



Universidade Federal de Itajubá
Instituto de Ciências Puras e Aplicadas



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

Cíntia da Conceição Moura Diniz

**AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE AO ENQUADRAMENTO DE
CORPOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS NA UNIDADE TERRITORIAL
ESTRATÉGICA RIBEIRÃO JEQUITIBÁ/MG**



Itabira - Minas Gerais

2023

Cíntia da Conceição Moura Diniz

**Avaliação da conformidade ao enquadramento de corpos hídricos superficiais na
Unidade Territorial Estratégica Ribeirão Jequitibá/MG.**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, 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. Área de concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos. Linha de pesquisa: Segurança Hídrica e Usos Múltiplos da Água.

Aprovada em 04 de dezembro de 2023.

Orientador: Prof. Dr. Anderson de Assis Moraes

Instituto de Ciências Puras e Aplicadas - UNIFEI

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Anderson de Assis Moraes

Instituto de Ciências Puras e Aplicadas - UNIFEI

Prof. Dr. José Augusto Costa Gonçalves

Instituto de Ciências Puras e Aplicadas - UNIFEI

Prof.^a Dr.^a. Fernanda Cristina Fonseca Camargo

Membro Externo

Itabira – Minas Gerais

2023

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus queridos pais, Vânia e Neiton (*in memoriam*).

Depois disse Deus: "Haja entre as águas um firmamento que separe águas de águas". Então Deus fez o firmamento e separou as águas que ficaram abaixo do firmamento das que ficaram por cima.

Gênesis 1:6-8

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por esta oportunidade e por me abençoar na conclusão do mestrado.

A todos os familiares e amigos que torceram por mim e me apoiaram no decorrer do curso. Agradeço em especial minha mãe Vânia que me apoiou e reconfortou nas horas difíceis.

Agradeço ainda ao professor Prof. Dr. Anderson de Assis Moraes por suas contribuições na orientação deste trabalho e por ter enriquecido minha formação com seus conhecimentos.

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 Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

RESUMO

DINIZ, Cíntia da Conceição Moura. *Avaliação da conformidade ao enquadramento de corpos hídricos superficiais na Unidade Territorial Estratégica Ribeirão Jequitibá/MG*. 2023. 107f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROFÁGUA), Instituto de Ciências Puras e Aplicadas, Universidade Federal de Itajubá, Campus de Itabira, Minas Gerais, 2023.

Dentro da bacia hidrográfica há uma diversidade de interesses em relação ao uso da água e o uso inadequado tem gerado conflitos e ameaçado a conservação da sua qualidade. Pela sua delimitação territorial, é factível a realização de estudos quantitativos e qualitativos da água. O monitoramento da qualidade das águas é uma ferramenta indispensável no controle da poluição, uma vez que, sem os dados de qualidade das águas, torna-se difícil o planejamento e implantações de medidas de controle e combate à poluição hídrica. A área de estudo é denominada Unidade Territorial Estratégica Ribeirão Jequitibá, e faz parte das 23 Unidades Territoriais Estratégicas (UTE's) que compõem a Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas. Localizada no médio Velhas, a UTE é composta pelos municípios de Sete Lagoas, Capim Branco, Prudente de Moraes, Funilândia e Jequitibá. A UTE Ribeirão Jequitibá possui um contexto bastante desafiador para a gestão dos recursos hídricos, pois a qualidade das suas águas superficiais vem sendo comprometida pelo lançamento de efluentes sem adequado tratamento. O cenário de esgotamento sanitário nos municípios que compõem a UTE Ribeirão Jequitibá é desafiador e endossa as estatísticas dos municípios que possuem rede coletora, mas estão desprovidos de tratamento de efluentes. Pretende-se realizar uma avaliação do enquadramento corpos d'água que compõem a UTE Ribeirão Jequitibá, por meio da aplicação do Índice de Conformidade ao Enquadramento, na série histórica do monitoramento realizado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas, para o período de 2011 a 2021, sendo as estações denominadas SC24, SC25, SC26 e BV140. Os resultados indicam uma condição de afastamento ao enquadramento classe 2 para as estações SC24, SC25 e SC26, com predominância de conformidade ao enquadramento classe 4. O trecho BV140 localizado no ribeirão Jequitibá localizado próximo a confluência com o rio das Velhas, foi o único em que os valores apresentados atendem a conformidade ao enquadramento classe 2. Constatou-se que os parâmetros que mais demonstraram desconformidades estão associados ao lançamento de efluentes domésticos, como o fósforo, nitrogênio amoniacal, DBO e oxigênio dissolvido. Os dados de degradação da qualidade das águas da UTE refletem o baixo índice de tratamento de efluentes dos municípios, evidenciando a necessidade de melhorar e aumentar o tratamento dos esgotos coletados.

Palavras-chave: Enquadramento, qualidade das águas, bacia hidrográfica.

ABSTRACT

DINIZ, Cíntia da Conceição Moura. *Assessment of compliance with the classification of surface water bodies in the Strategic Territorial Unit Ribeirão Jequitibá/MG*. 2023. 107f. Dissertation (Professional Master's Degree in National Network in Management and Regulation of Water Resources – PROFÁGUA), Institute of Pure and Applied Sciences, Federal University of Itajubá, Itabira Campus, Minas Gerais, 2023.

Within the river basin there is a diversity of interests in relation to the use of water and inappropriate use has generated conflicts and threatened the conservation of its quality. Due to its territorial delimitation, it is feasible to carry out quantitative and qualitative studies of water. Monitoring water quality is an essential tool in controlling pollution, since, without water quality data, it becomes difficult to plan and implement measures to control and combat water pollution. The study area is called Ribeirão Jequitibá Strategic Territorial Unit, and is part of the 23 Strategic Territorial Units (UTE's) that make up the Rio das Velhas Hydrographic Basin. Located in the middle of Velhas, the UTE is made up of the municipalities of Sete Lagoas, Capim Branco, Prudente de Moraes, Funilândia and Jequitibá. UTE Ribeirão Jequitibá has a very challenging context for the management of water resources, as the quality of its surface waters has been compromised by the discharge of effluents without adequate treatment. The sewage scenario in the municipalities that make up the Ribeirão Jequitibá UTE is challenging and endorses the statistics of municipalities that have a collection network, but are devoid of effluent treatment. The aim is to carry out an assessment of the framework of the bodies of water that make up the UTE Ribeirão Jequitibá, through the application of the Framework Compliance Index, in the historical series of monitoring carried out by the Instituto Mineiro de Gestão das Águas, for the period from 2011 to 2021, with the stations named SC24, SC25, SC26 and BV140. The results indicate a condition of departure from class 2 classification for stations SC24, SC25 and SC26, with a predominance of compliance with class 4 classification. The BV140 section located in the Jequitibá stream, located close to the confluence with the Velhas river, was the only one in that the values presented comply with the class 2 framework. It was found that the parameters that most demonstrated nonconformities are associated with the release of domestic effluents, such as phosphorus, ammonia nitrogen, BOD and dissolved oxygen. Data on the degradation of the water quality of the UTE reflect the low rate of effluent treatment in the municipalities, highlighting the need to improve and increase the treatment of collected sewage.

Keywords: Framing, water quality, hydrographic basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Integração do plano de recursos hídricos com os demais instrumentos de gestão.....	22
Figura 2	Classes de enquadramento das águas em relação aos usos, segundo Resolução Conama nº 357/2005.....	23
Figura 3	Metas intermediárias e progressivas a serem utilizadas na proposta de enquadramento.	24
Figura 4	Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas.....	25
Figura 5	Modelo conceitual dos fatores escopo, frequência e amplitude no cálculo do ICE/CCME.....	26
Figura 6	Interface de navegação da calculadora desenvolvida pelo CCME.....	29
Figura 7	Item critérios para inserção das variáveis e limites para cálculos do ICE.....	29
Figura 8	Item dados para inserção dos valores das amostragens para cálculo do ICE.....	30
Figura 9	Resumo dos resultados após o cálculo utilizando a calculadora CWQI.....	30
Figura 10	Localização da Unidade Territorial Estratégica Ribeirão Jequitibá/MG.....	33
Figura 11	Delimitação geográficas da UTEs da bacia hidrográfica do rio das Velhas.....	34
Figura 12	Enquadramento dos corpos d'água da bacia do rio das Velhas.....	35
Figura 13	Delimitação geográfica das cidades que compõe a UTE Ribeirão Jequitibá.....	37
Figura 14	Enquadramento dos corpos d'água da UTE Ribeirão Jequitibá.....	38
Figura 15	Quantidade de hectares de área ocupados pela atividade de agropecuária nos municípios que compõe a UTE Ribeirão Jequitibá.....	39
Figura 16	Grau de relevância da urbanização nas UTEs da bacia do rio das Velhas.	40
Figura 17	Uso e cobertura do solo na UTE Ribeirão Jequitibá no ano de 2021.....	40
Figura 18	Sistema ideal para a distribuição pública de água e coleta/tratamento de efluentes.....	41
Figura 19	Percentual de esgoto coletado nos municípios da UTE Ribeirão Jequitibá.....	42
Figura 20	Percentual de esgoto tratado após a coleta nos municípios da UTE Ribeirão Jequitibá.....	42
Figura 21	População residente na área urbana dos municípios da UTE Ribeirão Jequitibá.....	43
Figura 22	Percentual da população urbana dos municípios da UTE Ribeirão Jequitibá que são atendidos com coleta de esgoto.....	44
Figura 23	Processo metodológico de pesquisa.....	45

Figura 24	Ilustração da inserção dos parâmetros e valores na calculadora CCME-CWQI 1.0.....	50
Figura 25	Intepretação do valor da correlação Spearman no R.....	52
Figura 26	Evolução temporal anual do ICE da estação SC24 - Ribeirão Jequitibá.	53
Figura 27	Evolução temporal anual do ICE da estação SC25 - Córrego do Diogo....	55
Figura 28	Evolução temporal anual do ICE da estação SC26 - Ribeirão Matadouro.	57
Figura 29	Evolução temporal anual do ICE da estação BV140 - Ribeirão Jequitibá	59
Figura 30	Evolução temporal do parâmetro fósforo total entre 2011 e 2021.....	63
Figura 31	Evolução temporal do parâmetro DBO nas estações SC24 e BV140 entre 2011 e 2021.....	64
Figura 32	Evolução temporal do parâmetro DBO nas estações SC25 e SC26 entre 2011 e 2021.	64
Figura 33	Evolução temporal do parâmetro nitrato entre 2011 e 2021.....	65
Figura 34	Evolução temporal do parâmetro nitrogênio amoniacal entre 2011 e 2021.....	65
Figura 35	Evolução temporal do parâmetro nitrito entre 2011 e 2021.....	66
Figura 36	Estações da UTE ribeirão Jequitibá em desconformidade com os parâmetros nitrogênio amoniacal, nitrato e nitrito.....	66
Figura 37	Evolução temporal do parâmetro ferro dissolvido entre 2011 e 2021.....	67
Figura 38	Evolução temporal do parâmetro sólidos em suspensão entre 2011 e 2021.....	68
Figura 39	Evolução temporal do parâmetro sólidos dissolvidos entre 2011 e 2021.	69
Figura 40	Evolução temporal do parâmetro turbidez entre 2011 e 2021.....	70
Figura 41	Evolução temporal do parâmetro pH entre 2011 e 2021.....	70
Figura 42	Evolução temporal do parâmetro cor verdadeira entre 2011 e 2021.....	71
Figura 43	Evolução temporal do parâmetro cloreto total entre 2011 e 2021.....	72
Figura 44	Evolução temporal do parâmetro E. Coli entre 2011 e 2021.....	72
Figura 45	Evolução temporal do parâmetro clorofila a entre 2011 e 2021.....	73
Figura 46	Evolução temporal do parâmetro oxigênio dissolvido entre 2011 e 2021.	74
Figura 47	Representação do nível de significância da correlação dos parâmetros de qualidade da água nas estações SC24 e SC25.....	76
Figura 48	Matrizes de variância acumulada e scree plot dos componentes principais da estação SC24.....	85
Figura 49	Matrizes de variância acumulada e scree plot dos componentes principais da estação SC25.....	86

Figura 50	Matrizes de variância acumulada e scree plot dos componentes principais da estação SC26.....	87
Figura 51	Matrizes de variância acumulada e scree plot dos componentes principais da estação BV140.....	88
Figura 52	Carregamento dos componentes para PC1 e PC2 da estação SC24.....	90
Figura 53	Carregamento dos componentes para PC1 e PC2 da estação SC25.....	91
Figura 54	Carregamento dos componentes para PC1 e PC2 da estação SC26.....	92
Figura 55	Carregamento dos componentes para PC1 e PC2 da estação BV140.....	93

