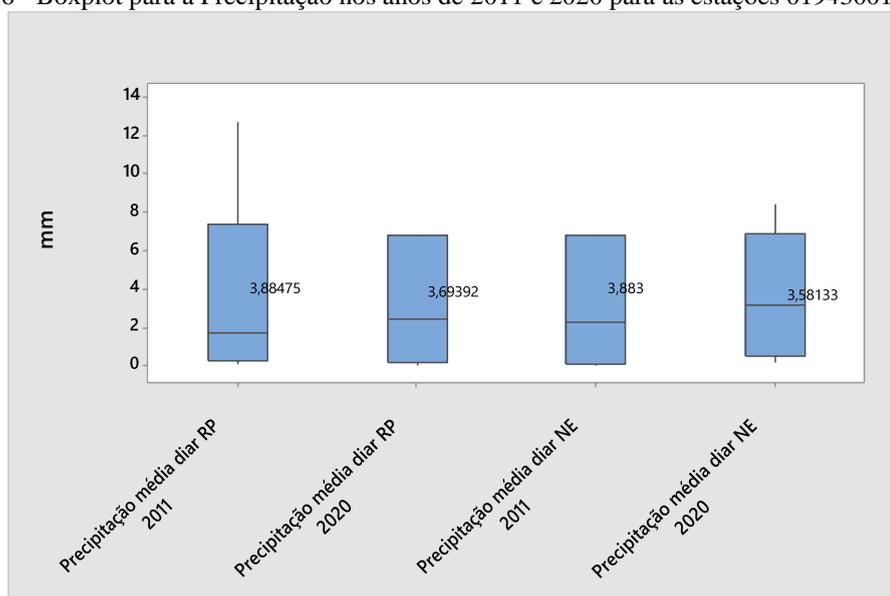
Tabela 15 – Valores Médios da Precipitação e Teste-t estatístico nos anos 2011 e 2020 - Estação: 01943100 - Nova Era

Mês	Média 2011	Média 2020	P-valor teste -t	Análise
Jan	4,420	8,420	0,207	p-valor > $\alpha=0.05$ . Precipitação média diária em Jan/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Jan/2011
Fev	2,950	7,090	0,149	p-valor > $\alpha=0.05$ . Precipitação média diária em Jan/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Jan/2011
Março	7,540	7,710	0,956	p-valor > $\alpha=0.05$ . Precipitação média diária em Mar/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Mar/2011
Abril	1,583	2,090	0,670	p-valor > $\alpha=0.05$ . Precipitação diária em Abr/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Abr/2011
Maio	0,00	1,545	0,038	p-valor < $\alpha=0.05$ . Precipitação diária em Mai/2020 pode ser considerada maior que a de Mai/2011
Junho	0,233	0,273	0,888	p-valor > $\alpha=0.05$ . Precipitação diária em Jun/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Jun/2011
Julho	0,067	0,745	0,327	p-valor > $\alpha=0.05$ . Precipitação diária em Jul/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Jul/2011
Agosto	0,000	0,390	0,154	p-valor > $\alpha=0.05$ . Precipitação diária em Ago/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Ago/2011
Setembro	0,173	0,153	0,922	p-valor > $\alpha=0.05$ . Precipitação diária em Set/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Set/2011
Outubro	4,290	4,150	0,945	p-valor > $\alpha=0.05$ . Precipitação diária em Out/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Out/2011
Novembro	11,480	4,150	0,065	p-valor > $\alpha=0.05$ . Precipitação diária em Nov/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Nov/2011
Dezembro	13,860	6,260	0,093	p-valor > $\alpha=0.05$ . Precipitação diária em Dez/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Dez/2011
Anual	3,883	3,581	0,856	p-valor > $\alpha=0.05$ . Precipitação média diária em 2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de 2011

Fonte: Autora (2022).

A Figura 36 ilustra os boxplots para os dados de precipitação referente à duas estações analisadas em relação aos anos de 2011 e 2020. As duas estações apresentaram uniformidade quanto à dispersão das precipitações nos anos considerados e valores médios diários próximos.

Figura 36 - Boxplot para a Precipitação nos anos de 2011 e 2020 para as estações 01943001 e 01943100



Fonte: Autora (2022).

#### 4.2.3 Análise de Correlação entre Vazão e Precipitação:

Na análise do relacionamento entre duas variáveis, a definição de correlação é de suma importância para o entendimento da variabilidade comum entre as variáveis. A análise de correlação avalia o grau de relacionamento linear entre duas variáveis. De acordo com Larson e Farber (2010), ao se considerar duas variáveis, o coeficiente de correlação linear amostral  $r$  mede o grau de relacionamento linear entre os dados emparelhados de  $x$  e  $y$  em uma amostra.

Segundo Montgomery (2019) o coeficiente de correlação linear amostral  $r$  apresenta valores entre  $-1$  e  $+1$ , sendo que valores próximos de  $-1$  e  $+1$  demonstram maior correlação e valores próximos de zero caracterizam-se pela ausência de correlação entre as duas variáveis  $x$  e  $y$  analisadas. A Tabela 16 demonstra uma forma de interpretação de uma correlação dado o seu valor numérico. Valores positivos de correlação indicam uma correlação direta; já os negativos, uma correlação inversa.

Tabela 16 - Interpretação dos valores de coeficiente de correlação.

Valor de $r$ (+ ou -)	Interpretação
0,00 a 0,19	Correlação bem fraca
0,20 a 0,39	Correlação fraca
0,40 a 0,69	Correlação moderada
0,70 a 0,89	Correlação forte
0,90 a 1,00	Correlação muito forte

Fonte: Adaptado de Larson e Farber (2010).

Uma forma de verificação da significância da correlação  $\rho$  de uma população é por meio da análise do p-valor, similar à utilizada no teste t de student. Desta forma, considera-se que a correlação é significativa quando o p-valor for inferior ao nível de significância utilizado.

A Tabela 17 apresenta a análise de correlação entre vazão e precipitação estratificadas por estação e por ano. Todos os p-valores do teste de significância estatística para a correlação entre as variáveis analisadas foram inferiores a  $\alpha=0,05$ , sendo essas correlações obtidas classificadas como significativas. Já por meio da análise dos valores das correlações, observou-se, que todos os valores são positivos e superiores a 0,7, sendo classificadas como correlações fortes ou muito fortes. Para os períodos analisados, observa-se que a medida que os índices de precipitação aumentam, a vazão medida na estações também aumentam de valor.

Tabela 17 – Análise da Correlação entre Vazão e Precipitação

Fatores Analisados	Valor da Correlação	P-valor
Vazão est 56610000 - Rio Piracicaba x Precipitação est 1943001 - Rio Piracicaba – Ano 2011	0,862	0,000
Vazão est 56610000 - Rio Piracicaba x Precipitação est 1943001 - Rio Piracicaba – Ano 2020	0,729	0,002
Vazão est 56659998 - Nova Era x Precipitação est 1943100 - Nova Era – Ano 2011	0,900	0,000
Vazão est 56659998 - Nova Era x Precipitação est 1943100 - Nova Era – Ano 2020	0,893	0,000

Fonte: Autora (2022).

#### 4.2.4 Construção dos modelos de regressão Vazão x precipitação

Para analisar a relação entre vazão e precipitação, foram construídos gráficos de dispersão entre essas duas variáveis. Em seguida, foi proposto um modelo matemático de ajuste entre essas variáveis empregando-se a regressão linear simples. A regressão linear simples é explicada por Montgomery (2019) como uma forma de estimar um modelo, cujo valor da variável dependente Y é predito pela variável independente X. A regressão linear é classificada como simples pelo fato de haver apenas uma variável independente e se considerar uma tendência linear entre Y e X. Esta regressão torna possível encontrar a “linha” que melhor se ajusta aos dados e que pode ser utilizada para avaliar o comportamento da variável resposta quando há mudanças na variável preditora. A equação 3 é chamada equação de regressão linear simples:

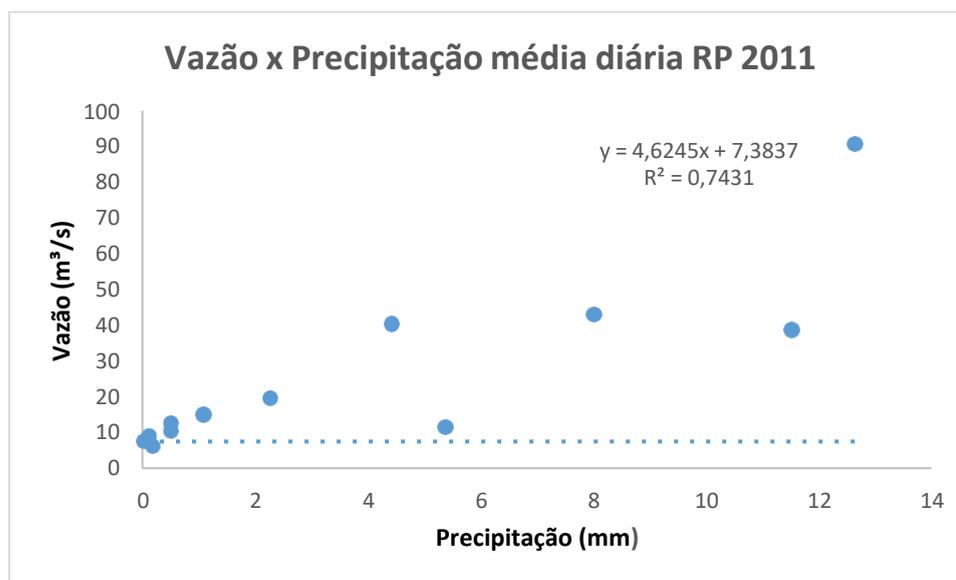
$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad \text{Equação (3)}$$

em que  $\beta_0$  representa a interseção,  $\beta_1$  a inclinação da reta e  $\varepsilon$  o erro aleatório.

As Figura 37, 38, 39 e 40 representam os gráficos de dispersão entre precipitação e vazão, bem como o ajuste linear obtido por meio da regressão linear. Nestes gráficos, ainda é possível observar a equação de regressão obtida, onde Y é a vazão, que é a variável dependente, e X é a precipitação, que é a variável independente neste modelo. Também é apresentado o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), que avalia o quão próximo os dados estão da linha de regressão ajustada.

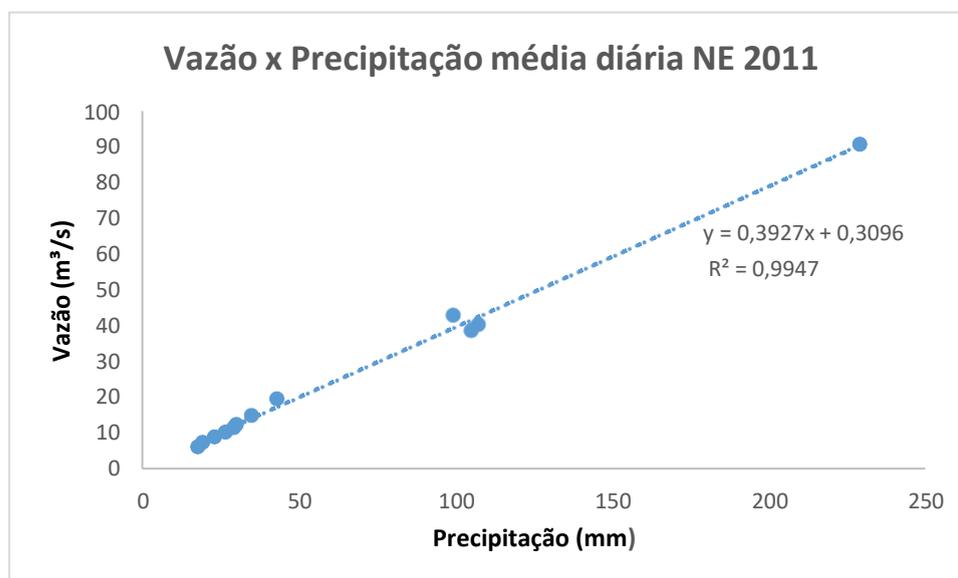
Para as Figura 37, que representa a relação entre vazão e precipitação na estação do Município de Rio Piracicaba no ano de 2011, o valor de  $R^2$  foi de 0,7431, o que significa que o modelo de regressão linear explica mais de 74% da variabilidade dos dados. A Figura 38 representa a relação entre vazão e precipitação na estação do município de Nova Era. O Modelo de regressão linear obtido foi capaz de explicar 99,47 % da variabilidade dos dados. Já por meio dos Figuras 39 e 40, que representam as relações entre vazão e precipitação para o ano de 2020 nas estações de Rio Piracicaba e Nova Era, respectivamente, os modelos de regressão obtidos apresentaram capacidade de explicação da variabilidade dos dados de 53,11% e 79,78%, respectivamente.

Figura 37 - Relação Vazão x precipitação média diária, estações localizadas na cidade de Rio Piracicaba no ano de 2011



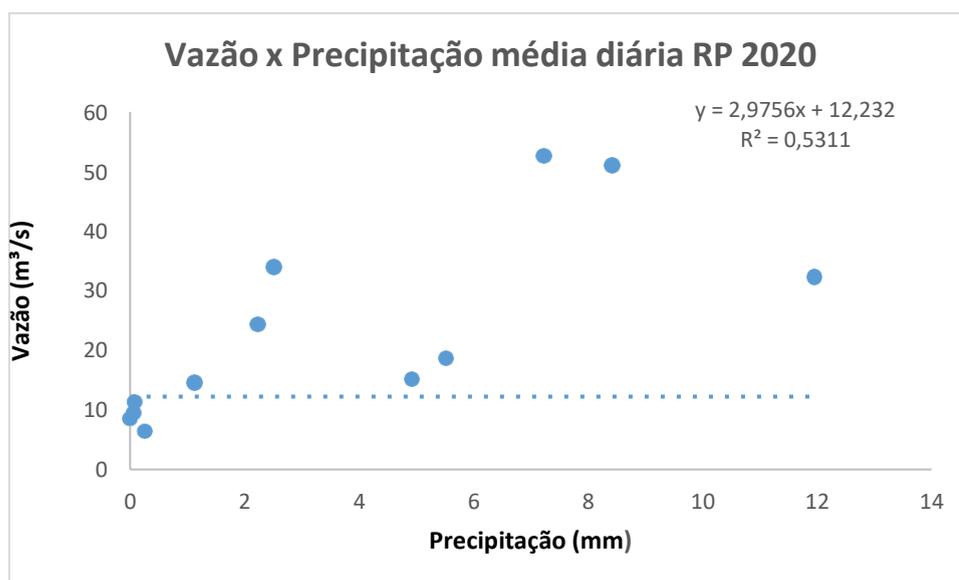
Fonte: Autora (2022).

Figura 38 - Relação Vazão x precipitação média diária, estações localizadas na cidade de Nova Era no ano de 2011.



