



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ – UNIFEI

Instituto de Ciências Puras e Aplicadas

**ProfÁgua**

Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos

**PROFÁGUA**

Romário Wanderson Martins de Moura

**IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA QUALIDADE DA ÁGUA NA  
BACIA DO RIO PIRACICABA/MG**



Itabira – Minas Gerais

2023



Romário Wanderson Martins de Moura

**IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA QUALIDADE DA ÁGUA NA  
BACIA DO RIO PIRACICABA/MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Curso de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROFÁGUA), na Universidade Federal de Itajubá para Defesa. Área de concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos

Aprovada em: \_\_\_\_\_

Orientador: Pr. Dra. Ana Carolina Vasques Freitas  
Instituto de Ciências Puras e Aplicadas – UNIFEI

Coorientador: Pr. Dr. Eduardo de Aguiar do Couto  
Instituto de Ciências Puras e Aplicadas – UNIFEI

Banca Examinadora: \_\_\_\_\_

Profa. Gabrielle Ferreira Pires  
Departamento de Engenharia Agrícola – UFV

Prof. Anderson de Assis Morais  
Instituto de Ciências Puras e Aplicadas – UNIFEI

Itabira – Minas Gerais

2023

## **DEDICATÓRIA**

*“Dedico a minha família e amigos pelo carinho, incentivo e força e aos professores  
pelos ensinamentos e orientações.  
Sem vocês não teria alcançado este sonho de minha vida”.*

## AGRADECIMENTOS

Cresci no meio rural, em meio da natureza, onde me apaixonei pela sua beleza e hoje minha inspiração. Apesar dos grandes desafios, percebe-se que tudo só vale a pena quando é possível plantar, cuidar e cultivar das maravilhas oferecidas por “Deus”. Aproveitando, primeiramente agradeço a “Ele”, por ter me proporcionado a oportunidade de estar concluindo mais uma fase de minha vida profissional, alcançando a nomeação de mestre.

Agradeço a toda minha família, em particular à mãe Mariana Martins de Moura, mulher que sempre será minha referência, ensinou-me a lutar e sempre a buscar alcançar meus sonhos. Aos meus irmãos, Emerson Martins de Moura e Jaqueline Martins de Moura, sempre estiveram do meu lado, com palavras e gestos me ensinaram o que é uma família. A minhas sobrinhas, Larissa, Débora, Letícia e Antônia pelo carinho e pelas gargalhadas e não podia esquecer da Tia Custódia Martins Lopes (segunda mãe), ofereceu-me carinho e amor nos momentos mais difíceis da minha vida. Aos meus amigos pelo apoio e incentivo e a toda família Moura e Germano, pelo acolhimento e consideração.

Agradeço também, ao Wandlei dos Santos Oliveira, este sempre mais próximo, dedicando seu tempo, ouvindo-me e fazendo companhia nos dias mais difíceis, sempre com palavras de incentivo, dizendo “no final tudo vai dar certo”.

Aos meus orientadores, Profa. Dra. Ana Carolina Vasques Freitas, está que me acolheu e confiou em mim para desenvolvimento deste trabalho, serei grato pelo seu “Sim” e ao Prof. Dr. Eduardo de Aguiar do Couto pelas orientações e conselhos. Juntos me apoiaram, incentivaram e colaboraram na trajetória para o desenvolvimento desta pesquisa. A Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), aos colegas de turma, ao corpo técnico e docentes, pelos aprendizagem e ensinamentos, estes oferecidos desde o início do curso.

O presente trabalho foi realizado com 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 – ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE n°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

## RESUMO

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

A precipitação e a temperatura do ar são as variáveis mais comumente utilizadas para indicar as mudanças climáticas que estão ocorrendo em uma determinada região. A bacia do rio Piracicaba está inserida em uma importante região econômica do Estado de Minas Gerais, com forte presença das atividades de mineração, siderurgia e celulose, as quais dependem de recursos hídricos em seus processos produtivos. Neste contexto, o presente estudo avaliou a influência da temperatura do ar e precipitação na qualidade da água em um cenário atual e futuro na bacia do rio Piracicaba/MG. Para isso, dados dos parâmetros de qualidade da água foram analisados no período de 2001 a 2020 e dados simulados de precipitação e temperatura do modelo climático regionalizado ETA/HADGEM2-ES foram obtidos para o período de 1960 a 2099, considerando-se os cenários histórico e de maior aumento na concentração dos gases de efeito estufa. Foi realizada uma análise de correlação cruzada entre todas as variáveis e um modelo de regressão múltipla foi ajustado, com intuito de identificar quais parâmetros de qualidade da água são mais influenciados pela precipitação e temperatura do ar na bacia. O impacto de eventos extremos de precipitação e temperatura na qualidade da água também foi avaliado. De acordo com os resultados obtidos, pôde-se verificar que em um cenário futuro a temperatura do ar apresentará aumento médio de até 6,6°C até 2099 e a precipitação uma diminuição média de até 3,39 mm/mês. Os resultados mostraram ainda que em um clima mais quente haverá a diminuição do oxigênio dissolvido em até 15,57% e a temperatura da água aumentará em até 25,37%. Em aproximadamente 85% dos pontos de monitoramento analisados a temperatura do ar explicou no mínimo 60% da variabilidade da temperatura da água e no mínimo 30% da variabilidade do oxigênio dissolvido. Além disso, a diminuição projetada na precipitação deve resultar em uma diminuição média da turbidez em até 50,31% e dos sólidos totais em até 22,50%. Contudo, chuvas extremas poderão continuar a ocorrer na bacia, e nesse sentido, eventos de temperatura e precipitação acima do 90 percentil estiveram associados em mais de 90% dos casos a um índice de qualidade da água ruim ou regular. As estações próximas à foz da bacia apresentaram percentualmente maior ocorrência de eventos extremos de temperatura, mas menor ocorrência de eventos extremos de precipitação. Verificou-se também que a precipitação, a temperatura do ar, o nitrato, fósforo total, pH, sólidos totais e coliformes termotolerantes explicam, conjuntamente, 33% da variabilidade no índice de qualidade da água. Assim, foram propostas medidas de adaptação e mitigação às mudanças climáticas para garantia da qualidade da água, auxiliando em uma gestão eficaz dos recursos hídricos dentro da bacia hidrográfica do rio Piracicaba/MG.

**Palavras-chave:** Regressão Linear Múltipla. Projeções Climáticas. Eventos Extremos.

## ABSTRACT

MOURA, Romário Wanderson Martins de. **Impact of climate change on water quality in the Piracicaba river basin/MG**. 84 f. Dissertation (Professional Master's Degree in National Network for Water Resources Management and Regulation – ProfÁgua), Institute of Pure and Applied Sciences, Federal University of Itajubá (UNIFEI), Itabira Campus, Minas Gerais, Brazil, 2023.

Precipitation and air temperature are the most used variables to indicate the climate changes that are taking place in a given region. The Piracicaba River basin is inserted in an important economic region of the Minas Gerais State, with a strong presence of mining, steel and pulp activities, which depend on water resources in their production processes. In this context, the present study evaluated the influence of air temperature and precipitation on water quality in a current and future scenario in the Piracicaba/MG river basin. For this, water quality parameters dataset was analyzed from 2001 to 2020 and simulated precipitation and temperature data, from the regionalized climate model ETA/HADGEM2-ES, were obtained for 1960 to 2099 period, considering the historical scenario and the one with the greatest increase in the concentration of greenhouse gases. A cross-correlation analysis was performed between all variables and a multiple regression model was adjusted, in order to identify which water quality parameters are most influenced by precipitation and air temperature in the basin. The impact of extreme precipitation and temperature events on water quality was also assessed. According to the results obtained, it was possible to verify that, in a future scenario, air temperature will increase in average by up to 6.6°C by 2099 and precipitation will decrease by up to 3.39 mm/month. The results also showed that, in a warmer climate, there will be a decrease in dissolved oxygen by up to 15.57% and the water temperature will increase by up to 25.37%. In approximately 85% of the monitoring points analyzed, air temperature explained at least 60% of the variability in water temperature and at least 30% of the variability in dissolved oxygen. Additionally, the projected decrease in precipitation is expected to result in an average decrease in turbidity by up to 50.31% and total solids by up to 22.50%. However, extreme rainfall may continue to occur in the basin, and in this sense, temperature and precipitation events, above the 90th percentile, were associated in more than 90% of cases with a poor or regular water quality index. The stations close to the mouth of the basin showed a higher percentage of extreme temperature events, but a lower percentage of extreme precipitation events. It was also found that precipitation, air temperature, nitrate, total phosphorus, pH, total solids and thermotolerant coliforms jointly explain 33% of the variability in the water quality index. Thus, adaptation and mitigation measures to climate change were proposed to guarantee water quality, helping to effectively manage water resources within the Piracicaba/MG river basin.

**Keywords:** Multiple Linear Regression. Climate Projections. Extreme Events.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Localização da bacia do rio Piracicaba/MG.....	34
<b>Figura 2</b> - Mapa das classes de uso e cobertura do solo na bacia do hidrográfica do rio Piracicaba .....	37
<b>Figura 3</b> - Mapa de fragilidade emergente da bacia do rio Piracicaba .....	38
<b>Figura 4</b> - Fluxograma da metodologia desta pesquisa.....	39
<b>Figura 5</b> - Pontos de monitoramento da qualidade de águas superficiais da bacia do rio Piracicaba .....	47
<b>Figura 6</b> - Porcentagem de dias em todos os pontos de monitoramento analisados para cada categoria do IQA.....	67
<b>Figura 7</b> - Porcentagem de dias com temperatura acima de 90 percentil em cada ponto de monitorametno analisado. ....	68
<b>Figura 8</b> - Porcentagem de dias com precipitação acima de 90 percentil em cada ponto de monitorametno analisado. ....	70

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Impactos nos recursos hídricos e riscos associados em decorrência das atividades humanas .....	19
<b>Quadro 2</b> - Parâmetros a serem analisados para definição da qualidade da água .....	20
<b>Quadro 3</b> - Classe do índice de qualidade da água e seu significado .....	21
<b>Quadro 4</b> - Levantamento bibliográfico de estudos que relacionaram os parâmetros e os fatores que influenciam na qualidade da água .....	26
<b>Quadro 5</b> - Numeração de referência quanto aos resultados dos dados de monitoramento .....	43

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Relação das estações de monitoramento da qualidade da água da bacia do rio Piracicaba.....	45
<b>Tabela 2</b> - Valores de correlação para os pontos de monitoramento da bacia.....	48
<b>Tabela 3</b> - Equações de regressão multipla entre os parâmetros de qualidade da água dos pontos de monitoramento da bacia e as variações meteorológicas.....	51
<b>Tabela 4</b> - Valores do R <sup>2</sup> ajustado para as equações de regressão.....	52
<b>Tabela 5</b> - Valores do parâmetro precipitação (mm) e temperatura (°C) em um cenário histórico e valores da diferença para o cenário futuro em dois períodos.....	53
<b>Tabela 6</b> - Valores do parâmetro Oxigênio Dissolvido (mg/L) para os cenários presente e futuro no médio e longo prazo.....	54
<b>Tabela 7</b> - Valores do parâmetro <i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL) para os cenários presente e futuro no médio e longo prazo.....	57
<b>Tabela 8</b> - Valores do parâmetro DBO (mg/L) para os cenários presente e futuro no médio e longo prazo.....	59
<b>Tabela 9</b> - Valores do parâmetro Fósforo Total (mg/L) para os cenários presente e futuro no médio e longo prazo.....	60
<b>Tabela 10</b> - Valores do parâmetro Temperatura da água (°C) para os cenários presente e futuro no médio e longo prazo.....	61
<b>Tabela 11</b> - Valores do parâmetro Turbidez (UNT) para os cenários presente e futuro no médio e longo prazo.....	63
<b>Tabela 12</b> - Valores do parâmetro Sólidos Totais (mg/L) para os cenários presente e futuro no médio e longo prazo.....	64
<b>Tabela 13</b> - Eventos acima do 90 percentil comparados com as variáveis de mudanças climáticas.....	66
<b>Tabela 14</b> - Eventos de precipitação acima de 90 percentil e categoria de IQA para cada um dos pontos de monitoramento.....	69

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APA	Áreas de Proteção Ambiental
APP	Áreas de Preservação Permanente
AR6	<i>Sixth Assessment Report</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBH	Comitê de Bacia Hidrográfica
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento de Alertas de Desastres Naturais
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CH	Circunscrições Hidrográficas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CT	Contaminação por Tóxicos
DBO5,20	Demanda Bioquímica de Oxigênio (período de 5 dias a uma temperatura de 20°C)
DN	Deliberação Normativa
DO2	Circunscrições Hidrográficas do rio Piracicaba
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EC	<i>Escherichia coli</i>
ESM	<i>Earth System Models</i>
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GEE	Gases do Efeito Estufa
GWP	<i>Global Water Partnership</i>
IAP	Índice de Qualidade de Águas Brutas
IB	Índice de Balneabilidade
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
InfoHidro	Informações sobre Recursos Hídricos
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IQA	Índice de Qualidade das Águas
IVA	Índice de Preservação da Vida Aquática
MG	Minas Gerais
NTU	<i>Nephelometric Turbidity Unit</i>
OD	Oxigênio Dissolvido
ONU	Organização das Nações Unidas
PBMC	Painel Brasileiro de Mundaças Climáticas
PCBr	Projeções Climáticas no Brasil
PCGCC	<i>Pew Center on Global Climate Change</i>
pH	Potencial Hidrogeniônico

PIRH	Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce e dos Planos de Ações de Recursos Hídricos
PNA	Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima
PNMC	Política Nacional de Mudanças Climáticas
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
Prec	Precipitação
PT	Fósforo Total
QA	Qualidade da Água
S2iD	Sistema de Informações sobre Desastres
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SREX	<i>Special Reports on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to advance Climate Change Adaptation</i>
SST	Sólidos Dissolvidos Totais
ST	Sólidos Totais
TA	Temperatura da Água
Tar	Temperatura do ar
Turb	Turbidez
UFFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
UPGRH	Unidades de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos
WWDR4	Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>14</b>
2.1 Objetivo geral .....	14
2.1 Objetivos específicos .....	14
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>15</b>
3.1 Mudanças climáticas .....	15
3.2 Impactos nos recursos hídricos .....	18
3.3 Qualidade da Água.....	19
3.3.1 Parâmetros físicos, químicos e biológicos.....	21
3.4 Alterações climáticas e qualidade da água .....	24
3.5 Segurança Hídrica.....	30
3.6 Eventos Extremos .....	32
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>34</b>
4.1 Caracterização da área de estudo.....	34
4.2 Uso e ocupação do solo.....	36
4.3 Etapas da pesquisa .....	38
4.4 Dados e análises estatísticas .....	40
4.5 Projeções Climáticas no Brasil - PCBr.....	41
4.6 Índice de Qualidade de Água (IQA).....	42
4.7 Pontos de monitoramento na bacia.....	44
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>48</b>
5.1 Análises de correlação e regressão múltipla e mudanças projetadas .....	48
5.2 Impactos dos eventos extremos na qualidade da água.....	66
5.3 Propostas de medidas de adaptação e mitigação .....	71
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>74</b>
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	75

## 1. INTRODUÇÃO

Entre todos os recursos naturais disponíveis, a água, destaca-se como um dos mais importantes, por ser indispensável para a sobrevivência humana (BRITO, SILVA e PORTO, 2007). Todavia, nos últimos anos, tem ocorrido uma degradação acelerada deste recurso, comprometendo sua qualidade devido às atividades antrópicas, como o lançamento de esgoto em rios, lagos, mares e outros, além do uso de agrotóxicos, rejeitos da atividade agrícola e pecuária, que de forma direta ou indireta, comprometem os recursos hídricos, com consequências finais para o próprio homem (VÖRÖSMARTY *et al.*, 2000; OLIVEIRA, 2007).

Existem outros impactos negativos diretos e indiretos aos recursos hídricos advindos das atividades antrópicas, envolvendo, principalmente, os setores industrial e agropecuário, que estão diretamente ligados às mudanças climáticas e ao aquecimento global, devido à geração de gases de efeito estufa. O aumento na concentração desses gases, resulta em variação da temperatura média global, que afeta o ciclo hidrológico e pode levar a crises hídricas, além de alterações nos eventos climáticos extremos. Projeções futuras indicam que poderá haver um aumento de 30% na demanda de água até 2050, devido ao crescimento populacional, o que também promoverá o aumento da demanda por alimentos, energia e produção industrial (WWAP, 2012; WWAP, 2019; SILVA *et al.*, 2018).

Segundo o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos (WWDR4, 2012), a água é o principal fator pela qual as mudanças climáticas interferem sobre os biomas e, portanto, sobre os meios de sobrevivência e bem-estar das sociedades. O relatório também aponta que a disponibilidade dos recursos hídricos está diretamente ligada às mudanças climáticas, as quais promovem alterações em fatores como umidade do solo, precipitações, derretimento de geleiras e modificação nos fluxos de águas tanto superficiais quanto subterrâneas. Outro fator a ser observado são os eventos hidrológicos extremos, como, por exemplo, as grandes secas que impactam os diversos setores econômicos (WWDR4, 2012; LU *et al.*, 2019).

Neste contexto, em que as mudanças climáticas promovem modificações nos recursos hídricos, este trabalho visa investigar como temperatura do ar e a precipitação, em um cenário atual e futuro, influencia a qualidade da água na bacia hidrográfica do rio

Piracicaba, associados ao uso e ocupação do solo, de modo a propor ações de adaptação e mitigação no intuito de preservar e garantir a qualidade do recurso hídrico.

A escolha da bacia do rio Piracicaba como unidade de estudo se justifica pelo fato dessa bacia apresentar um maior número de postos de monitoramento da qualidade da água em comparação com outras bacias e, também, por apresentar diversas alterações antrópicas, resultantes de um número considerável de atividades econômicas com alto potencial poluidor (CBH DOCE, 2010; CBH PIRACICABA, 2013).

Este estudo é aderente à área de concentração “Regulação e Governança de Recursos Hídricos”, fornecendo ferramentas e metodologias para gestão dos recursos hídricos, sendo um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos. O estudo se enquadra ainda na linha de pesquisa “Segurança Hídrica e Usos Múltiplos da Água”, podendo contribuir para gestão de riscos e eventos extremos, aprimorando o conhecimento para melhor gestão de eventos críticos e de contaminação de bacias hidrográficas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Investigar a influência da temperatura do ar e da precipitação na qualidade da água na bacia do rio Piracicaba/MG em um cenário atual e futuro de mudanças climáticas, de modo a contribuir para a garantia da qualidade dos recursos hídricos na bacia.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Desenvolver um modelo de regressão múltipla que explique a relação entre precipitação e temperatura do ar e os parâmetros de qualidade da água, associado ao uso e ocupação do solo;
- Projetar alterações na qualidade da água na bacia a partir dos dados regionalizados de projeções de precipitação e temperatura para um cenário futuro aplicados ao modelo de regressão;
- Verificar alterações observadas na qualidade da água em eventos extremos de precipitação e temperatura ocorridos na bacia;
- Propor medidas de adaptação e mitigação às mudanças climáticas para auxiliar na garantia da segurança hídrica na bacia.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Mudanças climáticas

As mudanças climáticas e suas consequências têm sido um dos temas mais importantes que estão nas pautas de discussões ao redor do mundo, devido aos riscos imediatos e futuros oferecidos para a humanidade. Os relatórios do Painel Intergovernamental para Mudança do Clima – IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, na sigla em inglês), ressaltam a inequívoca influência humana nas alterações do clima global, afetando a disponibilidade de recursos naturais, o acesso à água, à saúde e também à produção de alimentos (IPCC, 2022).

Ainda segundo o IPCC (2018), mudanças climáticas se referem a alterações estatisticamente significativas nas condições médias, que predominam por um extenso período de tempo, devido a processos naturais ou por ação humana, tais como alterações no uso da terra ou na composição da atmosfera. Embora as alterações sejam consideradas em escala global, é perceptível que seus impactos variem de região para região (SILVA *et al.*, 2019).

Segundo Kozak *et al.* (2019), a precipitação e a temperatura do ar são variáveis climáticas fundamentais nos estudos da dinâmica do ciclo hidrológico, permitindo compreender o seu comportamento e subsidiar uma gestão hídrica adequada, considerando as condições ambientais. Portanto, estas variáveis constituem indicadores de grande importância para identificação das mudanças climáticas e seus impactos em uma determinada região, o que possibilita a adoção de estratégias e planejamento adequado para o uso da água em cada contexto (REIS *et al.*, 2015).

O crescimento demográfico acelerado, devido a evolução nas condições de vida da civilização, causou prejuízos nas condições ambientais ao aumentar a demanda por recursos naturais (FREIRE *et al.*, 2014). Além disso, nas últimas décadas, principalmente depois dos anos 80, observou-se um importante aumento na temperatura média da terra, devido ao desenvolvimento econômico associado ao aumento das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEEs).

O sexto relatório do IPCC (2022) afirma que o aumento da temperatura global está ligado ao aumento dos gases do efeito estufa. Nesse período foram colhidas evidências do aumento da temperatura e sua relação com o aumento das taxas de emissões

e das concentrações de gases na atmosfera. Os estudos apresentados pelo IPCC, em termos de projeções e avaliação de cenários climáticos, se baseiam em evidências observadas e no uso dos chamados Modelos do Sistema Terrestre (ESM - *Earth System Models*, na sigla em inglês) que, em geral, carregam incertezas e, por isso, são utilizadas várias condições iniciais e vários modelos nos estudos. Contudo, deve-se ressaltar que, embora existam inúmeras incertezas, os estudos têm mostrado que os impactos das mudanças climáticas serão diversos nas várias partes do mundo e os riscos estão geograficamente mal distribuídos (FUNCEME, 2018; FREIRE *et al.*, 2014).

De acordo com sexto relatório do IPCC (2022), estima-se que o aumento da temperatura média global de 1900 a 2100 ficará entre 1,8°C e 4,0°C, dependendo do cenário considerado. Segundo os autores, este aumento de temperatura está diretamente relacionado ao aumento nas concentrações de dióxido de carbono, as quais atualmente, excedem, em muito, os níveis observados, pelo menos nos últimos 6.500 anos, e isto resulta na acidificação dos oceanos, aumento na intensidade de furacões e tempestades, elevação do nível no mar entre 60 centímetros e 1,8 metros, dependendo do cenário; e retração do gelo marinho no Ártico.