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Parâmetros de qualidade monitorados pelas estações no programa Águas de Minas.....	20
Quadro 2	Parâmetros de qualidade do IQA e respectivo peso.....	24
Quadro 3	Classificação adotada pelo ICE/CCME.....	28
Quadro 4	Categorias de classificação, aplicabilidade e variáveis em que se baseiam os índices IQA e ICE.....	32
Quadro 5	Municípios que fazem parte da delimitação da UTE Ribeirão Jequitibá.....	36
Quadro 6	Identificação das estações de monitoramento da UTE Ribeirão Jequitibá.....	46
Quadro 7	Parâmetros monitorados no programa Água de Minas.....	47
Quadro 8	Parâmetros selecionados associados ao padrão de enquadramento classe 1, 2, 3, e 4 de acordo com a DN COPAM-CERH/MG N° 8/2022.....	48
Quadro 9	Aspectos relevantes dos parâmetros selecionados para o cálculo do ICE.....	49
Quadro 10	Número de amostras por parâmetro em desconformidade no trecho SC24.....	54
Quadro 11	Número de amostras por parâmetro em desconformidade no trecho SC25.....	56
Quadro 12	Número de amostras por parâmetro em desconformidade no trecho SC26.....	58
Quadro 13	Número de amostras por parâmetro em desconformidade no trecho BV140.....	60
Quadro 14	Resultados do ICE nas estações de monitoramento da qualidade da água da UTE Ribeirão Jequitibá, no período de 2011 a 2021.	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Matriz de correlação de Spearman (R) entre os parâmetros de qualidade da água na estação SC24	77
Tabela 2	Matriz de correlação de Spearman (R) entre os parâmetros de qualidade da água na estação SC25.....	78
Tabela 3	Matriz de correlação de Spearman (R) entre os parâmetros de qualidade da água na estação SC26.....	79
Tabela 4	Matriz de correlação de Spearman (R) entre os parâmetros de qualidade da água na estação BV140.....	80
Tabela 5	Teste de Bartlett nos dados das estações SC24 (a), SC25 (b), SC26 (c) e BV140 (d).....	81
Tabela 6	Medida de adequação de amostragem de KMO das estações SC24 (a), SC25 (b), SC26 (c) e BV140 (d).....	81
Tabela 7	Peso dos componentes principais na estação SC24 (a) e SC25 (b)....	82
Tabela 8	Peso dos componentes principais na estação SC26 (c) e BV140 (d)....	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico
PCA	Análises de Componentes Principais
CBHs	Comitês de Bacia Hidrográficas
CCME	Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CERH-MG	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
CWQI	Water Quality Index
CP	Componentes Principais
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
FEAM	Fundação Estadual de Meio Ambiente
GEMOQ	Gerência de Monitoramento da Qualidade de Águas
ICE	Índice de Conformidade ao Enquadramento
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão da Águas
IB	Índice de Balneabilidade
ICZ	Índice da Comunidade Zooplancônica
ICF	Índice da Comunidade Fitoplancônica
IET	Índice do Estado Trófico
IVA	Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática
IAP	Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público
IQA	Índice de Qualidade das Águas
NFS	National Sanitation Foundatio
PDRH	Plano Diretor de Recursos Hídricos
KMO	Kaiser- Meyer-Olkin
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
RNQA	Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade de Água
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
OD	Oxigênio Dissolvido
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
UTE	Unidade Territorial Estratégica
UPGRH	Unidades de Planejamento de Gestão de Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	17
2.1	Geral	17
2.2	Específicos	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	MONITORAMENTO QUALIDADE DA ÁGUA.....	18
3.1.1	Legislação aplicada à qualidade da água	20
3.2	ENQUADRAMENTO DE CORPOS HÍDRICOS.....	22
3.3	ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA	24
3.3.1	Índice de Conformidade ao Enquadramento – ICE/CCME.....	26
4	ÁREA DE ESTUDO	33
4.1	UNIDADE TERRITORIAL ESTRATÉGICA RIBEIRÃO JEQUITIBÁ.....	33
4.2	CARACTERÍSTICAS GERAIS DA UTE RIBEIRÃO JEQUITIBÁ	36
4.2.2	Uso e ocupação do solo.....	38
4.2.3	Esgotamento sanitário	41
5	MATERIAL E MÉTODOS	45
5.1	Estações de amostragem e levantamento de dados.....	45
5.2	Parâmetros definidos para aplicação do ICE/CCME	46
5.3	Aplicação da calculadora CCME-CWQI 1.0 e tratamento dos dados.....	50
5.4	Análise de correlação (Spearman) e componentes principais (PCA).....	51
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
6.1	Resultados do ICE para as estações SC24, SC25, SC26 e BV140.....	53
6.2	Evolução temporal dos parâmetros de qualidade da água.....	62
6.3	Matriz de correlação Spearman R dos parâmetros de qualidade da água.....	74
6.4	Análise de componentes principais dos parâmetros de qualidade da água.....	81
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
	REFERÊNCIAS	96
	ANEXO A	103
	ANEXO B	104
	ANEXO C	105
	ANEXO D	106

1. INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é definida como uma unidade territorial composta por diversos corpos d'água e delimitada por divisores topográficos. É um sistema natural, o qual possui um curso d'água principal, onde a sua drenagem converge para os afluentes em sentido ao curso principal. Pela sua delimitação territorial, é factível a realização de estudos quantitativos e qualitativos da água. A partir da promulgação da Lei Nº 9.433 de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), princípios e normas de gestão destes recursos foram criados. A lei veio para consolidar uma visão mais holística a respeito dos recursos hídricos, fundamentada em uma gestão descentralizada e participativa, onde a gestão deve proporcionar o equilíbrio entre os usos múltiplos da água (Brasil, 1997).

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), através da Resolução nº32 de 2003, estabeleceu 12 regiões hidrográficas no território brasileiro. A organização da dinâmica da gestão dos recursos hídricos difere da organização político administrativa, sendo que a disponibilidade da água, a demanda e a densidade demográfica das regiões direcionam as ações de gestão. A exemplo das particularidades de cada uma, temos a Região Hidrográfica Amazônica detendo 80% da água superficial do país, todavia, é a região com menor demanda por uso e baixa densidade demográfica (ANA, 2020).

Os Comitês de Bacia Hidrográficas (CBHs) foram criados a partir da Política Nacional de Recursos Hídricos, sendo que o comitê tem a função de discutir sobre os usos da água e os interesses múltiplos dentro do território da bacia. Tem poder deliberativo e consultivo e é composto por representantes da sociedade civil, poder público e usuários da água. Os CBHs têm papel fundamental na gestão dos recursos hídricos, pois sua estrutura permite discussões acerca das demandas de água, promovendo ações que possam garantir a quantidade e qualidade das águas (Chinaque *et al.*, 2017).

Conforme Menezes *et al.*, (2016), o uso e ocupação do solo tem influência sobre a qualidade das águas, sendo as diversas contaminações encontradas decorrentes do inadequado manejo do solo, como por exemplo as atividades agrícolas. Além disso, a crescente urbanização e o desenvolvimento industrial têm causado forte pressão sobre os recursos hídricos, dessa forma, o uso e ocupação do solo tem sido associado com a poluição das águas.

O monitoramento da qualidade das águas é uma ferramenta indispensável no controle da poluição, e vai de encontro com uma das metas definidas pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), o objetivo 6 que determina que até 2030 se alcance acesso universal e equitativo à água potável a todos. Sem os dados de qualidade das águas, torna-se difícil o planejamento e a implantação de medidas de controle e combate à poluição hídrica. A

Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA) em conjunto com os Estados brasileiros, tem unido esforços para suprir as lacunas na gestão dos recursos hídricos e para garantir água em quantidade e em boa qualidade a todas as regiões do país (ANA, 2020).

A área de estudo escolhida abrange a Unidade Territorial Estratégica (UTE) Ribeirão Jequitibá, onde os atuais usos da água e a ocupação do solo na UTE são fatores determinantes para o comprometimento da qualidade de suas águas superficiais. A UTE faz parte das 23 unidades territoriais que compõem a bacia hidrográfica do Rio das Velhas, em Minas Gerais. As unidades fazem parte de uma gestão sistêmica e estruturada de todas as ações da Bacia do Rio das Velhas. Compreender os principais problemas hídricos relacionados à qualidade das águas fomenta o diagnóstico ambiental, como também contribui para as ações e medidas adotadas pelo subcomitê Ribeirão Jequitibá.

Os estudos técnicos de apoio ao Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, apontam que o índice de atendimento com abastecimento de água na UTE é de 99,48% enquanto o índice de tratamento de efluentes nas cidades que fazem parte desta UTE é baixo, em torno de 26,56%. Os principais agentes de degradação das águas superficiais da UTE são provenientes dos efluentes industriais e domésticos. Um ponto bastante crítico dentro da UTE Ribeirão Jequitibá é a disponibilidade e demanda de água. A demanda com abastecimento urbano corresponde a 36,7%, com a irrigação 32% e com o uso industrial 28,9%, sendo que a vazão mais restritiva na UTE define o valor máximo de captação superficial na região (CBH rio das Velhas, 2016).

Para cada uso preponderante, se tem uma finalidade e uma exigência de quantidade e qualidade da água. O enquadramento dos corpos de água instituído pela PNRH se definirá em função da classificação da qualidade da água, segundo a Resolução Conama nº 357/2005. Dentro da bacia hidrográfica há uma diversidade de interesses em relação ao uso da água, contudo, sua distribuição desigual e uso inadequado têm gerado conflitos e ameaçado a conservação da sua qualidade. Nesta perspectiva, a preocupação se deve com a quantidade e qualidade da água necessária para garantir a aplicação em seus usos múltiplos dentro da unidade (ANA, 2011).

O enquadramento visa assegurar que a qualidade das águas esteja compatível com os usos mais restritivos (Machado *et al.*, 2019). Portanto, para que se conheça a qualidade de determinado curso hídrico é necessário realizar o seu monitoramento. De acordo com Von Sperling (2014), para que se avalie a carga poluidora afluente de uma bacia hidrográfica é necessário o levantamento de dados que abranja os aspectos físicos (precipitações, escoamento e vazões), aspectos que considerem ao uso do solo e aspectos relacionados aos usos múltiplos águas, aos requisitos de qualidade e as características físicas, químicas e biológicas da água.

Portanto, a caracterização sanitária fundamenta o diagnóstico da qualidade das águas superficiais, no qual permite apontar as possíveis inter-relações entre os usos do solo e as fontes geradoras de alterações na qualidade das águas superficiais. Dessa forma, o grande volume de dados advindos dos monitoramentos por longos períodos produz um banco de dados complexo, muitas vezes de difícil interpretação, que em última instância pode até ser subutilizado. Os dados analíticos, quando compilados e interpretados utilizando diferentes ferramentas, auxiliam na tomada de decisão para as localidades que possuem Comitês e Agências de Bacia.

Os índices de qualidade da água é uma ferramenta de gestão dos recursos hídricos e permite uma visão geral da qualidade. Através dos dados de monitoramento, aplica-se equações matemáticas, considerados os parâmetros de qualidade, no qual transmitem uma informação passível de compressão pública, indicando a categoria de qualidade da água em ótima, boa, regular e ruim. Para a efetiva implementação da gestão de recursos hídricos em uma bacia hidrográfica, é necessário conhecer a qualidade atual das suas águas, para que se possa estabelecer requisitos de usos e traçar metas de melhorias a longo prazo (Girardi *et al.*, 2019).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o enquadramento dos corpos hídricos superficiais que compõem a UTE Ribeirão Jequitibá, através da aplicação do Índice de Conformidade ao Enquadramento, desenvolvido pelo Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente (ICE/CCME), utilizando os dados da série histórica do monitoramento de qualidade das águas, realizado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM).

2.2 Objetivos Específicos

- Verificar se enquadramento atual dos corpos d'água da UTE está compatível com os dados de qualidade disponibilizados pelo monitoramento do Instituto Mineiro de Gestão das Águas, utilizando o ICE/CCME.
- Avaliar a tendência temporal e a correlação dos parâmetros de qualidade da água monitorados na UTE Ribeirão Jequitibá.
- Aplicar estatística multivariada através da análise de componentes principais e correlação de Spearman.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS

O conceito “qualidade da água” não se refere ao estado de pureza, mas compreende as características físicas, químicas e microbiológicas presentes na água. A qualidade de um recurso hídrico pode variar em decorrência das condicionantes geomorfológicas, da cobertura vegetal, do uso do solo e das atividades antrópicas de uma determinada região (Glória *et al.*, 2017).