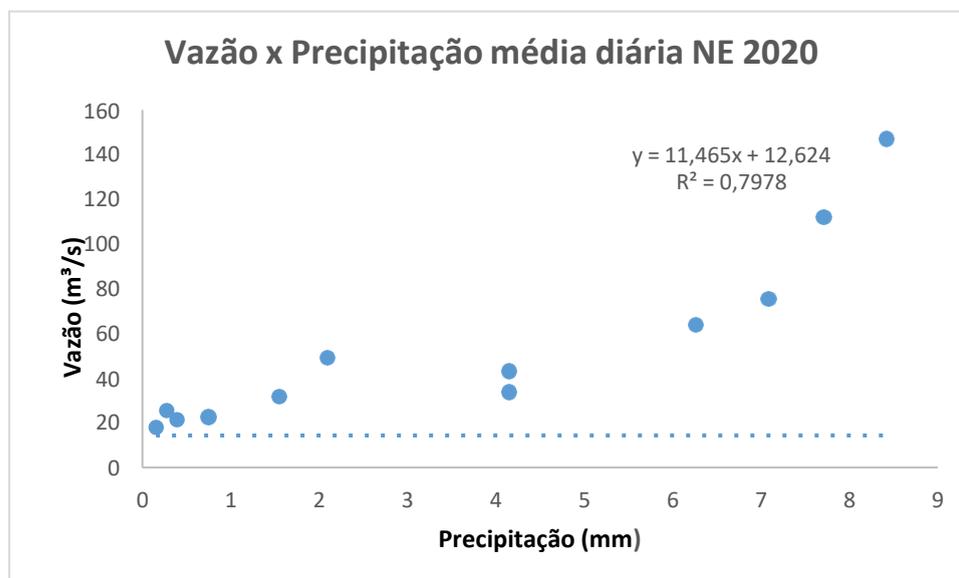
Fonte: Autora (2022).

Figura 39 - Relação Vazão x precipitação média diária, estações localizadas na cidade de Rio Piracicaba no ano de 2020



Fonte: Autora (2022).

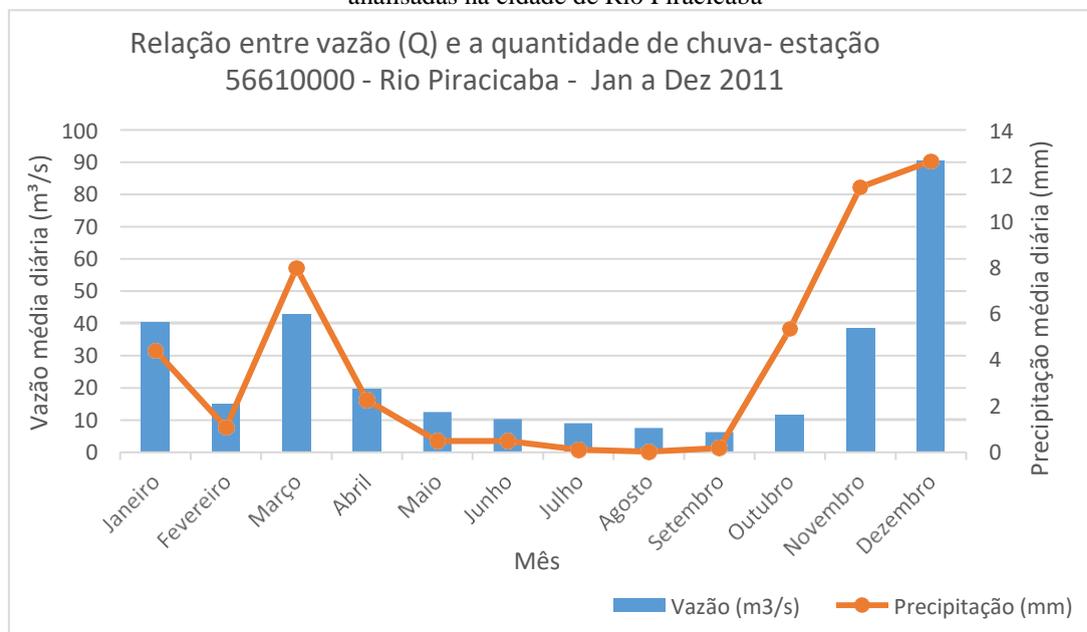
Figura 40 - Relação Vazão x precipitação média diária, estações localizadas na cidade de Nova Era no ano de 2020.



Fonte: Autora (2022)

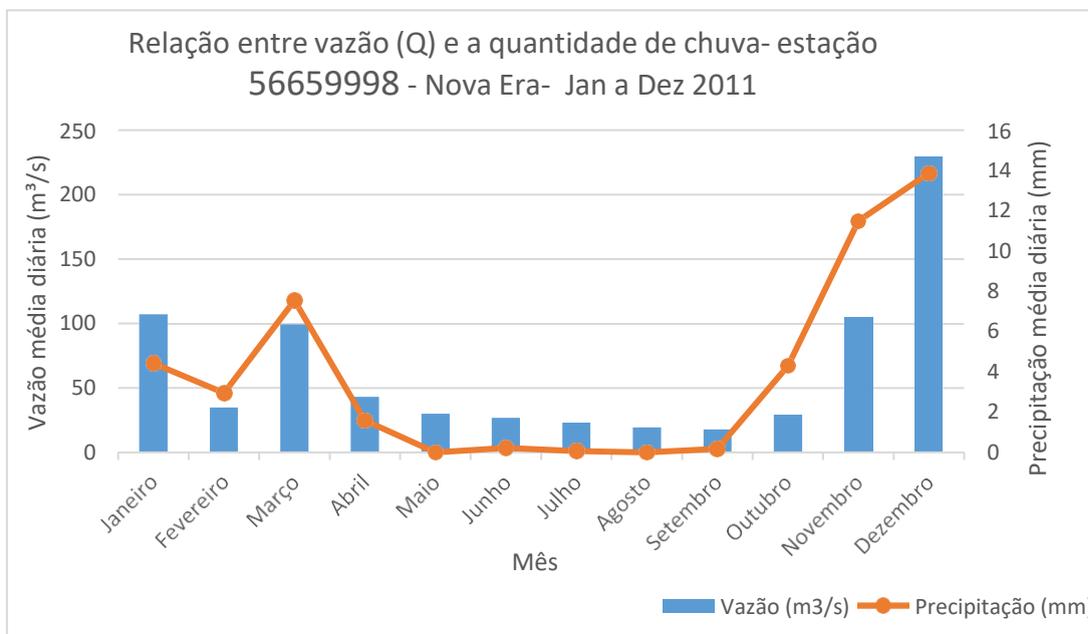
Já as Figuras 41, 42, 43 e 44 ilustram os dados de vazão e precipitação juntos das duas estações estudadas em 2011 e 2020.

Figura 41 - Vazão e Precipitação médias diárias para os meses referentes ao ano de 2011 nas estações analisadas na cidade de Rio Piracicaba



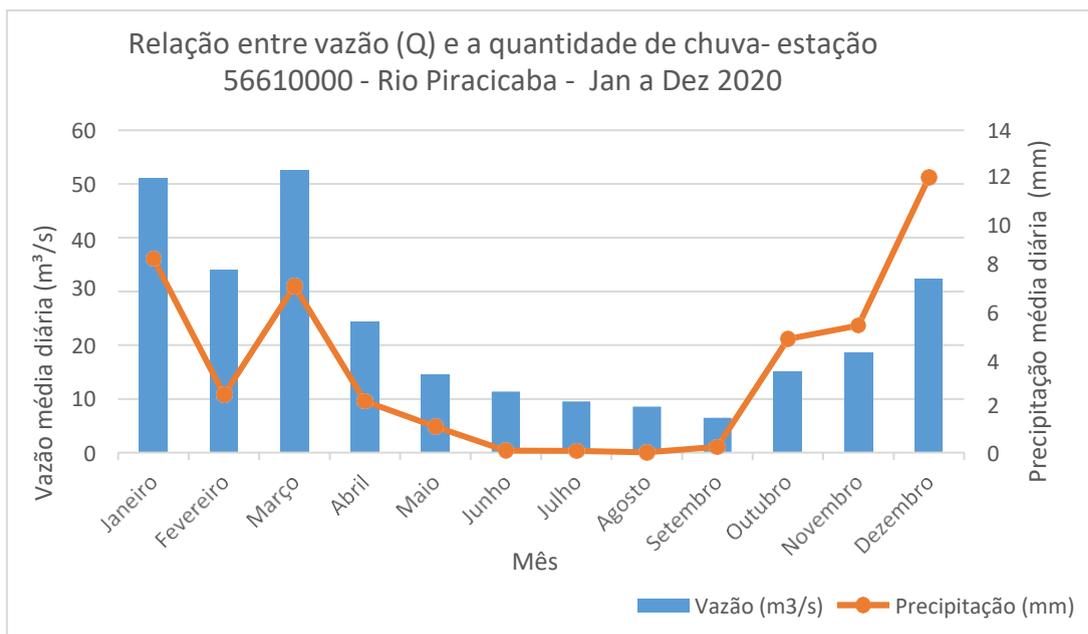
Fonte: Autora (2022).

Figura 42 - Vazão e Precipitação médias diárias para os meses referentes ao ano de 2011 nas estações analisadas na cidade de Nova Era



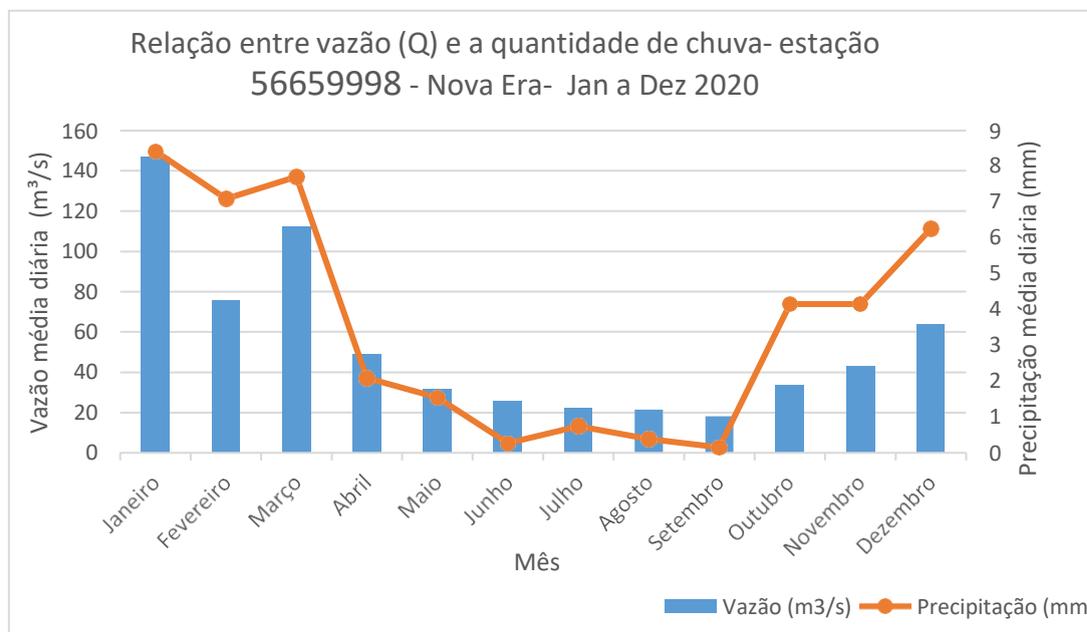
Fonte: Autora (2022).

Figura 43 - Vazão e Precipitação médias diárias para os meses referentes ao ano de 2020 nas estações analisadas na cidade de Rio Piracicaba



Fonte: Autora (2022).

Figura 44 - Vazão e Precipitação médias diárias para os meses referentes ao ano de 2020 nas estações analisadas na cidade de Nova Era



Fonte: Autora (2022).

### 4.3 Qualidade da Água

A seguir serão apresentados os valores trimestrais e anuais dos parâmetros de qualidade da água que compõem o IQA: oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, DBO, nitrato, temperatura, fósforo total, turbidez e sólidos totais, e também os valores de IQA, resultantes das avaliações das estações de qualidade da água analisadas (anos 2011 e 2020). Bem como, explicitado se os valores obtidos atendem aos limites estabelecidos pela DN COPAM/CERH-MG N° 01/2008, que norma sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais de domínio de Minas Gerais, utilizado pelo IGAM em seu monitoramento na Bacia do Rio Doce.

Das estações de qualidade da água do IGAM, presentes no médio curso do rio Piracicaba, foram analisados dados das estações: RD025, localizada no município de Rio Piracicaba; RD026, à jusante da cidade de João Monlevade; RD027, localizada em Santa Rita de Pacas (São Gonçalo do Rio Abaixo); RD029, em Nova Era; RD075, Distrito de Fonseca (Alvinópolis). Todas localizadas no curso do rio Piracicaba, com exceção da RD027 que se localiza no rio Santa Barbara, importante afluente do MRPI. Foram analisados também dados

da RD 074, em Mariana, localizada no Alto rio Piracicaba, à montante do MRPI, e da RD034, baixo curso do rio Piracicaba, à jusante do MRPI, situada na foz do rio Piracicaba, em Coronel Fabriciano, a fim de obter dados comparativos próximo à nascente e à foz do rio Piracicaba.

#### 4.3.1 Coliformes Termotolerantes

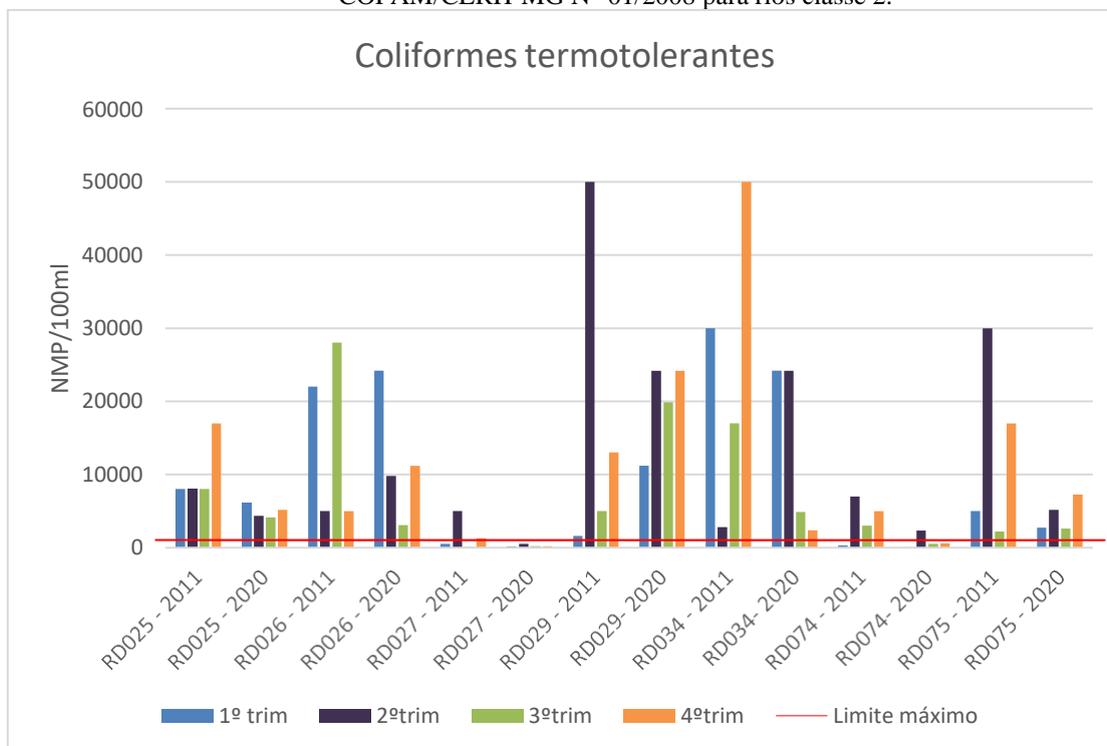
Na Tabela 18 e Figura 45 são apresentados os valores trimestrais de coliformes termotolerantes (N.M.P /100 ml) das estações analisadas. O limite estabelecido pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N° 01/2008 é de 1000 N.M.P/100ml.

Tabela 18- Valores do parâmetro Coliformes Termotolerantes comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2.