Os impactos no Brasil relativos às alterações climáticas podem ser diversos, tais como: ameaças à biodiversidade; aumento na intensidade e frequência de períodos chuvosos (resultando em enchentes) e secos, com conseqüente mudança no regime hidrológico; aumento de vetores de doenças endêmicas; entre outros. Contudo, o sexto relatório do IPCC (2022) afirma que a geração de GEEs, devido às atividades humanas, é o elemento responsável pelo aquecimento que vem sendo observado na atmosfera, oceano e superfície terrestre.

De fato, as mudanças na temperatura e precipitação no Brasil já tem causado a ocorrência de eventos extremos como, grandes períodos de seca, enchentes e/ou inundações (ASSIS *et al.*, 2013). O maior desafio tem sido encontrado quando se fala de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos em uma determinada região, devido aos impactos gerados pelas mudanças climáticas (MELLO *et al.*, 2010; LU *et al.*, 2019).

Segundo o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC - 2016), os danos causados ao meio ambiente, devido às intervenções antrópicas, já são sentidos nos centros das cidades, como o aumento da temperatura, resultando em ilhas de calor; chuvas intensas, resultando em grandes inundações; escassez de água e diversos outros. Os

padrões de desenvolvimento urbano acentuaram os riscos, colocando a população e o meio ambiente em situação de vulnerabilidade aos eventos climáticos.

No entanto, foi criado no Brasil no ano de 2011, o Centro Nacional de Monitoramento de Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN, com objetivo de implementar um sistema de previsão de ocorrências de eventos naturais em todo território brasileiro, emitindo alertas de desastres, identificando situações preventivas de vulnerabilidades no uso e ocupação do solo, e auxiliando, principalmente, em estudos de planejamento urbano (MENDES, 2016).

Além disso, em 2009 no Brasil, foi instituída a Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC) pela Lei nº 12.187, regulamentada pelo Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010, quando o país assumiu, voluntariamente, a adoção de ações para diminuição da emissão de GEEs. Desta forma, o país, por meios de planos setoriais, se comprometeu a buscar meios para mitigar, de forma decisiva, os efeitos das mudanças do clima, garantindo o bem-estar da população brasileira (BRASIL, 2010). Contudo, de acordo com Talanoa (2020, p.66), “embora seja dotada de uma governança e de instrumentos concretos, a PNMC brasileira não tem sido capaz de influenciar e condicionar políticas públicas, para que estas estejam convergentes com seus objetivos e princípios”.

No ano de 2015 foi lançado o PNA – Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima, buscando estratégias de planejamento e ações para gestão adequada dos desafios frente aos problemas do clima (REIS, SILVA e BRANT, 2015). Assim, o PNA foi destinado a promover a redução da vulnerabilidade às mudanças climáticas e realizar uma gestão nacional do risco associado a essas mudanças. Contudo, desde o decreto da PNMC (Lei nº 12.187/2009) o país viu suas emissões por desmatamento subirem 64% (TALANOIA, 2020).

Assim, para que os esforços, no âmbito de ações de mitigação e adaptação, alcancem resultados satisfatórios, há a necessidade de um trabalho coletivo e integrado de diferentes setores da sociedade, com o propósito de garantia da qualidade de vida para as gerações futuras (PNA, 2015).

### 3.2 Impactos nos recursos hídricos

O conhecimento atualmente disponível permitiu ao IPCC afirmar (AR6, IPCC 2022) que ocorrerão mudanças no ciclo hidrológico em função da modificação nos padrões da precipitação (aumento da intensidade e da variabilidade), que poderão afetar significativamente a disponibilidade e a distribuição temporal da vazão nos rios.

Segundo Mendonça (2007) e a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2018), o desenvolvimento econômico acelerado e a diversificação das atividades econômicas no Brasil, com intuito de expandir, principalmente, as atividades industriais e agropecuárias, resultou no aumento da demanda pelo uso de recursos hídricos e, como consequência, esta realidade trouxe consigo vários riscos e ameaças, conforme citados no Quadro 1.

De acordo com Tundisi (2008) e Santy *et al.* (2020), o uso da água por um determinado grupo de pessoas (população), possui influência de três fatores:

- a) Condições climáticas – variáveis como temperatura e precipitação, influenciam no volume de água consumido, pois, por exemplo, o consumo de água, usualmente, aumenta no período de verão do que no inverno;
- b) Características das populações – os fatores como a localização e tamanhos de residências, plantio, comércio e indústria, influenciam no volume de água consumido;
- c) Características específicas do sistema de abastecimento – as pressões existentes nas redes de abastecimento para consumo, podem influenciar nas perdas, resultando em vazamentos nas tubulações. Quanto maior a pressão, maior a probabilidade de vazamento.

Quadro 1 – Impactos nos recursos hídricos e riscos associados em decorrência das atividades humanas.

ATIVIDADE HUMANA	IMPACTOS NOS ECOSISTEMAS AQUÁTICOS	VALORES/SERVIÇOS EM RISCOS
Construção de represas	Causa alteração no fluxo dos rios, transporte de sedimentos e nutrientes, além de interferir na migração e reprodução de peixes.	Altera principalmente os habitats, além da pesca comercial e esportiva.
Construção de canais/diques	Causa danos nas planícies de inundação.	Altera a fertilidade das áreas de várzeas e coloca em risco o controle de enchentes.
Modificação natural do canal dos rios	Impacta ecologicamente e modifica o fluxo dos rios.	Altera principalmente os habitats, além da pesca comercial e esportiva.
Drenagem de áreas alagadas	Elimina nutrientes importantes no ecossistema aquático.	Alteração das funções naturais de filtragem e reciclagem de nutrientes. Perda de habitats para peixes e aves aquáticas.
Lançamento de efluentes (não controlada)	Alteração na qualidade da água.	Aumenta o custo de tratamento e sua disponibilidade. Altera a pesca comercial. Diminui a biodiversidade e altera a saúde humana.
Emissão de gases (chuva ácida) e metais pesados	Alteração na composição química dos lagos e rios.	Alteração na biota aquática e recreação. Coloca em risco a saúde humana e a disponibilidade de água potável. Afeta a agricultura.
Queima de combustíveis fósseis; atividades industriais e agrícolas; desmatamento e entre outros.	Alteração drasticamente no volume dos recursos hídricos. Alteração nos padrões de distribuição de precipitação e evaporação.	Alteração na disponibilidade da água, transporte e produção de energia. Alteração da produção agrícola e pesca. Aumento de eventos extremos e mudanças climáticas, como enchentes e vazão dos rios.
Crescimento excessivo da população e padrões gerais de consumo	Aumenta a demanda de energia, poluição hídrica e acidificação dos rios e lagos. Alteração do ciclo hidrológico.	Afeta todas as atividades econômicas que são dependentes de utilização dos recursos hídricos.

Fonte: Adaptado de Pontes *et al.* (2012); Louzada *et al.* (2014); Silva *et al.* (2018).

### 3.3 Qualidade da Água

No Brasil, de acordo com a ANA, desde 2012 vários municípios têm apresentado reduções de pluviosidade, esboçando um cenário de escassez hídrica. Esse fenômeno climático tem causado impactos na oferta de água para o abastecimento público e outros usos, como irrigação e geração de energia elétrica. Além disso, um cenário de degradação ambiental aponta para a necessidade de um planejamento adequado para a gestão dos recursos naturais (ANA, 2017).

Quando se estuda a qualidade da água é necessário pensar para qual fim este recurso será destinado e de onde será a fonte e/ou ponto de captação (PINTO *et al.*, 2014). Assim, para cada tipo de uso, são definidos critérios de qualidade da água, como meio de

garantia da utilização desejada da mesma (TUCCI, 2010). Além disso, há a necessidade de realização de análises de água, considerando três principais aspectos: a classe de enquadramento do corpo d'água, o grau de poluição e o índice de qualidade das águas de um determinado trecho de um rio e/ou bacia hidrográfica (TUCCI, 2010).

Segundo Von Sperling (2014), para avaliação da qualidade da água, alguns parâmetros são mensurados para caracterização do tipo de poluição existente no corpo d'água. Os principais parâmetros estão listados na Quadro 2.

Quadro 2 – Parâmetros a serem analisados para definição da qualidade da água.

PARAMÊTROS	ASPECTOS A SEREM CARACTERIZADOS
Físicos	Cor, turbidez, temperatura da água, sabor, odor, sólidos dissolvidos totais e sólidos totais, entre outros,
Químicos	Dureza, pH, alcalinidade, acidez e dureza, manganês, ferro, cloretos, matéria orgânica, oxigênio dissolvido, cloro, condutividade elétrica, nitrato, nitrito, fósforo total, entre outros.
Biológicos	Bactérias heterotróficas, algas e organismos indicadores de contaminação fecal (coliformes termotolerantes, <i>Escherichia Coli</i> ).

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2014); Silva *et al.* (2018).

Segundo o Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM (2020), são realizados em diversos pontos das bacias hidrográficas do Estado de Minas Gerais o monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, onde são avaliados diversos indicadores, tais como a Contaminação por Tóxicos (CT), Índice de Qualidade das Águas (IQA), Ensaios de Ecotoxicidade, entre outros.

A partir de um estudo, realizado em 1970 pela *National Sanitation Foundation* dos Estados Unidos, foi desenvolvido o IQA – Índice de Qualidade das Águas, e em 1975, este foi adaptado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, que passou a incorporar nove variáveis relevantes para a determinação da qualidade das águas, tendo em vista a sua utilização para abastecimento público (Quadro 3). Segundo Silva *et al.* (2019), considera-se este um dos métodos mais utilizados pelos estados da federação.

Quadro 3 – Classe do índice de qualidade da água e seu significado.

VALOR DO IQA	CLASSES	SIGNIFICADO
79 <IQA ≤ 100	Ótima	Águas adequadas para a realização de tratamento convencional, tendo em vista o abastecimento público.
51 <IQA ≤ 79	Boa	
36 <IQA ≤ 51	Regular	
19 <IQA ≤ 36	Ruim	Águas inadequadas para a realização de tratamento convencional, tendo em vista o abastecimento público, com a necessidade de um tratamento mais avançado.
IQA ≤ 19	Péssima	

Fonte: Adaptado de CETESB (2019).

Os índices de qualidade sintetizam informações de diferentes variáveis em apenas um valor, auxiliando nas decisões para a gestão adequada dos recursos hídricos, além de facilitar a comunicação com o público leigo. O IQA é calculado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondentes às variáveis que integram o índice (CETESB, 2019).

### 3.3.1 Parâmetros físicos, químicos e biológicos

Como forma de assegurar e fornecer garantia de vida aquática dos rios e assegurar a ingestão de uma substância que não seja nociva à saúde humana, a água passa pelo processo de avaliação de alguns parâmetros, em termos de características físicas, químicas e biológicas. A seguir estão descritos estes parâmetros, utilizados para cálculo do IQA, de acordo com a CETESB (2019) e a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 430/2011 (CONAMA, 2011; VON SPERLING, 2014).

**Coliformes termotolerantes:** este é um dos indicadores mais usuais nas avaliações de qualidade da água, incluindo o IQA, uma vez que a bactéria *Escherichia coli* predomina nos corpos hídricos, devido a presença de contaminação fecal no ambiente (CETESB, 2019). Os coliformes termotolerantes existem em grande quantidade nas fezes humanas e quando encontrados na água, significa que a mesma recebeu esgotos domésticos, com possibilidade de conter microrganismos causadores de doenças, como a febre tifoide, disenteria bacilar e cólera (VON SPERLING, 2014; ANA, 2018).

**pH (potencial hidrogeniônico):** representa o equilíbrio entre íons H<sup>+</sup> e íons OH<sup>-</sup>; varia de 1 a 14 e indica se uma água é ácida (pH inferior a 7), neutra (pH igual a 7) ou

básica (pH maior do que 7). O pH da água depende de sua origem e características naturais, mas pode ser alterado pela introdução de resíduos. O pH baixo torna a água corrosiva; por outro lado, águas com pH elevado tendem a formar incrustações nas tubulações (CETESB, 2006). Segundo a Resolução Conama 357/2005, para a proteção da vida aquática o pH deve estar entre 6 e 9. Trata-se de um parâmetro frequentemente utilizado por ser importante, pois pode interferir no processo de tratamento de água e efluentes.

**Demanda Bioquímica de Oxigênio:** este parâmetro está diretamente ligado a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente na água através da decomposição microbiana aeróbia. Conhecido também como  $DBO_{5,20}$  este parâmetro avalia a quantidade de oxigênio consumido durante 5 dias em uma temperatura de 20°C. Valores altos de  $DBO_{5,20}$ , num corpo d'água são provocados, geralmente, pelo lançamento de cargas orgânicas, principalmente esgotos domésticos (ANA, 2018). Assim, a ocorrência de altos valores deste parâmetro causa uma diminuição dos valores de oxigênio dissolvido na água, o que pode provocar mortandades de peixes e eliminação de outros organismos aquáticos (CETESB, 2006).

**Nitrogênio total:** o nitrogênio pode estar presente na água sob as seguintes formas: orgânico, amônia, nitrito e nitrato. É um elemento indispensável ao crescimento de algas, mas, em excesso, pode ocasionar um exagerado desenvolvimento desses organismos, causando um fenômeno chamado de eutrofização; além disso, a amônia é tóxica aos peixes. No entanto, a presença em excesso de nitrogênio na água pode estar ligada a presença de esgotos domésticos e industriais, fertilizantes e excrementos de animais (FREIRE, 2014).

**Fósforo total:** o fosforo é de suma importância para os sistemas biológicos, devido a sua participação no processo de metabolismos dos seres vivos, com a estruturação da membrana celular e no armazenamento de energia. Porém, é apontado como o principal responsável pela eutrofização artificial dos ambientes aquáticos, pois o fosforo é um fator limitador de produtividade. Além disso, é importante destacar que os valores obtidos de fósforo e clorofila, em conjunto com a transparência da água, determinam o grau de estado trófico de um corpo hídrico (ANA, 2018). O fósforo possui origem natural, podendo ser advindo de rochas, decomposição de matéria orgânica e particulados presentes na atmosfera; e origem artificial devido ao lançamento de esgotos domésticos (com presença de detergentes) e industriais (com presença de fertilizantes), e

deposição de outros componentes de origem industrial presentes na atmosfera (CETESB, 2006).

**Temperatura:** este parâmetro mede a intensidade de radiação solar sobre a água, desempenhando um importante papel no controle de espécies aquáticas e determinando os tipos de organismos presentes naquela localidade. Além de influenciar na composição química da água, a temperatura também é responsável pela determinação da densidade da mesma, pela diferença de temperaturas nas colunas de água de um rio e reservatórios (CETESB, 2006).

**Turbidez:** se dá pela presença de substâncias em suspensão, em uma determinada altura (coluna d'água) de um rio ou reservatório. É expressa, entre outras unidades, por NTU - *Nephelometric Turbidity Units*, na sigla em inglês (ANA, 2021). É caracterizada com um parâmetro de propriedade física, sendo influenciada diretamente pela presença dos sólidos em suspensão, como, por exemplo: silte, argila matéria orgânica e inorgânica, entre outras, que impedem, assim, a entrada da luz no corpo hídrico (medida de redução da transparência), diminuindo o processo fotossintético da vegetação (OLIVEIRA, 2007).

**Resíduo total:** é a matéria final de uma determinada amostra de água, influenciada pela temperatura e tempo, passando pelos processos de evaporação, secagem ou calcinação, obtendo como resultado final o resíduo (ANA, 2018). O assoreamento de corpos hídricos é um exemplo de deposição de resíduos sólidos, que ocasiona impactos nas atividades de navegação e danos a vida aquática, pois destroem ao longo do leito do rio e/ou lago os microrganismos existentes; até mesmo aumentando o risco de enchentes (FREIRE, 2014).

**Oxigênio Dissolvido:** é indispensável aos organismos aeróbios, pois o oxigênio é um elemento essencial no metabolismo dos seres aquáticos aeróbicos. Em águas correntes, sob circunstâncias normais, o conteúdo de oxigênio é alto e varia ao longo do rio, devido a alterações em suas características ambientais e em consequência das condições climáticas (VON SPERLING, 2014).

De acordo com a uso do recurso hídrico, pode ser definida sua classe, e através dos parâmetros analisados é possível observar o comportamento do curso d'água em se tratando de qualidade, de modo a verificar o atendimento aos requisitos e/ou até mesmo propor medidas de mitigação. Sabe-se que os recursos hídricos vêm sofrendo alterações

quanto a sua qualidade, tanto de ordem direta quanto indireta, causadas pela ação da natureza e também pela intervenção antrópica (MELLO *et al.*, 2020).

Desse modo, a CETESB (2006), além da avaliação do IQA, utiliza outros métodos de avaliação específicos, diante de cada tipo de uso do recurso hídrico, como, por exemplo, o IAP - Índice de Qualidade de Águas Brutas para fins de Abastecimento Público, o IVA – Índice de Preservação da Vida Aquática, e para fins de recreação de contato primário, o IB – Índice de Balneabilidade.

O IAP é um indicador mais preciso quanto a qualidade da água bruta a ser captada, que, após tratamento, será direcionada para as residências da população. Já o IVA é mais utilizado nas avaliações da qualidade da água para fins de proteção da vida aquática, onde parâmetros mais significativos, como a toxicidade e eutrofização, são considerados (CETESB, 2019).

Assim, as avaliações realizadas nos corpos hídricos têm por objetivo identificar a presença de elementos físicos, químicos e biológicos, e associar os danos de suas propriedades à vida aquática. Somado a isso, nota-se a importância das avaliações para gestão adequada e controle ambiental, com foco na preservação das condições naturais do recurso hídrico e, principalmente, da saúde humana (FREIRE, 2014; VON SPERLING, 2014).

### **3.4 Alterações climáticas e qualidade da água**

Segundo Varol (2020), as atividades humanas possuem influência significativa na variação dos parâmetros de qualidade da água. Entretanto, as diferentes estações do ano são também responsáveis pela variação da DQO, SST e pH; além das características das regiões estudadas, que podem ser responsáveis pela variação do oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e nitrogênio total.

Li *et al.* (2018), aplicaram técnicas estatísticas para analisar as variações na qualidade da água de lagos na Austrália (Alexandrina e Albert), em condições extremas de seca e pós-seca. O trabalho identificou que, no período de transição, com o aumento do assoreamento, devido às altas concentração de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, além das algas, os lagos apresentaram características de eutrofização.

Xu *et al.* (2018) examinaram as concentrações de nitrogênio e amônia em rios da China, no período de 1998 a 2015, e notaram que houve uma diminuição na concentração de nitrogênio, enquanto as concentrações de amônia aumentaram significativamente nas áreas de inundações, devido às descargas de poluentes. Os pesquisadores ainda chamaram a atenção para a necessidade de uma gestão adequada dos recursos hídricos, bem como a implementação de programas de prevenção a poluição.

Rocha e Neto (2022), que estudaram o equilíbrio do fósforo em reservatórios (lagos artificiais) do semiárido brasileiro durante o período chuvoso e de seca, notaram o aumento na concentração de fósforo total no período chuvoso, devido à entrada do mesmo por condições relativas de misturas da água e pela presença de oxigênio dissolvido. Já no período de seca, a concentração ficou retida no interior dos lagos, devido à ausência de cargas externas e diminuição da coluna de água.

Outros fatores importantes que influenciam na qualidade da água são o uso e ocupação do solo e eventos de inundação e seca. Segundo Mishra *et al.* (2021), as alterações climáticas e as atividades humanas interferem nos recursos hídricos. A composição das características da bacia hidrográfica e as atividades exercidas em seu território também possuem efeitos nos indicadores de qualidade. Assim, Khan *et al.* (2015), destacam a importância de se estudar a influência dos extremos climáticos, de modo a contribuir com a melhoria da saúde e sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos, preservando a qualidade da água nos rios e reservatórios.

No Quadro 4 são elencados, a partir de levantamento bibliográfico, algumas relações entre os eventos extremos e sua influência na qualidade da água.

Quadro 4 – Levantamento bibliográfico de estudos que relacionaram os parâmetros e os fatores que influenciam na qualidade da água.