A circulação da água não ocorre apenas por meio da chuva, pelos poros dos aquíferos ou pelas massas de ar. É preciso considerar não apenas o ciclo hidrológico, mas também o ciclo hidrossocial da água. O conceito hidrossocial tem se fortalecido, por se compreender que a água está presente nas adutoras, nas plantas de tratamento e no âmbito do direito jurídico. O recurso hídrico é um dado natural e social, no qual é necessário monitorar e controlar seu uso para atender a presente e as gerações futuras com quantidade e qualidade (ANA, 2022).

O uso indiscriminado da água e comumente com lançamento de efluentes industriais, domésticos e resíduos agrícolas *in natura* ou tratados inadequadamente, tem comprometido a qualidade dos recursos hídricos (Silva *et al.*, 2017). A poluição das águas oriundas dos despejos altera a qualidade das águas superficiais, tornando-as impróprias para os usos a jusante. No meio urbano, o efluente é rico em matéria orgânica, o que altera os parâmetros de qualidade da água, principalmente a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), o oxigênio dissolvido (OD) e as concentrações de fósforo (ANA, 2017).

A identificação dos pontos de poluição muitas vezes não é possível, os poluentes seguem o curso dos tributários, comprometendo a qualidade da água a jusante e desaguando no rio principal. Contudo não é apenas a qualidade que afeta a disponibilidade da água, a distribuição desta no território pode torná-la escassa regionalmente. Embora o Brasil possua abundância hídrica em relação a outros países, a distribuição e a disponibilidade da água não ocorre de forma homogênea, a região nordeste do país sofre com escassez, enquanto sul e sudeste apresentam maior disponibilidade hídrica, entretanto, enfrentam grandes conflitos de uso. Tais conflitos são frequentes principalmente nas regiões em crescente desenvolvimento urbano e agrícola (Bastos *et al.*, 2018).

O monitoramento da qualidade das águas é uma atividade essencial que permite a caracterização. Dessa forma, as informações geradas devem ser utilizadas para o adequado planejamento dos usos preponderantes, emissões de outorgas, enquadramento de corpos d’água e cobranças dos usos múltiplos (Trindade *et al.*, 2017). O monitoramento da qualidade das águas superficiais no Brasil é realizado por meio da Rede Nacional de Monitoramento da

Qualidade de Água (RNQA), no qual foi operacionalizada pelo programa Qualiágua entre 2016 e 2021.

Este programa é coordenado pela Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA) e executado pelos estados da federação (ANA, 2022). A cobertura do monitoramento do programa Qualiágua ainda é desigual, principalmente na região norte do Brasil. Em 2016 eram 1.486 pontos em todo o país, contudo, o programa conseguiu ampliar chegando a 2.938 pontos em 2020.

A implantação e a manutenção da rede nacional monitoramento de qualidade da água é um grande desafio para o Brasil, devido a suas dimensões. Além disso, as redes de monitoramento executadas pelos órgãos estaduais não possuem padronização e nem frequências nos parâmetros analisados, dessa forma, a rede nacional ainda não está consolidada (Girardi *et al.*, 2019).

No estado de Minas Gerais o monitoramento da qualidade da água é realizado pelo Instituto Mineiro de Gestão da Águas (IGAM), através do programa Água de Minas, desde 1997. O programa está em execução há 25 anos e tem demonstrado sua importância na geração de informações que permitem o planejamento e a gestão integrada dos recursos hídricos mineiros (IGAM, 2022).

Em 2021, a rede contava com 673 estações de amostragens, localizadas nas bacias hidrográficas dos rios Buranhém, Itapemirim, Itabapoana, Itanhém, Itaúnas, Jucuruçu, Peruípe, São Mateus e Piracicaba/Jaguari, São Francisco, Grande, Doce, Paranaíba, Paraíba do Sul, Mucuri, Jequitinhonha e Pardo. No ano de 2016 o IGAM aderiu ao programa Qualiágua, apesar do término do programa em 2021, foi possível ao IGAM ampliar sua rede de monitoramento.

A Política Nacional de Recursos Hídricos estabelece que a gestão das águas deve ser participativa e descentralizada, dessa forma, a bacia hidrográfica deve ser adotada como unidade territorial para que ocorra a implantação do gerenciamento (Maier *et al.*, 2023). Visando orientar o planejamento e organização dos recursos hídricos em Minas Gerais, no ano de 2020 o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH-MG), através da Deliberação Normativa Nº 66, de 17 de novembro de 2020, criou as Unidades Estratégicas de Gestão do Estado de Minas Gerais (UEG), sendo: Rio São Francisco, Rio Jequitinhonha, Rio Doce, Rio Grande, Rio Paranaíba, Rio Paraíba do Sul, Rio Pardo, Rios Piracicaba/Jaguari e Bacias do Leste (IGAM, 2022).

A estações de monitoramento estão distribuídas geograficamente nas UEG. Ao todo o IGAM monitora 60 parâmetros, no entanto, nem todos esses parâmetros são monitorados em todas as estações. São realizadas quatro campanhas anuais, exceto para rio das Velhas, Doce e Paraopeba, no qual as coletas são mensais.

As amostras são coletadas e distribuídas em janeiro/fevereiro/março, abril/maio/junho, julho/agosto/setembro, outubro/novembro/dezembro e classificadas conforme o período chuvoso e de estiagem. O quadro 1 apresenta todos os parâmetros monitorados no programa Águas de Minas.

Quadro 1: Parâmetros de qualidade monitorados pelas estações no programa Águas de Minas.

Parâmetros monitorados no Programa Águas de Minas		
Alcalinidade total	Dureza total	Óleos e graxas
Alumínio dissolvido	Ensaio ecotoxicológico#	Oxigênio dissolvido*
Arsênio Dissolvido	<i>Escherichia coli</i> /colif. termotolerantes*	Perfil Térmico#
Arsênio total	Estanho total	pH <i>in loco</i> *
Bário total	Fenóis totais	Potássio dissolvido
Boro total	Feoftina <i>a</i> *	Saxitoxina#
Cádmio total	Ferro dissolvido	Selênio total
Cálcio total	Ferro total	Sódio dissolvido
Chumbo total	Fitoplâncton#	Sólidos dissolvidos totais*
Cianeto Livre	Fósforo total*	Sólidos em suspensão totais*
Cloreto total*	Macroinvertebrados bentônicos#	Sólidos sedimentáveis
Clorofila <i>a</i> *	Magnésio total	Sólidos totais*
Cobre dissolvido	Manganês total	Substâncias tensoativas
Coliformes totais*	Mercurio total	Sulfato total
Condutividade elétrica <i>in loco</i> *	Microcistina#	Sulfeto
Cor verdadeira	Níquel total	Temperatura da água*
Cromo total	Nitrato*	Temperatura do ar*
Demanda Bioquímica de Oxigênio*	Nitrito	Transparência da água
Demanda Química de Oxigênio*	Nitrogênio amoniacal total*	Turbidez*
Densidade de cianobactérias#	Nitrogênio orgânico	Zinco total

*Parâmetros comuns a todos os pontos nas campanhas intermediárias.

#Parâmetros analisados apenas em pontos específicos.

Fonte: IGAM, 2022.

3.1.1 Legislação aplicada à qualidade da água

A Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Também conhecida como Lei das Águas, trouxe os seguintes fundamentos para a gestão dos recursos Hídricos no Brasil:

I - a água é um bem de domínio público;

II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;

III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas

V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

A PNRH possui como objetivos: assegurar a presente e futuras gerações água com qualidade e quantidade; incentivar e promover o aproveitamento das águas pluviais; assegurar a utilização racional dos recursos hídricos; prever e defender o recurso e a prevenção e defesa de eventos hidrológicos naturais ou decorrentes do mau uso dos recursos hídricos. A lei das águas trouxe importantes instrumentos para a gestão dos recursos hídricos, sendo eles: “os Planos de Recursos Hídricos, o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos, a cobrança pelo uso de recursos hídricos, a compensação a municípios e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos” (Brasil, 1997).

O plano de recursos hídricos deve ser elaborado em três níveis: nacional, estadual e de bacia hidrográfica. Segundo Senra e Nascimento (2017), a gestão integrada dos recursos hídricos no Brasil proporcionou a aprovação de diversas políticas setoriais nos últimos 20 anos. Em 2006 o país cumpriu a meta da Organização das Nações Unidas (ONU) e criou o Plano Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (PNRH), instituído pela resolução nº 58, de 30 de janeiro de 2006 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Tornou-se referência nas Américas por ser o primeiro país a implementar o PNRH. O plano nacional e os estaduais devem conter diretrizes e propostas estratégicas gerais e os planos de bacia devem ter o cunho operacional, com ações de natureza executiva no âmbito regional.

O plano de recursos hídricos estabelecidos dentro do âmbito da bacia hidrográfica deve permitir uma integração com os demais instrumentos de gestão. O plano de bacia deve estabelecer as metas para a qualidade da água (enquadramento), apontar a prioridades de uso (outorgas), estabelecer os critérios para a cobrança do uso dos recursos hídricos e com todas essas informações subsidiar dados para um sistema de informação. A figura 1 apresenta a interação dos instrumentos através do estabelecimento de diretrizes (ANA, 2013).

Figura 1: Integração do plano de recursos hídricos com os demais instrumentos de gestão.



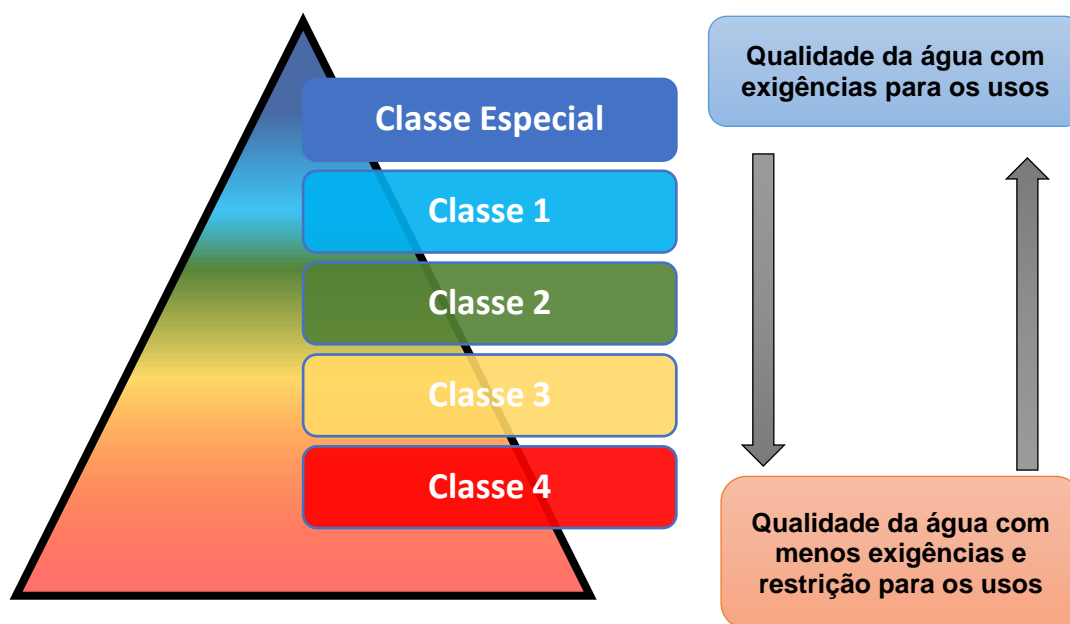
Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

3.2 ENQUADRAMENTO DE CORPOS HÍDRICOS

O enquadramento dos corpos hídricos é um dos instrumentos instituídos da PNRH, no qual representa o estabelecimento do objetivo de qualidade a ser mantida ou alcançada em um curso hídrico. O enquadramento busca assegurar que a qualidade das águas esteja compatível com os usos a qual foram destinadas. Para o estabelecimento das metas de qualidade é necessário avaliar três pilares: a condição atual “*o rio que temos*”, as condições de qualidade desejada “*o rio que queremos*” e a definição das metas a serem cumpridas por todos os atores da bacia hidrográfica “*rio que podemos ter*”, considerando as limitações socioeconômicas local (ANA, 2020).