Estação	Ano	Jan	Mai	Jul	Out
RD025	2011	8000,00	8000,00	8000,00	17000,00
RD025	2020	6131,40	4351,70	4105,80	5172,10
RD026	2011	22000,00	5000,00	28000,00	5000,00
RD026	2020	24196,00	9803,90	3075,90	11198,70
RD027	2011	500,00	5000,00	50,00	1300,00
RD027	2020	177,30	487,40	210,90	201,10
RD029	2011	1600,00	50000,00	5000,00	13000,00
RD029	2020	11198,70	24196,00	19862,9	24196,00
RD034	2011	30000,00	2800,00	1700,00	5000,00
RD034	2020	24196,00	24196,00	4884,4	2382,20
RD074	2011	280,00	7000,00	3000,00	5000,00
RD074	2020	1,00	2359,00	495,40	598,00
RD075	2011	5000,00	30000,00	2200,00	17000,00
RD075	2020	2723,00	5172,00	2612,50	7269,90
(Legenda) Vermelho: valores acima do limite.					

Fonte: Autora (2022).

Figura 45 - Valores do parâmetro Coliformes Termotolerantes comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2.



Fonte: Autora (2022).

Conforme a Tabela 18 e a Figura 45 a maioria das estações apresentaram valores trimestrais de coliformes termotolerantes superiores ao estabelecido pela DN COPAM/CERH-MG N° 01/2008. As exceções foram as estações RD027, em 2020, que não apresentou nenhum valor superior ao limite, já em 2011, obteve valores superiores no 2° e 4° trimestre; a RD074, em 2011, que não apresentou valor superior ao limite apenas no 1° trimestre, e em 2020, alcançou valor superior ao limite apenas no 2° trimestre. Valores expressivos de Coliformes podem indicar que aconteceram lançamentos de esgotos perto dos dias das análises dos corpos d'água, que há despejo de esgotos domésticos de habitações próximas às margens dos rios e que há atividades pecuárias e presença de animais de sangue quente nos locais. Os lançamentos de esgotos in natura, provenientes dos municípios, sem nenhum tratamento prévio no rio Piracicaba e seus afluentes, contribuem para os elevados teores de coliformes termotolerantes.

Coliformes Termotolerantes são considerados um dos maiores vilões para a diminuição do IQA, sendo, os esgotos sanitários, atividades agropecuárias e matadouros grandes fontes de lançamentos. A *Escherichia coli* não causa problemas à saúde quando presente no intestino, por ser uma bactéria considerada normal neste local. Entretanto, algumas variantes podem desencadear distúrbios gastrointestinais indicados por diarreia aquosa. Além disto, esta bactéria

está associada com infecções urinárias, pneumonias e meningites (BRASIL, 2006). Portanto, os coliformes termotolerantes, mais especificamente a *E. coli*, são usados na avaliação da qualidade da água e no indicativo de contaminação por fezes. Esta avaliação é importante, por permitir a prevenção de doenças que são transmitidas por fezes (SILVA, 2016).

Ridolfi (2016) correlacionou a análise do uso e ocupação do solo e sua implicação na qualidade da água no município de Louveira-SP, e seus resultados indicaram, de forma geral, que quanto maior a presença de áreas residenciais e edificadas, maior é a porcentagem de coliformes termotolerantes na água. Bega *et al.* (2021), também explica que a urbanização contribui para aumento de superfícies de baixa permeabilidade nas bacias hidrográficas, o que contribui para aumento do volume de água pluvial escoado superficialmente nos terrenos e, conseqüentemente, amplia os poluentes carregados aos cursos de água receptores, o que pode degradar a qualidade de suas águas.

#### 4.3.2 Demanda Bioquímica de Oxigênio

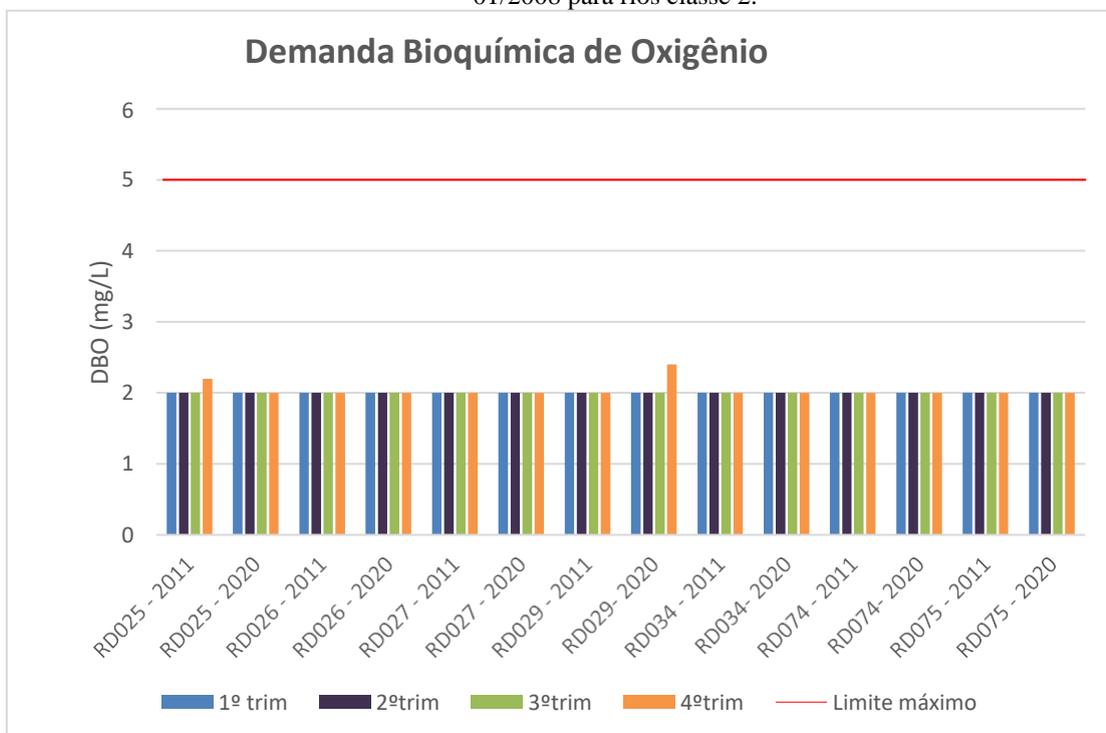
Os valores de DBO máximos permitidos de pela DN COPAM/CERH-MG nº 01/2008, são menores que 5 mg/L. Na Tabela 19 e Figura 46 tem-se as variações dos valores da DBO.

Tabela 19 - Valores do parâmetro DBO comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2.

Estação	Ano	Jan	Mai	Jul	Out
<b>RD025</b>	2011	2,00	2,00	2,00	2,20
<b>RD025</b>	2020	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>RD026</b>	2011	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>RD026</b>	2020	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>RD027</b>	2011	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>RD027</b>	2020	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>RD029</b>	2011	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>RD029</b>	2020	2,00	2,00	2,00	2,40
<b>RD034</b>	2011	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>RD034</b>	2020	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>RD074</b>	2011	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>RD074</b>	2020	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>RD075</b>	2011	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>RD075</b>	2020	2,00	2,00	2,00	2,00

Fonte: Autora (2022).

Figura 46 - Valores do parâmetro DBO comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2.



Avaliando-se a Tabela 19 e a Figura 46, conclui-se que todas as análises das estações apresentaram valores satisfatórios de DBO, prevalecendo o valor de 2 (mg/L) de DBO em praticamente todas as análises.

A DBO é definida como a quantidade de oxigênio dissolvido na água necessária para a oxidação bioquímica das substâncias orgânicas presentes na água em um certo período e está relacionada com a concentração de matéria orgânica nos ambientes aquáticos. Sendo as descargas de esgotos sanitários as principais fontes de matéria orgânica nas águas superficiais, uma vez que no Brasil a maioria absoluta das bacias que compõem os municípios não possui sistema de tratamento de esgotos ou quando possuem estão precarizados (AFFONSO, 2016; PIVELI *et al.*, 2005; VON SPERLING, 2007).

#### 4.3.3 Oxigênio Dissolvido

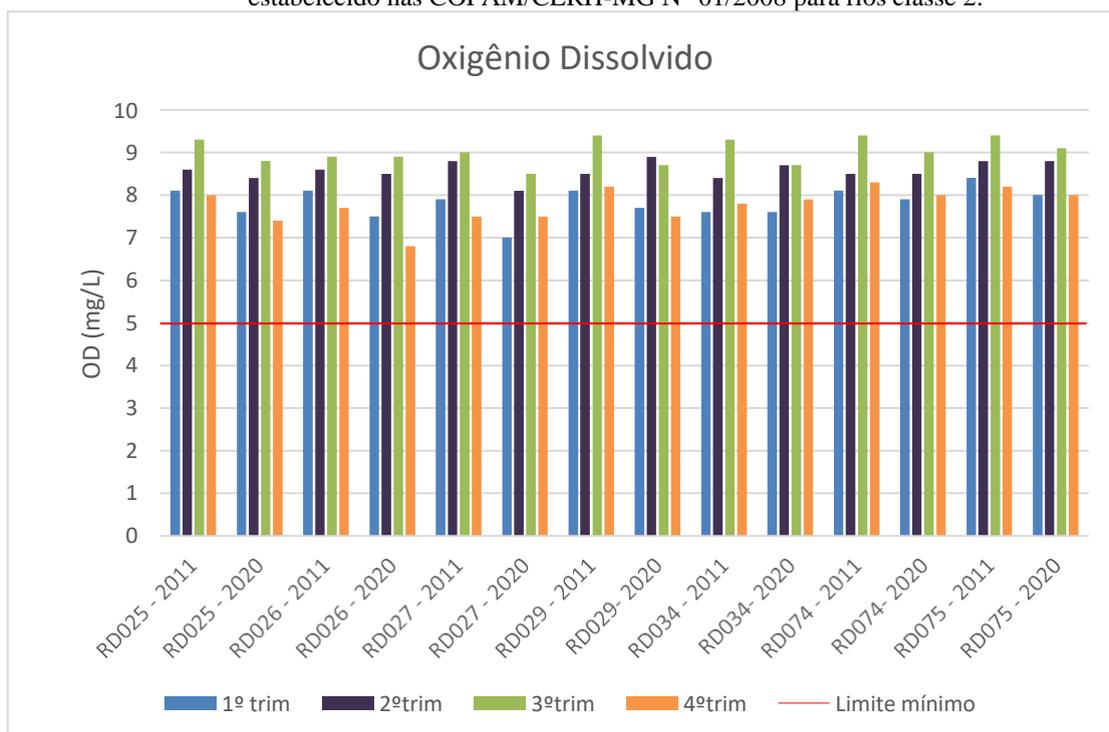
A DN COPAM/CERH-MG n° 01/2008 estabelece que o valor de OD para águas doces em curso hídrico de classe 2 deve ser superior a 5,0 mg/L (MINAS GERAIS, 2008). A variação dos níveis médios de oxigênio dissolvidos nos pontos analisados é apresentada na Tabela 20 e Figura 47.

Tabela 20 - Valores do parâmetro Oxigênio Dissolvido comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2.

Estação	Ano	Jan	Mai	Jul	Out
<b>RD025</b>	2011	8,10	8,60	9,30	8,00
<b>RD025</b>	2020	7,60	8,40	8,80	7,40
<b>RD026</b>	2011	8,10	8,60	8,90	7,70
<b>RD026</b>	2020	7,50	8,50	8,90	6,80
<b>RD027</b>	2011	7,90	8,80	9,00	7,50
<b>RD027</b>	2020	7,00	8,10	8,50	7,50
<b>RD029</b>	2011	8,10	8,50	9,40	8,20
<b>RD029</b>	2020	7,70	8,90	8,70	7,50
<b>RD034</b>	2011	7,60	8,40	9,30	7,80
<b>RD034</b>	2020	7,60	8,70	8,70	7,90
<b>RD074</b>	2011	8,10	8,50	9,40	8,30
<b>RD074</b>	2020	7,90	8,50	9,00	8,00
<b>RD075</b>	2011	8,40	8,80	9,40	8,20
<b>RD075</b>	2020	8,00	8,80	9,10	8,00

Fonte: Autora (2022).

Figura 47 - Valores do parâmetro Oxigênio Dissolvido comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2.



Fonte: Autora (2022).

Em todas as estações e períodos analisados os valores obtidos de Oxigênio Dissolvido-OD foram maiores que o limite mínimo indicado pela DN COPAM/CERH-MG N° 01/2008. O oxigênio dissolvido é o parâmetro que possui maior peso no cálculo do IQA, assim, sua escassez pode contribuir para diminuição do valor de IQA e desencadear diversos problemas aos ambientes aquáticos.

#### 4.3.4 pH

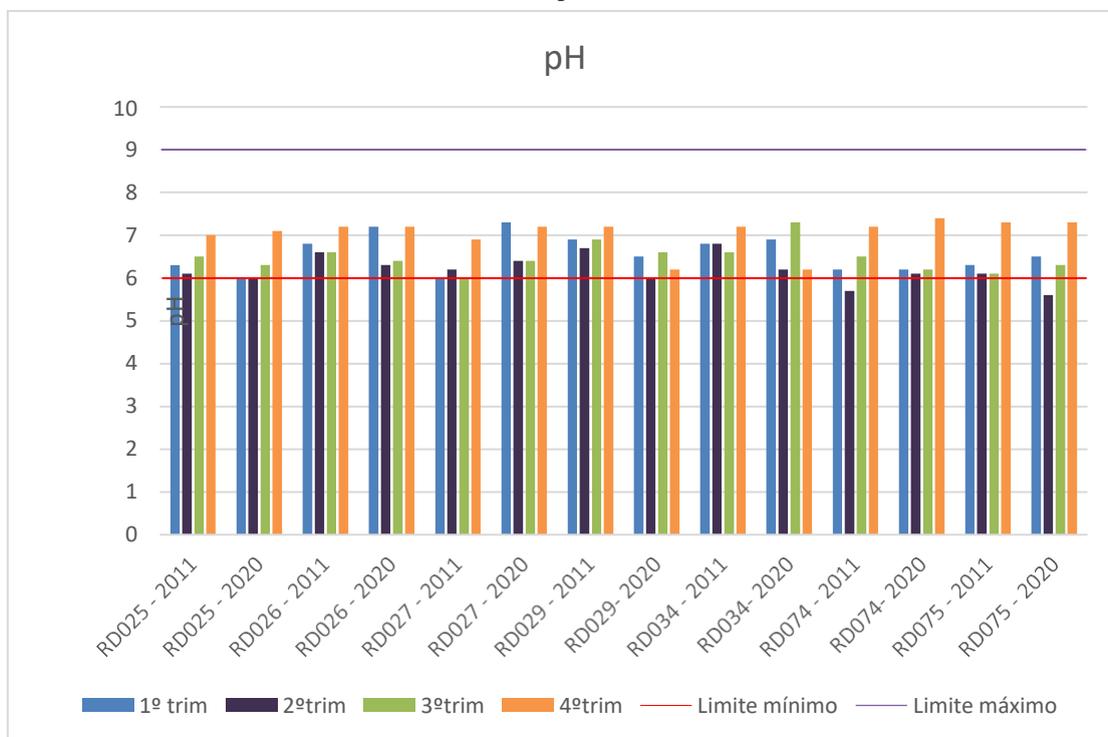
A DN COPAM/CERH-MG N° 01/2008 indica valores ideais de pH entre 6 e 9 (MINAS GERAIS, 2008). Os valores de pH estão expostos na Tabela 21 e Figura 48.

Tabela 21 - Valores do parâmetro pH comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2.