PARÂMETROS	ASPECTOS CARACTERIZADOS	FATORES QUE AFETAM A QUALIDADE DA ÁGUA	TIPO DE CORPO D'ÁGUA	MÉTODOS UTILIZADOS	COMENTÁRIOS	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS
Físicos	Vazão e temperatura	Período chuvoso e de seca (durante 1 ano)	Rios	- Análise estatística multivariada	- Devido as variações na temperatura e fluxo da água, houveram alterações em parâmetros como pH, DQO, SST, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, exceto o nitrogênio total (Turquia).	Varol, 2020
	Precipitação, temperatura e eventos pluviométricos	Período chuvoso e de seca (durante 1 ano)	Rios e lagos	-Levantamento Bibliográfico	- Aumento da contaminação no período chuvoso, das águas subterrâneas com indicadores de coliformes; - Aumento da temperatura e afloramento de cianobactérias em águas superficiais;	Nijhawan, 2022
Químicos	Matéria orgânica	Precipitação ou secas severas	Rios e lagos	- Análise de tendência Mann-Kendall modificado	- Variação de nutrientes, sedimentos e íons de carbono. Os autores reafirmaram a necessidade de se avaliar as tendências dentro da bacia hidrográfica, para investigar os principais fatores de influência na QA.	Ryberg e Chanat, 2022
	Matéria orgânica dissolvida	Varição de temperatura, intensidade de chuva	Rios e lagos	- Simulação computacional	- Alteração na qualidade de água superficial (disponibilidade de água potável) logo no início de um evento de chuva extrema. - Aumento da temperatura em um cenário de seca, resultou no aumento do carbono orgânico dissolvido.	Chang <i>et al.</i> , 2020
	Matéria orgânica e carga de nutrientes	Eventos de precipitação	Reservatório de água	- Simulação computacional	- Durante a primavera e verão foi significativo o aumento no índice de matéria orgânica e algas. (Reservatório Wachusett -Massachusetts nos EUA).	Jeznach <i>et al.</i> , 2017
Químicos	Sedimentos	Evento extremo de chuva	Rios e lagos	- Aplicação de Modelo hidrológico SWAT	- O autor obteve variação positiva na produção de sedimentos durante eventos extremos de chuvas, variando de acordo com a Região (Bacia do Rio Amarelo, China).	Zhu <i>et al.</i> , 2021

(Continua)

	Nitrato e sedimentos	Evento extremo de chuva	Rios	- Aplicação do Modelo hidrológico	- Aumento das perdas mensais de nitrato e sedimentos (Bacia do rio Taw, sudoeste da Inglaterra)	Zhang <i>et al.</i> , 2022
	Nitrogênio	Variações sazonais	Rios	- Aplicação de modelo log-linear modificado (coeficientes de correlação de Pearson)	- Alteração nos valores de nitrogênio e amônia foram identificados próximos as áreas de inundação, devido a descarga de poluição (Bacia do Rio Huaihe, Austrália)	Xu <i>et al.</i> , 2018
	Nitrogênio e fósforo	Variações sazonais	Lagos	- Levantamento bibliográfico	- Os autores enfatizaram a necessidade de diminuição no uso de fertilizantes na agricultura para limitar o transporte de nutrientes para as águas superficiais (Nova Zelândia)	Abell <i>et al.</i> , 2011
	Estratificação térmica e oxigênio dissolvido (OD)	Temperatura e OD	Rio	- Aplicação do modelo climático CanESM2 e análise de QA por meio do modelo CE-QUAL-W2	- Aumento da temperatura média da água superficial em até 18,4%, já o OD diminuiria até 14,3%, em cenários futuros, principalmente no final do verão (Rio Mississippi - EUA)	Yaghout, <i>et al.</i> , 2022
	Fósforo	Aumento da temperatura	Lagos e reservatórios	- Aplicação de um modelo transiente de mistura completa	- Maiores valores de fósforo nos lagos e reservatório do nordeste brasileiro, comparados com os da região de clima tropical; - Já em clima temperado e semiárido, os índices de fósforo apresentaram valores extremos, devido a variabilidade da temperatura dos lagos e reservatórios.	Toné e Neto, 2020
Químicos	Fósforo	Períodos úmidos e secos (12 anos)	Reservatórios	- Avaliação do modelo transitório de equilíbrio de massa	- Valores mais altos de fósforo total no período de seca (18 reservatórios do semi-árido brasileiro)	Rocha e Neto, 2022

(Continua)

	Fósforo total, nitrogênio total inorgânico e coliformes termotolerantes	Anos chuvosos e de seca	Rios	- Aplicação dos testes de Shapiro-Wilk e Kruskal-Wallis	- Deterioração da qualidade da água (11 bacias hidrográficas do semiárido brasileiro) em anos mais secos e também no período chuvoso.	Freire, Costa e Neto, 2021
	Extratos de sedimentos orgânicos	Período extremos de chuvas e secas	Rios	- Análises laboratoriais	- Aumento, após evento extremo de chuva, no potencial genotóxico (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, nitroarenos, amins aromáticas e heteroarenos policíclicos), devido a perturbação dos sedimentos e à liberação da bacia de transbordamento da água da chuva de uma ETA (Rio da Alemanha);	Che <i>et al.</i> , 2019
	Corantes	Eventos de precipitação	Reservatório	- Nanopartículas	- Necessidade de utilização de nanopartículas de sílica para remoção de corantes da água bruta ou para consumo humano.	Jadhav <i>et al.</i> , 2019
	Sedimentos contaminados	Enchentes	Rios	-Levantamento bibliográfico	- Durante eventos de enchentes sedimentos contaminados são redistribuídos durante o percurso da inundação.	Crawford <i>et al.</i> , 2022
Biológicos	Nutrientes e algas	Secas extremas e período pós seca	Lago	- Análises estatísticas multivariadas	- Eutrofização de lagos interiores em períodos de seca e pós-seca com maiores concentrações de nutrientes e algas (Austrália).	Li <i>et al.</i> , 2018
	Patógenos (Doenças gastroenterite)	Precipitação	Água potável	- Relação de parâmetros físicos	- O aumento da temperatura da água resultou no aumento de doenças como gastroenterite; já com a ocorrência de chuva forte e escoamento superficial estes índices caíram (Noruega - Europa)	Herrador <i>et al.</i> , 2021
Orgânicos	Pesticidas	Eventos de precipitação e inundação	Rios e água potável	- Análises orgânicas	- Presença de pesticidas organocloridos em águas superficiais e sedimentos devido a eventos de inundação (Rio Xiangjiang da China).	Lee <i>et al.</i> , 2022.
Contaminantes emergentes	Contaminantes emergentes (Atrazina, linezolida, triclocarban e ácido oxolínico)	Varição de temperatura e precipitação	Água superficial	- Espectrometria de massa e cromatografia líquida	- Aumento da temperatura influencia na detecção dos contaminantes emergentes. - Houve um aumento na detecção dos contaminantes emergentes, devido ao escoamento superficial, transbordamento de	Zhu <i>et al.</i> , 2021.

(Continua)

					esgoto e transporte de sedimentos, resultantes de chuvas fortes (Região do Médio Atlântico, Estados Unidos).	
Cianobactérias	Comunidades microbianas	Períodos de secas, inundações e incêndios florestais	Rios	- Levantamento bibliográfico	- Em períodos de inundação altos níveis de bactérias foram associados a contaminação fecal. Os autores destacam que no período de seca os indicadores das comunidades microbianas, apresentaram variação mediante o tipo de uso do solo (Carolina do Sul - EUA)	Mishra, Alnahit e Campbell, 2021

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

(Conclusão)

### 3.5 Segurança Hídrica

Como forma de orientar a gestão de recursos hídricos, o conceito de “segurança hídrica” tem surgido em estudos realizados atualmente. A ocorrência, cada vez mais frequente, de efeitos adversos associados a eventos hidrológicos ressalta a necessidade de garantir o uso múltiplo da água, de forma a atender as mais diversas demandas da sociedade. O uso do termo teve início na década de 90, mas obteve maior relevância a partir de 2014, devido a secas intensas sofridas na região sudeste brasileira (Melo e Johnsson, 2017).

A Lei Federal 9.433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, sobretudo as legislações específicas de cada Estado, agregou o conceito de segurança hídrica. Segundo Melo e Johnsson (2017), a gestão de recursos hídricos vem se tornando um tópico cada vez mais estudado pelos órgãos nacionais e internacionais, dada a importância do tema para sociedade em geral. Além disso, dados da WWAP (2019), apresentam uma projeção de aumento na demanda pelo uso da água em 40% até o ano de 2030, reforçando a necessidade de estudos específicos para a gestão adequada destes recursos, como garantia da disponibilidade com qualidade e em quantidade necessárias (USSD, 2012).

Segundo a Organização das Nações Unidas (UN-WATER, 2013) por intermédio do relatório *Water Brief Analytical*, o conceito de segurança hídrica pode ser definido como:

A capacidade de acessibilidade segura e sustentável da população a quantidades aceitáveis de água de boa qualidade, para manutenção dos meios de subsistência, bem-estar humano e desenvolvimento socioeconômico, de forma a garantir proteção contra poluição e desastres relacionados à água e preservar ecossistemas, em um ambiente de paz e estabilidade política (UN-WATER, 2013, p.10).

Este conceito destaca a necessidade de se gerenciar de forma sustentável a água, durante todo o ciclo hidrológico, além de evitar os impactos ambientais sobre este recurso, como os eventos extremos, as mudanças climáticas e a contaminação dos corpos hídricos; no entanto, a preocupação deve partir das necessidades humanas, como a saúde, a subsistência e o desenvolvimento das atividades econômicas (UN-WATER, 2013).

Já, de acordo com Bakke (2012), a segurança hídrica pode ser definida como um estímulo ao equilíbrio entre as necessidades do meio ambiente e do ser humano,

protegendo os ecossistemas e a biodiversidade. O autor ainda defende aspectos da agenda hídrica, como a interação do risco, vulnerabilidade e resiliência, além das ameaças e a limitação de informações sobre os sistemas hidrológicos.

Segundo Mason e Calow (2012), o conceito está ligado à possibilidade da unificação de “elementos”, buscando quantificar a segurança hídrica. Os autores expõem cinco ideias principais, que auxiliam na mensuração de dados métricos, com conhecimento das dimensões ambientais. Desse modo, segurança hídrica está interligada:

1° A disponibilidade de água na atmosfera, na área de superfície e subterrânea, sofrendo diferentes danos e respondendo diferentemente aos impactos antrópicos. Compreende uma determinada área e período, de acordo com a capacidade socioeconômica de acesso a água;

2° Ao estudo do risco e variabilidade temporal ou espacial, visto que são características do sistema hídrico. Quando não há capacidade de adaptação, a variabilidade aumenta, ocasionando riscos, como poluição, secas e até mesmo inundações;

3° As necessidades individuais, especialmente no caso de populações vulneráveis e pobres. Mesmo diante das constantes mudanças no meio ambiente, assim como em termos sociais, econômicos e políticos, deve-se assegurar o acesso a água para as populações vulneráveis, com garantia de qualidade e quantidade;

4° A necessidade de atendimento aos requisitos ambientais. Ao longo do tempo, podem surgir necessidades especiais para os ecossistemas aquáticos, precisando ser atendidos os requisitos em termos qualitativos e quantitativos;

5° Ao gerenciamento de conflitos devido à necessidade de atendimento às demandas ambientais e humanas. Existem perdas que são inevitáveis, inclusive em áreas de uso extremo, devido ao crescimento acelerado da demanda. Para auxiliar na resolução dos problemas são ouvidas as reivindicações dos usuários.

Desta forma, o conceito de segurança hídrica, como a disponibilidade de água em quantidade e qualidade, para as necessidades naturais e humanas, com permanência de acesso para uso, resolvendo os conflitos de interesses, permite realizar uma gestão eficaz dos riscos, mesmo na ocorrência de grandes enchentes e secas (Mason e Calow, 2012).

Segundo a *Global Water Partnership – GWP (2021)*, que reflete uma parceria mundial pela garantia de acesso à água, a segurança hídrica está diretamente ligada as atividades que necessitam da utilização deste recurso para a sobrevivência humana, proteção ambiental e atendimento às demandas econômicas, como a geração de energia e a agricultura, orientando sobre a necessidade de cooperação entre todos os usuários, para a preservação e proteção dos ecossistemas aquáticos.

### **3.6 Eventos Extremos**

Nos dias atuais estamos enfrentando um grande desafio de adaptação às mudanças climáticas, frente aos fatores naturais e antrópicos, que atuam como forçantes. No caso de mudanças por fatores naturais, devem ser analisados meios e ações que minimizem os impactos dos eventos climáticos atuais e futuros no ambiente. Já no caso de fatores humanos, devem ser propostas melhorias nos processos e promovidas mudanças no comportamento humano, a fim de reduzir e evitar os eventos extremos (IPCC, 2022).

Entre as consequências das mudanças climáticas em escala global, destaca-se o aumento na frequência e intensidade dos eventos extremos, como enchentes; deslizamentos, transbordamento das áreas de várzeas e secas. Estes fatores podem alterar diretamente a qualidade da água (Cruz, 2019).

Neste contexto, segundo o *Pew Center on Global Climate Change (2004)*, há a necessidade de implementação de medidas mitigatórias de adaptação, tanto em escala nacional, quanto global, visto que os efeitos da mudança climática são inevitáveis, tanto de ordem natural, como antrópica. Desta forma, são necessários, estudos que abordem estratégias capazes de reduzir a severidade e os custos dos impactos climáticos nos dias atuais e no futuro.

Como forma de planejamento e orientação aos órgãos públicos, privados e a própria população na ocorrência de eventos extremos, orienta-se a elaboração de um plano estratégico de contingência, onde são descritas ações mitigatórias a curto e longo prazo envolvendo diversos setores. Além disso, deve-se harmonizar a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC (Lei nº 12.608 de abril de 2012) com as ações do PNA, no tocante a adaptação à mudança do clima, gestão de riscos e alertas a desastres naturais. Assim, a legislação orienta sobre o dever do município, estado e da união, quanto

a adoção de medidas mitigatórias para a redução dos riscos de desastres em conjunto com a sociedade e órgãos públicos e privados (PNA, 2021).

Segundo o PNA (2021), desde a década de 1950, a mudança climática alterou em algumas regiões a magnitude e frequência de alguns eventos extremos climáticos e meteorológicos. O aumento da população urbana é um dos fatores considerados relevantes neste contexto. No Brasil, segundo a PBMC (2016), a população que vive em área urbana é de 85,7%, sendo que em 2050 espera-se que este número alcance 91%. Assim, o número de construções e atividades econômicas desenvolvidas nestas regiões aumenta a vulnerabilidade às mudanças climáticas, ou seja, mais áreas expostas a probabilidade de ocorrência de eventos extremos.

Segundo o SREX (*Special Reports on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to advance Climate Change Adaptation*, na sigla em inglês), a intensidade dos eventos extremos, comparado com a exposição aos mesmos, são fatores específicos que podem ser utilizados para analisar os prejuízos causados pelos desastres de maior intensidade (IPCC, 2012). Contudo, para avaliação de eventos extremos de menor intensidade, deve-se analisar a vulnerabilidade dos elementos expostos, visto que estes possuem um importante papel para caracterizar a proporção dos impactos ao meio ambiente (IPCC, 2021).

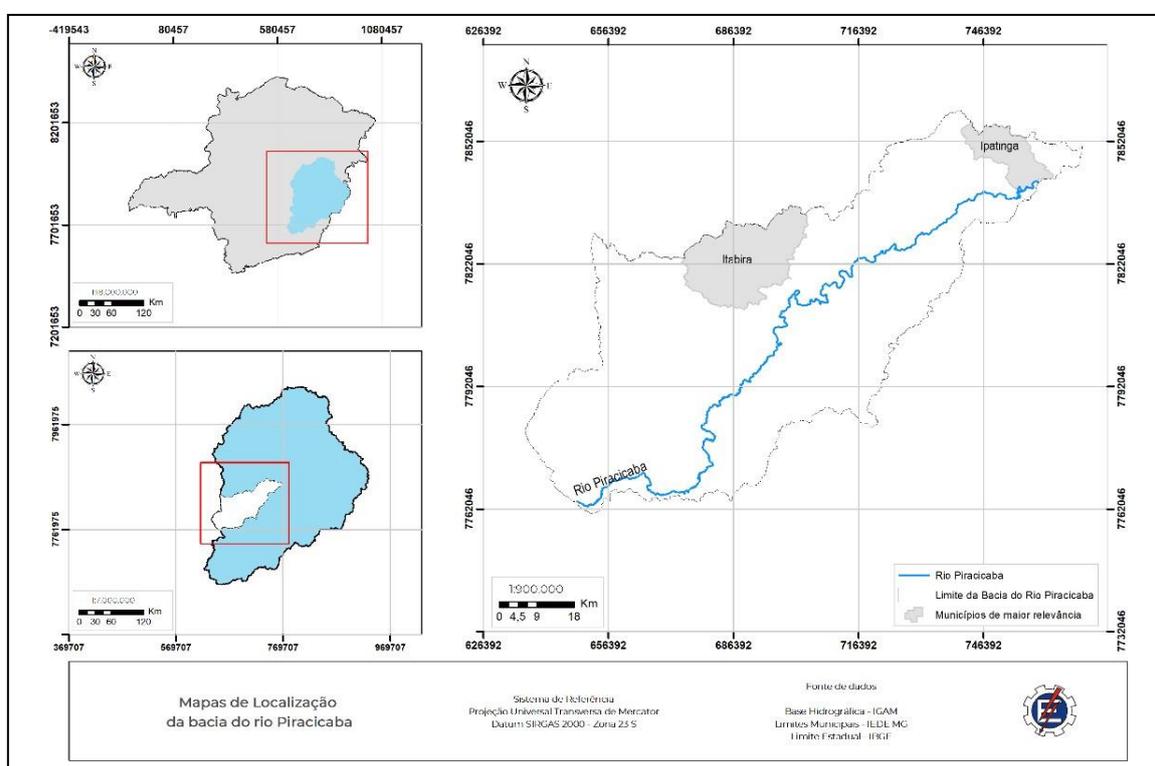
Segundo a UNFCCC (2002), dentre os tipos de desastres naturais que mais ocorrem nas regiões brasileiras, destacam-se as enxurradas, alagamentos e inundações bruscas; e deslizamentos de terra (movimentação de massa), sendo que se deve analisar a vulnerabilidade das cidades a estes tipos de desastres, no contexto das mudanças climáticas.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 Caracterização da área de estudo

A bacia do rio Piracicaba, denominada como DO2 (IGAM, 2022), é uma das principais Circunscrições Hidrográficas - CH que compõem a bacia do rio Doce (Figura 1). O rio, com extensão de 241 quilômetros, está localizado no leste de Minas Gerais (InfoHidro, 2022). Além de possuir uma área total de 5.465 km<sup>2</sup>, a bacia do rio Piracicaba é formada pela junção de 21 municípios, sendo eles Alvinópolis, Antônio Dias, Barão de Cocais, Bela Vista de Minas, Bom Jesus do Amparo, Catas Altas, Coronel Fabriciano, Ipatinga, Itabira, Jaguarapu, João Monlevade, Mariana, Marliéria, Nova Era, Ouro Preto, Rio Piracicaba, Santa Barbara, Santana do Paraíso, São Domingos do Prata, São Gonçalo do Rio Abaixo e Timóteo (Silva *et al.*, 2018).

Figura 1 – Localização da Bacia do rio Piracicaba/MG.



Fonte: Sutil *et al.* (2020)

O rio Piracicaba possui como principais afluentes os rios Santa Bárbara, do Peixe, da Prata, Barão de Cocais ou São João e Maquiné. Deságuam também cerca de 100 córregos e ribeirões, auxiliando no crescimento da vazão ao longo da bacia. Além disso, o rio Piracicaba está inserido na região hidrográfica do Atlântico Sudeste, apresentando

manchas do bioma Mata Atlântica (SNIS, 2019). A bacia possui desde municípios pequenos como Jaguaráçu, com a população estimada de 3.151 habitantes, até municípios maiores como Ipatinga, com população de 267.333 habitantes (IBGE, 2020).

Dos 21 municípios da bacia, 16 possuem o plano municipal de saneamento, outros 3 não possuem e 2 estão em fase de elaboração (SNIS, 2019). Já em relação à política municipal de saneamento, 12 municípios a possuem, outros 6 não possuem e 3 estão em fase de elaboração (SNIS, 2019).

Com relação ao abastecimento de água potável, 11 municípios possuem vínculo com a Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA, outros 7 são gerenciados pela própria prefeitura e 3 pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE (SNIS, 2019). Deve-se destacar que 4 municípios (João Monlevade, Mariana, Nova Era e São Gonçalo do Rio Abaixo), oferecem 100% de abastecimento de água potável para população urbana e rural, sendo que no Estado de Minas Gerais este percentual é de 82,07% e para o país como um todo o percentual é de 83,71% (SNIS, 2019).

O consumo médio de água per capita entre as cidades da bacia varia de 118,3 L/hab./dia (Nova Era) até 548 L/hab./dia (Marliéria), sendo que no Estado de Minas Gerais o consumo é de 157,49 L/hab./dia, e no país como um todo é de 139,23 L/hab./dia (SNIS, 2019).

Sobre as atividades de coleta, transporte, tratamento e destinação final dos esgotos sanitários, a bacia possui 13 municípios em que as atividades são gerenciadas pela própria prefeitura, outras 4 pela COPASA e 3 pelo SAAE (SNIS, 2019). Todavia, vale lembrar que 3 municípios, atendem 100% da população com o serviço de coleta de esgotamento sanitário, os quais são Alvinópolis, João Monlevade e São Gonçalo do Rio Abaixo. No Estado de Minas Gerais este atendimento corresponde a 77,33%, e no país 65,87% da população (SNIS, 2019).

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2019), Alvinópolis, Catas Altas, Coronel Fabriciano, Ipatinga, Marliéria, Santana do Paraíso e São Domingos do Prata, destacam-se na bacia por atender 100% da população rural e urbana com as atividades de manejo de resíduos sólidos. Contudo, ainda de acordo com o SNIS, 19 municípios possuem a atividade gerenciada pela própria prefeitura e outros 2 não informaram. O serviço inclui coleta seletiva e recuperação de materiais recicláveis de porta a porta, atendendo a população de 10 municípios (SNIS, 2019).

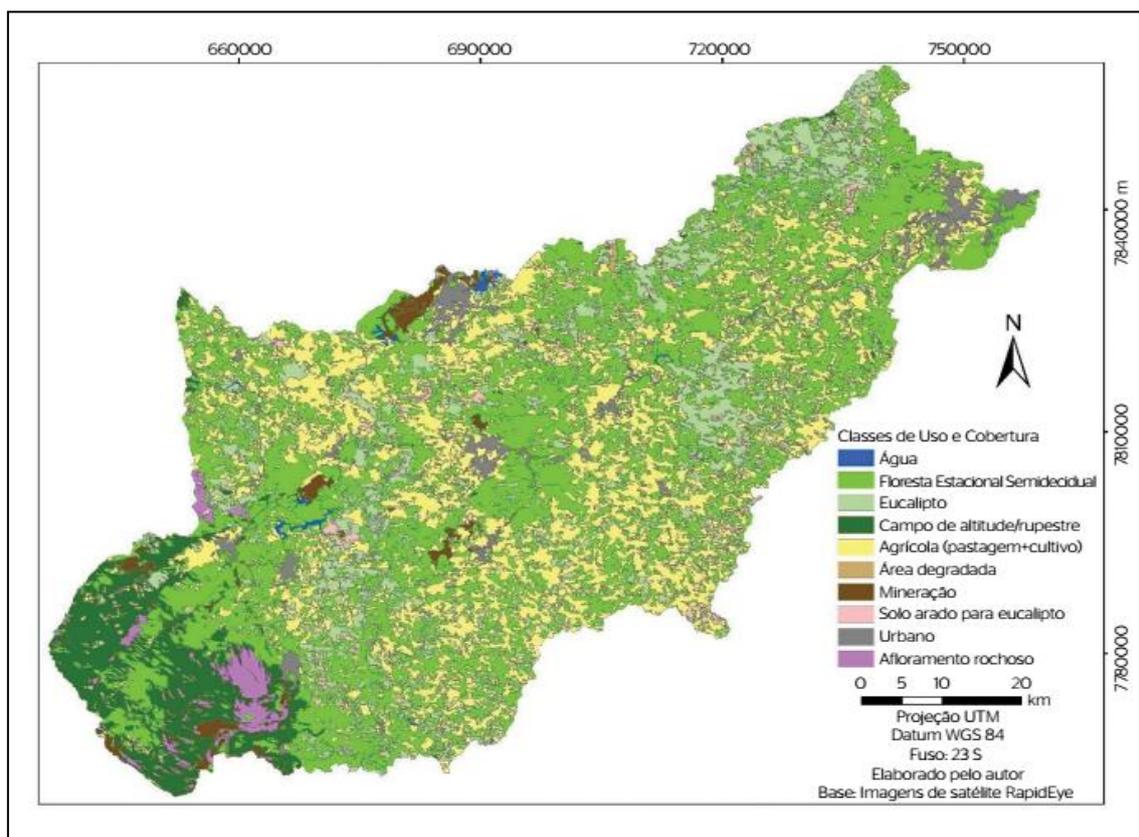
A bacia do rio Piracicaba teve seu enquadramento publicado pela DN 09 do COPAM, em 27 de abril de 1994, como rio de classe 2. Os rios pertencentes a esta classe têm suas águas destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento convencional; proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário (esqui aquático, natação e mergulho); irrigação de hortaliças e plantas frutíferas; criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

No âmbito da bacia do rio Doce foi apresentado em abril de 2023 na 85ª reunião ordinária do colegiado do CBH-Piracicaba/MG, a proposta de enquadramento e programa de efetivação para a Circunscrição Hidrográfica do Rio Piracicaba - DO2, tomando como base as orientações definidas na Resolução CNRH Nº 01/2008. Contudo, o rio Piracicaba obteve um grande avanço no tema de enquadramento dos corpos d'água, adquirido pelo desenvolvimento do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica e dos Planos de Ações para as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos no âmbito da Bacia do rio Doce, representando um importante ganho na gestão de recursos hídricos, inclusive sendo destacado como modelo a ser replicado para as outras sub-bacias.