A PNRH prevê que o enquadramento dos corpos de água seja em classes e em relação aos usos preponderantes. A Resolução do Conama Nº 357, de 17 de março de 2005 dispõe sobre as diretrizes de enquadramento, portanto, as águas doces são classificadas em: classe especial, classe I, classe II, classe III e classe IV. Quanto maior o número da classe, menor o requisito aos parâmetros de qualidade e mais restritivo será seu uso. Portanto, para cada uso pressupõe-se uma maior ou menor exigência da qualidade da água, conforme a figura 2.

Figura 2: Classes de enquadramento das águas em relação aos usos, segundo Resolução Conama nº 357/2005.

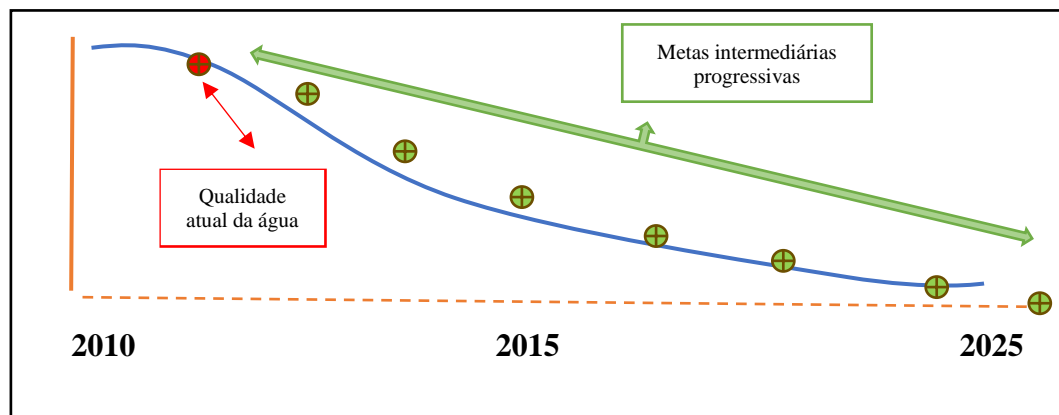


Fonte: elaborado pela autora, adaptado de ANA (2020).

A classificação das águas doces serão conforme os usos preponderantes, no caso do abastecimento humano, quanto maior a classe do corpo hídrico, mais dispendioso será o tipo de tratamento para garantir a potabilidade. Para a irrigação a classe de usos será indicada conforme o tipo de cultura, por exemplo, hortaliças consumidas cruas só podem ser cultivadas utilizando águas até classe 1. E para o uso de águas classes 4, onde há um grande comprometimento da qualidade, só podem ser destinadas a navegação e paisagismo.

A Resolução Conama nº 357/2005 prevê que os corpos hídricos em que ainda não foram estabelecidos o enquadramento, sejam considerados classe 2. As metas de enquadramento (figura 3) devem ser elaboradas levando em consideração o Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica, devem ser coerentes e factíveis (ANA, 2020). As metas precisam apresentar condições reais de serem atingidas, mas não podem ser muito modestas ao ponto de impedir os usos múltiplos.

Figura 3: Metas intermediárias e progressivas a serem utilizadas na proposta de enquadramento.



Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de ANA (2013).

3.3 ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA

Os indicadores ambientais se tornaram uma excelente ferramenta nos processos de implantação políticas públicas e programas ligados à qualidade das águas.

O Índice de Qualidade das Águas (IQA), foi desenvolvido em 1970, pela National Sanitation Foundation nos Estados Unidos. Esse índice foi criado para avaliar as condições da água bruta utilizado no abastecimento humano. Os parâmetros utilizados no cálculo do IQA são indicadores de contaminação por efluentes domésticos (CETESB, 2017).

Para o cálculo do IQA foram definidos nove parâmetros, conforme apresenta o quadro 2 e estabelecidos as curvas de variação da qualidade das águas (quadro 2), segundo o estado ou condição de cada parâmetro. O IQA é calculado pelo produtório correspondentes às variáveis que integram o índice. Para cada variável é atribuído um peso de acordo com sua relevância (Von Sperling, 2005).

Quadro 2: Parâmetros de qualidade do IQA e respectivo peso.

Parâmetros de Qualidade da Água	Peso (w)
Oxigênio Dissolvido	0,17
Coliformes Termotolerantes	0,15
pH	0,12
Demanda bioquímica de oxigênio – DBO 5,20	0,10
Temperatura da água	0,10
Nitrogênio Total	0,10
Fósforo Total	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos Totais	0,08

Fonte: elaborado pela autora, adaptado de CETESB (2017).

Para calcular os valores do IQA é utilizado a seguinte fórmula:

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

Onde:

IQA= Índice de Qualidade das Águas;

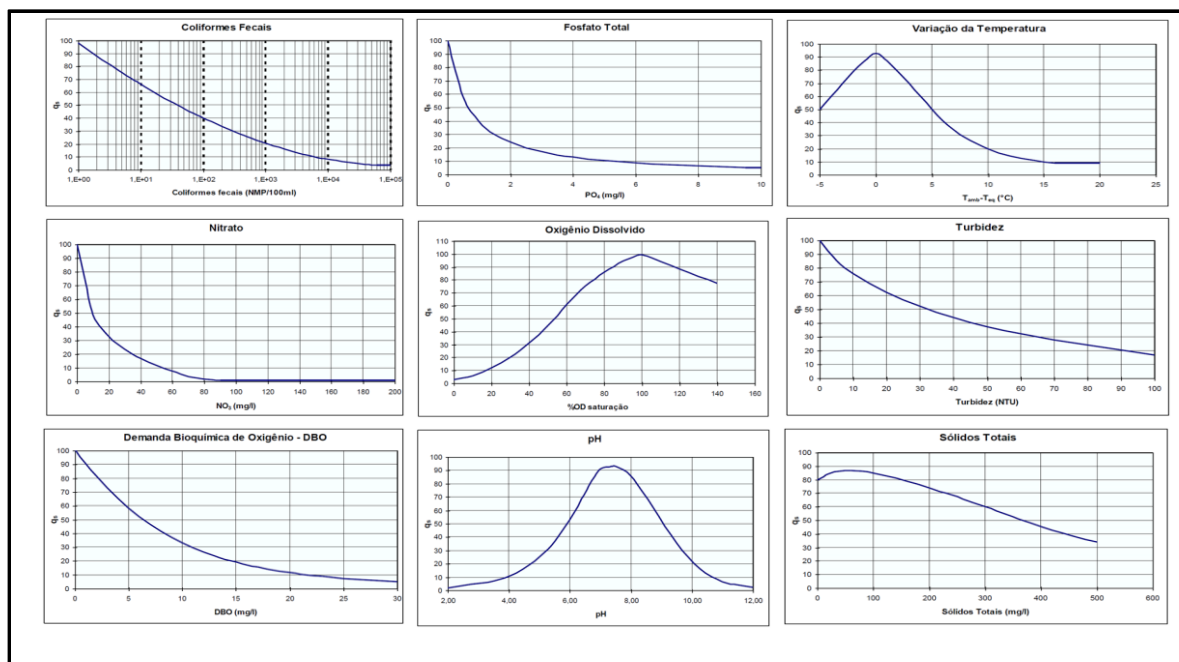
n = número de variáveis utilizadas no cálculo;

w_i = peso correspondente i-ésimo parâmetro, valor atribuído entre 0 e 1, atribuído a sua importância na qualidade da água;

q_i = qualidade do i-ésimo parâmetro, valor atribuído entre 0 e 100, obtido na curva média de variação da qualidade, em função da concentração.

A figura 4, apresenta as curvas médias de variação referente aos nove parâmetros que compõe ao IQA.

Figura 4: Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas.



Fonte: IGAM (2018).

O IQA só pode ser calculado quando há os valores das nove variáveis, na ausência de valores referente a algum parâmetro o cálculo é inviabilizado. Após os cálculos, o IQA indicará um valor entre 0 e 100, determinando a qualidade da água bruta. Além do IQA, no Brasil também são utilizados outros índices que possibilitam integrar mais parâmetros e apresentar informações mais específicas sobre a qualidade das águas (CETESB, 2019), sendo eles:

- Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público (IAP);
- Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática (IVA);
- Índice do Estado Trófico (IET);
- Índice da Comunidade Fitoplanctônica (ICF);
- Índice da Comunidade Zooplanctônica (ICZ);
- Índice de Balneabilidade (IB).

3.3.1 Índice de conformidade ao enquadramento – ICE/CCME

O Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) foi desenvolvido pelo Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente (CCME) no ano de 1997, desde então, tem sido amplamente utilizado no Canadá e em outros países, como ferramenta para verificar a qualidade da água. Este índice permite combinar matematicamente os parâmetros de monitoramento e fornece uma descrição geral da qualidade da água (CCME, 2001).

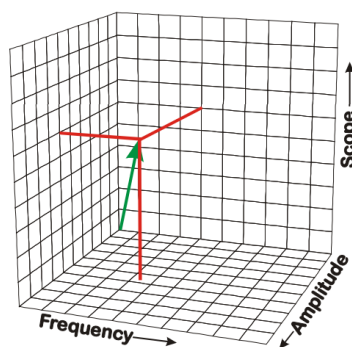
É um índice de fácil aplicação e através dele é possível verificar a condição de qualidade em relação ao seu enquadramento. Dessa forma, o cálculo do índice está baseado na comparação dos valores dos parâmetros monitorados com os padrões de qualidade estabelecidos pela legislação (Amaro, 2009).

Portanto, para a aplicação do ICE-CCME é necessário a combinação de três fatores: o escopo, a frequência e a amplitude.

- 1) Escopo: o número de parâmetros não atendidos pelas diretrizes (Fator 1).
- 2) Frequência: a frequência que as diretrizes não foram atendidas (Fator 2).
- 3) Amplitude: valor pelo qual as diretrizes não são atendidas (Fator 3).

A combinação matemática dos três fatores (figura 5) resultará em único valor entre 0 e 100, no qual indica a condição da qualidade da água.

Figura 5: Modelo conceitual dos fatores escopo, frequência e amplitude no cálculo do ICE-CCME.



Fonte: CCME (2001).

O cálculo dos três fatores que compõe o índice obedece a sequência do fator 1, fator 2 e fator 3, conforme abaixo:

- a) *Fator 1* considera a porcentagem de variáveis que violaram o valor permitido, pelo menos uma vez durante o período analisado (CCME, 2001).

$$\mathbf{Fator\ 1} = \frac{\text{Número de parâmetros que falharam}}{\text{Número total parâmetros monitorados}} \times 100 \quad (1)$$

- b) *Fator 2* considera a porcentagem de vezes que a variáveis individuais não atenderam ao limite estabelecido (CCME, 2001).

$$\mathbf{Fator\ 2} = \frac{\text{Número de parâmetros não conformes}}{\text{Número total de análises realizadas}} \times 100 \quad (2)$$

- c) Fator 3 é calculado em três etapas, este fator representa a porcentagem dos testes em não conformidades não alcançaram os padrões estabelecidos (CCME, 2001).

Etapa 1: Cálculo do ΔV (variação) refere ao número de vezes que o parâmetro individual é maior que o limite estabelecido ou menor quando o limite é mínimo. Aplica-se quando o valor do parâmetro não excede o valor limite definido.

$$\Delta V (\text{variação}) = \frac{\text{Parâmetro testado que falhou}}{\text{Limite estabelecido}} - 1 \quad (3)$$

Quando o valor do parâmetro analisado não deve ser menor que o limite estabelecido, a equação aplicada é:

$$\Delta V (\text{variação}) = \frac{\text{Limite estabelecido}}{\text{Parâmetro testado que falhou}} - 1 \quad (4)$$

Etapa 2: Nesta etapa ocorre o cálculo da *snv* (soma normalizada das variações), o número total de parâmetros analisados individuais que apresenta “não conformidade” é calculado através da soma dos parâmetros individuais e dividido pelo número total de testes.

$$\mathbf{snv} = \frac{\sum_{i=1}^n}{\text{Número total de testes}} \quad (5)$$

Etapa 3: Aplica-se o cálculo para o fator 3, considerando a soma normalizada das variações dos parâmetros (*snv*), padronizadas entre 0 e 100.

$$\text{Fator 3} = \frac{\text{snv}}{0,01 \cdot \text{snv} + 0,01} \quad (6)$$

O Índice CCME WQI é obtido através da relação (7), onde considera-se o fator 1,732 para normalizar o resultado, pois cada um dos três fatores pode chegar a 100.

$$\text{CCME WQI} = 100 - \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \quad (7)$$

Considerado a faixa de resultado entre 0 e 100, as categorias de qualidade são consideradas conforme o quadro 3.