<b>Estação</b>	<b>Ano</b>	<b>Jan</b>	<b>Mai</b>	<b>Jul</b>	<b>Out</b>
<b>RD025</b>	2011	6,30	6,10	6,50	7,00
<b>RD025</b>	2020	6,00	6,00	6,30	7,10
<b>RD026</b>	2011	6,80	6,60	6,60	7,20
<b>RD026</b>	2020	7,20	6,30	6,40	7,20
<b>RD027</b>	2011	6,00	6,20	6,00	6,90
<b>RD027</b>	2020	7,30	6,40	6,40	7,20
<b>RD029</b>	2011	6,90	6,70	6,90	7,20
<b>RD029</b>	2020	6,50	6,00	6,60	6,20
<b>RD034</b>	2011	6,80	6,80	6,60	7,20
<b>RD034</b>	2020	6,90	6,20	7,30	6,20
<b>RD074</b>	2011	6,20	5,70	6,50	7,20
<b>RD074</b>	2020	6,20	6,10	6,20	7,40
<b>RD075</b>	2011	6,30	6,10	6,10	7,30
<b>RD075</b>	2020	6,50	5,60	6,30	7,30
(Legenda) Vermelho: valores abaixo do limite mínimo.					

Fonte: Autora (2022).

Figura 48 - Valores do parâmetro pH comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2.



Fonte: Autora (2022).

Observando-se a Tabela 21 e a Figura 48, constata-se que todos os valores de pH ficaram entre 6 e 9, com exceção da amostragem do mês de maio/2011 da estação RD074 (pH 5,7) e de maio/2020 da RD075 (pH 5,6). Algumas estações apresentaram o valor do limite mínimo ideal (pH 6), sendo elas RD025 (amostragens de janeiro e maio de 2020), RD027 (amostragens de janeiro e julho de 2011) e RD029 maio/2020. Nenhuma análise extrapolou o limite máximo ideal de pH (9). Conforme os valores obtidos, predominaram pHs com valores considerados ácidos (pH<7). Já os índices de alcalinidade correspondem aos valores de pH>7,0 e de neutralidade pH=7,0.

O pH pode variar em função da disponibilidade de sais, da área que recebe as águas da chuva, dos esgotos e da água do lençol freático, dos exsudados radiculares, da variação da temperatura. Também em função da quantidade de matéria orgânica a ser decomposta, quanto maior a quantidade disponível, menor o pH, pois para haver decomposição de materiais ocorre a produção de ácidos orgânicos dissolvidos. Também pode ser influenciado pelos tipos litológicos e de solos, quanto mais ácido for o solo da bacia, mais ácidas serão as águas. Sendo que, em condições naturais os ecossistemas aquáticos que apresentam valores de pH mais baixos estão condicionados à presença de uma estrutura litológica que quando intemperizada pode liberar elementos com capacidade de formar ácidos, a exemplo de rochas ricas em enxofre

que podem promover a formação de ácido sulfúrico. A mudança de pH serve como indicador de poluição e está relacionada a solubilidade e disponibilidade biológica de compostos químicos, tais como nutrientes e metais pesados (AFFONSO, 2016; GOMES, 2019; SILVA, 2016).

#### 4.3.5 Turbidez

Para mananciais de abastecimento público Classe 2, o limite de Turbidez é de 100 unidades nefelométrica de turbidez (UNT) pela DN COPAM/CERH-MG nº 01/2008. Na Tabela 22 e Figura 49, tem-se os valores de turbidez.

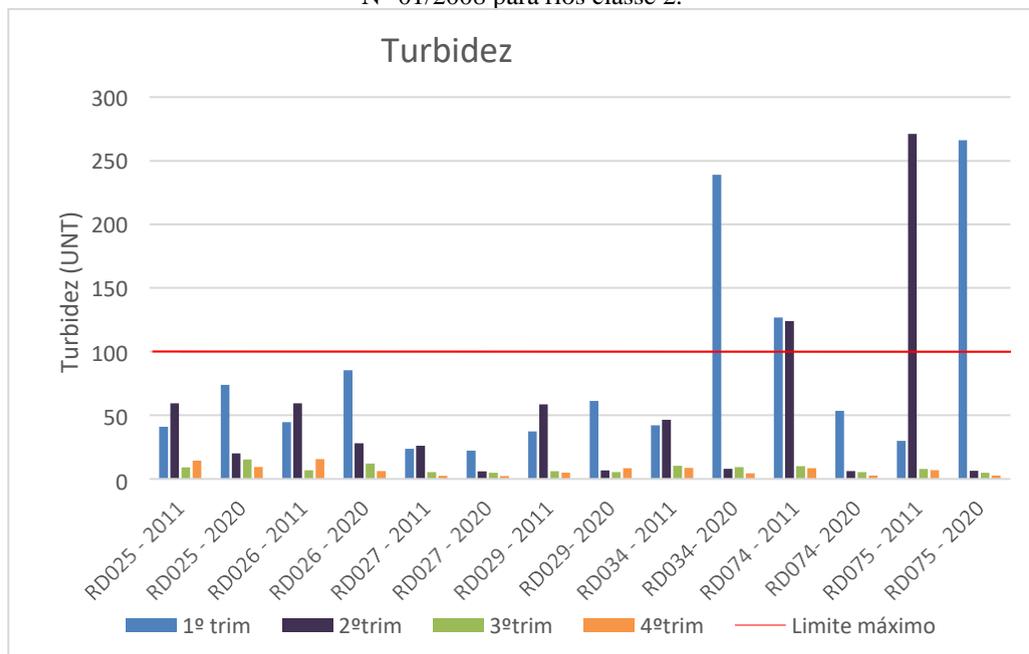
Tabela 22 - Valores do parâmetro turbidez comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2.

Estação	Ano	Jan	Mai	Jul	Out
<b>RD025</b>	2011	40,80	59,20	9,12	14,30
<b>RD025</b>	2020	74,10	20,10	15,20	9,31
<b>RD026</b>	2011	44,70	59,30	6,86	15,60
<b>RD026</b>	2020	85,50	28,00	12,20	6,10
<b>RD027</b>	2011	23,80	26,10	5,41	2,47
<b>RD027</b>	2020	22,30	5,83	4,96	2,15
<b>RD029</b>	2011	37,50	58,60	6,12	4,85
<b>RD029</b>	2020	61,30	6,74	5,40	8,43
<b>RD034</b>	2011	42,20	46,30	10,30	8,57
<b>RD034</b>	2020	239,00	7,88	9,25	4,31
<b>RD074</b>	2011	127,00	124,00	10,20	8,38
<b>RD074</b>	2020	53,50	6,20	5,38	2,71
<b>RD075</b>	2011	30,10	271,00	7,83	6,97
<b>RD075</b>	2020	266,00	6,31	4,96	2,55

(Legenda) Vermelho: valores acima do limite.

Fonte: Autora (2022).

Figura 49 - Valores do parâmetro turbidez comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2.



Fonte: Autora (2022).

Os valores observados na Tabela 22 e Figura 49 indicam valores superiores ao estabelecido nas estações RD034, em 2020, (1º trimestre/período chuvoso), RD074, em 2011, (1º trimestre/período chuvoso e 2º trimestre), RD075, em 2011, (2º trimestre), e RD075, em 2020, (1º trimestre/período chuvoso). A Figura 50 mostra o encontro do rio Piracicaba com o rio Santa Bárbara, em Capela Branca (Bela Vista de Minas). Todos os resultados de Turbidez da RD27 (rio Santa Bárbara) possuem valores abaixo do limite estabelecido pela DN.

Figura 50 - Encontro do rio Piracicaba e rio Santa Bárbara, em Capela Branca (Bela Vista de Minas).



Fonte: Autora (2022).

Geralmente, os maiores valores de turbidez ocorrem em período chuvoso e podem indicar presença de efluentes domésticos mais frescos ou mais concentrados, bem como a presença de resíduos de solos. O problema da alta turbidez é muito maior que apenas a água “suja” com sedimentos dissolvidos e em suspensão. Pois, a turbidez é um indício do volume do solo que é lavado e transportado, solos normalmente ricos em substância que prejudicam a saúde humana e do ambiente aquático (MORGANAS, 2005).

As ações antrópicas desempenham papel fundamental sobre os índices da turbidez, por meio do lançamento de efluentes sob os corpos hídricos, a lixiviação e carreamento de partículas de solo exposto, e a extração de areia, por exemplo, que provocam revolvimento dos sedimentos no fundo dos rios. Altos níveis de turbidez podem formar barreiras dificultando a penetração de luz na água, prejudicando a ação dos organismos fotossintetizantes, e comprometendo a sucessão dos ciclos ambientais de fixação de energia e nutrientes (AFFONSO, 2016).

Affonso (2016) analisou a correlação entre os valores de vazão e de turbidez na Bacia do rio Piranga, uma vez que vazões maiores indicam dias que sucedem maiores índices pluviométricos e devido às fontes mais significativas de turbidez apontam em maiores valores, e confirmou a influência dos períodos chuvosos sobre os índices de turbidez e a sua sazonalidade. Os resultados obtidos para turbidez apontaram estreita relação com os períodos de maior precipitação, em condições amostrais precedidas por chuva (vazões maiores) os resultados foram mais altos que condições climáticas mais secas. Nos ambientes próximos aos lançamentos de efluentes, a turbidez também apresentou tendência a se destoar dos demais valores, mesmo em condições secas. O autor concluiu ainda que, diversas formas de uso e ocupação do solo têm somado condições para sua perda por salpicamento (gotas da chuva tem contato direto com o solo promovendo sua desagregação em superfície) e, outras formas até mais agressivas, que liberam material particulado capaz de alterar os níveis de turbidez da água.

### 4.3.6 Fósforo Total

O Limite de fósforo total estabelecido pela DN COPAM-CERH nº01/2008 é de 0,1 mg/L para águas com movimentos lóticos e tributários intermediários. Na Tabela 23 e Figura 51 são apresentados os valores obtidos de Fósforo total.

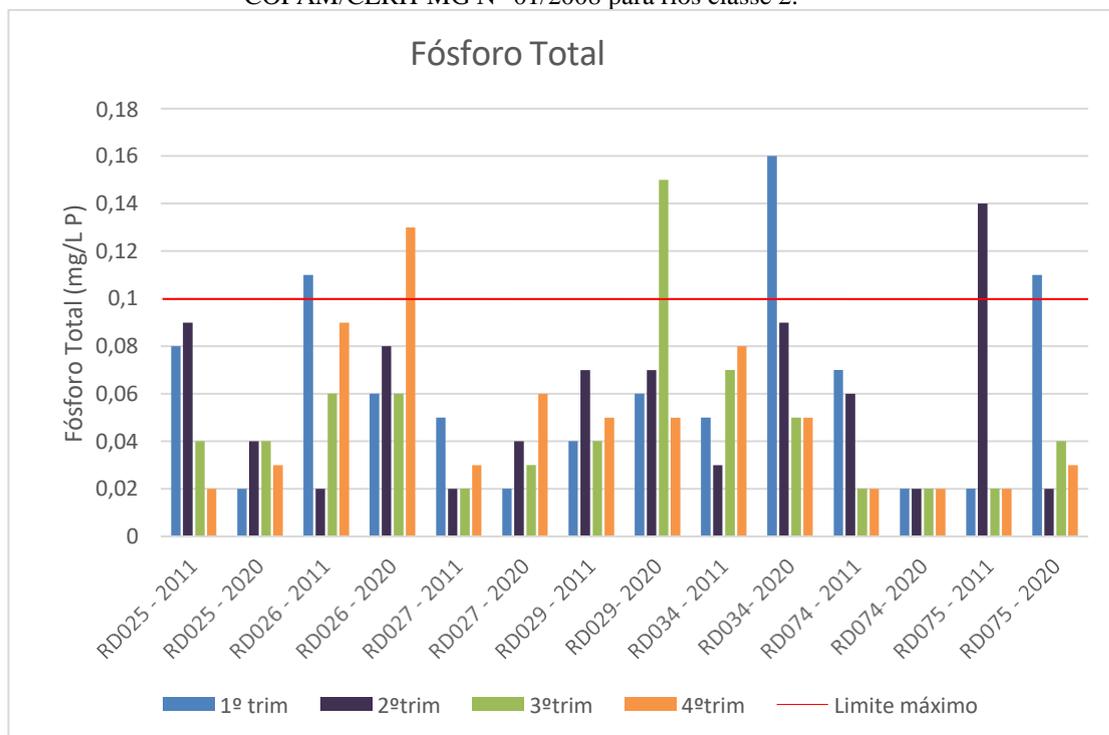
Tabela 23 - Valores de Fósforo Total comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2.

Estação	Ano	Jan	Mai	Jul	Out
RD025	2011	0,08	0,09	0,04	0,02
RD025	2020	0,02	0,04	0,04	0,03
RD026	2011	0,11	0,02	0,06	0,09
RD026	2020	0,06	0,08	0,06	0,13
RD027	2011	0,05	0,02	0,02	0,03
RD027	2020	0,02	0,04	0,03	0,06
RD029	2011	0,04	0,07	0,04	0,05
RD029	2020	0,06	0,07	0,15	0,05
RD034	2011	0,05	0,03	0,07	0,08
RD034	2020	0,16	0,09	0,05	0,05
RD074	2011	0,07	0,06	0,02	0,02
RD074	2020	0,02	0,02	0,02	0,02
RD075	2011	0,02	0,14	0,02	0,02
RD075	2020	0,11	0,02	0,04	0,03

(Legenda) Vermelho: valores acima do limite.

Fonte: Autora (2022).

Figura 51 - Valores do parâmetro Fósforo Total comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2.



Fonte: Autora (2022).

Conforme observado na Tabela 23 e Figura 51, a maioria dos valores foram inferiores ao limite estabelecido pela DN COPAM-CERH n° 01/2008 de 0,1 mg P/L. Sendo obtidos valores superiores nas estações RD026, 2011, (1º trimestre/período chuvoso) e, em 2020, (4º trimestre/período chuvoso); na estação RD029, em 2020, 3º trimestre, RD034, em 2020, 1º trimestre/período chuvoso; e, na estação RD075, em 2011, 2º trimestre e, em 2020, 1º trimestre/período chuvoso.

A presença excessiva de fósforo em águas naturais pode ser resultado de águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também, isso devido à aplicação de fertilizante no solo (BRASIL, 2006). Com a elevação da precipitação, há aumento das enxurradas e dos processos erosivos, e consequentemente, acréscimo da quantidade de resíduos de fertilizantes levados para os cursos d'água, o que pode explicar maior teor de fósforo total em períodos de chuvas. Os despejos sanitários e industriais também são fontes de fósforo no ambiente. Affonso (2016) explica que elevados teores de fósforos em cursos d'água são um problema, pois são nutrientes para formações de *blooms* de Cianobactérias e de vegetação macrófita.

### 4.3.7 Nitrogênio Total

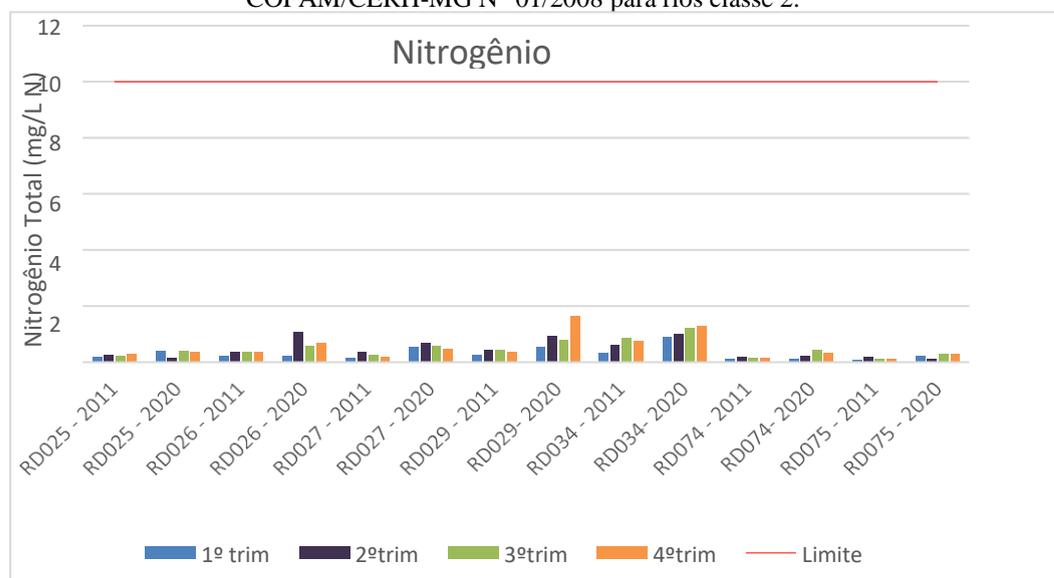
O Limite estabelecido pela DN COPAM-CERHn° 01/2008 é de 10 mg/L de N. Os valores de Nitrogênio total estão ilustrados na Tabela 24 e Figura 52.