#### **4.2 Uso e ocupação do solo**

Um dos fatores que influenciam diretamente na qualidade das águas superficiais é o uso e ocupação do solo de uma bacia hidrográfica, diante das diversas atividades que podem ser desenvolvidas na região (MELLO *et al.*, 2020). Segundo Somura *et al.* (2018), as atividades de pastagens e áreas de florestas apresentam uma relação direta com o parâmetro de sólidos em suspensão nos rios e lagos. Contudo, outros fatores importantes a se destacar são não só as intervenções de origem natural, mas também as de origem antrópica, que afetam diretamente os recursos naturais, principalmente os recursos hídricos (SILVA *et al.*, 2018). Na Figura 2 é apresentado o mapa de uso e cobertura do solo na bacia do rio Piracicaba, juntamente com a indicação das classes.

Figura 2- Mapa das classes de uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do rio Piracicaba.



Fonte: Silva *et al.* (2018)

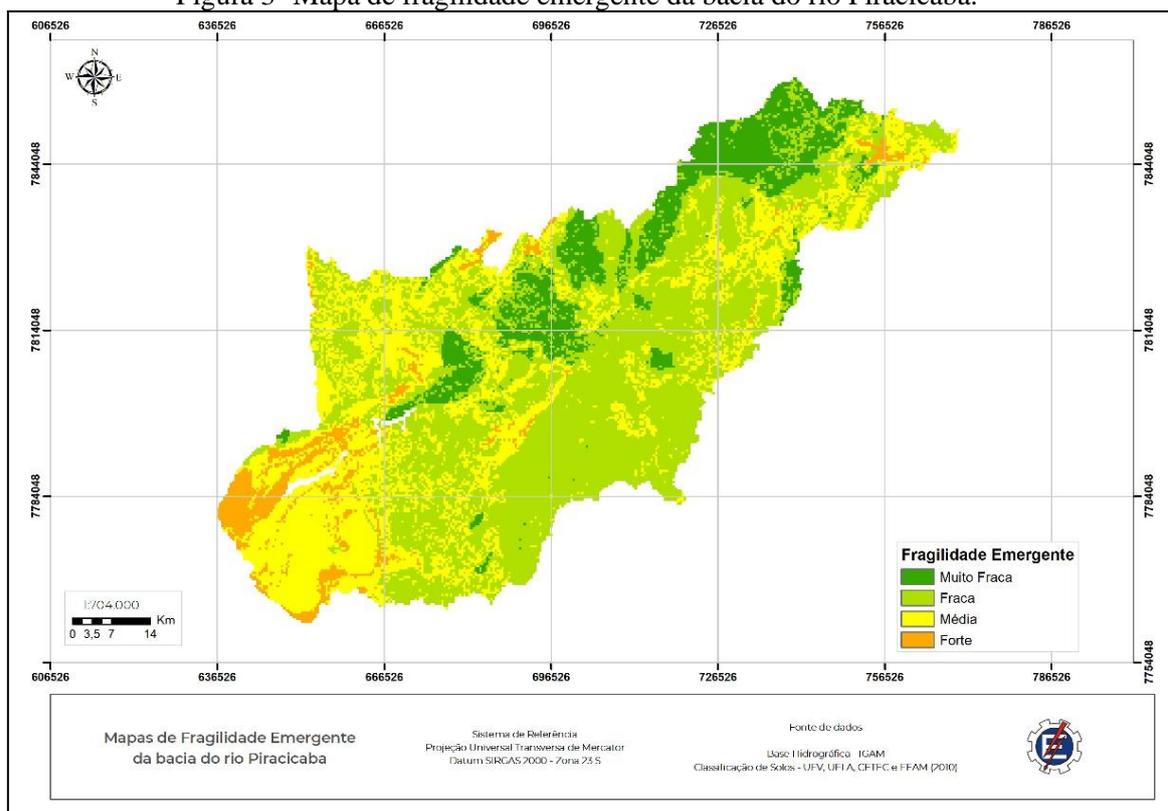
Segundo Sokoloski *et al.* (2019) e Sutil *et al.* (2020), quando existe ação natural que impacta o meio ambiente ou por intervenção antrópica, é notória a degradação dos recursos hídricos, principalmente em termos de qualidade da água. Para exemplificar, pode-se citar as cidades de João Monlevade, Timóteo e Ipatinga, que abrigam o maior parque siderúrgico da América Latina e as grandes mineradoras presentes na cidade de São Gonçalo do Rio Abaixo, Itabira e Antônio Dias, que prejudicam a qualidade da água pelas atividades industriais. Lembrando que estas são as duas principais atividades econômicas da região da bacia (SILVA *et al.*, 2018).

Conforme estudo de Sutil *et al.* (2020), identificou-se que, nas áreas de cabeceira do rio Piracicaba, os índices de fragilidade emergente foram altos, colocando a região em uma situação crítica (Figura 3), lembrando que estas áreas são essenciais para preservação e conservação dos recursos hídricos e mitigação dos processos erosivos da bacia. Importante destacar também que os resultados obtidos pelos autores possuem relação com

as atividades antrópicas desenvolvidas nas áreas da região caracterizadas como sendo de maior fragilidade.

Além disso, eventos extremos de precipitação têm ocorrido na bacia, de acordo com o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD), o que indica que a região já está sofrendo os impactos das mudanças climáticas. Assim, de acordo com Sokoloski *et al.* (2019), percebe-se a necessidade da realização de um planejamento estratégico para intervenção dentro da bacia, incluindo ações de preservação e conservação dos recursos hídricos.

Figura 3- Mapa de fragilidade emergente da bacia do rio Piracicaba.



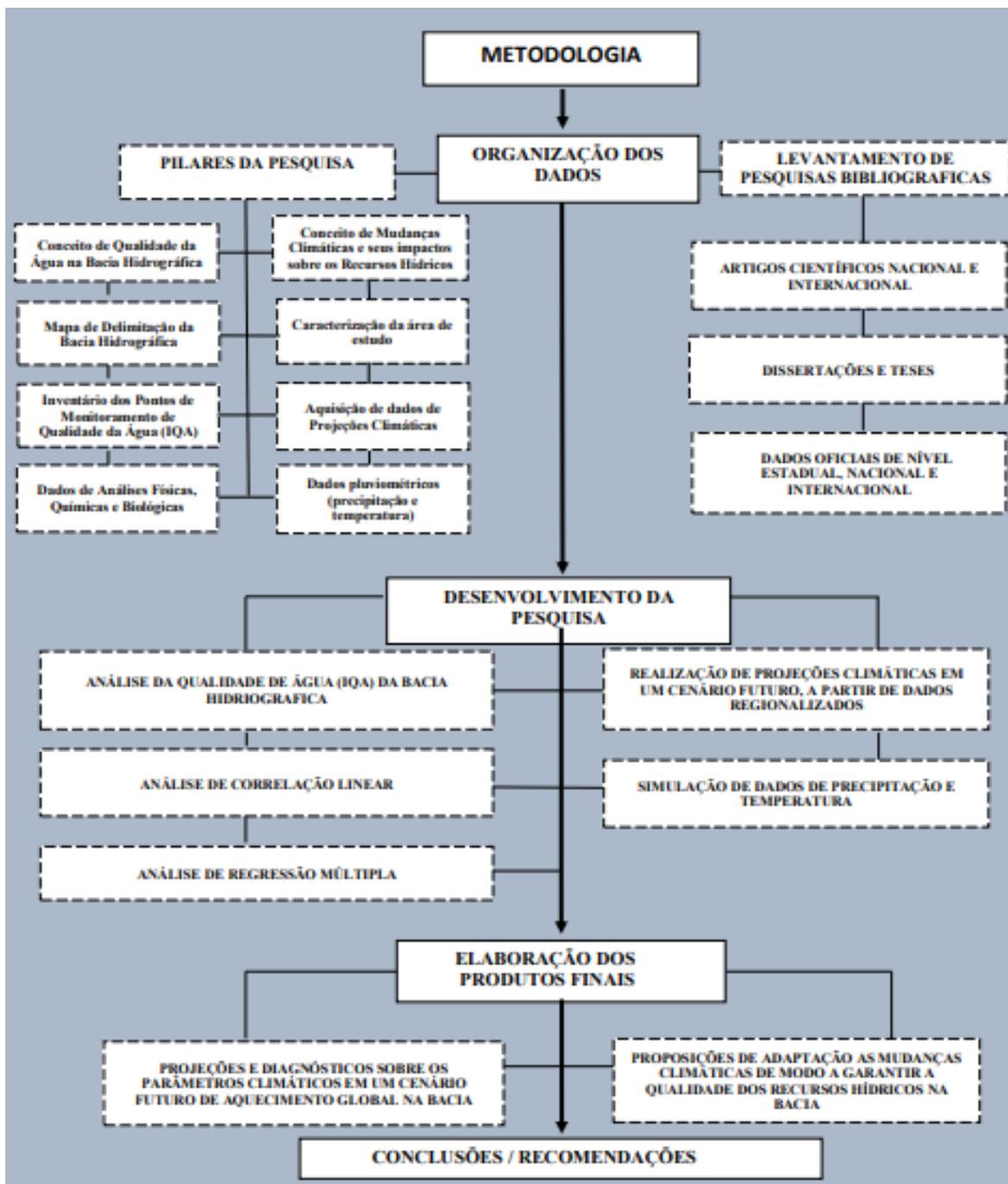
Fonte: Sutil *et al.* (2020)

### 4.3 Etapas da pesquisa

Esta pesquisa se classifica como sendo de abordagem quantitativa, uma vez que o estudo foi desenvolvido a partir de análises estatísticas. Além disso, esta pesquisa se classifica, quanto a natureza, como sendo aplicada, com objetivos exploratório, descritivo e explicativo.

Este trabalho foi baseado no levantamento e na análise bibliográfica das publicações de organismos nacionais e internacionais, pesquisas científicas (dissertações e teses), e dados de órgãos de níveis municipais, estaduais e federais. As etapas desta pesquisa, de acordo com a metodologia proposta, são ilustradas na Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma da metodologia desta pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

#### 4.4 Dados e análises estatísticas

Os dados dos parâmetros de qualidade da água, fornecidos pelo IGAM, foram analisados no período de 2001 a 2020. Os dados diários de precipitação e temperatura em pontos de grade de Xavier et al. (2022), com resolução de  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ , foram utilizados para o mesmo período. Foram obtidas as séries históricas de precipitação e temperatura mais próximas dos pontos de monitoramento da qualidade da água e nos dias de amostragem. Estes pontos de monitoramento estão descritos no item 4.7.

Foram realizadas análises estatísticas para investigar a relação entre as variáveis meteorológicas (precipitação e temperatura do ar) e os parâmetros de qualidade da água. Para execução destas análises, foi utilizado o *software* Excel.

Após a obtenção dos dados, uma análise de correlação cruzada foi aplicada aos dados de precipitação e temperatura e aos parâmetros de qualidade da água, de modo a investigar a relação entre esses elementos. A correlação linear de *Pearson* ( $r$ ) representa uma medida de associação linear entre as variáveis e é dada pela Equação 1:

$$\text{Equação 1: } (r) = \frac{1}{n-1} \sum \frac{(xi-\underline{X})}{sx} \frac{(yi-\underline{Y})}{sy}$$

Em que:

$n$  = número de amostras;

$xi$  = amostra da variável  $x$ ;

$X$  = média da variável  $x$ ;

$sx$  = desvio padrão da variável  $x$ ;

$yi$  = amostra da variável  $y$ ;

$Y$  = média da variável  $y$ ;

$sy$  = desvio padrão da variável  $y$ .

Após ser aplicada a análise de correlação, um modelo de regressão múltipla *stepwise* foi ajustado às variáveis, com intuito de identificar quais os parâmetros de qualidade da água mais influenciados pela precipitação e temperatura do ar na bacia.

A análise de regressão tem por objetivo apurar a existência de uma relação funcional entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes, conforme Equação 2:

$$\text{Equação 2: } Y = \alpha + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \dots + \alpha_K X_K$$

Em que:

$Y$  = variável dependente;

$\alpha$  = Constante de regressão;

$\alpha_K$  = Coeficiente de regressão;

$X_K$  = Variáveis independentes.

As variáveis dependentes foram os parâmetros de qualidade da água, os quais se pretende analisar, como os coliformes termotolerantes; pH; demanda bioquímica de oxigênio; nitrogênio total; fósforo total; temperatura; turbidez; resíduo total e oxigênio dissolvido. Já as variáveis independentes foram os parâmetros meteorológicos: precipitação e temperatura do ar.

Nesta pesquisa, foi utilizada a regressão múltipla *stepwise* do tipo *backward*, dando a oportunidade de na equação incluir de uma única vez, todos os prognósticos (precipitação e temperatura do ar) e depois excluir gradativamente um a um, dentre os que não apresentarem efeitos estatisticamente significativos, conseguindo, assim, distinguir os parâmetros de qualidade da água mais influenciados pela precipitação e temperatura, e aumentando, desta forma, o poder explicativo da equação de regressão.

#### **4.5 Projeções Climáticas no Brasil – PCBr**

No ano de 2020 ocorreu a criação da Plataforma de Projeções Climáticas no Brasil (PCBr), com o objetivo de assessorar com informações e dados, órgãos governamentais e a sociedade em geral, visando a disponibilidade de informações de projeções sobre as mudanças climáticas no Brasil, bem como os crescentes estudos na área de impactos, vulnerabilidade e adaptação. A plataforma PCBr unifica diversos modelos globais e regionais, tendo como base os projetos de pesquisa internacional HELIX, BESM, ETA/CPTEC/INPE, CMIP5 e CMIP6 (PCLIMA, 2022).

Esta foi a plataforma utilizada para obtenção dos dados mensais simulados de precipitação e temperatura para o período de 1961 a 2005 (cenário histórico) e de 2006 a 2099 (cenário futuro). Os dados simulados foram obtidos do modelo climático global HADGEM2-ES, cujas condições de contorno são utilizadas pelo modelo climático regional ETA, apresentando dados do modelo climático corrigidos, com todos os métodos de correção de viés. Essa escolha se justifica pois os dados do ETA/HADGEM2-ES são os únicos disponíveis que apresentam a melhor resolução (5 km) para a região sudeste do Brasil. Visto que se realizou uma análise a nível de bacia hidrográfica, esta é a melhor resolução disponível na plataforma.

O cenário de emissões de gases do efeito estufa (GEEs) que foi escolhido para o estudo das projeções de clima futuro na bacia é denominado de RCP8.5, que representa alta concentrações GEEs, sendo um cenário mais próximo das avaliações atuais observadas, onde se projeta, até o final do século XXI, que o dióxido de carbono equivalente ultrapasse 1000 ppm (CHOU *et al.*, 2022).

É importante destacar que este cenário, apesar de ser o mais pessimista, é o mais próximo das tendências observadas, considerando as atuais concentrações de GEEs na atmosfera, por isso, esse foi o cenário escolhido para este estudo, juntamente com o cenário histórico (1961 a 2005) que representa o clima do presente.

A diferença entre os cenários (histórico – futuro) para um período de 30 anos representará a mudança projetada para a precipitação e temperatura em cada ponto de monitoramento da bacia e o valor médio encontrado foi aplicado ao modelo de regressão em cada ponto para obtenção da mudança média projetada nos parâmetros de qualidade da água para os períodos de 2039 a 2070 e de 2069 a 2099.

#### **4.6 Índice de Qualidade de Água (IQA)**

Segundo a CETESB (2019), o IQA incorpora nove variáveis, sendo elas os coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio total, fósforo total, temperatura, turbidez, resíduo total e oxigênio dissolvido, consideradas relevantes para a avaliação da qualidade das águas, tendo como determinante principal a sua utilização para abastecimento público.

Os índices de qualidade, sintetizam informações de diferentes variáveis em apenas um valor, auxiliando nas decisões para a gestão dos recursos hídricos, além de facilitar a

comunicação com o público leigo. O IQA é calculado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondentes às variáveis que integram o índice (CETESB, 2006), como observado na Equação 3.

Equação 3:  $IQA =$

$$\prod_{i=1}^n qi^{wi}$$

Em que:

*IQA*: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

*qi*: qualidade do *i*-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida;

*wi*: peso correspondente ao *i*-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade;

*n*: número de variáveis que entram no cálculo do IQA.

O IQA foi utilizado para analisar se houve alterações deste índice quando ocorreram eventos extremos de precipitação e temperatura na bacia. Os eventos extremos ocorridos foram selecionados a partir dos dados de precipitação e temperatura. Foram identificados os dias em que a temperatura e a precipitação máxima ficaram acima do percentil 90. Posteriormente, foram projetadas possíveis mudanças no IQA, considerando o cenário futuro de mudanças na precipitação e temperatura.

Foi adotada uma numeração de referência considerando a classe de IQA, conforme os dados dos parâmetros de qualidade da água, fornecidos pelo IGAM, conforme apresentando no Quadro 5.

Quadro 5 – Numeração de referência quanto aos resultados dos dados de monitoramento

<i>N°</i>	<i>IQA Classe</i>
0	<i>Péssima</i>
1	<i>Ruim</i>
2	<i>Regular</i>
3	<i>Boa</i>
4	<i>Ótima</i>

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Esta classificação auxiliou na análise e desenvolvimento dos resultados envolvendo os impactos dos eventos externos nos qualidade de água, comparando os dados das variáveis independentes em cenários futuros com valores acima de 90 percentil.

#### **4.7 Pontos de monitoramento na bacia**

O monitoramento da qualidade de água é realizado com auxílio de estações fixas ao longo do curso de água da bacia do rio Piracicaba. No entanto, a escolha pela bacia como unidade de pesquisa justifica-se pela quantidade de estações que monitoram a qualidade de água, comparado com outras bacias, além das atividades industriais e agrícolas que são exercidas ao longo da mesma (SILVA *et al.*, 2018). A Tabela 1, apresenta os 16 pontos específicos de monitoramento em locais estratégicos gerenciados pelo IGAM (2020).

Tabela 1 – Relação das estações de monitoramento da qualidade da água da bacia do rio Piracicaba

<b>EST</b>	<b>NOME</b>	<b>CÓDIGO (HIDROWEB)</b>	<b>CÓDIGO (IGAM)</b>	<b>TIPO</b>	<b>MUNICÍPIO</b>	<b>CURSO D'ÁGUA</b>	<b>LATITUDE (°)</b>	<b>LONGITUDE (°)</b>	<b>ÁREA DE DRENAGEM (km<sup>2</sup>)</b>	<b>ÍNICIO</b>
<b>1</b>	Santana do Paraíso	56711000	RD035	Fluviométrica	Santana do Paraíso	Rio Piracicaba	-19,49	- 42,49	23500,00	31/07/97
<b>2</b>	Timóteo	56700100	RD034	Fluviométrica	Timóteo	Rio Piracicaba	-19,53	- 42,60	5380,00	31/01/00
<b>3</b>	Rio Piracicaba (em Timóteo)	56691000	RD031	Fluviométrica	Timóteo	Rio Piracicaba	-19,52	- 42,65	5270,00	31/06/97
<b>4</b>	Antônio Dias	56688100	RD032	Fluviométrica	Antônio Dias	Rio Piracicaba	-19,62	- 42,80	4660,00	31/01/00
<b>5</b>	Nova Era	56668000	RD030	Fluviométrica	Nova Era	Rio do Peixe	-19,73	- 43,03	407,00	31/01/00
<b>6</b>	Itabira	56153000	RD036	Fluviométrica	Itabira	Ribeirão do Peixe	-19,65	- 43,17	-	31/08/20
<b>7</b>	Nova Era	56659900	RD029	Fluviométrica	Nova Era	Rio Piracicaba	-19,77	- 43,04	3060,00	31/12/03
<b>8</b>	Rio da Prata ( próx.sua foz)	56667500	RD076	Fluviométrica	Nova Era	Rio da Prata	-19,78	- 43,00	-	30/06/08
<b>9</b>	Bela Vista de Minas	56655100	RD026	Fluviométrica	Bela Vista de Minas	Rio Piracicaba	-19,83	- 43,13	1390,00	31/01/00

(Continua)

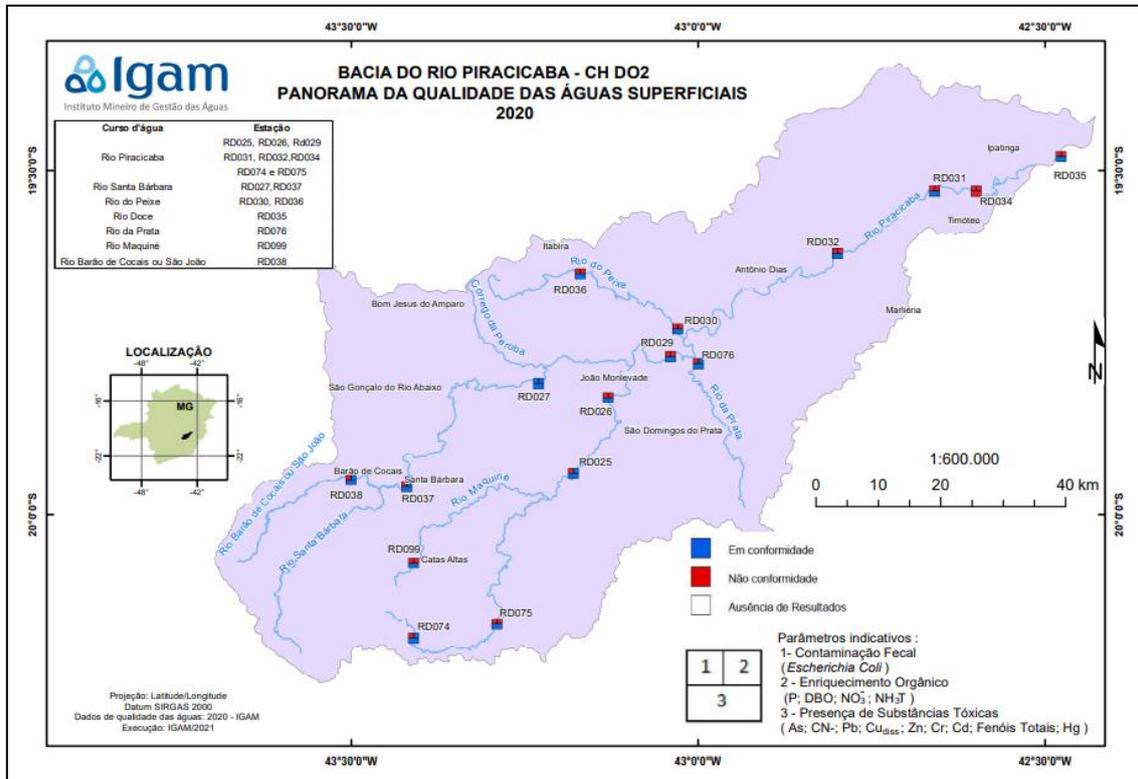
<b>10</b>	São Gonçalo do Rio Abaixo	56641000	RD027	Fluviométrica	São Gonçalo do Rio Abaixo	Ribeirão Santa Barbara	-19,81	- 43,23	623,00	31/07/98
<b>11</b>	Rio Piracicaba	56600000	RD025	Fluviométrica	Rio Piracicaba	Rio Piracicaba	-19,94	-43,18	1140,00	31/12/03
<b>12</b>	Santa Barbara	56641900	RD037	Fluviométrica	Santa Barbara	Ribeirão Santa Barbara	-19,94	-43,42	-	31/08/20
<b>13</b>	Barão de Cocais	56233040	RD038	Fluviométrica	Barão de Cocais	Rio Barão de Cocais ou São João	-19,95	-43,50	-	31/08/20
<b>14</b>	Alvinópolis	56597000	RD075	Fluviométrica	Alvinópolis	Rio Piracicaba	-20,16	-43,29	-	30/06/08
<b>15</b>	Rio Piracicaba (distrito de Santa Rita Durão)	56595000	RD074	Fluviométrica	Mariana	Rio Piracicaba	-20,18	-43,41	-	30/06/08
<b>16</b>	Rio Maquiné ( próx.sua foz)	56596000	RD099	Fluviométrica	Catas Altas	Rio Maquiné	-20,07	-43,41	-	30/06/08

Fonte: Adaptado pelo autor de IGAM e HidroWeb (2022)

(Conclusão)

Conforme rede hidrometeorológica nacional, os pontos são localizados na bacia 5-Atlântico, trecho leste, sub-bacia 56-rio Doce e rio Piracicaba (HidroWeb, 2022). Assim, para realização deste trabalho, foram analisados dados dos parâmetros qualidade da água dos 16 pontos de monitoramento (Figura 5), proveniente do IGAM, durante o período de 2001 a 2020.