Quadro 3: Classificação adotada pelo ICE/CCME

Categoria		Valores
Excelente	Conforme	95 - 100
Bom		80 - 94
Razoável		65 - 79
Marginal	Afastado	45 - 64
Ruim	Não conforme	0 - 44

Fonte: Elaborado pela autora (CCME, 2001).

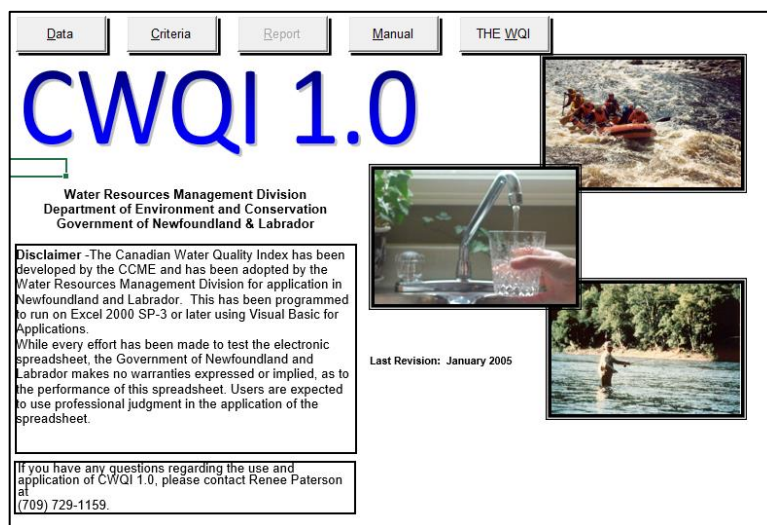
- **Excelente (95 -100):** Os valores de qualidade da água nunca ou muito raramente excedem os limites definidos para a qualidade da água, nível desejado ou condição natural.
- **Bom (80 - 94):** Os valores de qualidade de água raramente excedem os limites dos padrões de qualidade da água.
- **Razoável (65 -79):** Os valores de qualidade da água às vezes excedem os limites parâmetros de qualidade da água.
- **Marginal (45 -64):** Os valores de qualidade da água geralmente excedem os limites dos padrões qualidade da água.
- **Ruim (0 – 44):** Os valores de qualidade da água sempre excedem os limites dos padrões de qualidade, condição afastada dos níveis desejados ou condição natural.

Através do resultado expresso pelo cálculo do índice CCME-WQI é possível avaliar o quanto existe de influência antrópica na água, ou seja, o valor numérico baixo denota constante alteração na qualidade da água, causada pelo lançamento de efluentes ricos em matéria

orgânica. Nos estudos realizados por Amaro (2008) nas bacias do Piracicaba/Capivari/Jundiá (PCJ), os resultados obtidos pelo cálculo do ICE foram capazes de indicar o quanto alguns trechos estavam em desacordo com o enquadramento estabelecido.

O CCME desenvolveu e disponibilizou uma calculadora interativa, a Water Quality Index 1.0 (CWQI 1.0), que é uma planilha em Excel, onde os cálculos propostos pelo índice já estão programados. A interface da calculadora permite que os usuários insiram as diretrizes de qualidade escolhidas (figura 6).

Figura 6: Interface de navegação da calculadora desenvolvida pelo CCME.



Fonte: CCME-CWQI 1.0 (2001).

O item critérios da calculadora permite que os usuários insiram as diretrizes de qualidade escolhidas (figura 7). A calculadora disponibiliza 50 variáveis comumente usadas, o usuário escolhe as variáveis e altera os limites aceitáveis individuais.

Figura 7: Item critérios para inserção das variáveis e limites para cálculos do ICE.

User Defined Data Format			Classe 2		Classe 3			
Variables	Symbol	Units	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper
1 Coliformes Totais	CT			5000		5000		
2 Clorofila A	CLA	ug/L		30		60		
3 Demanda Bioquímica de Oxigênio	DBO	mg/L		5		10		
4 Demanda Química de Oxigênio	DQO	mg/L		180		180		
5 Escherichia Coli	EC	NMP		1000		2500		
6 Ferro Dissolvido	F	mg/L		0.3		5		
7 Fósforo Total	P	mg/L		0.05		0.05		
8 Nitrato	NI	mg/L		10		10		
9 Nitrato	NIT	mg/L		1		1		
10 Nitrogênio Amoniacal Total	NAT	mg/L		3.7		13.3		
11 Oxigênio Dissolvido	OD	mg/L	5		4			
12 Sólidos Dissolvidos	SD	mg/L		500		500		
13 Sólidos em Suspensão	SS	mg/L		100		100		
14 Sólidos Totais	ST	mg/L		100		100		
15 Turbidez	TU	UNT		100		100		
16 pH	pH		6	9	6	9		
17 cor verdadeira	CV	mg.Pt/L		75		75		

Fonte: Elaborado pela autora, (CCME-CWQI 1.0).

No item dado é onde são inseridos os resultados dos parâmetros monitorados (figura 8), duas primeiras linhas são reservadas para os rótulos de dados (parâmetros e unidade medida). A primeira coluna insere-se a data e nas demais os valores referentes as amostragens realizadas. Uma vez que os dados foram inseridos, a calculadora está pronta para calcular, basta pressionar a opção “compute”.

Figura 8: Item dados para inserção dos valores das amostragens para cálculo do ICE.

Fonte: Elaborado pela autora, (CCME-CWQI 1.0).

Após o cálculo, o item “report” disponibiliza o resumo dos resultados (figura 9). O relatório descreve o valor do CWQI (entre 0 e 100), a categoria e os valores referente aos fatores F1, F2 e F3 utilizados nos cálculos o índice.

Figura 9: Resumo dos resultados após o cálculo utilizando a calculadora CWQI.

Data Summary	Classe 2	Classe 3				
CWQI	46	56				
Categorization	Marginal	Marginal				
F1 (Scope)	50	44				
F2 (Frequency)	38	29				
F3 (Amplitude)	69	56				
Minimal Dataset Requirement of 4 Variables	Met	Met				
Contaminant Analysis of Last Sample	Not Tested	Not Tested				
Details of any contaminant failures listed at the bottom of this sheet when applicable.						
Turbidity Flagging Option	Not Used					
Site Specific Guideline Generation Option (CCME)	Not Used		Details available in Calculations Summary when applied.			
File Used: C:\WINDOWS\Desktop\testdata1.xls						
In-depth Report Options	Calculations Summary	WQI Chart	Indexed Test Data	Please Note: In order to provide meaningful results the CWQI should be applied on data sets that contain at least 4 variables and at least 4 tests of each variable. However, users can exercise professional judgement based on knowledge of the data and site specific conditions.		
	Data Outliers	Turbidity				

Fonte: Elaborado pela autora, (CCME-CWQI 1.0).

Uso do ICE-CCME tem se difundido aos poucos no Brasil, a ANA e o IGAM têm aplicado a modelagem aos resultados das estações de monitoramento da qualidade da água. O ICE-CCME tem sido objeto de estudos e pesquisas acadêmicas.

Almeida (2007), avaliou a eficiência do ICE-CCME, através de análise comparativa com o IQA da NSF (National Sanitation Foundation). O estudo foi realizado com dados de monitoramento em 11 pontos localizados no rio Cuiabá, no estado do Mato Grosso, entre os anos de 2001 a 2005. O autor concluiu que o método IQA-CCME pode ser utilizado para uniformizar os cálculos de IQA usados no monitoramento de qualidade de água no Brasil.

Amaro (2009), realizou um estudo de avaliação da conformidade do enquadramento das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. A pesquisa baseou-se nos dados de qualidade disponibilizados pela CETESB. A pesquisa demonstrou resultados satisfatórios na aplicação do ICE-CCCME, sendo possível a indicação do trecho do rio em acordo ao enquadramento. O autor também identificou a correlação entre o uso e ocupação do solo com o afastamento do enquadramento, evidenciando que no meio urbano, devido ao lançamento de efluentes com altas cargas de DBO, coliformes e fósforo total, são os principais responsáveis pela degradação da qualidade das águas.

Schneider *et al.*, (2016), utilizou em sua pesquisa o ICE-CCME para comparar o enquadramento da bacia experimental (7 pontos monitorados), composta por quatro municípios localizados na região do Médio Rio Guaporé. O estudo concluiu que um único ponto estava em conformidade com o enquadramento estabelecido, os demais se apresentaram afastados da meta de enquadramento, em virtude da presença de coliformes e nitratos.

Pinto *et al.*, (2016), propôs avaliar o cumprimento das metas de enquadramento no trecho baixo rio das Velhas utilizando o ICE-CCME, no período de 2013 a 2015. O estudo concluiu que entre 2013 e 2014 houve uma melhora na qualidade da água, no entanto, o período seguinte indicou aumento na deterioração da qualidade da água no trecho em estudo. O parâmetro que mais se destacou com violação do padrão foi o arsênio, sendo sua presença associada ao beneficiamento de ouro na calha do rio das Velhas.

Oliveira *et al.*, (2018) verificaram a variação da qualidade da água dos reservatórios localizados no estado de Pernambuco, através do ICE-CCME e correlacionaram com os dados pluviométricos. Os autores concluíram que há uma relação entre os valores de qualidade e os níveis de precipitação, que ora atuam de forma positiva e outra negativa. Os reservatórios de Agreste e Jucazinho apresentaram piora na qualidade da água durante o período chuvoso, devido ao carreamento de poluentes. No entanto, os dados de qualidade do reservatório de Bituri, a pluviometria contribuiu para a diluição dos poluentes e melhora nas condições de qualidade da água.

Strada (2021), avaliou a qualidade da água da sub-bacia do Arroio Lami e do Arroio do Salso, localizada no município de Porto Alegre/RS, através da aplicação do ICE-CCME, considerando a potencialidade do índice como ferramenta para a gestão dos recursos hídricos. A pesquisa

concluiu que a tendência de deterioração da qualidade das águas das sub-bacias está relacionada com a ocupação no extremo sul da cidade de Porto Alegre. A autora evidenciou que uma das vantagens metodológicas do ICE-CCME é por permitir agrupar os períodos de avaliação em biênios para séries históricas heterogêneas.

Neste sentido, a aplicação dos índices de qualidade da água são uma boa ferramenta para transformar dados complexos em informações de fácil compreensão, no entanto, os modelos de qualidade da água devem ser aplicados conforme o tipo de poluição em que se deseja verificar. O quadro 4 apresenta as diferenças de aplicabilidade e categorias entre o IQA e o ICE.

Para aplicação do IQA é necessário obter o valor das nove variáveis, caso não se disponha de alguma variável o cálculo do IQA é inviabilizado. Sua aplicabilidade se restringe a verificação da presença de efluentes doméstico em um corpo hídrico, pois os parâmetros pré definido para o cálculo indicam presença de matéria orgânica. Dessa forma, o IQA apresenta limitações em sua aplicação, refletindo apenas a presença de efluentes e não considerando como exemplo a presença de metais pesados.

Quadro 4: Categorias de classificação, aplicabilidade e variáveis em que se baseiam os índices IQA e ICE.

Índice de Qualidade	Categoria				
IQA	Ótima $79 < IQA \leq 100$	Boa $51 < IQA \leq 79$	Regular $36 < IQA \leq 51$	Ruim $19 < IQA \leq 36$	Péssima $IQA \leq 19$
ICE	Excelente $95 < ICE \leq 100$	Bom $80 < ICE \leq 94$	Razoável $65 < ICE \leq 79$	Marginal $45 < ICE \leq 64$	Ruim $ICE \leq 44$
Principal finalidade de aplicação					
IQA	Verificar a presença de efluente (principalmente doméstico)				
ICE	Verificar se qualidade da água está de acordo os requisitos conforme o enquadramento atual				
Variáveis que compõem os índices					
IQA	Temperatura, pH, Oxigênio Dissolvido, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Escherichia coli/Coliformes Termotolerantes, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Sólidos Totais e Turbidez.				
ICE	Podem ser utilizadas até 50 variáveis de qualidade da água				

Fonte: Elaborado pela autora, (CCME, 2001 e CETESB, 2018).