Tabela 24 - Valores do parâmetro Nitrogênio Total comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2.

Estação	Ano	Jan	Mai	Jul	Out
<b>RD025</b>	2011	0,17	0,27	0,22	0,30
<b>RD025</b>	2020	0,40	0,15	0,39	0,37
<b>RD026</b>	2011	0,23	0,36	0,35	0,36
<b>RD026</b>	2020	0,22	1,08	0,57	0,67
<b>RD027</b>	2011	0,16	0,37	0,25	0,20
<b>RD027</b>	2020	0,54	0,67	0,58	0,47
<b>RD029</b>	2011	0,26	0,44	0,44	0,37
<b>RD029</b>	2020	0,55	0,94	0,80	1,65
<b>RD034</b>	2011	0,33	0,60	0,87	0,75
<b>RD034</b>	2020	0,89	0,99	1,22	1,30
<b>RD074</b>	2011	0,10	0,18	0,16	0,16
<b>RD074</b>	2020	0,13	0,21	0,43	0,32
<b>RD075</b>	2011	0,07	0,17	0,10	0,11
<b>RD075</b>	2020	0,23	0,12	0,31	0,28

Fonte: Autora (2022).

Figura 52 - Valores do parâmetro Nitrogênio Total comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2.



Fonte: Autora (2022).

Conforme explicitado na Tabela 24 e Figura 52, não houve valores de Nitrogênio Total superiores ao estabelecido pela DN.

Ridolfi (2019) explica que o nitrogênio total pode contribuir para a completa abundância de nutrientes na água e sua eutrofização. Os nitrogênios amoniacal e orgânico são importantes para avaliar o nitrogênio disponível para as atividades biológicas. A concentração de nitrogênio total em rios que não são influenciados pelo excesso de insumos orgânicos varia de 0,5 a 1,0 mg/L. Os resultados são valores obtidos superiores a 1,0 mg/L em algumas avaliações, no 3º e 4º trimestre da RD034, 2º trimestre da RD026 e 4º trimestre da RD029. Ridolfi (2019), correlacionou o uso do solo com a qualidade da água na cidade de Louveira-SP, e os resultados indicaram que o aumento da precipitação e aumento das enxurradas, culmina em aumento dos processos erosivos, e uma maior quantidade de resíduos de fertilizantes são carregados para os cursos d'água, o que explica o valor de nitrogênio total na estação chuvosa.

#### 4.3.8 Sólidos Totais

A DN COPAM - CERH nº 01/2008 estabelece o limite de 100 mg/L de sólidos totais. Na Tabela 25 e Figura 53, apresenta-se a distribuição de sólidos totais nos pontos amostrados.

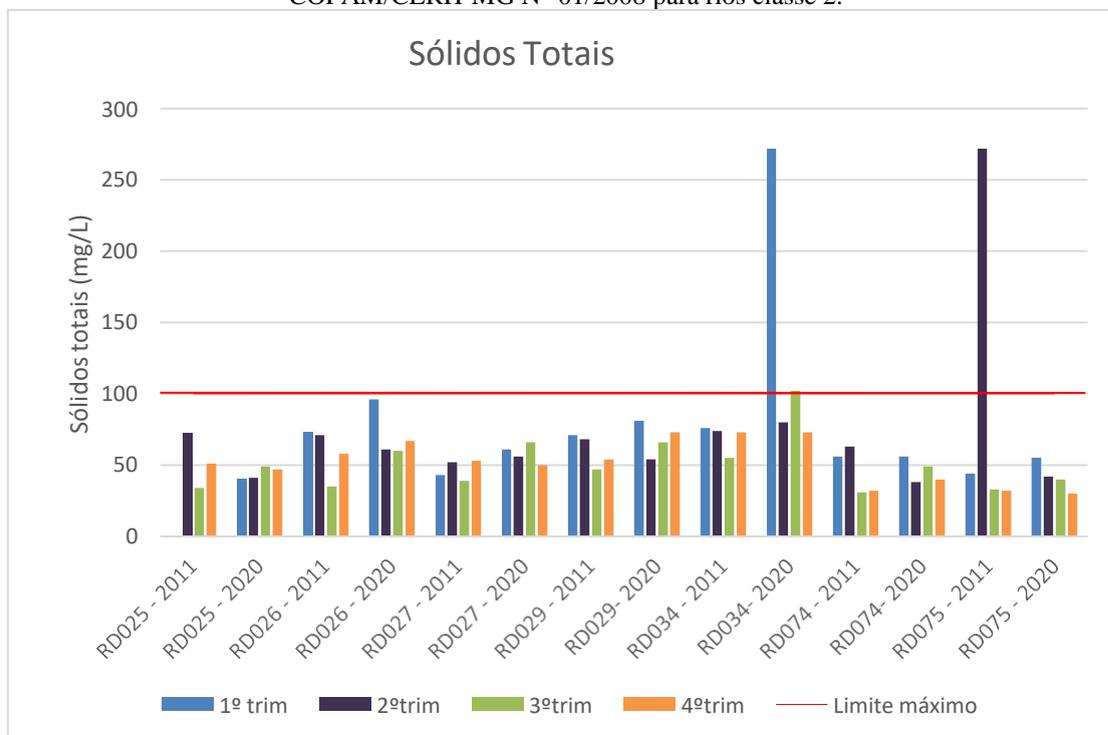
Tabela 25 - Valores de Sólidos Totais comparando ao estabelecido nas COPAM/CERH-MG Nº 01/2008 para rios classe 2.

Estação	Ano	Jan	Mai	Jul	Out
RD025	2011	64,00	72,00	34,00	51,00
RD025	2020	40,00	41,00	49,00	47,00
RD026	2011	73,00	71,00	35,00	58,00
RD026	2020	96,00	61,00	60,00	67,00
RD027	2011	43,00	52,00	39,00	53,00
RD027	2020	61,00	56,00	66,00	50,00
RD029	2011	71,00	68,00	47,00	54,00
RD029	2020	81,00	54,00	66,00	73,00
RD034	2011	76,00	74,00	55,00	73,00
RD034	2020	272,00	80,00	102,00	73,00
RD074	2011	56,00	63,00	31,00	32,00
RD074	2020	56,00	38,00	49,00	40,00
RD075	2011	44,00	272,00	33,00	32,00
RD075	2020	55,00	42,00	40,00	30,00

(Legenda) Vermelho: valores acima do limite.

Fonte : Autora (2022).

Figura 53 - Valores do parâmetro Sólidos Totais comparando ao limite estabelecido nas COPAM/CERH-MG N° 01/2008 para rios classe 2.



Fonte: Autora (2022).

Conforme Tabela 25 e Figura 53, foram observados valores de sólidos totais superiores ao estabelecido, apenas nas estações RD034, em 2020 (1º trimestre/período chuvoso e 3º trimestre), e na estação RD075, em 2011 (2º trimestre). Altos níveis de sólidos totais podem estar relacionados à lixiviação dos solos devido à ausência de matas ciliares e áreas de preservação permanentes (APPs).

Segundo Ridolfi (2019), a água com excessivo teor de sólidos em suspensão ou minerais dissolvidos têm sua utilidade limitada, pois torna-se inadequada para consumo humano, por ser corrosiva e até abrasiva. Valores de 500ppm de sólidos dissolvidos, geralmente, ainda são viáveis para uso doméstico, mas provavelmente inadequada para uso em vários processos industriais. Já águas com teor de sólidos superior a 1000ppm são inadequadas para consumo humano e possivelmente será corrosiva e até abrasiva.

#### 4.3.9 Temperatura

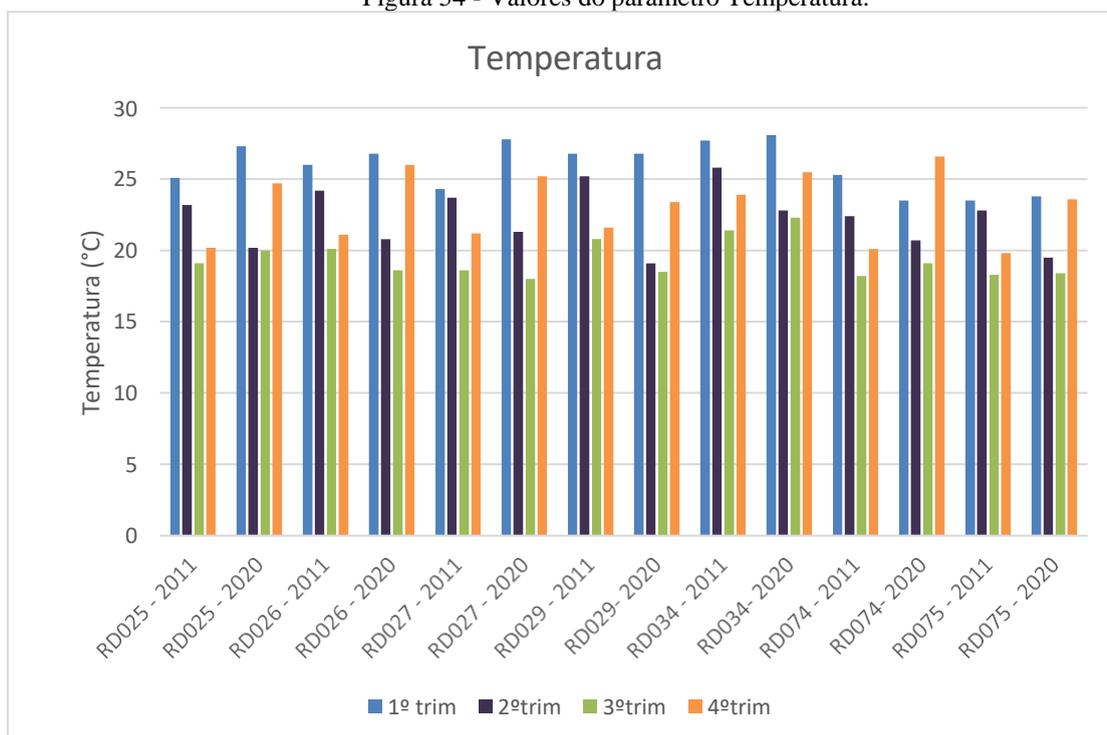
A DN COPAM-CERH n° 01/2008 não estabelece limite máximo e mínimo para a temperatura nos corpos hídricos. Os valores do parâmetro Temperatura estão dispostos na Tabela 26 e Figura 54.

Tabela 26 - Valores do parâmetro Temperatura.

Estação	Ano	Jan	Mai	Jul	Out
<b>RD025</b>	2011	25,10	23,20	19,10	20,20
<b>RD025</b>	2020	27,30	20,20	20,00	24,70
<b>RD026</b>	2011	26,00	24,20	20,10	21,10
<b>RD026</b>	2020	26,80	20,80	18,60	26,00
<b>RD027</b>	2011	24,30	23,70	18,60	21,20
<b>RD027</b>	2020	27,80	21,30	18,00	25,20
<b>RD029</b>	2011	26,80	25,20	20,80	21,60
<b>RD029</b>	2020	26,80	19,10	18,50	23,40
<b>RD034</b>	2011	27,70	25,80	21,40	23,90
<b>RD034</b>	2020	28,10	22,80	22,30	25,50
<b>RD074</b>	2011	25,30	22,40	18,20	20,10
<b>RD074</b>	2020	23,50	20,70	19,10	26,60
<b>RD075</b>	2011	23,50	22,80	18,30	19,80
<b>RD075</b>	2020	23,80	19,50	18,40	23,60

Fonte: Autora (2022).

Figura 54 - Valores do parâmetro Temperatura.



Fonte: Autora (2022).

Analisando-se a Tabela 26 e Figura 54, percebe-se maiores valores de temperatura em amostragens do período chuvoso. Ferreira (2018) explica que as variações de temperatura da água podem ser associadas às variações sazonais, já que as alterações da temperatura das águas naturais resultam, sobretudo, da radiação e insolação. Gomes (2019), constatou em sua pesquisa que, no período de maior irradiação solar, o verão, com incidência direta do sol, as temperaturas de águas amostradas foram mais elevadas em relação àquelas registradas nos pontos circundados por vegetação com grande dossel. O que demonstra a influência do uso e da cobertura da terra na qualidade das águas superficiais

Affonso (2016) também explica que as ações antrópicas influenciam diretamente a variação da temperatura, pois ambientes aquáticos podem estar relacionados ao lançamento de efluentes industriais que usam processos de resfriamento ou aquecimento de máquinas ou produtos, além de empresas que trabalham com ácidos e bases fortes. Ações humanas também podem alterar o regime termal hídrico consiste no processo de assoreamento dos rios, reduzindo em muitos casos a profundidade dos mesmos e permitindo um aquecimento rápido dos estratos aquáticos.

Apesar de não haver limite estabelecido pela DN, valores elevados ou mesmo muito baixos de temperatura podem interferir na dinâmica dos parâmetros físico-químicos e influenciar a solubilidade de compostos e a viscosidade da água, bem como podem causar impactos ambientais aquáticos, gerando a morte de peixes e afetando o metabolismo dos organismos presentes (MINAS GERAIS, 2008). Além disto, a elevação na temperatura provoca o aumento da velocidade das reações físicas, químicas e biológicas, podendo elevar a taxa de transferência dos gases, o que pode ocasionar liberação de odores desagradáveis, caso o nível de poluição seja elevado (PIVELI; KATO, 2006; FERREIRA, 2018).

#### 4.4 Aplicação de Índices para Qualidade da Água - IQA

Os resultados mensais e a média anual dos valores de IQA dos anos 2011 e 2020 estão apresentados na Tabela 27 e Figura 55.

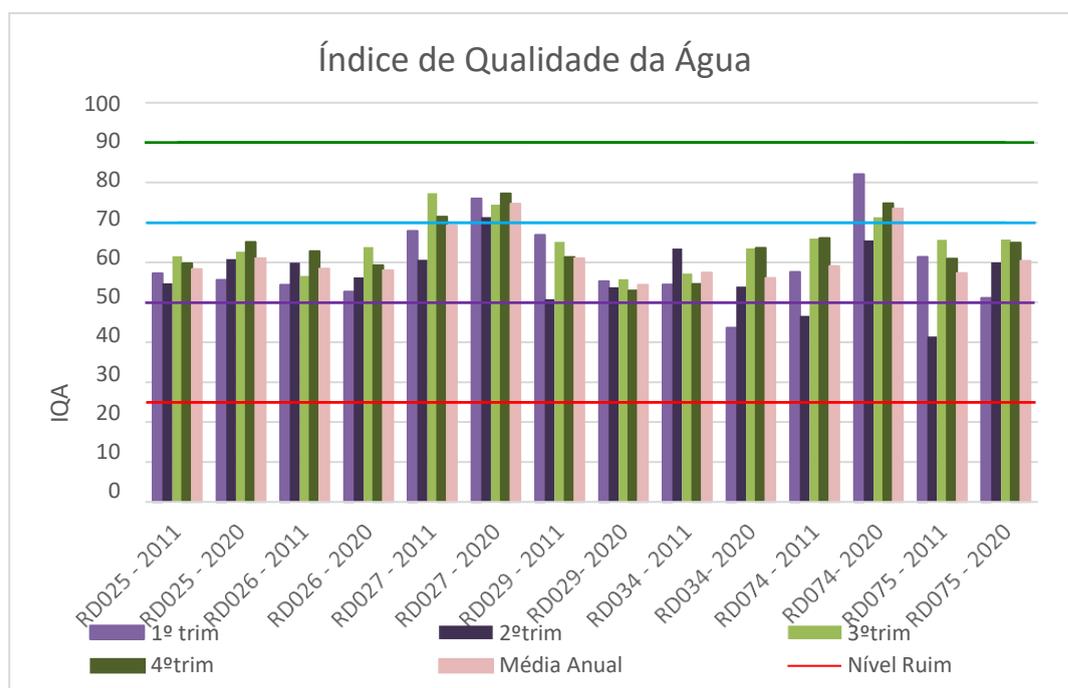
Tabela 27 - Resultados mensais e a média anual do IQA – 2011 e 2020.