Figura 5 – Pontos de monitoramento da qualidade de águas superficiais na bacia do rio Piracicaba.



Fonte: IGAM (2020)

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análises de correlação e regressão múltipla e mudanças projetadas

Os resultados de correlação linear obtidos para os 16 pontos de monitoramento da bacia hidrográfica entre os dados de qualidade da água e os dados meteorológicos, estão descritos na Tabela 02. Os valores significativos a 95% estão destacados em negrito.

Tabela 2 – Valores de correlação para os pontos de monitoramento da bacia.

Pontos de Monitoramento	Variáveis independentes	Oxigênio dissolvido	Escherichia coli	pH in loco	DBO	Nitrato	Fósforo Total	Temperatura da água	Turbidez	Sólidos totais
Ponto 1 – RD035	Temperatura	<b>-0,5493</b>	<b>0,2108</b>	-0,0571	0,0715	-0,0302	0,1827	<b>0,7668</b>	0,1064	0,1589
	Precipitação	-0,0395	-0,0301	-0,0927	0,0241	0,0046	0,1562	0,0822	0,1785	<b>0,2877</b>
Ponto 2 – RD034	Temperatura	<b>-0,6975</b>	0,0697	0,0423	-0,1924	-0,0338	0,0236	<b>0,7911</b>	0,1597	0,1723
	Precipitação	-0,0222	-0,0238	-0,1504	0,0670	-0,1335	0,1029	0,1281	<b>0,6170</b>	<b>0,7518</b>
Ponto 3 – RD031	Temperatura	<b>-0,6273</b>	0,1620	0,0246	0,0107	0,0834	<b>0,2168</b>	<b>0,8179</b>	0,1541	0,0818
	Precipitação	0,1462	<b>0,5695</b>	-0,1620	0,1150	-0,0882	0,1350	0,0880	<b>0,5514</b>	<b>0,4220</b>
Ponto 4 – RD032	Temperatura	<b>-0,6021</b>	0,0583	0,1608	-0,0362	0,0881	0,1723	<b>0,8412</b>	0,1273	<b>0,2663</b>
	Precipitação	0,0131	<b>0,4084</b>	-0,0232	-0,0699	0,0052	<b>0,3381</b>	0,1611	<b>0,7387</b>	<b>0,6834</b>
Ponto 5 – RD030	Temperatura	<b>-0,5993</b>	<b>0,2008</b>	0,1079	0,1081	-0,0244	-0,0187	<b>0,7797</b>	<b>0,2234</b>	<b>0,2546</b>
	Precipitação	<b>-0,2131</b>	<b>0,4742</b>	-0,0864	<b>0,3416</b>	-0,1162	0,1511	<b>0,2069</b>	<b>0,5376</b>	<b>0,5193</b>
Ponto 7 – RD029	Temperatura	<b>-0,6454</b>	0,1357	-0,0696	0,1774	0,0826	0,0792	<b>0,8318</b>	0,1465	0,1453
	Precipitação	<b>-0,2386</b>	0,1200	-0,0713	0,0941	0,0083	<b>0,3849</b>	<b>0,2585</b>	<b>0,6173</b>	<b>0,3969</b>
Ponto 8 – RD076	Temperatura	<b>-0,6924</b>	0,0481	0,1314	0,0442	0,0643	0,1471	<b>0,7482</b>	0,1086	0,1979
	Precipitação	<b>-0,2533</b>	<b>0,4440</b>	-0,0884	<b>0,5765</b>	0,0276	<b>0,5849</b>	<b>0,2993</b>	<b>0,6377</b>	<b>0,6519</b>
Ponto 9 – RD026	Temperatura	<b>-0,5771</b>	<b>0,3441</b>	0,0239	<b>0,2037</b>	-0,0076	-0,0591	<b>0,8420</b>	0,1146	0,1984
	Precipitação	-0,0281	<b>0,4596</b>	0,0090	0,1964	-0,0022	0,1981	<b>0,2367</b>	<b>0,5379</b>	<b>0,6250</b>
Ponto 10 – RD027	Temperatura	<b>-0,5783</b>	0,0818	-0,0832	0,1457	0,1048	0,1841	<b>0,7945</b>	0,0585	0,0933
	Precipitação	-0,1951	0,1201	-0,0429	-0,0658	0,0663	<b>0,3867</b>	<b>0,3060</b>	<b>0,4000</b>	<b>0,5081</b>
Ponto 11 – RD025	Temperatura	<b>-0,6157</b>	<b>0,2486</b>	-0,1542	0,0597	0,1499	0,0214	<b>0,8395</b>	0,0228	0,0489
	Precipitação	-0,1362	<b>0,2559</b>	-0,1079	-0,0633	-0,0069	<b>0,2878</b>	<b>0,2682</b>	<b>0,2282</b>	<b>0,3651</b>
Ponto 14 – RD075	Temperatura	<b>-0,4449</b>	0,0617	<b>-0,2161</b>	-0,1899	0,1718	0,0735	<b>0,3674</b>	<b>0,2115</b>	0,0456
	Precipitação	0,0050	<b>0,3178</b>	0,0040	0,0766	-0,0206	<b>0,4128</b>	<b>0,2369</b>	<b>0,4812</b>	<b>0,4486</b>
Ponto 15 – RD074	Temperatura	<b>-0,6266</b>	0,1619	-0,0139	-	<b>0,2300</b>	0,1415	<b>0,8341</b>	<b>0,2207</b>	0,0763
	Precipitação	-0,1165	0,1373	<b>-0,2237</b>	-	-0,1622	-0,0199	<b>0,2288</b>	0,1192	-0,0186
Ponto 16 – RD099	Temperatura	<b>-0,4134</b>	-0,1053	-0,1799	-0,1807	0,0348	<b>-0,2217</b>	<b>0,3431</b>	0,0342	-0,0543
	Precipitação	-0,0915	0,1447	-0,0315	-0,0353	-0,0218	-0,0551	0,0537	<b>0,2161</b>	0,1871

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Conforme apresentado na Tabela 2, alguns dos parâmetros analisados não apresentaram correlação significativa ao nível de 95%, devido ao p-valor ter sido superior a 0,05. Os parâmetros pH, DBO e nitrato foram os que apresentaram um menor número de pontos de correlação significativa com as variáveis independentes (temperatura do ar e precipitação).

No entanto, nota-se que o parâmetro turbidez, apresentou valores em torno ou acima de 0,5 em quase todos os pontos (com exceção dos pontos 1, 10, 11, 15 e 16), principalmente em relação à precipitação. Já o parâmetro temperatura da água com a variável temperatura do ar, apresentou valores acima de 0,7 em quase todos os pontos (com exceção do 14 e 16). A correlação do parâmetro oxigênio dissolvido com a variável temperatura do ar, apresentou em quase todos os pontos, valores acima de 0,5 (com exceção do 14 e 16). Por fim, os sólidos totais apresentaram valores de correlação com a precipitação mais baixos do que no caso da turbidez, de forma geral, mas, ainda significativos em quase todos os pontos (com exceção do 15 e 16).

Os pontos 6, 12 e 13, não apresentaram resultados de correlação e também não foram utilizados para geração do modelo de regressão múltipla, devido ao fato de que as variáveis dependentes estão sendo monitoradas recentemente, apresentando ainda dados insuficientes para a realização dos cálculos. Por exemplo, o Ponto 6 apresenta os primeiros dados de monitoramento somente a partir do dia 20 de janeiro de 2020 e os pontos 12 e 13 no dia 14 de janeiro de 2020.

Outros parâmetros não apresentaram valores da correlação significativos, porém, após a análise de regressão, obtiveram p-valor inferior a 0,05. Nesta situação pode-se mencionar o parâmetro Oxigênio Dissolvido (OD) em relação a precipitação no ponto 3, fósforo total para temperatura do ar no ponto 1 e Sólidos Totais (ST) para temperatura do ar no ponto 4 (Tabelas 2 e 3). Por outro lado, os parâmetros pH e nitrato apresentaram pelo menos 1 ponto com correlações significativas (Tabela 2), porém, após a análise de regressão, verificou-se que os modelos não eram estatisticamente significativos, por isso não foram apresentadas equações de regressão para essas variáveis (Tabela 3).

Na tabela 3 são apresentadas as equações do modelo de regressão para cada ponto de monitoramento cuja relação com a temperatura do ar (Tar) ou precipitação (Prec) demonstrou-se estatisticamente significativa a 95%. Deve-se ressaltar que na análise de regressão múltipla nenhum ponto (com exceção do ponto 3 para OD, Ponto 4 para ST e

ponto 9 para EC) apresentou um modelo estatisticamente significativo para as variáveis precipitação e temperatura simultaneamente. Assim, primeiramente foi feita a regressão múltipla considerando as duas variáveis e, após verificar qual era estatisticamente significativas, aplicou-se uma regressão simples somente com as variáveis significativa. Assim na Tabela 3 constam as equações separadas para cada variável e a Tabela 4 constam os valores de  $R^2$  das equações.

Pode-se notar na Tabela 4 que os valores de  $R^2$  são acima de 0,5 para os modelos de regressão entre a temperatura da água e a temperatura do ar em praticamente todos os pontos monitorados (com exceção dos pontos 14 e 16).

Tabela 3 – Equações de regressão múltipla entre os parâmetros de qualidade da água dos pontos de monitoramento da bacia e as variáveis meteorológicas.

Pontos de Monitoramento	Oxigênio Dissolvido (OD)	<i>Escherichia Coli</i> (EC)	DBO	Fósforo Total (PT)	Temperatura da água (TA)	Turbidez (Turb)	Sólidos Totais (ST)
Ponto 1 – RD035	OD=10,965-0,130* <i>Tar</i>	EC=-28054,360 + 1710,240* <i>Tar</i>	-	PT=-0,0225+0,004* <i>Tar</i>	TA= 5,419+0,805* <i>Tar</i>	Turb=138,28+20,10* <i>Prec</i>	ST=132,300+12,04* <i>Prec</i>
Ponto 2 – RD034	OD=11,914-0,173* <i>Tar</i>	-	-	-	TA= 4,638+0,836* <i>Tar</i>	Turb=28,291+8,236* <i>Prec</i>	ST=73,881+8,878* <i>Prec</i>
Ponto 3 – RD031	OD=11,358-0,142* <i>Tar</i> +0,021* <i>Prec</i> OD=11,333-0,139* <i>Tar</i> OD=7,883+0,016* <i>Prec</i>	-	-	-	TA= 4,054+0,869* <i>Tar</i>	Turb=27,521+6,958* <i>Prec</i>	ST=73,197+7,006* <i>Prec</i>
Ponto 4 – RD032	OD=11,365-0,135* <i>Tar</i>	EC=1887,531+439,391* <i>Prec</i>	-	PT=0,037+0,003* <i>Prec</i>	TA= 3,903+0,922* <i>Tar</i>	Turb=6,000+10,402* <i>Prec</i>	ST=-18,737+3,097* <i>Tar</i> + 5,268* <i>Prec</i> ST=-22,501+3,788* <i>Tar</i> ST=52,225+4,369* <i>Prec</i>
Ponto 5 – RD030	OD=10,854-0,131* <i>Tar</i>	EC=8886,409+2315,695* <i>Prec</i>	DBO=2,675+0,0718* <i>Prec</i>	-	TA= 4,992+0,835* <i>Tar</i>	Turb=37,748+20,748* <i>Prec</i>	ST=106,380+18,744* <i>Prec</i>
Ponto 7 – RD029	OD=11,384-0,153* <i>Tar</i>	-	-	PT=0,0399+0,002* <i>Prec</i>	TA= 4,623+0,856* <i>Tar</i>	Turb=16,140+5,261* <i>Prec</i>	ST=60,933+4,879* <i>Prec</i>
Ponto 8 – RD076	OD=11,201-0,131* <i>Tar</i>	EC=3733,277+598,011* <i>Prec</i>	DBO=1,9953+0,003* <i>Prec</i>	PT=0,0350+0,002* <i>Prec</i>	TA= 4,172+0,848* <i>Tar</i>	Turb=14,075+3,647* <i>Prec</i>	ST=52,321+3,774* <i>Prec</i>
Ponto 9 – RD026	OD=10,292-0,123* <i>Tar</i>	EC=13785,382+1121,649* <i>Tar</i> +556,383* <i>Prec</i> EC=10312,914+625,070* <i>Prec</i> EC= -18721,337+1447,845* <i>Tar</i>	-	-	TA= 5,256+0,828* <i>Tar</i>	Turb=29,313+3,951* <i>Prec</i>	ST= 57,711+2,283* <i>Prec</i>
Ponto 10 – RD027	OD=10,610-0,126* <i>Tar</i>	-	-	PT=0,0260+0,001* <i>Prec</i>	TA= 4,543+0,804* <i>Tar</i>	Turb=12,936+2,628* <i>Prec</i>	ST=52,057+1,270* <i>Prec</i>
Ponto 11 – RD025	OD=11,019-0,140* <i>Tar</i>	EC=7194,208+178,487* <i>Prec</i>	-	PT=0,0347+0,001* <i>Prec</i>	TA= 3,585+0,846* <i>Tar</i>	Turb=38,468+ 7,569* <i>Prec</i>	ST=52,174+3,694* <i>Prec</i>
Ponto 14 – RD075	OD=12,543-0,206* <i>Tar</i>	EC=6080,710+714,756* <i>Prec</i>	-	PT=0,0230+0,002* <i>Prec</i>	TA= 8,511+0,603* <i>Tar</i>	Turb=17,280+7,176* <i>Prec</i>	ST=35,919+3,516* <i>Prec</i>
Ponto 15 – RD074	OD=10,731-0,129* <i>Tar</i>	-	-	-	TA= 4,270+0,896* <i>Tar</i>	-	-
Ponto 16 – RD099	OD=11,860-0,194* <i>Tar</i>	-	-	-	TA= 10,20+0,627* <i>Tar</i>	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

*Tar* = Temperatura do ar, *Prec* = Precipitação.

Tabela 4 – Valores do R<sup>2</sup> ajustado para as equações de regressão.

Pontos de Monitoramento	Oxigênio Dissolvido (OD)	<i>Escherichia Coli</i> (EC)	DBO	Fósforo Total (PT)	Temperatura da água (TA)	Turbidez (Turb)	Sólidos Totais (ST)
Ponto 1 – RD035	0,30	0,04	-	0,03	0,58	0,02	0,08
Ponto 2 – RD034	0,48	-	-	-	0,62	0,37	0,56
Ponto 3 – RD031	0,41 0,39 0,01	-	-	-	0,66	0,29	0,17
Ponto 4 – RD032	0,35	0,16	-	0,10	0,70	0,54	0,50 0,06 0,46
Ponto 5 – RD030	0,35	0,21	0,11	-	0,60	0,28	0,26
Ponto 7 – RD029	0,41	-	-	0,14	0,69	0,37	0,15
Ponto 8 – RD076	0,47	0,18	0,32	0,33	0,55	0,39	0,41
Ponto 9 – RD026	0,32	0,26 0,11 0,20	-	-	0,71	0,28	0,38
Ponto 10 – RD027	0,33	-	-	0,14	0,63	0,15	0,25
Ponto 11 – RD025	0,37	0,05	-	0,07	0,70	0,04	0,12
Ponto 14 – RD075	0,18	0,08	-	0,15	0,12	0,21	0,18
Ponto 15 – RD074	0,38	-	-	-	0,69	-	-
Ponto 16 – RD099	0,16	-	-	-	0,10	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Pode-se notar na Tabela 4 que em aproximadamente 85% dos pontos de monitoramento analisados a temperatura do ar explica no mínimo 60% da variabilidade da temperatura da água e no mínimo 30% da variabilidade do oxigênio dissolvido.

Analisando os dados simulados para o cenário futuro em dois períodos (2039-2070 e 2069-2099), a precipitação tende a apresentar a maior diminuição nos pontos 12, 13 e 16, conforme a Tabela 5, que apresenta os valores de precipitação e temperatura no cenário atual e a diferença em relação ao cenário futuro. Considerando todos os pontos a precipitação deve reduzir em média (considerando um período de 30 anos) de 1,97 mm/mês no período de 2039-2070 e 2,43 mm/mês no período de 2069-2099. Já a temperatura do ar tende a aumentar de forma considerável nos pontos 01, 02 e 04, apresentando um aumento médio de 3,96 °C de 2039-2070 e 6,28 °C de 2069-2099. Na Tabela 5 são apresentados os valores para cada ponto de monitoramento da bacia.

Tabela 5 – Valores médios do parâmetro precipitação (mm/mês) e temperatura (°C) em um cenário histórico e valores da diferença para o cenário futuro em dois períodos.

	Cenário Histórico (1960-1991)		Dif. Futuro 1 (2039-2070)		Dif. Futuro 2 (2069-2099)	
	Prec	Temp	Prec	Temp	Prec	Temp
Ponto 1	3,34	23,92	-1,48	+4,27	-1,91	+6,62
Ponto 2	3,83	23,71	-1,73	+4,29	-2,21	+6,64
Ponto 3	3,88	22,89	-1,64	+4,17	-2,13	+6,47
Ponto 4	4,73	22,16	-2,09	+4,24	-2,67	+6,60
Ponto 5	4,37	21,27	-1,81	+4,13	-2,26	+6,48
Ponto 6	3,94	19,93	-1,63	+4,08	-2,04	+6,39
Ponto 7	4,36	21,26	-1,81	+4,13	-2,26	+6,48
Ponto 8	2,31	23,61	-1,18	+2,24	-1,51	+3,82
Ponto 9	4,12	20,25	-1,67	+4,11	-2,05	+6,44
Ponto 10	4,14	19,81	-1,73	+4,10	-2,10	+6,46
Ponto 11	5,33	21,32	-2,25	+4,04	-2,74	+6,45
Ponto 12	5,61	20,04	-2,48	+3,95	-2,97	+6,34
Ponto 13	6,27	20,12	-2,84	+3,88	-3,39	+6,30
Ponto 14	5,15	20,17	-2,14	+3,95	-2,56	+6,34
Ponto 15	5,69	20,18	-2,33	+3,87	-2,83	+6,27
Ponto 16	6,21	19,80	-2,72	+3,92	-3,28	+6,32

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Os valores das projeções apresentados acima, considerando um cenário histórico e futuro, são uma média mensal para intervalo de 30 anos. Assim, considerou-se a média do pixel da área (latitude e longitude) no ponto mais próximo da coleta.

É importante destacar que o modelo utilizado para as projeções possui incertezas, no entanto, é o único disponível para região sudeste do Brasil, com resolução de 5km e o cenário por apresentar avaliações atuais de concentração dos GEEs na atmosfera e representa o clima presente.

### **Oxigênio Dissolvido (OD)**

Conforme dados apresentados na Tabela 3, o OD apresentou uma relação direta com a temperatura do ar em todos os pontos de monitoramento, apesar de serem variáveis inversamente proporcionais, o que significa que o aumento de temperatura resulta em uma diminuição do OD, em função da solubilidade do oxigênio na água.

Tabela 6 – Valores do parâmetro Oxigênio Dissolvido (mg/L) para os cenários presente e futuro no médio e longo prazo.