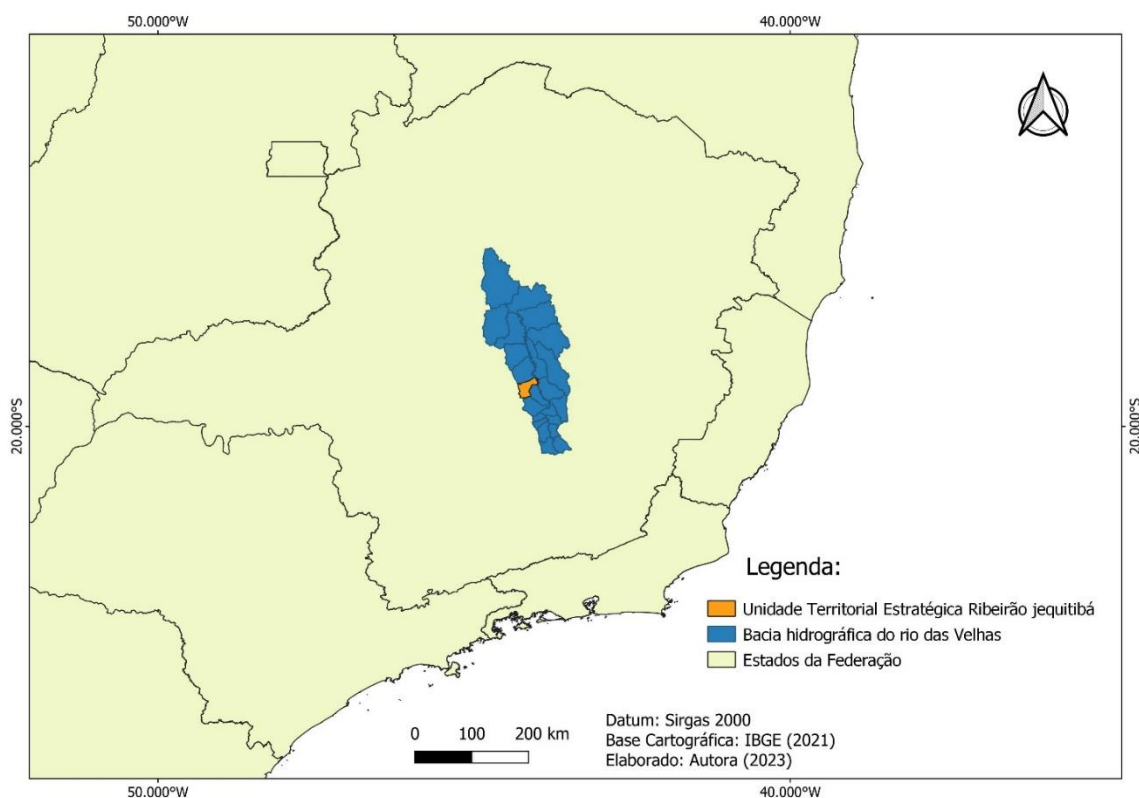
Por sua vez, a aplicação do ICE é mais flexível por permitir a utilização de dezenas de variáveis, além disso, através do ICE é possível a verificação da condição de qualidade em conformidade ou não com a legislação vigente. Tanto IQA quanto o ICE apresentam o resultado final categorizado em uma faixa de valor que varia de 0 a 100, expressando os valores mais próximos de 100 com classificação ótima/excelente e os valores mais próximos a 0 denotando a qualidade das águas como péssima/ruim.

4. ÁREA DE ESTUDO

4.1 UNIDADE TERRITORIAL ESTRATÉGICA RIBEIRÃO JEQUITIBÁ

A UTE Ribeirão Jequitibá faz parte das 23 unidades territoriais que compõem a bacia hidrográfica do rio das Velhas. A UTE (13) está localizada no Médio Rio das Velhas (CBH rio das Velhas, 2016). A unidade está inserida na região central do estado de Minas Gerais (figura 10). Sua nascente principal está localizada no município de Ouro Preto, na cachoeira das Andorinhas. A bacia hidrográfica do rio da Velhas é uma das Unidades de Planejamento de Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH – SF5) do estado de Minas Gerais e possui enquadramento vigente.

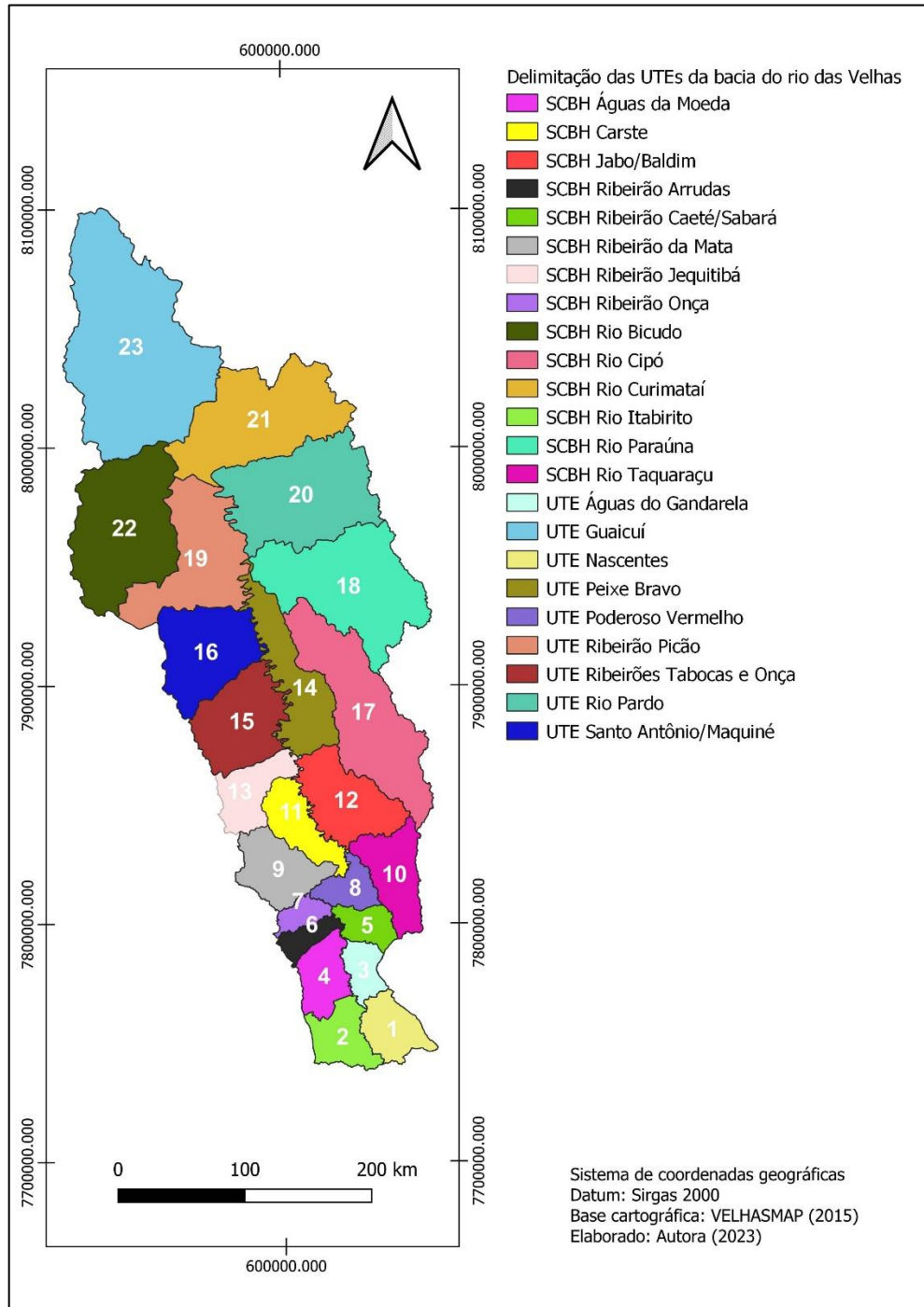
Figura 10: Localização da Unidade Territorial Estratégica Ribeirão Jequitibá/MG.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A bacia do rio das Velhas é dívida por trechos, portanto, as UTEs estão agrupadas em quatro regiões dentro da bacia hidrográfica, sendo o trecho alto rio das Velhas, médio alto rio das Velhas, médio baixo rio das Velhas e o baixo rio das Velhas. A figura 11 apresenta a divisão geográficas das UTEs da bacia do rio das Velhas

Figura 11: Delimitação geográfica das UTEs da bacia hidrográfica do rio das Velhas.

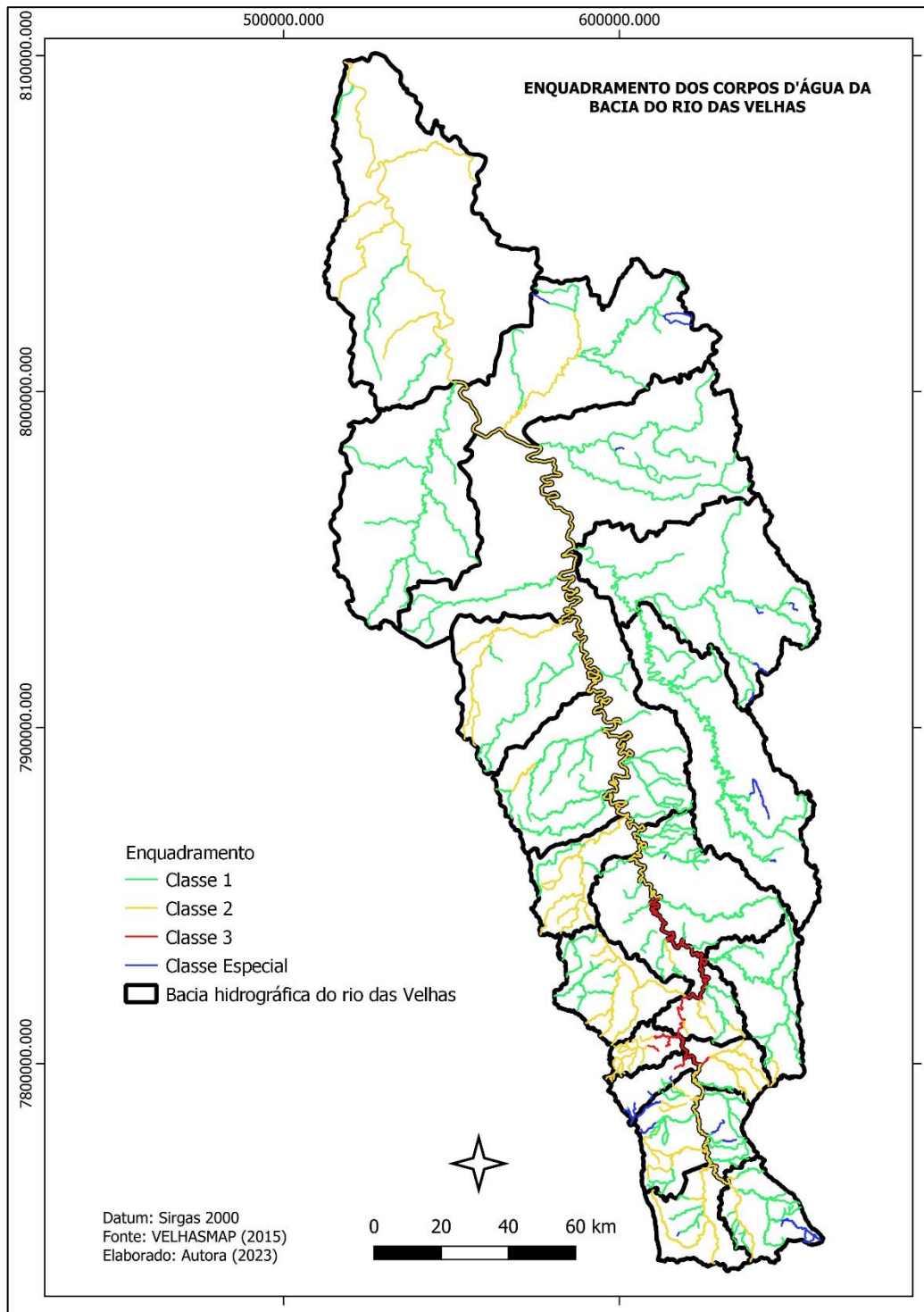


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

No ano de 1997, atendendo as solicitações do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM), a Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM), efetuou o primeiro enquadramento das águas da bacia do rio das Velhas. Contudo, no ano de 2004 o comitê de bacia do Rio das Velhas solicitou o reenquadramento das águas da bacia, com intuito de

melhorar a qualidade ambiental e assegurar a saúde da população. Dessa forma, trechos que eram classificados como classe 3 passaram a se enquadrar como classe 2 (figura 12).