Estação	Ano	Jan	Mai	Jul	Out	Média Anual
RD025	2011	57,25	54,71	61,57	59,72	58,31
RD025	2020	55,60	60,80	62,70	65,10	61,05
RD026	2011	54,37	59,87	56,62	62,80	58,41
RD026	2020	52,70	56,20	63,80	59,20	57,97
RD027	2011	67,86	60,63	77,33	71,40	69,30
RD027	2020	76,00	71,30	74,40	77,20	74,72
RD029	2011	66,92	50,80	65,17	61,30	61,04
RD029	2020	55,30	53,70	55,80	52,90	54,42
RD034	2011	54,48	63,41	57,15	54,53	57,39
RD034	2020	43,60	53,90	63,50	63,60	56,15
RD074	2011	57,61	46,56	65,97	66,04	59,04
RD074	2020	82,10	65,50	71,30	74,80	73,42
RD075	2011	61,35	41,37	65,61	60,91	57,31
RD075	2020	51,09	60,00	65,70	64,90	60,42

(Legenda) laranja: IQA ruim, amarelo: IQA médio, verde claro: IQA bom

Fonte: Autora (2022).

Figura 55 - Resultados mensais e média anual do IQA – 2011 e 2020.



Fonte: Autora (2022).

De uma maneira geral, analisando-se os resultados dos parâmetros de qualidade da água, as oscilações de valores referentes ao IQA podem estar associadas principalmente às elevadas concentrações de Coliformes Termotolerantes, e também devido às variações pH, fósforo total, turbidez e sólidos totais. Já os valores de Oxigênio Dissolvido e Demanda Bioquímica de Oxigênio foram satisfatórios nas análises de qualidade da água.

Considerando os resultados de IQA da Tabela 27 e Figura 55, percebe-se que, na maioria das estações e períodos analisados, os IQAs foram classificados como médios. As estações RD025, RD026 e RD029 apresentaram todos os valores de IQA médios, já outras estações tiveram variações de IQAs em médios, bons e ruins.

Comparando-se os resultados de 2011 e 2020, nota-se que a classe de IQA permaneceu a mesma ou melhorou em praticamente todas as avaliações de 2020, com exceção da RD034 que teve todos IQAs médios em 2011 e, em 2020, obteve IQA ruim no 1º trimestre (período chuvoso). Com destaque à melhora de IQA da RD027, que obteve IQA bom em dois trimestres de 2011, já em 2020 obteve IQA bom em todos trimestres e média anual; a RD074, em 2011, que obteve IQA ruim no 2º trimestre e médio nos demais trimestre e média anual, já em 2020 obteve IQA médio no 2º trimestre e IQA bom nos demais trimestres e média anual; e a RD075, que no 2º trimestre obteve IQA ruim e em 2020 obteve IQA médio em todos os trimestres e média anual.

As análises de 2020 das estações RD027 e RD074 foram as que apresentaram melhores valores de IQA, apresentando IQA bom em todos os trimestres e médias anuais, com exceção apenas do 2º Trimestre da RD074 que apresentou valor médio. Sendo que, as referidas estações não apresentaram nenhum parâmetro fora do limite estabelecido pela DN COPAM-CERH nº 01/2008 no ano de 2020.

A estação RD034 apresentou valores médios de IQA em todos trimestres e média anual, com exceção do 1º trimestre de 2020 que apresentou IQA ruim. Na estação RD074, é possível observar diferença entre os valores trimestrais e entre as médias anuais. Em 2011, o IQA foi médio em todos os trimestres e na média anual, com exceção do 2º trimestre que apresentou IQA ruim. Já em 2020, o IQA foi bom em todos trimestres e média anual, com exceção do 2º trimestre que apresentou IQA médio. A estação RD075 apresentou valores médios de IQA nos trimestres e média anual, com exceção do 2º trimestre de 2020 que apresentou IQA ruim.

Os piores resultados de IQA (IQA ruins) foram da estação RD034 (1º trimestre de 2020), da RD074 (2º trimestre de 2011) e RD075 (2º trimestre de 2011). Nestes períodos, todas

estações citadas excederam o valor limite de Coliformes Termotolerantes, que é um dos parâmetros que quando alterado mais abaixa o valor do IQA, tendo a RD034 obtido o valor de 24196 N.M.P/100ml, a RD074 7000 N.M.P/100ml e RD075 30000 N.M.P/100ml. As estações RD074 e RD075 apresentaram valor de pH abaixo do limite mínimo (pH 6), respectivamente 5,7 e 5,6. Todas as três estações citadas apresentaram valores superiores de Turbidez, a RD034 obteve 239 UNT, a RD074 alcançou 124 UNT e a RD075 271 UNT. Quanto aos valores de Fósforo a RD034 obteve 0,16 mg/L P, a RD075 0,15 mg/L P, já a estação RD 074 apresentou 0,09 (valor próximo ao limite). As estações RD034 e RD075 apresentaram valores de Sólidos Totais de 272 mg/L.

## 5 CONCLUSÕES

A bacia hidrográfica do rio Piracicaba possui atividades antrópicas de alto potencial poluidor ao meio ambiente e aos recursos hídricos. Alguns fatores naturais da bacia também podem favorecer à alteração destes recursos, a exemplo da sua formação litológica e mineral, relevo e precipitações intensas. Havendo necessidade de ações que busquem a preservação dos recursos naturais e planejamento para melhor gestão da bacia.

Os resultados indicaram que em 2020, a maioria do uso e ocupação do solo do médio curso do rio Piracicaba é de formação florestal (45,11%). Em segundo lugar estão as áreas de pastagens (31,23%), destaca-se que na região há localidades com criação de gado, o que justifica a manutenção de áreas de pastagens visando a produção agropecuária. A classe mosaico de agricultura e pastagem obteve 11,49%. Já a classe floresta plantada compõe 8,07%,havendo na região áreas de reflorestamento de eucalipto para produção de celulose e de carvão vegetal para abastecer siderúrgicas.

As variações de uso e ocupação do solo entre os anos de 2011 e 2020, demonstram que houve ganho de área de 3,66 Km<sup>2</sup> (0,17%) na atividade de mineração, com aumento da área de mineração em todos os municípios do MRPI que possuem esta atividade (Bela Vista de Minas, João Monlevade, Rio Piracicaba e São Gonçalo do Rio Abaixo). Houve perda de área de pastagem em 152,15 Km<sup>2</sup> (6,97%), esta variação pode ter ocorrido devido ao aumento das atividades de agricultura, já que em 2020 houve acréscimo do mosaico de agricultura e pastagem em 72,92 Km<sup>2</sup> (3,34%). Também pode ter sido ocasionada pelo não manejo de pastagens, assim, podendo ter ocorrido regeneração destas áreas, ou recuperação destas áreas com formação florestal, sendo que a formação florestal aumentou 60,11 Km<sup>2</sup> (0,13%) e a floresta

plantada 15, 12 Km<sup>2</sup> (0,70%). Já a Infraestrutura urbana aumentou 2,76 Km<sup>2</sup> (0,13%) e pode também ter contribuído para a diminuição da classe pastagem, pois terrenos e lotes com pastagens podem ter dado lugar a construções de imóveis e áreas pavimentadas. Houve decréscimo da classe rio e lagos nos períodos estudados, o que também foi constatado na comparação dos dados de superfície de água.

Foi constada diferença no índice de chuvas nos períodos estudados e variação nas vazões médias diárias entre alguns períodos.

Na maioria das estações de qualidade da água e períodos analisados, os IQAs foram classificados como médios. Comparando-se os resultados de 2011 e 2020, a classe de IQA permaneceu a mesma ou melhorou em praticamente todas as avaliações de 2020, com exceção da RD034 que teve todos IQAs médios em 2011 e, em 2020, obteve IQA ruim no 1º trimestre (período chuvoso). De uma maneira geral, analisando-se os resultados dos parâmetros de qualidade da água, as oscilações de valores referentes ao IQA podem estar associadas principalmente às elevadas concentrações de Coliformes Termotolerantes, e devido às variações pH, fósforo total, turbidez e sólidos totais. Já os valores de Oxigênio Dissolvido e Demanda Bioquímica de Oxigênio foram satisfatórios nas análises de qualidade da água.

A falta de coleta e tratamento dos esgotos é um dos grandes problemas na bacia. Com base nos resultados deste trabalho, recomenda-se uma maior fiscalização e verificação de possíveis lançamentos clandestinos de esgotos nestas sub-bacias, bem como ações de educação ambiental e coleta seletiva de resíduos sólidos.

## REFERÊNCIAS

AFFONSO, D. F. de S. **Avaliação da qualidade hídrica pelo índice de qualidade de água (IQA) e seus indicadores segmentados: um estudo de caso do rio Piranga nos trechos urbanos da cidade de Ponte Nova (MG)**. Monografia, apresentada ao curso de Geografia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016. 114 p. Disponível em: <https://www.geo.ufv.br/wp-content/uploads/2016/10/Deivison-Felipe-de-Souza-Affonso.pdf> Acesso em: 28 de setembro de 2022.

Agenda 2030. **Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <http://www.agenda2030.com.br/ods/6/> Acesso em: 24 de julho de 2021.

AGOSTINHO, F. D. R.; ALMEIDA, C. M. V. B.; BONILLA, S. H.; SACOMANO, J. B.; GIANNETTI, B. F. **Urban solid waste plant treatment in Brazil: Is there a net energy yield on the recovered materials?** Resources, Conservation and Recycling, v. 73, p. 143-155, 2013.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092134491300030X>  
Acesso em: 02 de setembro de 2021.

ALMEIDA, J.R.F.; Frischkorn, H. Agrupamento da qualidade da água de poços de um pequeno aquífero aluvial: Estudo de caso da bacia do Riacho Forquilha em quixeramobim-CE/BRASIL. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales**, v. 8, p. 114-130, 2015. Disponível em: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/48450> Acesso em: 02 de setembro de 2021.

ALMEIDA, R. P. de. **Uso e ocupação do solo em áreas de assentamentos rurais no norte de Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/NCAP-A89G5T>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2021.

AMÉRICO, J. H. P.; RIBEIRO, L. G. Bacias hidrográficas: fundamentos e aplicações - Capítulo 5, monitoramento de recursos hídricos e parâmetros de qualidade de água em bacias hidrográficas, 2019. In book: Bacias hidrográficas: fundamentos e aplicações. 2ed (pp.89-109) Publisher: Editora ANAP. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/341805006> Acesso em: 03 de janeiro de 2021.

ANA- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Texto explicativo dos assuntos do Código de Classificação e justificativas dos prazos de guarda e destinação final dos documentos da área-fim da Agência Nacional de Águas – ANA**. 2014. Disponível em: [https://www.gov.br/arquivonacional/pt-br/servicos/gestao-de-documentos/orientacao-tecnica-1/codigo-de-classificacao-e-tabela-de-temporalidade-e-destinacao-de-documentos-de-arquivo/explicativo\\_ana.pdf](https://www.gov.br/arquivonacional/pt-br/servicos/gestao-de-documentos/orientacao-tecnica-1/codigo-de-classificacao-e-tabela-de-temporalidade-e-destinacao-de-documentos-de-arquivo/explicativo_ana.pdf) Acesso em: 20 de agosto de 2021.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2015. Indicadores de qualidade - Índice do Estado Trófico (IET). Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-estado-trofico.aspx> Acesso em: 03 de abril 2021.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2017. A Agência Nacional de Águas (ANA) e o Ministério das Cidades apresentam: Atlas Esgotos Despoluição de Bacias Hidrográficas. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/> Acesso em: 20 de agosto de 2021.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2020. **O Conjuntura apresenta: Quantidade e qualidade da água**. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/quantiquali> Acesso em: 20 de agosto de 2021.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2021. **Portal de Qualidade das Águas. Rede Nacional - Redes de Monitoramento**. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/rede-nacional-rede-monitoramento.aspx> Acesso em: 20 de agosto de 2021.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 4ª Edição. Tradução: Maria Juraci Zani dos Santos. Revisão de Suely Bastos. Rio de Janeiro: Bertrand, 2001.

BARBOSA, T. B. C. **Avaliação da Qualidade das Águas Superficiais da sub-bacia do rio Paracatu em função do Uso e Ocupação do Solo**. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUBD-9Y2JCC> Acesso em: 20 de novembro de 2020.

BEGA, J. M. M.; OLIVEIRA, N. De; ALBERTIN, L.L.; Dinâmica temporal da qualidade da água em um córrego urbano. Artigo Técnico • Eng. Sanit. Ambient. 26 (05) • Sep-Oct 2021 Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220200163> Acesso em: 01 de abril de 2023.

BERTOLO, R. A.; MARCOLAN, L. N. O.; BOUROTTE, C. L. M. Relações Água-Rocha e a Hidrogeoquímica do Cromo na Água Subterrânea de Poços de Monitoramento Multiníveis de Urânia, SP, Brasil. **Geologia USP. Série Científica**, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 47-62, 2009. DOI: 10.5327/Z1519-874x2009000200003. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/guspsc/article/view/27463>. Acesso em: 3 fev. 2021.

BRAGA, Roberto. **Recursos hídricos e planejamento urbano e regional Rio Claro: Laboratório de Planejamento Municipal, Deplan –UNESP –IGCE**, 2003. 131 p. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/cid-50900> Acesso em: 20 de setembro de 2020.

BRASIL. Lei nº 5.106, de 2 de novembro de 1966. Dispõe sobre os incentivos fiscais concedidos a empreendimentos florestais. Diário Oficial da União, 5 nov. 1966. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/1950-1969/L5106.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/L5106.htm). Acesso em: 1 fev. 2021.

BRASIL. (1997) Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídrico, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta a inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº8001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19433.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm). Acesso em 27 out. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília: FUNASA, 2014. 112 p. 1. Controle da qualidade da água. 2. Aspectos Técnicos. I. Título.

BRASIL. Lei 9984, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. Lei Estadual nº 20.922 de 16 de outubro de 2013. Diário Oficial da União. Brasília, DF. 2013.

BRASIL. Lei 14026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o Marco Legal de Saneamento Básico. Disponível em: <https://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/875819060/lei-14026-20> Acesso em: 20 de agosto de 2021.

CALAZANS, G. M. **Avaliação e proposta de adequação da rede de monitoramento da qualidade das águas superficiais das sub-bacias do rio das Velhas e do rio Paraopeba utilizando técnicas estatísticas multivariadas.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos-SMARH da Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia da UFMG, 2015. Disponível em: <https://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/1138M.PDF> Acesso em: 20 de fevereiro de 2021.