Pontos de Monitoramento	Variáveis independentes	Presente	Futuro1	Futuro 2	%	%
					Diferença (Presente – Futuro 1)	Diferença (Presente – Futuro 2)
Ponto 1 – RD035	Temperatura	7,85	7,30	7,00	-7,07	-10,96
	Precipitação	-	-	-	-	-
Ponto 2 – RD034	Temperatura	7,81	7,07	6,66	-9,50	-14,70
	Precipitação	-	-	-	-	-
Ponto 3 – RD031	Temperatura	8,15	7,57	7,25	-7,11	-11,03
	Precipitação	7,94	7,92	7,91	-0,33	-0,43
Ponto 4 – RD032	Temperatura	8,37	7,80	7,48	-6,85	-10,64
	Precipitação	-	-	-	-	-
Ponto 5 – RD030	Temperatura	8,07	7,53	7,22	-6,71	-10,52
	Precipitação	-	-	-	-	-
Ponto 7 – RD029	Temperatura	8,13	7,50	7,14	-7,77	-12,19
	Precipitação	-	-	-	-	-
Ponto 8 – RD076	Temperatura	8,11	7,81	7,61	-3,62	-6,17
	Precipitação	-	-	-	-	-
Ponto 9 – RD026	Temperatura	7,80	7,29	7,01	-6,48	-10,15
	Precipitação	-	-	-	-	-
Ponto 10 – RD027	Temperatura	8,11	7,60	7,30	-6,37	-10,03
	Precipitação	-	-	-	-	-
Ponto 11 – RD025	Temperatura	8,03	7,47	7,13	-7,04	-11,24
	Precipitação	-	-	-	-	-
Ponto 14 – RD075	Temperatura	8,39	7,57	7,08	-9,70	-15,57
	Precipitação	-	-	-	-	-
Ponto 15 – RD074	Temperatura	8,13	7,63	7,32	-6,14	-9,95
	Precipitação	-	-	-	-	-
Ponto 16 – RD099	Temperatura	8,02	7,26	6,79	-9,48	-15,29
	Precipitação	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Na Tabela 6 é possível verificar os valores de OD, a partir dos dados simulados de precipitação e temperatura do ar, considerando o cenário histórico ou presente (1960-1991), futuro 1 (2039-2070) e futuro 2 (2069-2099) nas equações de regressão para os pontos de monitoramento. A porcentagem da diferença na Tabela 5 expressa a mudança projetada, ou seja, a magnitude de variação do oxigênio dissolvido em cada ponto de monitoramento em um período de médio e longo prazo.

Não foram obtidos valores de projeção para os pontos de monitoramento 6, 12 e 13, pelo motivo exposto anteriormente de que os dados não foram suficientes para o cálculo de correlação e o desenvolvimento da análise de regressão.

Segundo Von Sperling (2014), o OD sofre variação em rios e lagos, devido às modificações das características ambientais causadas pelas alterações climáticas ou intervenções antrópicas. De forma geral, dentre os demais parâmetros avaliados, o OD foi um dos que mais apresentou correlação com a variável meteorológica temperatura do ar, indicando valores inversamente proporcionais. Segundo Varol (2020), as variações no fluxo da água e temperatura do ar resultam em alterações dos parâmetros de qualidade da água, incluindo o OD.

O OD apresentou em todos os pontos redução mínima aproximada de 6% no médio prazo e de 10% a longo prazo, com exceção do ponto 8 que apresentou valores de aproximadamente 4% no médio prazo e de 6% a longo prazo (Tabela 6). Esses resultados corroboram com o que foi encontrado por Yaghouti, *et al.* (2022), que em cenários futuros, o aumento da temperatura do ar resulta na diminuição dos valores de oxigênio dissolvido.

As variações nos pontos 14 e 16 foram as mais significativas em relação aos outros pontos, com reduções mínimas de 9% do OD no médio prazo e 15% a longo prazo (Tabela 6). Esses pontos estão localizados, respectivamente, nas cidades de Alvinópolis e Catas Altas. Estas variações podem estar relacionadas com a localização geográfica e as atividades desenvolvidas pela população na área, pois estão na região de cabeceira do rio Piracicaba, destacada como área crítica de maior fragilidade emergente, causadas pelas intervenções antrópicas desenvolvidas na região (SUTIL *et al.* 2020). Além dos eventos extremos, como os processos erosivos, que trazem alterações na qualidade da água, conforme será demonstrado na seção 5.1 dos resultados desse trabalho.

Já o ponto 2, que também apresentou resultado significativo, com 9% de redução do OD no médio prazo e 14% a longo prazo (Tabela 6), está localizado na cidade de Timóteo (ao lado de Ipatinga), próximo a foz do rio Piracicaba, onde encontra-se instalado uma das maiores siderúrgicas da bacia hidrográfica e apresentando uma grande área coberta pela ocupação urbana (Figura 2).

Deve-se destacar que no ponto 3 além de redução do OD devido a temperatura, haverá a contribuição do déficit de precipitação no futuro acentuando ainda mais essa redução do OD, embora seja uma pequena diferença percentual (Tabela 6). Esse foi o único ponto que apresentou uma relação entre o OD e a precipitação (Tabela 3).

O OD é afetado pelas atividades antrópicas que são desenvolvidas ao longo da bacia, como a falta de saneamento básico com lançamento de efluente industriais e domésticos e as variáveis climáticas, como a temperatura, que influencia diretamente na solubilidade do oxigênio, sendo este aspecto de grande relevância para biota aquática. Por isso, esse parâmetro é considerado um indicador de degradação da qualidade da água devido ao uso do oxigênio durante o processo de degradação da matéria orgânica, resultante da poluição hídrica.

Segundo Toledo (2001), a presença de áreas urbanas (grandes centros) é considerada uma fonte pontual e o responsável pela redução na concentração do OD, determinada pelo lançamento da grande quantidade de esgoto doméstico e industrial. Além disso, os centros urbanos também podem contribuir com fontes difusas de contaminação, a partir de extensas áreas impermeabilizadas e o escoamento superficial resultante disso.

A previsão da redução da concentração de OD no cenário futuro nos dois períodos devido ao aumento da temperatura também pode afetar diretamente a capacidade dos cursos hídricos de receber aporte de cargas orgânicas. Esse fato, somado ao aumento da vazão de esgoto a partir do crescimento populacional, merece atenção, uma vez que pode representar um desafio para as concessionárias de saneamento, relacionando à necessidade de aumento da eficiência de remoção de matéria orgânica.

### ***Escherichia coli* (EC)**

De acordo com as Tabelas 2 e 3 os pontos 1 e 9 apresentaram valores de correlação significativos e diretamente proporcionais para o parâmetro EC com a variável temperatura do ar, sendo que o modelo de regressão para esses pontos permitiu a análise da projeção futura para este parâmetro, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 – Valores do parâmetro *Escherichia coli* (NMP/100mL) para os cenários presente e futuro no médio e longo prazo.

Pontos de Monitoramento	Variáveis independentes	Presente	Futuro 1	Futuro 2	%	%
					Diferença (Presente – Futuro 1)	Diferença (Presente – Futuro 2)
Ponto 1 – RD035	Temperatura	1,28x10 <sup>4</sup>	2,02x10 <sup>4</sup>	2,42x10 <sup>4</sup>	56,81	88,08
	Precipitação	-	-	-	-	-
Ponto 4 – RD032	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	3,96x10 <sup>3</sup>	3,05x10 <sup>3</sup>	2,79x10 <sup>3</sup>	-23,16	-29,58
Ponto 5 – RD030	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	1,90x10 <sup>4</sup>	1,48x10 <sup>4</sup>	1,37x10 <sup>4</sup>	-22,08	-27,57
Ponto 8 – RD076	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	5,11x10 <sup>3</sup>	4,41x10 <sup>3</sup>	4,21x10 <sup>3</sup>	-13,80	-17,65
Ponto 9 – RD026	Temperatura	1,06x10 <sup>4</sup>	1,65x10 <sup>4</sup>	1,99x10 <sup>4</sup>	56,15	87,98
	Precipitação	1,29x10 <sup>4</sup>	1,18x10 <sup>4</sup>	1,16x10 <sup>4</sup>	-8,10	-9,94
Ponto 11 – RD025	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	8,14x10 <sup>3</sup>	7,74x10 <sup>3</sup>	7,66x10 <sup>3</sup>	-4,93	-6,00
Ponto 14 – RD075	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	9,76x10 <sup>3</sup>	8,23x10 <sup>3</sup>	7,93x10 <sup>3</sup>	-15,67	-18,74

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A variável temperatura tem influência sobre esse parâmetro, uma vez que à medida que a temperatura aumenta, aumenta também a sobrevivência destes organismos no ambiente. Já a precipitação, apresentou correlação positiva com EC, possivelmente devido à geração de contaminação difusa oriunda do escoamento superficial. Contudo, em função da redução da precipitação prevista nos cenários futuros, a concentração de EC em vários pontos tende a reduzir.

Os valores projetados para o parâmetro EC em dois pontos de monitoramento (1 e 9) devido às mudanças na temperatura do ar indicam aumento de no mínimo 56% no médio prazo e 88% no longo prazo. Os demais pontos indicam redução desse parâmetro devido a mudanças na precipitação de no mínimo 8% no médio prazo e 10% no longo prazo, com exceção do ponto 11, o qual apresentou uma redução menor entre os demais pontos, de 5% no médio prazo e 6% no longo prazo. Deve-se ressaltar a importância da análise em cada ponto de monitoramento tendo em vista que o impacto das mudanças climáticas pode variar de local para local.

O rio Piracicaba é impactado pelo recebimento de esgoto doméstico sem tratamento. As cidades que possuem ETE's, operam em tratamento secundário, com objetivo de remover matéria orgânica. Logo, os organismos patogênicos não são removidos em grande quantidade.

Em cenários futuros no médio e longo prazo, é notável a diminuição da EC em até 29% devido a variação na precipitação e o aumento da EC em até 88% considerando as mudanças na temperatura, conforme apresentado na Tabela 7. Além disso, apesar das variações, não foi possível observar alteração de unidade logarítmica em nenhum dos pontos (Tabela 7), assim, pode-se concluir que as variações são reduzidas.

Assim, além das influências climáticas nas variações da EC, os processos de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Piracicaba, que possui como principal ocupação econômica, a siderurgia, celulose e mineração de ferro, também são determinantes, com destaque também para o lançamento *in natura* de esgoto no corpo d'água, o que contribui para a deterioração do recurso hídrico devido às elevadas concentrações de sólidos e microrganismos.

### **Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)**

Na Tabela 8 pode-se verificar as projeções futuras para a DBO, tendo em vista que somente dois pontos de monitoramento apresentaram um modelo de regressão significativo com a precipitação (Tabela 3), sendo que nesses pontos também se verificou correlações significativas e diretamente proporcionais entre a DBO e a precipitação (Tabela 2).

Com relação as projeções futuras, a DBO deve sofrer uma redução de 4,35% no médio prazo e 5,43% no longo prazo para o ponto 5 e de 0,18% no médio prazo e 0,23% no longo prazo para o ponto 8 (Tabela 8). Essa redução ocorre porque a precipitação no cenário futuro terá uma redução projetada de 43,01% no médio prazo e 53,06% no longo prazo (Tabela 5). Além disso, a sensibilidade da DBO devido a alterações na precipitação é baixa, embora estatisticamente significativa, conforme pode-se verificar no modelo de regressão para o ponto 5 e 8 (Tabela 3).

Apesar dos baixos valores encontrados na Tabela 8 para o cenário futuro, é importante destacar que a DBO é um parâmetro utilizado como indicador de poluição nas águas e possui relação com o oxigênio dissolvido, visto que quanto maior o nível de

matéria orgânica a ser degradada, maior será o uso de oxigênio dissolvido presente na água.

Tabela 8 – Valores do parâmetro DBO (mg/L) para os cenários presente e futuro no médio e longo prazo.

Pontos de Monitoramento	Variáveis independentes	Presente	Futuro1	Futuro 2	%	%
					Diferença (Presente – Futuro 1)	Diferença (Presente – Futuro 2)
Ponto 5 – RD030	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	2,99	2,86	2,83	-4,35	-5,43
Ponto 8 – RD076	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	2,00	1,99	1,99	-0,18	-0,23

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Segundo a ANA (2018), este parâmetro está diretamente ligado aos índices de oxigênio dissolvido na água, visto que, para oxidação da matéria orgânica presente em um corpo hídrico, utiliza-se uma quantidade de oxigênio, o que influenciará nos valores do parâmetro em análise. O uso e ocupação do solo dentro da bacia é uma das atividades que está ligada com a presença de matéria orgânica nas águas superficiais, além disso, existem outras atividades que são desenvolvidas na área e que influenciam na qualidade do recurso hídrico, conforme mencionado anteriormente (MELLO *et al.*, 2020).

### **Fósforo Total (PT)**

A relação do parâmetro fósforo total com a variável temperatura do ar, conforme Tabelas 2, 3 e 9, demonstrou-se estatisticamente significativa apenas no ponto 1 da bacia, sendo que é projetado um aumento expressivo nesse parâmetro de 23% no médio prazo e 36% no longo prazo (Tabela 9), acompanhando o aumento médio projetado de temperatura de 3,96°C no médio prazo e 6,28°C no longo prazo (Tabela 5). O estudo de Toné e Neto (2020) corrobora com esses resultados. Os autores encontraram que com o aumento da temperatura do ar os índices de fósforo em rios tendem a aumentar, apresentando variações positivas.

Tabela 9 – Valores do parâmetro Fósforo Total (mg/L) para os cenários presente e futuro no médio e longo prazo.

Pontos de Monitoramento	Variáveis independentes	Presente	Futuro1	Futuro 2	%	%
					Diferença (Presente – Futuro 1)	Diferença (Presente – Futuro 2)
Ponto 1 – RD035	Temperatura	0,073	0,090	0,099	23,34	36,18
	Precipitação	-	-	-	-	-
Ponto 4 – RD032	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	0,051	0,045	0,043	-12,25	-15,65
Ponto 7 – RD029	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	0,049	0,045	0,044	-7,45	-9,30
Ponto 8 – RD076	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	0,040	0,037	0,037	-5,96	-7,62
Ponto 10 – RD027	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	0,030	0,028	0,028	-5,74	-6,97
Ponto 11 – RD025	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	0,040	0,038	0,037	-5,62	-6,84
Ponto 14 – RD075	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	0,033	0,029	0,028	-12,85	-15,38

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Em se tratando da relação com a variável precipitação não foi diferente, pois na Tabela 9 pode-se verificar que o fósforo total deve sofrer reduções de no mínimo 5% no médio prazo e 6% no longo prazo, acompanhando a redução média projetada para a variável precipitação nos pontos analisados (Tabela 5).

As atividades agrícolas com o uso de fertilizantes, o lançamento de efluentes industriais e domésticos e os processos erosivos com presença de fósforo nos solos e sedimentos, são as principais atividades que influenciam na variação da concentração deste parâmetro.

Assim, é notável a diminuição da concentração do fósforo total em um cenário de redução da precipitação, uma vez que a diminuição de escoamento superficial resulta em um menor arraste de partículas e sedimentos com presença de fósforo para o rio.

Portanto, a presença do fósforo no rio justifica-se pela presença de duas fontes, a de origem natural, através da decomposição da matéria orgânica e de rochas, pelos processos erosivos e, origem antrópica, pelo lançamento de efluentes e esgotos domésticos de forma *in natura* no percurso do rio, com presença de detergentes e pela

utilização de fertilizantes na agricultura que está presente em toda área da bacia do rio Piracicaba (ANA, 2018 e CETESB, 2019). Abell *et al.* (2011) chamam a atenção para a necessidade do uso racional de fertilizantes na agricultura, como estratégia de controle e limitação no transporte de fósforo e outros nutrientes pelas águas superficiais ao longo do rio.

### Temperatura da Água (TA)

A temperatura da água, juntamente com o OD, foi a variável que apresentou correlações e modelos de regressão significativos com a temperatura do ar em todos os pontos de monitoramento (Tabelas 2 e 3). A Tabela 10 apresenta as projeções futuras para esta variável, considerando as alterações projetadas para a temperatura do ar (Tabela 5).

A temperatura da água deve aumentar, acompanhando o aumento na temperatura do ar devido ao aquecimento global, sendo este um aumento de no mínimo 11% no médio prazo e no mínimo 17% no longo prazo, com exceção do ponto 8 que apresentou valor de no mínimo 7% no médio prazo e 13% no longo prazo (Tabela 10).

Tabela 10 – Valores do parâmetro Temperatura da água (°C) para os cenários presente e futuro no médio e longo prazo.

Pontos de Monitoramento	Variáveis independentes	<i>Presente</i>	<i>Futuro1</i>	<i>Futuro 2</i>	%	%
					<i>Diferença (Presente – Futuro 1)</i>	<i>Diferença (Presente – Futuro 2)</i>
<i>Ponto 1 – RD035</i>	Temperatura	24,67	28,11	30,00	13,93	21,60
	Precipitação	-	-	-	-	-
<i>Ponto 2 – RD034</i>	Temperatura	24,46	28,05	30,01	14,66	22,69
	Precipitação	-	-	-	-	-
<i>Ponto 3 – RD031</i>	Temperatura	23,94	27,57	29,57	15,13	23,48
	Precipitação	-	-	-	-	-
<i>Ponto 4 – RD032</i>	Temperatura	24,33	28,25	30,42	16,10	25,01
	Precipitação	-	-	-	-	-
<i>Ponto 5 – RD030</i>	Temperatura	22,75	26,20	28,16	15,16	23,78
	Precipitação	-	-	-	-	-
<i>Ponto 7 – RD029</i>	Temperatura	22,82	26,36	28,37	15,49	24,31
	Precipitação	-	-	-	-	-
<i>Ponto 8 – RD076</i>	Temperatura	24,19	26,09	27,43	7,85	13,39
	Precipitação	-	-	-	-	-
<i>Ponto 9 – RD026</i>	Temperatura	22,02	25,43	27,35	15,45	24,21
	Precipitação	-	-	-	-	-

<i>Ponto 10 – RD027</i>	Temperatura	20,47	23,77	25,66	16,10	25,37
	Precipitação	-	-	-	-	-
<i>Ponto 11 – RD025</i>	Temperatura	21,62	25,04	27,08	15,81	25,24
	Precipitação	-	-	-	-	-
<i>Ponto 14 – RD075</i>	Temperatura	20,67	23,01	24,50	11,52	18,49
	Precipitação	-	-	-	-	-
<i>Ponto 15 – RD074</i>	Temperatura	22,35	25,82	27,97	15,51	25,13
	Precipitação	-	-	-	-	-
<i>Ponto 16 – RD099</i>	Temperatura	22,61	25,07	26,58	10,87	17,52
	Precipitação	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Yaghouti *et al.* (2022) explicam que durante o processo de estratificação térmica, com o aumento da temperatura do ar, conseqüentemente poderá acentuar o aumento da temperatura da água superficial de um rio. Além disso, com a estratificação, a diferença de densidade ao longo da coluna d'água pode dificultar a sedimentação de nutrientes, fazendo com que eles fiquem mais tempo na superfície, favorecendo o processo de eutrofização.

O aumento da temperatura pode trazer diversas conseqüências, como interferência na detecção de contaminantes emergentes (ZHU *et al.*, 2021) e aumento das doenças patogênicas, causadas por vírus, bactérias e parasitas (HERRADOR *et al.*, 2021). Além disso, com a estratificação, a diferença de densidade ao longo da coluna d'água pode dificultar a sedimentação de nutrientes, fazendo com que eles fiquem mais tempo na superfície, favorecendo o processo de eutrofização. Assim, considerando o cenário futuro no médio e longo prazo, o aumento da temperatura do ar, pode resultar em uma menor lâmina líquida devido maior a evaporação e o aquecimento da água do rio.

### **Turbidez (Turb)**

Em relação a turbidez, todos os pontos de monitoramento, com exceção dos pontos 15 e 16, apresentaram modelos de regressão significativos com a precipitação (Tabela 3). As projeções para o cenário futuro no médio e longo prazo e são apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11 – Valores do parâmetro Turbidez (UNT) para os cenários presente e futuro no médio e longo prazo.

Pontos de Monitoramento	Variáveis independentes	Presente	Futuro1	Futuro 2	%	%
					Diferença (Presente – Futuro 1)	Diferença (Presente – Futuro 2)
Ponto 1 – RD035	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	205,41	175,67	167,02	-14,48	-18,69
Ponto 2 – RD034	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	59,83	45,59	41,63	-23,81	-30,42
Ponto 3 – RD031	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	54,52	43,11	39,70	-20,93	-27,18
Ponto 4 – RD032	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	55,20	33,46	27,43	-39,38	-50,31
Ponto 5 – RD030	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	128,21	90,65	81,32	-29,29	-36,57
Ponto 7 – RD029	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	39,08	29,55	27,19	-24,37	-30,43
Ponto 8 – RD076	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	22,50	18,20	17,00	-19,13	-24,48
Ponto 9 – RD026	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	45,59	38,99	37,49	-14,47	-17,77
Ponto 10 – RD027	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	23,82	19,27	18,30	-19,09	-23,17
Ponto 11 – RD025	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	78,81	61,78	58,07	-21,61	-26,32
Ponto 14 – RD075	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	54,24	38,88	35,86	-28,31	-33,87

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Os valores de turbidez devem sofrer redução, acompanhando as reduções médias projetadas na precipitação, de no mínimo 19% no médio prazo e no mínimo 23% no longo prazo, com exceção dos pontos 1 e 9 que apresentaram valores de diminuição de no mínimo 14% no médio prazo e 17% no longo prazo (Tabela 11). Destaca-se o ponto 4, o qual apresentou a maior redução entre os demais pontos, 39% no médio prazo e 50% no longo prazo.

A turbidez é uma variável sensível a precipitação, sendo influenciada de forma direta pela presença de sólidos em suspensão, uma vez que esta é medida em termos da coluna d'água com a presença dessas substâncias (ANA, 2021).

## Sólidos Totais (ST)

Assim como a turbidez, os sólidos totais estão diretamente relacionados à variação da precipitação em todos os pontos, com exceção dos pontos 15 e 16 (Tabelas 2 e 3). Em termos de projeção futura, conforme a Tabela 12, este parâmetro deve sofrer redução de no mínimo 10% no médio prazo e no mínimo 13% no longo prazo, com exceção dos pontos 8, 9 e 10 que apresentaram valores de diminuição aproximadamente de no mínimo 4% no médio prazo e 5% no longo prazo.

Tabela 12 – Valores do parâmetro Sólidos Totais (mg/L) para os cenários presente e futuro no médio e longo prazo.

Pontos de Monitoramento	Variáveis independentes	Presente	Futuro1	Futuro 2	% Diferença (Presente – Futuro 1)	% Diferença (Presente – Futuro 2)
Ponto 1 – RD035	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	172,51	154,69	149,52	-10,33	-13,33
Ponto 2 – RD034	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	107,88	92,52	88,26	-14,24	-18,19
Ponto 3 – RD031	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	100,38	88,89	85,46	-11,45	-14,87
Ponto 4 – RD032	Temperatura	61,44	77,54	86,44	26,20	40,69
	Precipitação	72,89	63,76	61,22	-12,53	-16,00
Ponto 5 – RD030	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	188,10	154,18	145,74	-18,04	-22,52
Ponto 7 – RD029	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	82,20	73,37	71,18	-10,74	-13,41
Ponto 8 – RD076	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	60,97	56,55	55,32	-7,25	-9,27
Ponto 9 – RD026	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	67,12	63,30	62,44	-5,68	-6,97
Ponto 10 – RD027	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	57,31	55,12	54,65	-3,83	-4,65
Ponto 11 – RD025	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	71,86	63,55	61,74	-11,57	-14,08
Ponto 14 – RD075	Temperatura	-	-	-	-	-
	Precipitação	54,03	46,50	45,02	-13,93	-16,66

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Além disso, os valores de concentração do parâmetro, podem sofrer variações mediante cada região (ZHU *et al.*, 2021) devido às atividades desenvolvidas e tipo de uso do solo (MISHRA, ALNAHIT e CAMPBELL, 2021).