Figura 12: Enquadramento dos corpos d'água da bacia do rio das Velhas.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

De acordo com os estudos realizados para elaboração do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio das Velhas (2015), os resultados apresentados referente aos cálculos

do ICE para o período entre 2004 a 2012, indicaram acentuada melhora nos níveis de qualidade das águas, com valores predominantemente bons e aceitáveis.

Contudo, o diagnóstico realizado para elaboração do Plano Diretor apresentou alguns resultados nas faixas inaceitáveis, a partir do trecho de confluência do rio Jaboticatubas (BV156) com o rio das Velhas, assim como nos trechos no córrego no Diogo (SC25) e ribeirão Matadouro (SC26), no qual recebem lançamentos de efluentes da cidade de Sete Lagoas. Os estudos de diagnósticos ainda apontaram incompatibilidade entre o enquadramento vigente com os níveis de qualidade encontrados e os usos preponderantes, salientando a necessidade de uma posterior revisão do enquadramento.

4.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA UTE RIBEIRÃO JEQUITIBÁ

A delimitação geográfica da UTE abrange cinco municípios: Sete Lagoas, Prudente de Morais, Capim Branco, Funilândia e Jequitibá. A cidade de Sete Lagoas é a que detém a maior população e conseqüentemente a que causa maior pressão na qualidade hídrica da UTE. O quadro 5 apresenta uma breve caracterização dos municípios.

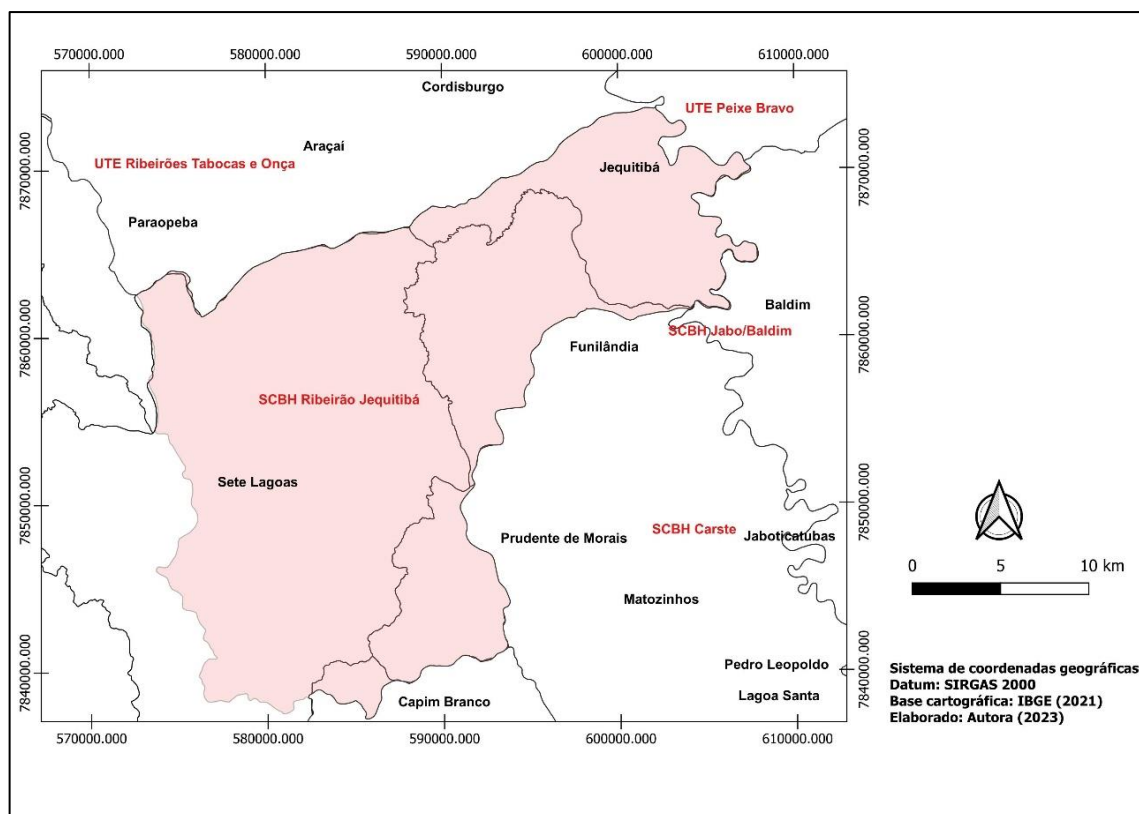
Quadro 5: Municípios que fazem parte da delimitação da UTE Ribeirão Jequitibá.

Municípios	População estimada (2021)	Área territorial km²
Capim Branco	10.663	95,333
Funilândia	4.686	199,797
Jequitibá	5.883	445,030
Prudente de Morais	11.466	124,189
Sete Lagoas	227.397	536,928

Fonte: IBGE (2022).

As cinco cidades que fazem parte da UTE Ribeirão Jequitibá, possuem parcialmente os territórios inseridos (figura 13). A área total considerada para a UTE é de 624,08 km², correspondente a 2,24% da área da bacia hidrográfica do rio das Velhas. (PDRH rio das Velhas, 2015).

Figura 13: Delimitação geográfica das cidades que compõe a UTE Ribeirão Jequitibá.

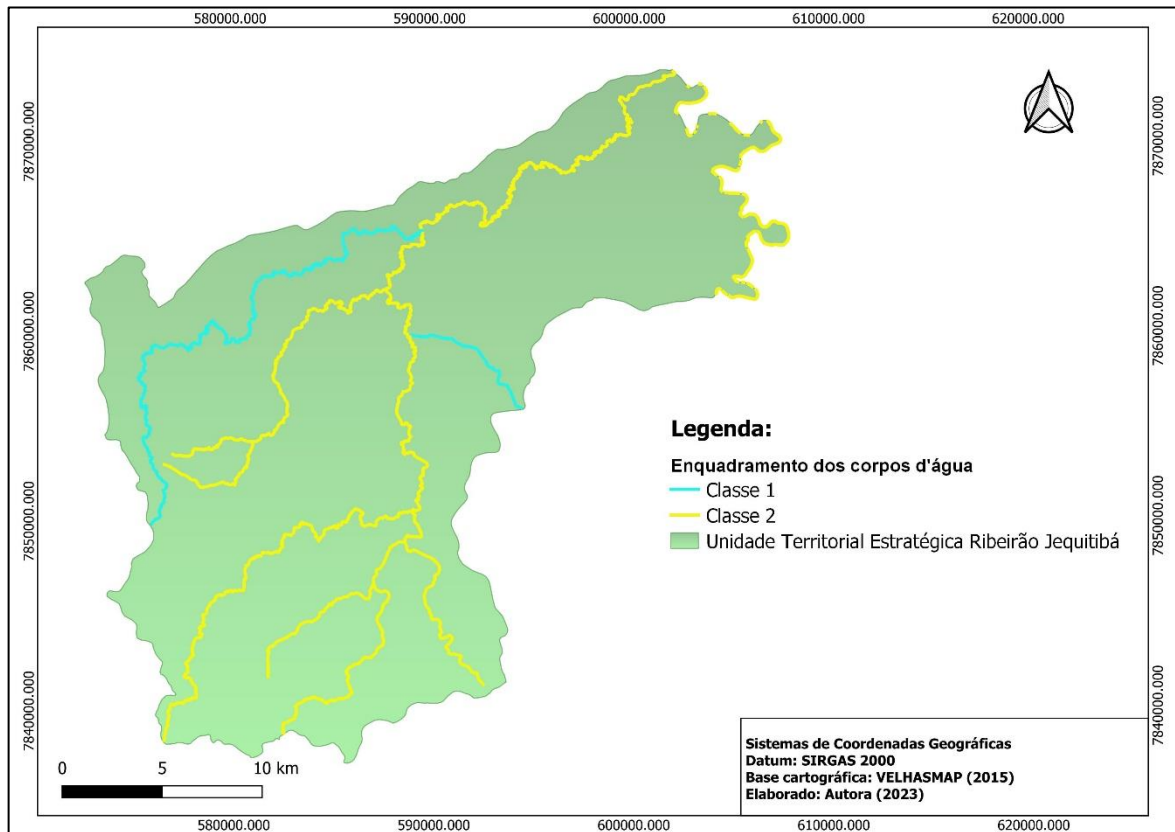


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O ribeirão Jequitibá é o principal curso hídrico da UTE, possui cerca de 64 km, sua nascente encontra-se na divisa dos municípios de Sete Lagoas e Capim Branco. Os principais tributários do ribeirão Jequitibá são os córregos do Diogo, ribeirão Paiol, córrego da Aguada e o córrego Cambaúbas (RTPT ribeirão Jequitibá, 2013).

O ribeirão Jequitibá é considerado classe 2 desde a sua nascente até a confluência com Rio das Velhas, denominado trecho 90 dentro da bacia hidrográfica do rio das Velhas. Já o ribeirão Paiol (trecho 91) e o córrego Saco da Vida (trecho 92) são considerados classe 1 até a confluência com Ribeirão Jequitibá (PDRH rio das Velhas, 2005). A figura 14 apresenta o enquadramento dos corpos d'água da UTE Ribeirão Jequitibá.

Figura 14: Enquadramento dos corpos d'água da UTE Ribeirão Jequitibá.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

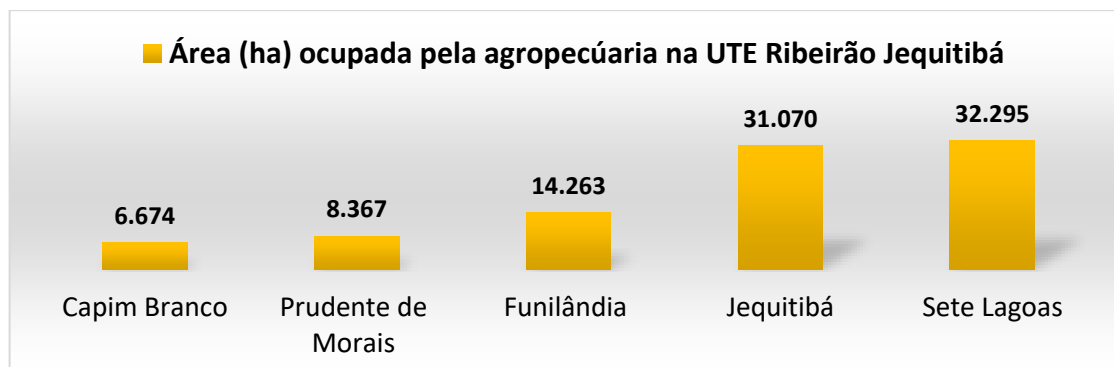
4.2.2 Uso e ocupação do solo

A atividades econômicas desenvolvidas no interior da UTE são fruto das formas de uso e ocupação do solo que se intensificaram a partir da década de 1970, principalmente no município de Sete Lagoas. As principais interferências na qualidade das águas superficiais da UTE são: agropecuária, assoreamento, efluente doméstico e industriais, queimadas e atividades minerárias (CBH rio das Velhas, 2016). A figura 15 apresenta a quantidade em hectares ocupada pela atividade de agropecuária nos municípios da UTE Ribeirão Jequitibá.

Nos estudos elaborados por Landau *et al.*, (2011) através de técnicas de geoprocessamento, analisou-se espacialmente o crescimento da área urbana do município de Sete Lagoas entre os anos de 1949 e 2010, os autores concluíram que em 1949 a área urbana concentrava a 1 km ao redor da Lagoa Paulino (atualmente região central da cidade de Sete Lagoas), entre 1965 a 1972 a área urbana havia estendido 0,5 km em direções diferentes. E entre 1989 e 2010 a expansão foi predominantemente na região nordeste, onde instalou-se o parque industrial da cidade. Os autores associaram o crescimento urbano da cidade de Sete Lagoas à população urbana, de modo que concluíram uma relação de crescimento de 2 km² por 1.000

habitantes. A figura 17 apresenta o uso e ocupação do solo no ano de 2021 na UTE Ribeirão Jequitibá.

Figura 15: Quantidade de hectares de área ocupados pela atividade de agropecuária nos municípios que compõem a UTE Ribeirão Jequitibá.