CÂMARA, G., ORTIZ, M.J. Sistemas de informação geográfica para aplicações ambientais e cadastrais: uma visão geral. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA: CARTOGRAFIA, SENSORIAMENTO E GEOPROCESSAMENTO, 27, 1998, Poços de Caldas. Anais. Lavras: UFLA, 1998. p.59-88.

CARVALHO, A. R., SCHLITTLER, F. H. M., TORNISIELO, V. L., 2000. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físico-químicos da água. **Química Nova** [online] 28. Disponível: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v23n5/3051.pdf>. Acesso: 24 maio 2021.

CASTRO, K. Q. **Caracterização e Quantificação do Potencial Hídrico Subterrâneo do Baixo Curso do Rio Piracicaba (MG).** 2021. 72 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, Campus de Itabira, Minas Gerais, 2021.

CBH-DOCE - Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Doce. **Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Piracicaba – PARH Piracicaba.** Belo Horizonte: Consórcio Ecoplan - Lume, 2010. 100 p. Disponível em: [http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2015/01/PARH\\_Piracicaba.pdf](http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2015/01/PARH_Piracicaba.pdf) Acesso em: 20 de Outubro de 2020.

CBH-DOCE. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce. **A BACIA.** 2016. Disponível em: <http://www.cbhdoce.org.br/institucional/a-bacia> Acesso em: 22 de fevereiro de 2021.

CBH-PIRACICABA/MG. Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Piracicaba. **A BACIA.** 2013. Disponível em: <http://www.cbhpiracicabamg.org.br/rio-piracicabamg>. Acesso em 22 fevereiro de 2021.

CCME – Canadian Council of Ministers of the Environment. Reducing the Sensitivity of the Water Quality Index to Episodic Events.2009. Disponível em: <[http://www.ccme.ca/files/Resources/water/water\\_quality/pn\\_1435\\_wqi\\_sensitivity.pdf](http://www.ccme.ca/files/Resources/water/water_quality/pn_1435_wqi_sensitivity.pdf)>. Acesso em: 20 de março de 2021.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo.** São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, 2008. 540p.

COELHO, André L. N. Bacia Hidrográfica do Rio Doce (Mg/ES): Uma análise socioambiental Integrada. **GEOGRAFARES**, nº 7, 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/geografares/article/view/156> Acesso em: 28 de agosto de 2021.

CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente, 2005. Resolução CONAMA nº 357/2005, de 17 de março de 2005. Estabelece normas e padrões para qualidade das águas, lançamentos de efluentes nos corpos receptores e dá outras providências

CORNELLI, R.; SCHNEIDER, V. E.; BORTOLIN, T. A.; CEMIN, G.; SANTOS, G. M. dos. Análise da Influência do Uso e Ocupação do Solo na Qualidade da Água de Duas Sub-Bacias Hidrográficas do Município de Caxias do Sul. **SCIENTIA CUM INDUSTRIA (SCI. CUM IND.)**, V.4, N. 1, 1 — 14, 2016. Universidade de Caxias do Sul, Instituto de Saneamento Ambiental, Caxias do Sul, RS. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18226/23185279.v4iss1p1>. Aceito em: 05 de janeiro de 2021.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL - COPAM. (1994). **Deliberação Normativa nº 9, de 19 de abril de 1994**. Dispõe sobre o enquadramento da bacia do Rio Piracicaba. Diário Executivo de Minas Gerais. Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM).

COSTA, F. B.; FERREIRA, V. DE O. Análise de parâmetros que compõem o índice de qualidade das águas (IQA) na porção mineira da Bacia do Rio Paranaíba / Analysis of parameters that composing the water quality index (WQIi) in the portion of the Minas Gerais State of the Paranaíba River Basin. **Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 7, n. 18, 13 nov. 2018. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/Observatorium/article/view/45830> Acesso em: 20 de setembro de 2020.

CRUZ, L. B. S.; Diagnóstico Ambiental da Bacia do Rio Uberaba – MG. **Tese: Doutorado em Engenharia Agrícola na área de concentração em Água e Solo**. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. Fevereiro de 2003. Disponível em: [http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257301/1/Cruz\\_LeilaBeatrizSilva\\_D.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257301/1/Cruz_LeilaBeatrizSilva_D.pdf) Acesso em: 20 de fevereiro de 2021.

CRUZ, Lucas Paiva. **Avaliação da evolução do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba/MG**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), 2009. Disponível em: [https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2224/1/DISSERTA%20O\\_Avalia%20O\\_Evolu%20Comit%20AA.pdf](https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2224/1/DISSERTA%20O_Avalia%20O_Evolu%20Comit%20AA.pdf) Acesso em: 20 de agosto de 2021.

DEMANBORO, A. C.; LAURENTIS, G. L.; BETTINE, S. do C. Cenários ambientais na bacia do rio Atibaia. **Eng. Sanit. Ambiente.**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 1, pág. 27-37, março de 2013. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522013000100004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522013000100004&lng=en&nrm=iso)>. acesso em 03 de março de 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522013000100004>.

DURÃES, M. C. O.; MAIA FILHO, B. P.; BARBOSA, V. V.; DE FIGUEIREDO, F. P. (2017). Caracterização dos impactos ambientais da mineração na bacia hidrográfica do rio São Lamberto, Montes Claros/MG. **Caderno de Ciências Agrárias**, 9 (1): 49- 61. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/ccaufmg/article/view/2957> Acesso em: 20 de setembro de 2021.

EPAL. Grupo Águas de Portugal. Educação Ambiental. **Ciclo Natural da Água**. 2022 EPAL S. A. Disponível em: <https://www.epal.pt/EPAL/menu/epal/comunica%C3%A7%C3%A3o-ambiental/ciclo-da-%C3%A1gua> Acesso em: 12 de julho de 2022.

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. (2013) **Plano para incremento do percentual de tratamento de esgotos sanitários na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba**: sumário executivo. Belo Horizonte: FEAM. Disponível em: <https://docplayer.com.br/23388170-Plano-para-incremento-do-percentual-de-tratamento-de-esgotos-sanitarios-da-bacia-hidrografica-do-rio-piracicaba.html> Acesso em: 20 de fevereiro de 2021.

FERREIRA, R. P. S.; CORDEIRO, J.; CORDEIRO, T. S.; VIEIRA, E. D.; CORDEIRO, J. L.; PEREIRA, S. L. C. e S. Caracterização da qualidade da água dos afluentes do Córrego Macuco, distrito de Ipoema, Itabira (MG). **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 7, n. 6, p. e567183, 2018. DOI: 10.17648/rsd-v7i6.234. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/234>. Acesso em: 21 out. 2022.

FINOTTI, R.F., FINKLER, R., SILVA M. D. A., CEMIN, G. **Monitoramento de Recursos Hídricos em Áreas Urbanas**. Caxias do Sul, RS:EDUCS, 2009. 272 p.:23 cm (Gestão e tecnologias ambientais). ISBN 978-85-7061-554-1.

FRAGA, Micael de Souza. **Modelagem da qualidade da água do rio Piracicaba visando a avaliação de sua capacidade de autodepuração**. 2015. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2015. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/7356> Acesso em: 05 de agosto de 2021.

GOMES, Kaline Muriel de. **Modelagem da poluição difusa em uma Bacia de drenagem urbana**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, 2014. Disponível em: [https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/19602/1/KalineMurielDeFigueiredoGomes\\_DISSERT.pdf](https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/19602/1/KalineMurielDeFigueiredoGomes_DISSERT.pdf) Acesso em: 05 de agosto de 2021.

GOMES, L. M. J.; VANTIL, S. F.; SANTOS, I. C. L.; VIEIRA, E. M. Uso Do Geoprocessamento Para Análise De Parâmetros Da Qualidade Da Água: Estudo De Caso Na Bacia Hidrográfica Do Rio Piracicaba-MG (Use of GIS for quality parameters water analysis: A case study in the hydrographic basin of Piracicaba-MG river). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 10, n. 3, p. 812-825, mar. 2017. ISSN 1984-2295. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234007>>. Acesso em: 11 fev. 2021. doi:<https://doi.org/10.5935/1984-2295.20170052>.

GOMES, F. D. G. **Efeitos da sazonalidade climática na qualidade da água de rios em um bacia hidrográfica**. 2019. 51 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2019. Disponível em: <http://bdtd.unoeste.br:8080/jspui/handle/jspui/1239> Acesso em: 22 de outubro de 2022.

GONZAGA, B. T. **Análise das modificações do uso e cobertura da terra na Bacia do Igarapé Belmont e seu impacto para os recursos**. Dissertação defendida no PROFÁGUA-Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. UNIR-Fundação Universidade Federal de Rondônia. Ji-Paraná 2020. Disponível em: <http://ri.unir.br/jspui/handle/123456789/3048> Acesso em: 05 de janeiro de 2021.

GRANJEIRO, M. L.; SANTIAGO, M. M. F.; SILVA, C.M.S.V.; MESQUITA, B. A.; FRISCHKORN, H. ; MENDES FILHO, J.. Factor Analysis in the Study of Geochemical Processes in the Apodi Sedimentary Basin Northeast of Brazil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, p. 115, 2014. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=165&SUMARIO=4772> Acesso em: 20 de setembro de 2020.

GUEDES, Hugo A. S. *et al.* Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 558-563, May 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000500012> Acesso em: 21 de agosto de 2021.

GUERRA, C. B. Expedição Piracicaba 300 Anos Depois. 01. ed. Belo Horizonte: **SEGRAC** Cooperativa e Editora Gráfica Ltda., 2001. v. 01. 156p.

GUIMARÃES, Luiz Guilherme Arantes. **Estratégias de infraestrutura verde aplicadas à drenagem urbana em áreas densamente ocupadas: o caso do Trecho 3 do Setor Habitacional Sol Nascente. 2019.** xii, 112 f., il. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/37945> Acesso em: 02 de março de 2021.

GYAWALI, S.; TECHATO, K.; YUANGYAI, C.; MUSIKAVONG, C. Assessment of Relationship between land uses of riparian zone and water quality of river for sustainable development of river basin, A case study of U-Tapao river basin, Thailand. **Procedia Environmental Sciences** 17, 291-297, 2013a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.02.041> Acesso em: 21 de agosto de 2021.

GYAWALI, S.; TECHATO, K.; MONPRAPUSSORN, S.; YUANGYAI, C. Integrating Land use and Water quality for Environmental based land use planning for U-tapao River Basin, Thailand. **Procedia – Social and Behavioral Sciences** 91, 556 – 563, 2013b. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042813025858?via%3Dihub> Acesso em: 20 de agosto de 2021.

IBAMA-Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras do IBAMA (CTF/APP).** 2018. Disponível em: <http://ibama.gov.br/cadastrros/ctf/ctf-app>. Acesso em 21 de julho de 2021.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. (2023). **Conheça Cidades e Estados do Brasil.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/> Acesso em: 01 de agosto de 2023.

IGAM (2012a) - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais no Estado de Minas Gerais.** Relatório Trimestral 2012.1º Trimestre de 2012. Disponível em: [www.igam.mg.gov.br](http://www.igam.mg.gov.br). Acesso em: 6 de setembro de 2021.

IGAM (2012b) - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Planilha. IQA2011 Doce. Dado Interno.

IGAM (2018a) - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais no Estado de Minas Gerais. RELATÓRIO TRIMESTRAL 2º trimestre de 2018. Disponível em: <http://www.repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/jspui/handle/123456789/2395> Acesso em: 20 de agosto de 2021.

IGAM (2018b) - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Portal InfoHidro - Informações sobre recursos hídricos. 2018. Disponível em: <http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/sem-categoria/319-indice-de-qualidade-das-aguas-iqa> Acesso em: 02 de fevereiro de 2021.

IGAM (2019) - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Monitoramento da qualidade da água. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/component/content/article/3302-nova-categoria/1523-monitoramento-da-qualidade-das-aguas> Acesso em: 02. Dez. 2019.

IGAM (2020) - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Gestão e situação das águas de Minas Gerais. Segurança Hídrica. Belo Horizonte, 2020. Disponível em: [http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/images/Gest%C3%A3o\\_e\\_Situa%C3%A7%C3%A3o\\_das\\_%C3%81guas\\_de\\_Minas\\_Gerais\\_2020.pdf](http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/images/Gest%C3%A3o_e_Situa%C3%A7%C3%A3o_das_%C3%81guas_de_Minas_Gerais_2020.pdf) Acesso em: 05 de agosto de 2021.

IGAM (2021a) - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Gestão e situação das águas de Minas Gerais. Bacia hidrográfica do rio Doce. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/component/content/155?task=view> Acesso em: 10 de março de 2021.

IGAM (2021b) - Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2021. Água Superficial-Apresentação. Disponível em: <http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/sem-categoria/318-agua-superficial> Acesso em: 10 de março de 2021.

KOUAKOU, R. N.; XAVIER-DA-SILVA, J. Geoprocessamento aplicado à avaliação de geopotencialidade agroterritorial. In: ZAIDAN, R. T.; XAVIER-DA-SILVA, J. Geoprocessamento e análise ambiental: Aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2004. p.301-352.

LAMPARELLI, M. C. **Graus de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento.** 2004. Tese (Doutorado em Ecologia: Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41134/tde-20032006-075813/pt-br.php> Acesso em: 20 de setembro de 2021.

LARSON, R., FARBER, B. **Estatística Aplicada.** São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

LI, Y. L.; LIU, K.; LI, L.; XU, Z. X. *Relationship of land use/cover on water quality in the Liao River basin, China.* **Procedia Environmental Sciences** 13,1484-1493, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029612001417> Acesso em: 20 de agosto de 2021.

LIMA, G. A. de; GENEROSO, C. M.; SANTOS, C. M.; SILVA, L. A.; SOUSA, R.G. Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento e Gestão: estudo de caso Ribeirão Isidoro. VII

Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Campina Grande/PB – 21 a 24/11/2016. IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/VIII-074.pdf> Acesso em: 03 fev. 2021.

LIMA, H. S. **Qualidade das águas superficiais da porção mineira da Bacia do Rio Doce e sua relação com aspectos socioambientais**. Dissertação apresentada ao Programa de pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUBD-AAHGE4> Acesso em: 23 de julho de 2021.

LISBOA, L.; SILVA, D. D.; MOREIRA, M. C.; SILVA, A. J.; ULIANA, E. M. **Disponibilidade hídrica quali-quantitativa do Rio Piracicaba-MG**. XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/abrh/Eventos/Trabalhos/60/PAP022619.pdf> Acesso em: 20/07/2020.

LISBOA, L.; SILVA, D. D. da; MOREIRA, M. C.; SILVA, A. J.; ULIANA, E. M. Sistema para análise das outorgas de captação de água e diluição de efluentes na bacia do rio Piracicaba (MG). Artigo Técnico • **Eng. Sanit. Ambient.** 24 (05) • Sep-Oct 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019183919> Acesso em: 02 de dez. de 2021.

LUIZ, C. H. P.; FARIA, S. D.; ESCADA, M. I. S. A expansão do reflorestamento com eucalipto e seus efeitos na estrutura da paisagem: bacia hidrográfica do Rio Piracicaba e Região Metropolitana do Vale do Aço – Minas Gerais. **Revista Geografias**, [S. l.], p. 64–89, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13415> Acesso em: 3 abr. 2021.

MANCUZO, F. **Análise e previsão de demanda: estudo de caso em uma empresa distribuidora de rolamentos**. Dissertação apresentada para a obtenção do título de mestre em Engenharia – Escola de engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, 2003. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/2430> Acesso em: 20 de julho de 2021.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomias - Mapeamento da superfície de água no Brasil. Superfície de água no Brasil reduz 15% desde o início dos anos 90. 2021. Disponível em: <https://mapbiomas.org/superficie-de-agua-no-brasil-reduz-15-desde-o-inicio-dos-anos-90> Acesso em: 25 de setembro de 2021.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomias. Lançamos a Coleção 6 (1985-2020). 2021. Disponível em: <https://mapbiomas.org/> Acesso em: 20 de julho de 2021.