O ponto 4 apresenta relação tanto com a variável temperatura do ar, sendo projetado um aumento dos sólidos totais de 26% no médio prazo e 41% no longo prazo, quanto com a precipitação, sendo projetado, neste caso, uma diminuição dos ST de 12,53% no médio prazo e 16% no longo prazo. Segundo Varol (2020), o aumento da temperatura resulta na alteração dos valores de sólidos totais de um corpo hídrico, trazendo alterações ambientais na região. Como são projetadas mudanças climáticas no ponto 4, tanto devido à precipitação, como a temperatura, e estas mudanças são opostas, o saldo de variações nos sólidos totais pode ser difícil de determinar.

No caso de chuvas extremas, o assoreamento de rios e lagos, resultado da deposição de sólidos totais ao longo das margens do corpo hídrico, causa impactos negativos na fauna e flora, incluindo os microrganismos existentes na água, alterando a qualidade da água (FREIRE, 2014).

Além disso, conforme alguns estudos, o transporte de sedimentos contaminados durante eventos de chuvas e enchentes, acarreta contaminação de rios e lagos por armazenarem em determinados pontos, sedimentos contaminados com corantes e contaminantes emergentes (ZHU *et al.*, 2021), podendo levar a eutrofização do corpo d'água (LI *et al.*, 2018) sendo necessário aplicar algum tipo de técnica para remoção dos contaminantes, como por exemplo, a nanopartícula de sílica (JADHAV *et al.*, 2019).

Embora no futuro a projeção seja de redução da precipitação, com consequente diminuição dos ST, eventos extremos de chuva ainda devem ocorrer na região e, portanto, medidas preventivas para proteção contra o assoreamento dos rios e lagos devem ser tomadas. Da mesma forma que o parâmetro temperatura da água apresentou relação com a temperatura do ar em todos os pontos, as variáveis turbidez e sólidos totais apresentaram relação com a precipitação em todos os pontos (com exceção do 15 e 16).

Em resumo, tendo em vista as variações climáticas que ocorrerão na bacia, em termos de cenários futuros, o aumento da temperatura do ar, resultando em um clima mais quente, acarretará uma diminuição do OD (em todos os pontos de monitoramento) e aumento dos parâmetros EC (pontos 1 e 9), fósforo total (ponto 1), temperatura da água (em todos os pontos de monitoramento) e sólidos totais (ponto 4).

Em termos de precipitação, a diminuição da mesma acarretará na diminuição dos parâmetros OD (ponto 3), EC (pontos 4, 5, 8, 11 e 14), DBO (pontos 5 e 8), fósforo total

(pontos 4, 7, 8, 10, 11 e 14), turbidez (todos os pontos com exceção de 15 e 16) e sólidos totais (todos os pontos com exceção de 15 e 16).

## 5.2 Impactos dos eventos extremos na qualidade da água

Considerando o cenário futuro de mudanças climáticas na precipitação e temperatura foram identificados os dias em que a temperatura e precipitação ficaram acima do percentil 90. Na Tabela 13 são apresentados estes eventos, relativos a 899 dias considerando todos os pontos de monitoramento analisados, de modo a relacioná-los com o IQA. Deve-se ressaltar que não ocorreu nenhum dia com temperatura acima do 90 percentil que apresentou IQA muito ruim, muito bom e excelente. Por isso, na Tabela 13 essas categorias não estão presentes. Os pontos 6, 12 e 13 não tinham informações a respeito do IQA, e por isso não foram considerados nesta análise.

Tabela 13 – Eventos de temperatura do ar acima do 90 percentil e categoria do IQA para cada um dos pontos de monitoramento.

<i>Ponto</i>	<i>Período analisado</i>	<i>Total de dias</i>	<i>Número de dias com temperatura a acima do 90 percentil</i>	<i>Número de dias com temperatura acima do 90 percentil com IQA bom</i>	<i>Número de dias com temperatura acima do 90 percentil com IQA regular</i>	<i>Número de dias com temperatura acima do 90 percentil com IQA ruim</i>
1	15/02/2001 à 14/07/2020	122	38	2	20	16
2	15/02/2001 à 14/07/2020	75	18	1	15	2
3	15/02/2001 à 14/07/2020	75	15	1	14	0
4	14/02/2001 à 14/07/2020	75	5	2	3	0
5	14/02/2001 à 14/07/2020	75	3	0	1	2
7	14/02/2001 à 14/07/2020	75	3	0	3	0
8	02/10/2008 à 14/07/2020	44	3	0	3	0
9	14/02/2001 à 10/07/2020	74	0	0	0	0
10	14/02/2001 à 10/07/2020	75	0	0	0	0
11	14/02/2001 à 09/07/2020	75	3	0	3	0
14	01/10/2008 à 07/07/2020	45	1	0	1	0
15	01/10/2008 à 08/07/2020	44	0	0	0	0
16	01/10/2008 à 07/07/2020	45	2	2	0	0
<i>Total</i>		899	91	8	63	20

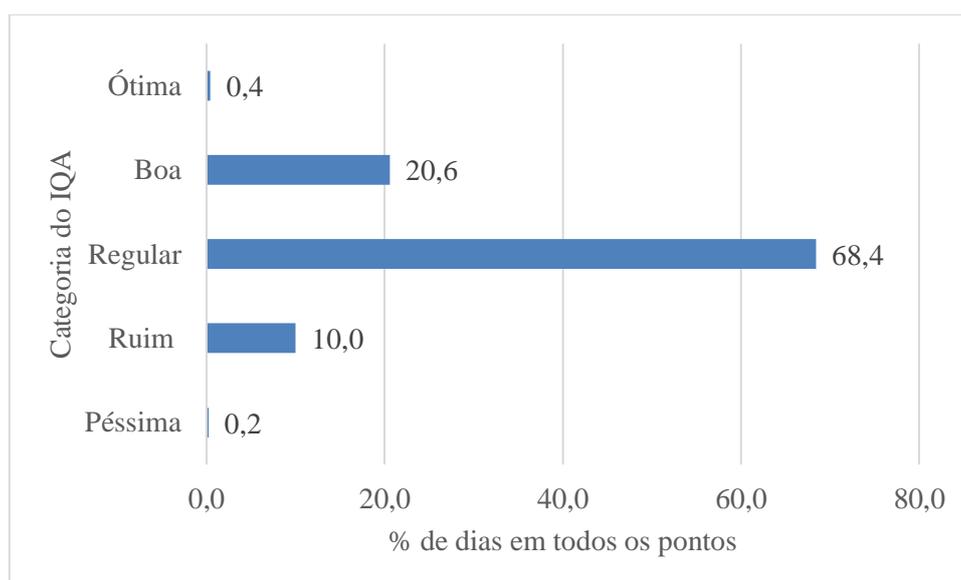
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Analisando os dados, notou-se que dos 91 dias de temperatura acima do 90 percentil, 83 apresentaram IQA ruim ou regular, ou seja, aproximadamente 91,2% das

ocorrências de dias com temperatura elevada ocorreram em dias que apresentaram IQA ruim ou regular e 8,8% com IQA bom.

Quando se considera todos os 899 dias analisados, pode-se verificar na Figura 6 que 89% dos dias apresentaram IQA regular ou bom, o que indica que, de fato, o aumento de temperatura influencia na qualidade da água.

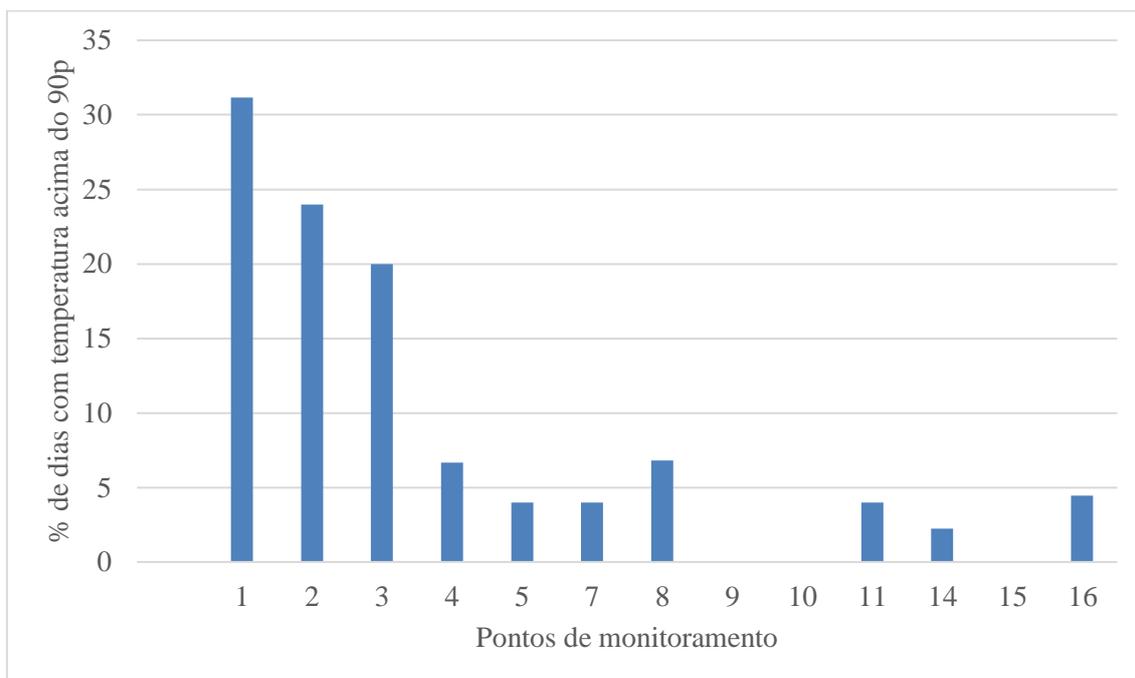
Figura 6 – Porcentagem de dias em todos os pontos de monitoramento analisados para cada categoria de IQA.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na Figura 7 é possível verificar a porcentagem de dias com temperatura acima do 90 percentil considerando o total de dias de coleta em cada ponto de monitoramento (coluna 3 da Tabela 13). Pode-se notar que a partir da estação 1 há um decréscimo na porcentagem de dias, indicando que, especialmente, as estações 1, 2 e 3 apresentam a maior ocorrência de eventos extremos de temperatura (associados também com maior número de dias com IQA regular ou ruim).

Figura 7 – Porcentagem de dias com temperatura acima do 90 percentil em cada ponto de monitoramento analisado.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Os pontos 1, 2 e 3 estão localizados em latitudes mais baixas (1° a menos do que os outros pontos – Tabela 1) e áreas de forte ocupação urbana (Figuras 2 e 5), o que favorece a maior ocorrência de eventos extremos de temperatura. Além disso, conforme visto na Tabela 5, no cenário futuro, a médio e longo prazo, os pontos 1 e 2 apresentam os maiores aumentos de temperatura.

Da mesma forma como foi feito para análise dos eventos extremos de temperatura, a Tabela 14 apresenta os eventos de precipitação acima do 90 percentil e a categoria do IQA associada a esses dias para cada ponto de monitoramento. Como mencionado anteriormente, embora no futuro a projeção seja de redução da precipitação, eventos extremos de chuva ainda devem ocorrer na bacia.

Deve-se ressaltar que, como no caso da temperatura, não ocorreu nenhum dia com precipitação acima do 90 percentil que apresentou IQA péssimo e ótimo. Por isso, na Tabela 14 essas categorias não estão presentes. Os pontos 6, 12 e 13 não foram considerados nesta análise pelo fato de não apresentarem as informações a respeito do IQA.

Tabela 14 – Eventos de precipitação acima do 90 percentil e categoria do IQA para cada um dos pontos de monitoramento.

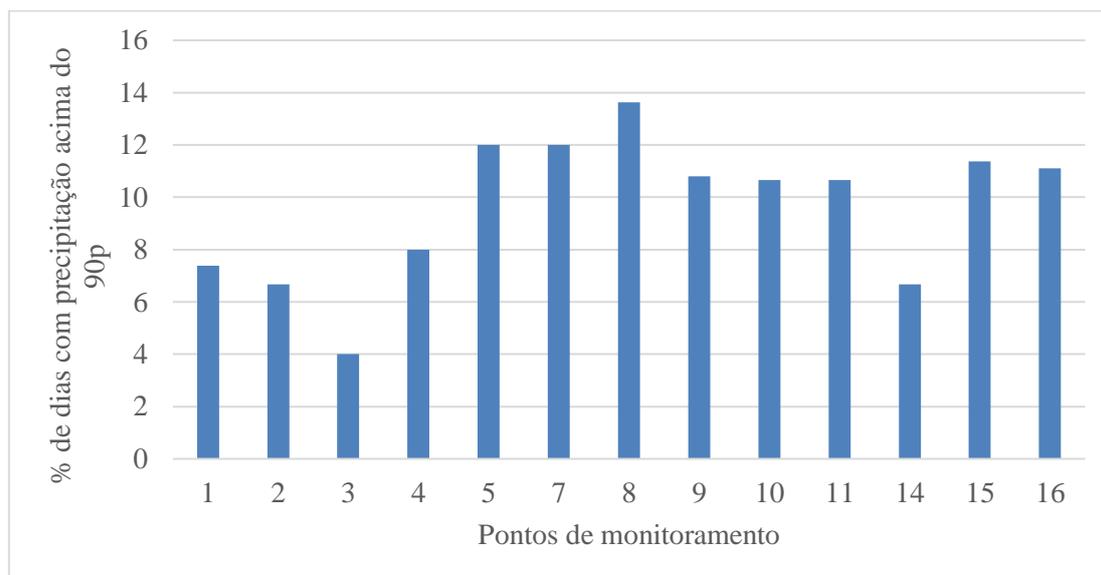
<i>Pontos</i>	<i>Período analisado</i>	<i>Total de dias</i>	<i>Número de dias com precipitação o acima do 90 percentil</i>	<i>Número de dias com precipitação acima do 90 percentil com IQA bom</i>	<i>Número de dias com precipitação acima do 90 percentil com IQA regular</i>	<i>Número de dias com precipitação o acima do 90 percentil com IQA ruim</i>
1	15/02/2001 à 14/07/2020	122	9	0	4	5
2	15/02/2001 à 14/07/2020	75	5	0	2	3
3	15/02/2001 à 14/07/2020	75	3	0	1	2
4	14/02/2001 à 14/07/2020	75	6	1	3	2
5	14/02/2001 à 14/07/2020	75	9	0	1	8
7	14/02/2001 à 14/07/2020	75	9	0	6	3
8	02/10/2008 à 14/07/2020	44	6	0	4	2
9	14/02/2001 à 10/07/2020	74	8	0	2	6
10	14/02/2001 à 10/07/2020	75	8	1	7	0
11	14/02/2001 à 09/07/2020	75	8	0	5	3
14	01/10/2008 à 07/07/2020	45	3	0	1	2
15	01/10/2008 à 08/07/2020	44	5	0	4	1
16	01/10/2008 à 07/07/2020	45	5	2	3	0
<i>Total</i>		899	84	4	43	37

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Analisando os dados, pode-se notar que houve 84 dias com precipitação extrema, sendo que 95,2% desses dias apresentaram IQA ruim ou regular e 4,8% bom (Tabela 14). Comparando com a temperatura (Tabela 13), pode-se verificar que somente o ponto 5 apresentou um número de dias com IQA ruim maior do que com IQA regular. Já no caso da precipitação, 6 dos 13 pontos apresentaram um maior número de dias com IQA ruim em relação ao IQA regular.

Na Figura 8 é possível verificar a porcentagem de dias com precipitação acima do 90 percentil considerando o total de dias de coleta em cada ponto de monitoramento (coluna 3 da Tabela 14). Pode-se notar que os pontos 1 a 4 apresentaram, de modo geral, uma menor porcentagem de ocorrência de chuvas extremas, provavelmente, porque estes se encontram próximos a foz da bacia, que é o local que apresenta a menor precipitação média anual (FONSECA, 2022).

Figura 8 – Porcentagem de dias com precipitação acima do 90 percentil em cada ponto de monitoramento analisado.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Finalmente, realizou-se uma análise de regressão múltipla *stepwise* tipo *backward* entre os todos os parâmetros de qualidade da água e climatológicos com o IQA, obtendo-se a seguinte equação:

Equação 4:

$$\text{IQA} = 1,74 - 7\text{E}+06 \times \text{EC} + 0,2 \times \text{pH} - 0,14 \times \text{Nitrato} - 1,8 \times \text{Fósforo} - 0,0003 \times \text{Sólidos Totais} - 0,029 \times \text{Temperatura do Ar} - 0,014 \times \text{Precipitação}$$

O  $R^2$  ajustado da mesma é igual a 0,33. Isso significa que a precipitação, a temperatura do ar, o nitrato, fósforo total, pH, sólidos totais e coliformes termotolerantes explicam, conjuntamente, 33% da variabilidade no índice de qualidade da água. Pode-se notar que o IQA se relaciona de modo inversamente proporcional a temperatura do ar e precipitação, o que significa que as categorias com baixos valores de IQA (0 representando – “péssimo” e 4 representando – “ótimo”, conforme Quadro 5) estão associadas, de modo geral, ao aumento da temperatura do ar e da precipitação, como visto anteriormente. Da mesma forma, ocorre com os parâmetros EC, nitrato, fósforo, e ST. Portanto, isso significa que o aumento da precipitação, temperatura do ar, EC, nitrato, fósforo e ST contribuem para a piora na qualidade da água. Somente o pH foi relacionado de forma diretamente proporcional ao IQA, o que indica que baixos valores de pH estão associados a baixos valores de categoria do IQA, ou seja, piora na qualidade da água.

### 5.3 Propostas de medidas de adaptação e mitigação

Aos órgãos ambientais da bacia do Rio Piracicaba, cabe o compromisso e responsabilidade de realizar um planejamento estratégico definindo as medidas de adaptação e mitigação, sempre priorizando as ações que são mais relevantes para controlar os riscos de maior impacto. A seguir são elencadas algumas propostas de adaptação e mitigação:

- Realizar controle das áreas que estão sofrendo ou podem sofrer erosão, a fim de controlar os impactos no OD, fósforo total, turbidez e sólidos dissolvidos;
- Aplicar técnicas de engenharia ambiental que possam auxiliar na preservação da qualidade das águas, como por exemplo, a realização de obras de infraestrutura, com objetivo de preservar o rio, como diminuição dos bancos de areia, construção das áreas de amortecimento nos períodos de cheia, recuperação das matas ciliares e criação de novas áreas a serem preservadas;
- Implementar um Sistema de Monitoramento de GEEs dentro da área da bacia, considerando as atividades antrópicas e naturais desenvolvidas ao longo da região da bacia, uma vez que as mudanças climáticas devido ao aquecimento global influenciam na qualidade da água, conforme demonstrado nesse estudo;
- Implementar um Sistema de Monitoramento Ambiental do Uso e Ocupação do Solo a nível municipal, considerando principalmente as atividades econômicas de cada região, como à agricultura, pecuária e mineração. Fatores estes que influenciam diretamente na qualidade da água, serão monitoradas as medidas de remediação e recuperação da área em uso pela população, a fim de evitar impactos negativos aos recursos hídricos;
- Instituir um programa de fiscalização para as empresas públicas e privadas que utilizam o solo e os recursos hídricos da bacia e que emitem GEEs;
- Instituir diretrizes a nível do CBH, com os princípios de proteger os recursos naturais, em especial os recursos hídricos, na preservação da

qualidade da água e diminuição dos efeitos das mudanças climáticas sobre o meio ambiente;

- Realizar um planejamento a nível municipal a fim de avaliar os usos múltiplos de cada região, conciliando os padrões hidrológicos e possíveis eventos extremos que podem vir a afetar o município;
- Criar um comitê voluntário, com diversos profissionais e pesquisadores da área de Qualidade da Água e Mudanças Climáticas, os quais irão auxiliar com dados científicos e técnicas ambientais, de modo a promover a segurança hídrica a nível municipal, com intuito de trabalhar em áreas menores e fazer chegar o conhecimento para toda região da bacia;
- Analisar o nível de recarga de água subterrânea de cada região, e quais são os impactos dos eventos extremos;
- Em termos de práticas agrícolas, realizar a implementação de novas tecnologias, que possuem como objetivo o uso racional de água e energia, além de estimular métodos que reduzem o consumo de água, como sistema agroflorestal;
- Promover investimentos para recuperação das áreas verdes, como as áreas de preservação permanente – APP e Áreas de Proteção Ambiental – APA, auxiliando na infiltração em áreas de recarga, mantendo o volume de água dos rios, controlando os processos erosivos e o arraste de nutrientes para o rio;
- Como forma de controle dos parâmetros OD, *Escherichia coli*, DBO e Fósforo total, realizar a implementação da coleta e tratamento de esgoto doméstico e industrial dos municípios e das empresas que compõem a bacia, incentivando a construção e operação de ETA e ETE em todos os municípios que compõem a bacia;
- Realização de campanhas educacionais e capacitação em escolas, universidades, sindicatos, ONGs, áreas rurais, centro comunitários, empresas particulares, prefeituras e outros, divulgando a “Importância do Uso Racional de Água e o Reuso”, com medidas de controle que consideram as particularidades de cada região e seus possíveis impactos caso estas não sejam implementadas;

- Ampliar a cobertura de estações meteorológicas para monitoramento constante das condições climáticas dentro do território da bacia;
- Implementar mais pontos de monitoramento ao longo do rio Piracicaba, com coletas de dados em periodicidade menores;
- Estruturar uma sala de situações (site), com informações meteorológicas da área da bacia, com intuito de levar dados de eventos extremos (ondas de calor, chuvas intensas e outros) em tempo real a população.
- Definir responsáveis aos níveis de alertas e propor ações junto a população e sociedade civil para quando houver estas previsões, como ondas de calor frentes frias, enchentes e outros (com consequência dos fenômenos atmosféricos: El Niño e La Niña), garantindo assim, qualidade hídrica da região.