MELO NETO, J. de O.; LISBOA, J. P. N.; SANTANA, L. L.; SANTOS, C. Z. A.; SANTANA, C. L.; CHAGAS, R. M.; MELLO JUNIOR, A. V. Aplicação de técnicas de geoprocessamento na análise da supressão da cobertura vegetal no baixo curso do rio Poxim. In: Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, 4., 2008, Aracaju. **Anais**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2008.

MENEZES, J. P. C. *et al.* Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p. 519-534, Sept. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016145405> Acesso em: 20 de agosto de 2021.

MERTEN, H. G., MINELLA, P. J., 2002. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Revista agroecologia** [online] 3. Disponível: [http://taquari.emater.tche.br/docs/agroeco/revista/ano3\\_n4/artigo2.pdf](http://taquari.emater.tche.br/docs/agroeco/revista/ano3_n4/artigo2.pdf). Acesso em: 10 setembro de 2021.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa conjunta COPAM/CERH nº 01/2008. 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. Publicação – Diário do Executivo – “Minas Gerais” – 13/05/2008.

MINITAB. Versão gratuita online. Disponível em: <https://www.minitab.com>. Acesso em: 10 de setembro de 2021.

MINITAB (2017). **Site de suporte do software**. Disponível em: <http://support.minitab.com/pt-br/minitab/17/topic-library/modeling-statistics/anova/basics/what-is-anova/>. Acessado em 2 de setembro de 2022.

MONTGOMERY, D.C. **Introduction to Statistical Quality Control**, 8th ed., John Wiley & Sons, Inc., 2019.

MORAGAS, W. M. **Análise dos sistemas ambientais do alto rio Claro – Sudoeste de Goiás: contribuição ao planejamento e gestão**. Tese de Doutorado – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2005. 217 p. Disponível em: <http://acervodigital.unesp.br/handle/11449/104384> Acesso em: 28 de setembro de 2022.

MUTOKO M.C.; SHISANYA C.A.; HEIN L. 2014. Promover a transição- tecnológico a gestão sustentável dos solos, através da colaboração das partes interessadas no planalto ocidental do Quênia. **Uso da Terra Política**, v. 41: 110 -120.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/>. Acesso em: 22 de outubro de 2020.

PANACHUKI, E. 2003. **Infiltração de água no solo e erosão hídrica, sob chuva simulada, em sistema de integração agricultura-pecuária**. Dissertação (Mestrado). Dourados, UFMS. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/daniel/Downloads/Material/Teses%20Orientadas/Tese%20Infiltracao%20de%20agua%20no%20solo.pdf> Acesso em: 19 de setembro de 2021.

PHILIPPI JR., A.; MARTINS, G. “Água de Abastecimento”. **Saneamento, Saúde e Ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri: Manole, 2005. Pp. 117-180.

PIASENTIN, A. M. et al. Índice de Qualidade da Água (IQA) do reservatório Tanque Grande, Guarulhos (SP): Análise sazonal e efeitos do uso e ocupação do solo. **Geociências**, v. 28, n. 3, p. 305-317, 2009. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/71381>. Acesso em: 22 de outubro de 2020.

PINHEIRO, P. L. **Uso do solo e suas relações com a qualidade da água em locais de implantação de parques agrícolas no reservatório de Furnas (MG)**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGeog). Universidade Federal de São João Del Rei (2019). Disponível em: <https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/ppgeog/Patricia%20Ladeira.pdf>. Acesso em: 22 de outubro de 2020.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das Águas e Poluição: Aspectos Físico- Químicos**. 01. ed. v. 01 São Paulo/SP: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005, 285 p.

PONTES, P. P.; MARQUES, A. R.; MARQUES, G. F. Efeito do uso e ocupação do solo na qualidade da água na microbacia do Córrego Banguelo - Contagem. **Ambiente e Água - Revista Interdisciplinar de Ciências Aplicadas**, [SI], v. 7, n. 3, pág. 183-194, dez. 2012. ISSN 1980-993X. Disponível em: < <http://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/view/962> >. Data de acesso: 31 out. 2020.

PROFÁGUA, 2018. Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/#!/pos-graduacao/profagua/processo-seletivo5930/2018/> Acesso em: 25 de fevereiro de 2021.

QUEIROZ, M. T. A.; SABARÁ, M. G.; QUEIROZ, C. A.; LEÃO, M. M. D.; AMORIM, C. C. Análise espaço-temporal de parâmetros de qualidade da água no Rio Piracicaba, Minas Gerais, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 6, p. 02-10, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2015.002.0012> Acesso em: 22 de outubro de 2021.

QUEIROZ, M. T. A. **Avaliação da qualidade da água da sub-bacia do rio Piracicaba e da sua área de influência no reservatório da usina hidrelétrica de Sá Carvalho, Antônio Dias, MG, Brasil**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUOS-AUFFGY> Acesso em: 03 de maio de 2020.

QUEIROZ, M. T. A.; LIMA, L. R. P. de; HELENO, G. V. R.; ALVIM, L. B.; MENEZES, M. A. de B. C.; FERNANDES, V. de O. Monitoramento da qualidade da água no rio Piracicaba, Bacia do rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, Florianópolis, SC, Brasil, V.11, N.22, P. 39-58, 2019. Disponível em: <http://incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/IJIE/article/view/5260> Acesso em: 02 de setembro de 2021.

REIS, B. C.; DIAS, D. A. F.; VIEIRA, E. M. Análise integrada morfométrica e de ocupação em pequenas Bacias Hidrográficas: Estudo de caso do Córrego Santa Maria, Conceição de Ipanema-MG. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 10, p. e3359108464, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i10.8464. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/8464>. Acesso em: 3 abr. 2021.

RIDOLFI, W.C. **Análise do uso e ocupação do solo e sua implicação na qualidade da água no município de Louveira-SP**. Dissertação apresentada ao Instituto Agrônomo Curso de Pós- graduação em Agricultura Tropical e Subtropical Campinas-SP, 2019. Disponível em:

<https://www.iac.sp.gov.br/areadoinstituto/posgraduacao/repositorio/storage/pb170317.pdf>  
Acesso em: 20 de novembro de 2022.

ROCHA, Juliano Marcos da. **Caracterização da bacia hidrográfica Rio Piracicaba - MG utilizando ferramentas de geoprocessamento**. 2021. 73 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2021. Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/3508> Acesso em: 04 de abril de 2022.

RODRIGUES, R. del G. **Metodologia para estimativa das demandas e das disponibilidades hídricas na bacia do rio Paracatu**. 2004. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/9677> Acesso em: 03 de junho de 2020.

ROMÃO, M. Ediene. **Despoluição de cursos de água: estudo do uso de ecobarreira e ecotela de baixo custo e classificação dos resíduos sólidos em cursos de água no Bairro Santa Cruz no Município de João Monlevade-MG**. TCC apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual de Minas Gerais, João Monlevade-MG, 2020.

ROSA, A. **Degradação Ambiental da Bacia Hidrográfica do Córrego Taquara do Reino, Município de Guarulhos (SP): reflexos na qualidade da água**. Dissertação apresentada à Universidade Guarulhos para obtenção do título de Mestre em Análise Geoambiental, Guarulhos-SP, 2014. Disponível em: <https://docplayer.com.br/58775092-Degradacao-ambiental-da-bacia-hidrografica-do-corrego-taquara-do-reino-municipio-de-guarulhos-sp-reflexos-na-qualidade-da-agua.html> Acesso em: 20 de fevereiro de 2021.

RUBERT, A. V.; Agência Nacional de Águas-ANA; Del Giudice Assessoria Técnica LTDA – DELGITEC. **Curso Básico de Geoprocessamento em Arcgis**. Out-2011. Disponível em: <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/2799> Acesso em: 15 de agosto de 2021.

SANTOS, R. C. L.; LIMA, A. S.; CAVALCANTI, E. B.; MELO, C. M. de; MARQUES, M. N. Aplicação de índices para avaliação da qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia em Sergipe. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 1, p. 33-46, fev. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017159832> Acesso em: 04 dez. 2019.

SEEBOONRUANG, U. A statistical assessment of the impact of land uses on surface water quality indexes. **Journal of Environmental Management** 101, 134-142, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.10.019> Acesso em: 20 de setembro de 2021.

SEIFFERT, M. E. B. **Gestão ambiental: instrumentos, esferas de ação e educação ambiental**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2014. 328 p.

SILVA, B. A. W.; AZEVEDO, M. M.; MATOS, J. S. Gestão ambiental de bacias hidrográficas urbanas. **Revista Vera Cidade**, v. 3, n. 5, p. 1-7, 2006. Disponível em: <http://www.veracidade.salvador.ba.gov.br/v1/images/veracidade/pdf/artigo2.pdf> Acesso em: 20 de julho de 2021.

SILVA, I. F. L. da. **Contribuições para o diagnóstico ambiental da parte média e inferior da Bacia do Rio Piracicaba-MG**. 2010. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia

Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/2215> Acesso em: 11 de setembro de 2021.

SILVA, M. M. A. P. de M. **Modelagem da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba-MG**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas, Belo Horizonte, 2014. Biblioteca Digital UFMG. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/IGCM-9MPPJE> Acesso em: 20 de fevereiro de 2021.

SILVA, Fernanda Ribeiro. **Uso e ocupação do solo associado à qualidade da água no Rio Uberabinha**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental da Universidade Federal de Uberlândia. 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/18075> Acesso em: 27 de setembro de 2022.

SILVA, M. M. A. P. de M.; FARIA S. D.; MOURA, P. M. Modelagem da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba (MG). **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, p. 133-143, Feb. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017134420> Acesso em: 25 de fevereiro de 2021.

SOARES, Ana Luiza Cunha. **Identificação dos Corpos D'água mais Impactados das Bacias dos Rios Piracicaba e Paraopeba e Cálculo do Risco Relativo de Violação aos Limites preconizados pela legislação Ambiental**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SMARH, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 2017. Disponível em: <http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/1251M.PDF> Acesso em: 08 de março de 2021.

SOKOLOSKI, L. J. F. **Mapeamento da vulnerabilidade socioambiental: suporte à gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Piracicaba/MG**. 2020. 164 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, Campus de Itabira, Minas Gerais, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/2396> Acesso em: 20 de julho de 2021.

SOUSA, F. R. C. de. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Tapuio (Ceará-Brasil). **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, p. 555-564, 27 out. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2016v2n0ID10499> Acesso em: 20 de abril de 2021.

SOUSA, I. C. de. **Diagnóstico ambiental da bacia do rio Caratinga utilizando índice de qualidade de água e protocolo de avaliação rápida**. 2018. 184 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Núcleo de Pesquisas e Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/10603> Acesso em: 02 de janeiro de 2021.

SUTIL, S. C.; GONÇALVES, J. A. C.; VIEIRA, E. M. Análise comparativa da fragilidade ambiental da bacia do rio Piracicaba a partir da aplicação de dois modelos metodológicos: suporte para o estabelecimento e proposição de Corredores Ecológicos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 13, n. 6, p. 3060-3077, dez. 2020. ISSN 1984-2295. Disponível em:

<<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/248969/37232>>. Acesso em: 12 jan. 2021. doi:<https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.6.p3060-3077>.

TRINDADE, J. C. D. (2007). **Paisagem e desenvolvimento econômico da bacia do rio Piracicaba/MG**. 154 p. Monografia: Graduação em Geografia. Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira. Disponível em: <http://www.funcesi.br/Portals/1/monografia%20geografia.pdf> Acesso em: 8 set. 2020.

TU, J. Spatially varying relationships between land use and water quality across na urbanization gradiente explored by geographically weighted regression. **Applied Geography**, 31, 376-392, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.08.001> Acesso em: 28 de março de 2021.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, [S. l.], v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10295> Acesso em: 3 abr. 2021.

TUCCI, C. E. M. “**Urbanização e Recursos Hídricos**”, in C. E. M. Bicudo; J. G. Tundisi; M. C. B. Scheuenstuhl (orgs.). **Águas do Brasil: Análises Estratégicas**. São Paulo, Academia Brasileira de Ciências e Instituto de Botânica, 2010, pp. 113-32.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana. Brasília**, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48). 50p. ISSN: 2179-5495 Disponível em: [https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/38004/LCBRSR274\\_pt.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/38004/LCBRSR274_pt.pdf) Acesso em: 20 de março de 2021.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**.4ª Ed. 4ª reimp. – Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. 2012. ISBN 978-85-7025-924-0.

UHLEIN, A.; OLIVEIRA, H. A. História Geológica do Quadrilátero Ferrífero. **Revista Ciência Hoje**. Rio de Janeiro. Editora SBPC, N. 160. Vol. 27, maio de 2000.

VASCO, A. N.; BRITTO, F. B.; PEREIRA, A. P. S.; MÉLLO JÚNIOR, A. V. M.; GARCIA, C. A. B.; NOGUEIRA, L. C. **Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do rio Coxim**, Sergipe, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, v. 6, n. 1, p. 118– 130, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.178> Acesso em: 20 de julho de 2021.

VERAS, A. C. M. **Análise da Contaminação por Metais Pesados na Água e em Sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Doce**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: [http://www.ppe.ufrj.br/images/AnaCarla-\\_Mestrado.pdf](http://www.ppe.ufrj.br/images/AnaCarla-_Mestrado.pdf) Acesso em: 21 de julho de 2021.

VILAÇA, M.F.; GOMES, I.; MACHADO, M. L.; VIEIRA, E. M.; SIMÃO, M. L. R. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão: O estudo de caso do ribeirão conquista no município de Itaguara/MG. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 13, Viçosa. **Anais...Viçosa/MG: Universidade Federal de Viçosa**, 2009. Disponível em:[http://www.geomorfologia.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos\\_completos/eixo3/070.pdf](http://www.geomorfologia.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo3/070.pdf) Acesso em: 15 set. 2020.

VILARINHO, Cíntia Maria Ribeiro et al. Eficácia da Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos condicionada ao Índice de Qualidade da Água: Estudo de Caso, Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 14, n. 1, p. 266-280, fev. 2021. ISSN 1984-2295. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/248872>>. Acesso em: 28 set. 2021. doi: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.1.p266-280>.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias - Lagoas de Estabilização**, v. 03. Minas Gerais: ABES, 1996.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Volume 1. 3.ed. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005, v. 1 452p.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. 588 p. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 7).

WAN, R.; CAI, S.; LI, H.; YANG, G.; LI, Z. Inferring land use and land cover impact onstream water quality using a Bayesian hierarchical modeling approach in the Xitiaoxi River Watershed, China. **Journal of Environmental Management** 133, 1-11, 2014. Disponível em: <http://ir.nsf.gov.cn/paperDownload/1000007367711.pdf> Acesso em: 20 de agosto de 2021.

WRUBLACK, S. C. **Caracterização do uso e ocupação do solo e qualidade da água com utilização das técnicas de geoprocessamento**. 2012. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/handle/tede/2860> Acesso em: 10 de março de 2021.

ZABOTTO, A. R. et al. **Estudos sobre impactos ambientais: Uma abordagem contemporânea**. Botucatu: FEPAF, 2019. 293 p. Disponível em: <http://www.fepaf.org.br/download/Impactos-Ambientais.pdf> Acesso em: 22 de setembro de 2021.

ZEH, K. K. et al. Análise de dados históricos de qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Piraí em Joinville-SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIROS DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2015, Brasília. **Anais...** Brasília, DF: ABRH, 2015, p. 1-8. Disponível em: <http://docplayer.com.br/77306486-Analise-de-dados-historicos-de-qualidade-das-aguas-superficiais-da-bacia-hidrografica-do-rio-pirai-em-joinville-sc.html> Acesso em: 27 de fev. de 2021.