## 6. CONCLUSÕES

Após realização das projeções climáticas para os cenários futuros, foi possível verificar a redução na precipitação e o aumento da temperatura em todos os pontos da bacia a médio e longo prazo, indicando assim a ocorrência de mudanças climáticas e seu papel na qualidade da água da bacia do rio Piracicaba.

Assim, foi possível verificar as alterações nos padrões de qualidade da água em cada ponto da bacia, relacionando os parâmetros de qualidade da água e as variáveis meteorológicas, bem como determinar a influência dos eventos extremos. Com a diminuição projetada em médio e longo prazo para as chuvas foi possível verificar em pelos menos 5 pontos de monitoramento a diminuição da *Escherichia coli*, Fósforo Total, Turbidez e Sólidos Totais. Em contrapartida, o aumento projetado da temperatura do ar, irá resultar na diminuição do Oxigênio Dissolvido, e aumento da Temperatura da Água em todos os pontos de monitoramento.

Além disso, pode-se verificar que os extremos de precipitação e temperatura que ocorreram na bacia estiveram associados em mais de 90% dos casos a um índice de qualidade da água ruim ou médio. As estações próximas à foz da bacia apresentaram percentualmente maior ocorrência de eventos extremos de temperatura, mas menos ocorrências de eventos extremos de precipitação.

Assim, com intuito de garantir a qualidade dos recursos hídricos dentro da bacia do rio Piracicaba, foram descritas propostas de medidas para adaptação e mitigação aos efeitos das mudanças climáticas para atendimento aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), conforme preconizado pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2022): 6. Água potável e saneamento, 13. Ação contra a mudança global do clima e 14. Vida na água.

Como produto dessa dissertação, será entregue ao comitê da bacia do rio Piracicaba uma nota técnica com os principais resultados encontrados nesse estudo e as proposições de medidas de adaptação e mitigação sugeridas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABELL, J.M., OZKUNDAKCI, D., HAMILTON D.P., MILLER S.D. (2011). **Entre o uso de solo, nitrogênio e fosforo em novos lagos da Zelândia**. Mar Freshw Res 62, 162-175.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: Relatório pleno** / Agência Nacional de Águas. - Brasília: ANA, 2017.

\_\_\_\_\_. **Metadados**. Brasil, 2018. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/home> Acesso em mar. 2022.

\_\_\_\_\_. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual** / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2018. 72p. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/portal/publicacao/Conjuntura2018.pdf> Acesso em: 20 abr. 2022.

AR6/IPCC. Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas. **AR6 Mudanças Climáticas 2022: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade**. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>. Acesso em: 20 maio. 2022.

ASSIS, L. R.; OLIVEIRA, C. M. R.; GOMES, M. H. R.; PEREIRA, R. O.; SOARES, H. P. **Avaliação do Impacto gerado nos corpos d'água devido ao lançamento de lodos provenientes de uma Estação de Tratamento de Água**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2013, Goiânia.

BAKKER, K., **Water security: research challenges and opportunities**: Science, 337 (6097), 2012, p. 914-915.

BRASIL. **Lei no 12.187, de 29 de dezembro de 2009**. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, Seção 1, p. 109, 29 dez. 2009.

\_\_\_\_\_. **Decreto no 7.390, de 9 de dezembro de 2010**. Regulamenta os Arts. 6º, 11 e 12 da Lei no 12.187, de 29 de dezembro de 2009, institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, Seção 1, p. 4. 9 dez. 2010a.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012**. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nos 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências.

BILLERBECK, C., SILVA, L.M., MARCELLINI, S. S., MELLO. A. **Análise de Decisão Multi-Critério para Avaliar Modelos de Projeção Climática com Correção de Viés na Bacia do Rio Piracicaba**. Rev. bras. meteorol. [online]. 2021, vol.36, n.3, pp.339-349. Epub June 25, 2021. ISSN 0102-7786. [Disponível em: https://doi.org/10.1590/0102-77863630068](https://doi.org/10.1590/0102-77863630068).

BRITO; L. T. L; PORTO, E. R; SILVA, A. S. **Disponibilidade de água e gestão dos recursos hídricos. Embrapa Semi Árido**. Petrolina. PE. 2007. Disponível em: . Acesso em: 12 nov. 2021.

CBH DOCE. Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Doce, 2010. **Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce**. Belo Horizonte. Disponível: [https://www.cbhdoce.org.br/wpcontent/uploads/2014/10/PIRH\\_Doce\\_Volume\\_I](https://www.cbhdoce.org.br/wpcontent/uploads/2014/10/PIRH_Doce_Volume_I). Acesso: 30 abril 2022.

CBH PIRACICABA, **Comitê Da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba-MG, 2013**. A Bacia. [online]. Disponível: <https://www.cbhpiracicabamg.org.br/> Acesso: 18 mai. 2022.

CETESB - Companhia Estadual Técnica de Saneamento Básico e Defesa do meio Ambiente. 2006. **Variáveis de qualidade das águas**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/>

CETESB. **Qualidade das águas interiores do estado de São Paulo**. Apêndice D - Índices de Qualidade das Águas. CETESB, 2019. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/apendice-d -indices-de-qualidade-das-aguas/>

CHANG, C., HUANG, C., CHEN, C., WANG, G. **Assessing the potential effect of extreme weather on water quality and disinfection by-product formation using laboratory simulation**. Water Research. Volume 170 (2020) 115296, ISSN 0043-1354. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115296>

CHE R., LIN S., FAN Z.Y. **Efeitos das chuvas extremas contínuas na qualidade da água da bacia do rio Dongjiang**. Huan Jing ke Xue. Huanjing Kexue. 40 (10), p. 4440-4449, 2019.

CHOU, S.C, LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; MARENGO, J. (2014) **Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios**. American Journal of Climate Change,3, 512-527.doi: [10.4236/ajcc.2014.35043](https://doi.org/10.4236/ajcc.2014.35043). [http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=52877#.VakIh\\_IVikp](http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=52877#.VakIh_IVikp)

CRAWFORD, S.E., BRINKMANN, M. OUELLET, J.D., LEHMKUHL, F., REICHERTER, K., SCHWARZBAUER, J., BELLANOVA, P., LETMATHE, P., BLANK, L.M., WEBER, R., BRACK, W., DONGEN, J.T., MENZEL, L., HECKER, M., SCHÜTTRUMPF, H., HOLLERT.H. **Remobilization of pollutants during extreme flood events poses severe risks to human and environmental health**. Journal of Hazardous Materials.v 421 (2022). 126691, ISSN 0304-3894. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126691>

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. nº 357 de 17 março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.** 23p. Brasília 2005.

\_\_\_\_\_. nº 430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005.** Diário Oficial da União, Brasília, 16 mai. 2011.

CRUZ M. A. S., GONÇALVES A. A., ARAGÃO R., AMORIM J. R. A., MOTA P.V. M., SRINIVASAN V. S., GARCIA C. A. B., FIGUEIREDO E. E. **Spatial and seasonal variability of the water quality characteristics of a river in Northeast Brazil.** Environmental Earth Sciences. p. 68-78, 2019.

DELPLA, A.V. JUNG, E. BAURES, M. CLEMENT, O. Thomas et al. **Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production.** Environment International. v.06. n.02 (2009) 1225–1233.77.

FONSECA, E.R. **Análise das estimativas de precipitação baseadas em satélites para estudo de eventos extremos na Bacia Hidrográfica do rio Piracicaba/MG.** Dissertação (mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - PROFÁGUA), Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Itabira, 2022.

FREIRE. A. P. CASTRO. C. E. **Análise da Correlação do uso e Ocupação do Solo e da Qualidade da Água.** RBRH: revista brasileira de recursos hídricos, v. 19, n. 1, p. 41-49, jan/mar, 2014.

FREIRE, L.L.; COSTA, A.C; LIMA NETO, I.E. **Spatio-temporal Patterns of River Water Quality in the Semiarid Northeastern Brazil.** Water Air Soil Pollut 232, 452 (2021). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05406-7>

FUNCEME - **Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos.** Qualigraf. 2018.

GWP (Global Water Partnership). **Water: The Game Changer for Food Systems - a Global Summit Dialogue.** Disponível em: <https://www.gwp.org/en/About/more/Events-and-Calls/2021/water-the-game-changer-for-food-systems---a-global-summit-dialogue/>. Acesso em: 4 maio 2022

HERRADOR B.G., LUND V., FONAHN W., HISDAL H., HYGEN H.O., YLLESTAD S., NORDENG, Z., KALAND R.G., SUNDE L.S., VOLD L., WHITE R., WONG W.K., NYGÅRD K (2021). Heavy weather events, water quality and gastroenteritis in Norway. One Health 13, 100297. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2021.100297> .

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2020. Diretoria de Pesquisas - DPE - Coordenação de População e Indicadores Sociais - COPIS. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 4 maio 2022.

IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Bacia **Hidrográfica do Rio Piracicaba (DO2)**. Disponível em: Disponível em: <http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/restrito/>. Acesso em: 26 mai. 2022.

\_\_\_\_\_. **Relatório de Gestão do Exercício de 2019: Instituto Bioatlântica, entidade equiparada às funções de agência de água da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba**. Governador Valadares/MG (2020).

\_\_\_\_\_. **Monitoramento da qualidade das águas superficiais do Rio Doce no Estado de Minas Gerais, 2020**. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/monitoramento-da-qualidade-das-aguas2/monitoramento-da-qualidade-das-aguas-superficiais-do-rio-doce-no-estado-de-minas-gerais>. Acesso em: 17 mai. 2022.

\_\_\_\_\_. **Bacia do rio Piracicaba - CH DO2: Panorama da qualidade das águas superficiais**. SIRGAS 2000 (2020).

IPCC (2012). In C. Field, V. Barros, T. Stocker, & Q. Dahe., 2012, Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX): Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. I-IV). Cambridge: Cambridge University Press. Aug 2012, 9781139177245. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139177245>

\_\_\_\_\_. **Painel Intergovenamental sobre mudanças climáticas (2018)**. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2022.

\_\_\_\_\_: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:[10.1017/9781009157896](https://doi.org/10.1017/9781009157896).

IPCC. **Painel Intergovenamental sobre mudanças climáticas (2022)**. Disponível em: <https://news.un.org/pt/tags/painel-intergovernamental-sobre-mudancas-climaticas/date/2022>. Acesso em: 21 jun. 2022.

JADHAV, S.A., GARUD, H.B., PATIL, A.H., PATIL, G.D., PATIL, C.R., DONGALE, T.D., PATIL, P.S., 2019. Recent advancements in silica nanoparticles based technologies for removal of dyes from water. v. 30, May 2019, 100181. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.colcom.2019.100181>

JEZNACH, L.C., HEGEMANN, M., PARK, M., TOBIASON, J, E. Proactive modeling of water quality impacts of extreme precipitation events in a drinking water reservoir. Journal of Environmental Management. v.201, 1 October 2017, Pages 241-251. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.06.047>

KHAN, S., DEERE, D., LEUSCH, F.D.L., HUMPAGE, A., JENKINS, M., CUNLIFFE, D. Extreme weather events: Should drinking water quality management systems adapt to changing risk profiles? *Water Research*. v.15 November 2015, Pages 124-136. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.08.018>

KOZAK, C., FERNANDES, C.V.S., BRAGA, S.M. et al. Dinâmica da qualidade da água durante episódios de chuva: abordagem integrada para avaliar a poluição difusa usando amostragem automática. *Environ Monit Avaliar*, 191, 402, p. 1- 13, 2019.

LEE, H., CHAU, A.S.Y., KAWAHARA, F. (2018). **Organochlorine Pesticides**. Disponível em: [10.1201/9781351069656-1](https://doi.org/10.1201/9781351069656-1).

LI, T.R., LI, S.R., LIANG, R.C., ARBUSTO, R.T., 2018. A comparative assessment of Australia's Lower Lakes water quality under extreme drought and post-drought conditions using multivariate statistical techniques. *Journal of Cleaner Production*. v.190. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.121>

LOUZADA, V. M.; SANTOS, J. M. B.; PEREIRA, R. O.; PEREIRA, L. O. **Diagnóstico do potencial poluidor das indústrias instaladas na cidade de Juiz De Fora**. In: XII Simpósio Italo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2014, Natal.

LU, S., BAI, X., LI, W., WANG, N. Impacts of climate change on water resources and grain production. *Technological Forecasting & Social Change*. . pp. 76-84. 2019. Acesso em: 19 mai. 2022.

MASON, N.; CALOW, R. **Water security: from abstract concept to meaningful metrics - an initial overview of options**. ODI Working Paper 357. London: Overseas Development Institute, 2012.

MELLO, K. DE; TANIWAKI, R. H., PAULA, F. R. DE, VALENTE, R. A., RANDHIR, T. O., MACEDO, D. R., LEAL C. G., RODRIGUES C. B., HUGHES, R. M. **Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil**. *Journal of Environmental Management*, 270, 2020.

MELO, M.C., JOHNSON, R.M.F. (2017). **O conceito emergente de segurança hídrica. Sustentare**, Três Corações, v. 1, n. 1, p.72-92, ago./dez. 2017. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/322649192\\_O\\_CONCEITO\\_EMERGENTE\\_DE\\_SEGURANCA\\_HIDRICA](https://www.researchgate.net/publication/322649192_O_CONCEITO_EMERGENTE_DE_SEGURANCA_HIDRICA)

MENDONÇA, F. & DANNI-OLIVEIRA, I.M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 206 p.

MENDES, R. M. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). **Monitoramento de variáveis geotécnicas e climáticas para a implantação de sistema de alerta a movimentos de massa**. São Paulo, 2016. Disponível em: Acesso em: 28 Abr. 2018.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Minas Gerais, 2008.

MISHRA, A., ALNAHIT, A., CAMPBELL, B. Impact of land uses, drought, flood, wildfire, and cascading events on water quality and microbial communities: A review and analysis. *Journal of Hydrology*.v. 596 (2021).125707. ISSN 0022-1694. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125707>

MUINGA, N. M.; GALATTO, S. L. Mudanças climáticas globais e seus impactos no meio ambiente. *Geografia em Questão*, [S. l.], v. 10, n. 2, 2017. DOI:10.48075/geoq.v10i2.15725. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/geoemquestao/article/view/15725> Acesso em: 6 jul. 2022.

NIJHANWAN, A., HOWARD, G. Associations between climate variables and water quality in low- and middle-income countries: A scoping review. *Water Research*.v. 210, 15 February 2022, 117996. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117996>

OLIVEIRA, A.M.M., PINTO, S.A.F., LOMBARDI NETO, F., 2007. **Caracterização de indicadores da erosão do solo em bacias hidrográficas com o suporte de geotecnologias e modelo preditivo**. *Estudos Geográficos*, Rio Claro, 5, 63-86.

ONU - Organização das Nações Unidas. *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 18 set. 2022.

PBMC, 2016: Mudanças Climáticas e Cidades. **Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas** [Ribeiro, S.K., Santos, A.S. (Eds.)]. PBMC, COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil.

PCLIMA – PROJEÇÕES CLIMÁTICAS NO BRASIL. 2018. **Guia do usuário**. Disponível em: <http://pclima.inpe.br/analise/>. Acessado em: 20 jun. de 2022.

PINTO V. G., LIMA R. N. S., RIBEIRO C. B. M., MACHADO P. J. O. **Diagnóstico físico-ambiental como subsídio a identificação de área vulneráveis à erosão na bacia hidrográfica do Ribeirão do Espírito Santo, Juiz de Fora (MG), Brasil**. *Rev. Ambient. Água*, v. 9, n. 4, Oct. /Dec 2014.

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**. *Rev. Ambient. Água*, v. 7, n. 3, p.183- 194, dez. 2012.

PNA. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima: Grupo Executivo do Comitê Interministerial de Mudança do Clima – GEx-CIM**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2015.

PNA. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima [recurso eletrônico]: relatório final de monitoramento e avaliação, ciclo 2016-2020 / coordenação e organização: Adriana Brito da Silva... [et. al.]**. – Brasília, DF: MMA, 2021.

REIS, D.S., SILVA, J.C., BRANT T.C. (2015). **Cidades e mudanças climáticas: planejamento urbano e governança local no Brasil**. In: Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação em Pesquisa em Planejamento (ENANPUR), 16., 2015, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte. 2015.

RYBERG, K.R., CHANAT, J.G. **Climate extremes as drivers of surface-water-quality trends in the United States**. *Science of The Total Environment*. v 809 (2022), 152165, ISSN 0048-9697. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152165>

ROCHA, M.J.D., NETO, I.E.L. **Phosphorus mass balance and input load estimation from the wet and dry periods in tropical semiarid reservoirs**. *Environ Sci Pollut Res* 29, 10027–10046 (2022). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16251-w>

SANTY, S., MUJUMDAR, P. & BALA, G. **Potenciais Impactos das Mudanças Climáticas e do Uso da Terra na Qualidade da Água do Rio Ganga ao redor da Região Industrializada de Kanpur**. *Scientific Reports*. 10, 9107, 2020.

SILVA I. R., ALVES A. G. M., RIBEIRO C. B. M., PEREIRA R. O., GOMES M. H. R. **Influência do uso e ocupação do solo na qualidade das águas da bacia do ribeirão Espírito Santo, Juiz de Fora – MG**. III Simpósio de Recursos Hídricos do Rio Paraíba do Sul, Juiz de Fora, MG, 2018.

SILVA C. P., VARGAS R. R., ARRUDA R. O. M., ROSINI E. F. **Efeitos do uso e ocupação da terra na qualidade da água da sub-bacia hidrográfica Cabosol, Guarulhos/SP**. *Revista Iberoamericana de Ciências Ambientais*. 10 (6), p. 1- 8, 2019.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. 2019. **Painel Setor de Saneamento**. Disponível em: <http://snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/>. Acesso em: 17 mai. de 2022.

SOMURA, H., YUWONO, S. B., ISMONO, H., ARIFIN, B., FITRIANI, F., & KADA, R. **Relationship between water quality variations and land use in the Batutegi Dam Watershed, Sekampung, Indonesia**. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, n. 1, p. 93-101, 2018.

SOKOLOSKI, L.J.F., FERREIRA, M.R.A., VITERBO, G.A., BELOTTI, F.M., VIEIRA, E.M., 2019. **Estudo da vulnerabilidade natural da sub-bacia do Rio Piracicaba/MG utilizando Sistemas de Informações Geográficas (SIG)**. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais* [online], 10, 211-222. Disponível: <http://orcid.org/0000-0001-5554-3684>. Acesso: 30 nov. 2020.

SUTIL, S. C.; GONÇALVES, J.A.C.; VIEIRA, E. M., 2020. **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* v.13, n.06 (2020) 3060-3077.

TALANOVA, 2020. **A Política Nacional de Mudança do Clima em 2020: estado de metas, mercados e governança assumidos na Lei 12.187/2009.** Rio de Janeiro, Brasil.

TONÉ, A.J.A., NETO, I.E.L. **Simple modelling of total phosphorus in brazilian lakes and reservoirs.** Revista DAE, São Paulo. v. 68, n 221, pp 142-156. Jan a Mar, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.36659/dae.2020.012>

TUCCI, C. E. M. 2010. Urbanização e Recursos Hídricos. pp. 113-128. In BICUDO, C. E. M. et al. (orgs.) **Águas do Brasil. Análises Estratégicas.** Academia Brasileira de Ciências; Secretaria do Meio Ambiente. Estado de São Paulo. 222 pp. 2010.

TUNDISI, J. G. **Recursos Hídricos no futuro: problemas e soluções.** Estudos Avançados. Vol. 22 (nº 63) pp. 7-16. 2008.

USSD. UNITED NATIONS EDUCATION, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION UNESCO. **Managing Water under Uncertainty and Risk.** UNESCO, Parte 2. wwdr4, 2012. p. 230 – 370. Disponível em: <http://https://www.unesco.org/en> Acesso em: 05 de mai. de 2022.

UM-Water (2013). **Water security & the global water agenda: a UN-Water analytical brief.** Retrieved from: <https://hdl.handle.net/20.500.12870/4206>.

UNITED NATIONS. UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. Conference of the Parties. **Report of the Conference of the Parties on its eighth session, held at New Delhi from 23 October to 1 November 2002.** New York: United Nations, 28 Mar. 2003. (UNFCCC Decision 17/CP.8).

VAROL, M., 2020. **Use of water quality index and multivariate statistical methods to evaluate the water quality of a stream affected by multiple stressors: Case study.** Environmental Pollution.v.266, Part 3. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115417>

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** v. 1, e. 4, p. 92, Belo Horizonte, 2014.

VÖRÖSMARTY, C. J., GREEN, P., SALISBURY, J. RICHARD B. **Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth.** American Association for the Advancement of Science. Lammers Source: Science, New Series, Vol. 289, No. 5477, pp. 284- 288. 2000.

WWAP (UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME). **The United Nations World Water Development Report 2012.** Managing Water under Uncertainty and Risk. Paris, UNESCO.

\_\_\_\_\_. **The United Nations World Water Development Report 2019.** Leaving No One Behind. Paris, UNESCO.

WWDR4. **Managing water under uncertainty and risk: from the United Nations World Water Development Report 4, facts and figures (2012)**. Disponível em: <https://un-library.tumblr.com/post/19184407485/managing-water-under-uncertainty-and-risk>

XAVIER, A. C., SCANLON, B. R., KING, C. W., & ALVES, A. I. (2022). **New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020)**. *International Journal of Climatology*, 1–15. Disponível em: <https://doi.org.ez43.periodicos.capes.gov.br/10.1002/joc.7731>

XU, J., JIN, G., TANG, H., ZHANG, P., WANG, S., WANG, Y., LI, L. **Assessing temporal variations of Ammonia Nitrogen concentrations and loads in the Huaihe River Basin in relation to policies on pollution source control**. *Science of The Total Environment*. v. 642, 15 November 2018, Pages 1386-1395. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.395>

YAGHOUTI, M., HEIDARZADEH, N., NAKHAEI, N., ULLOA, H. N., **The Impacts of Climate Change on Thermal Stratification and Dissolved Oxygen of the Mississippi Lake**. Available at SSRN: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4028284>

ZHANG, S., ZHAO, W., YANG, C., LI, Y., LIU, M., MENG, X., CAI, M. **Assessment of currently used organochlorine pesticides in surface water and sediments in Xiangjiang river, a drinking water source in China: Occurrence and distribution characteristics under flood events**. v. 304, 1 July 2022, 119133. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119133>

ZHU, L., JIANG, C., PANTHI, S., ALLARD.S.M., SAPKOTA, A.R., SAPKOTA, A. **Impact of high precipitation and temperature events on the distribution of emerging contaminants in surface water in the Mid-Atlantic, United States**, *Science of The Total Environment*. V. 755, Part 2 (2021). 142552, ISSN 0048-9697. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142552>