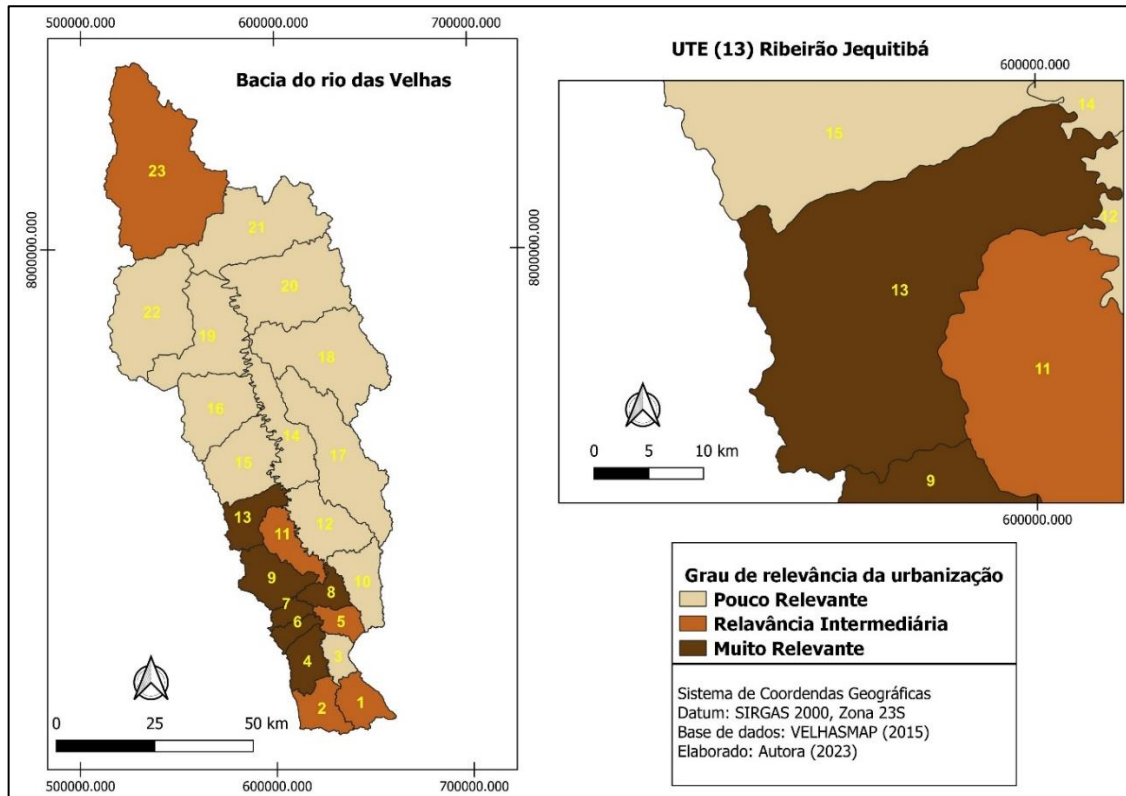


Fonte: Elaborado pela autora (Mapbiomas, 2021).

As cidades que compõem a UTE Ribeirão Jequitibá possuem cerca de 70% do seu território ocupado por atividades antrópicas e apenas 30% encontra-se em forma de áreas naturais (Mapbiomas, 2021). A expansão da ocupação do solo e o crescimento econômico por volta da década de 1970 e 1980, foi fortemente influenciada pelo setor siderúrgico na região de Sete Lagoas e, desde então, há uma pressão imobiliária e industrial no interior da UTE, podendo-se citar a presença de loteamentos e ocupação na área do córrego do Machado e Marinheiro, afluente do ribeirão Jequitibá (Embrapa, 2019). O parque industrial implantado no município de Sete Lagoas abriga importantes multinacionais, como Iveco, Ambev, Elma Chips e Caterpillar. Desde o ano de 2000 a cidade recebe migração de habitantes de outros estados para trabalhar no setor industrial (Schuch, 2022).

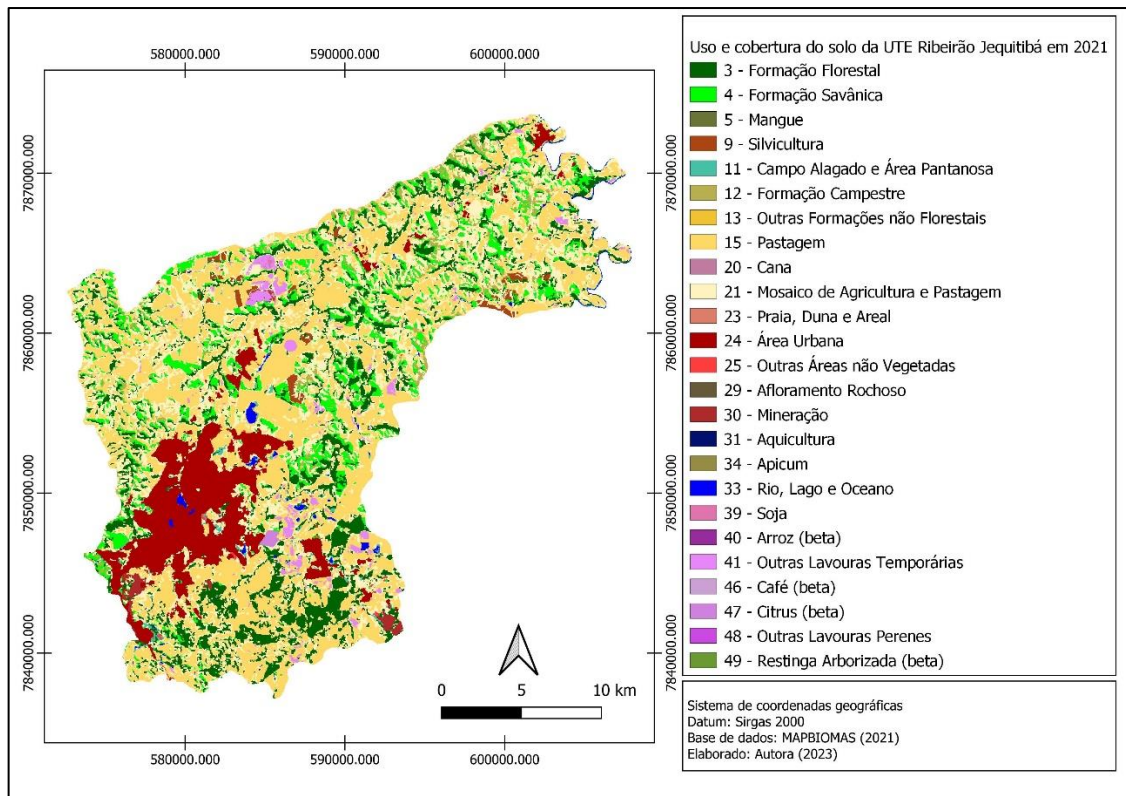
Conforme a figura 16, as UTEs inseridas na região metropolitana de Belo Horizonte, estão classificadas com grau de urbanização muito relevante. O trecho do rio das Velhas que passa por estas UTEs está em uma área com expressiva edificação e em processo crescente de urbanização. De acordo com os estudos elaborados por Ecoplan (2015) as UTEs com grau muito relevante para urbanização são: Águas da Moeda, Ribeirão Arrudas, Ribeirão Onça, Poderoso Vermelho, Ribeirão da Mata e Ribeirão Jequitibá. Na UTE Ribeirão Jequitibá a área urbanizada concentra-se no município de Sete Lagoas.

Figura 16: Grau de relevância da urbanização nas UTEs da bacia do rio das Velhas.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 17: Uso e cobertura do solo na UTE Ribeirão Jequitibá no ano de 2021.

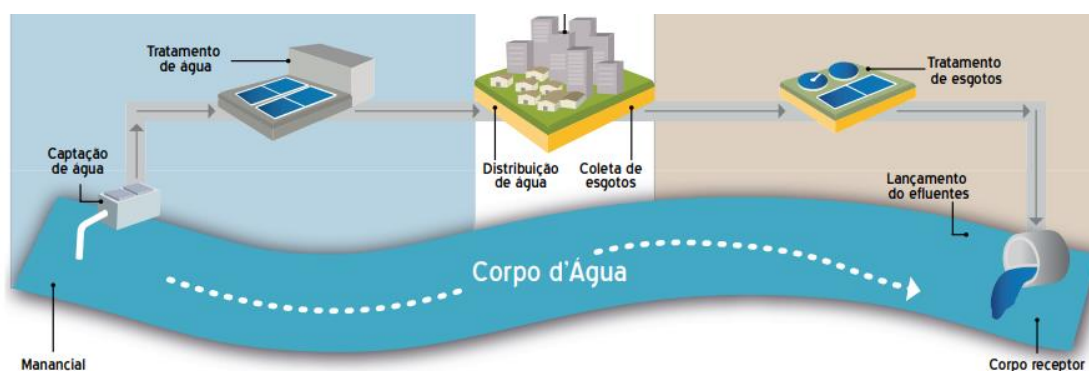


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

4.2.3 Esgotamento Sanitário

O esgotamento sanitário é um dos principais desafios da gestão hídrica. O déficit de coleta e de tratamento de esgotos nos municípios brasileiros tem comprometido a qualidade das águas superficiais. Os efluentes das redes coletoras deveriam ser direcionados para as estações de tratamento, no entanto, na prática, em muitas localidades são dispostos de forma *in natura* nos córregos e rios. Dessa forma, uma parcela significativa de carga poluidora é despejada diariamente nos corpos hídricos comprometendo os usos múltiplos (ANA, 2017). Analisando sob a ótica do sistema de tratamento e abastecimento de água, seguido pela coleta e tratamento dos esgotos, o ciclo é interrompido na rede coletora de esgoto devido à ausência de tratamento. A figura 18 ilustra o ciclo ideal de abastecimento e tratamento dos efluentes, mas que pela ausência e ineficiência do esgotamento sanitário não acontece.

Figura 18: Sistema ideal para a distribuição pública de água e coleta/tratamento de efluentes.



Fonte: ANA (2017).

Dados disponibilizados pela ANA (2017) através do *Atlas Esgotos* situa o atendimento à população brasileira com serviço de esgotamento sanitário da seguinte forma: 43 % (rede coletora e estação de tratamento), 12 % solução individual (fossa séptica), 18% (rede coletora, mas sem tratamento) e 27% (desprovido de rede coletora e tratamento).

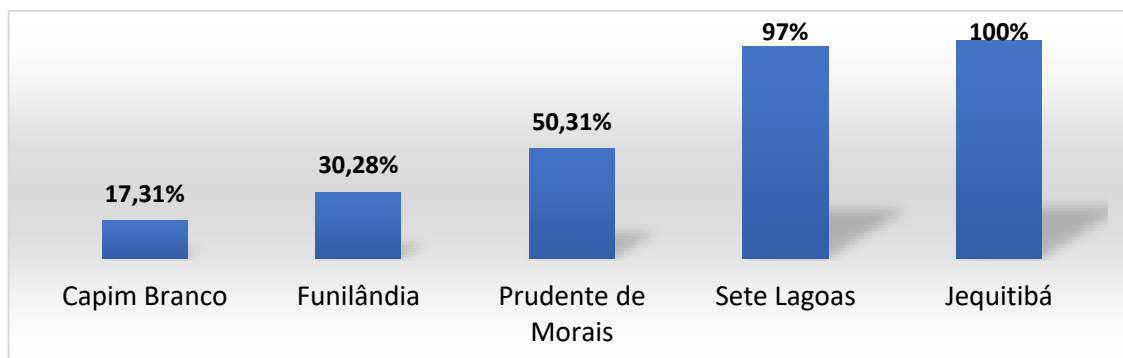
O cenário de esgotamento sanitário nos municípios que compõem a UTE Ribeirão Jequitibá é desafiador e endossa as estatísticas dos municípios que possuem rede coletora, mas estão desprovidos de tratamento de efluentes. Dessa forma, os esgotos domésticos são coletados e despejados em desconformidades com os padrões legais de lançamento. De acordo com a cartilha do Plano Diretor de Recursos Hídricos (PDRH) da Bacia Hidrográfica do Rio das

Velhas (2016), o índice de tratamento de esgoto da UTE Ribeirão Jequitibá é baixo, em torno de 26,56%.

O levantamento de dados relativos ao esgotamento sanitário dos cinco municípios que compõem a UTE, permitiu observar que a COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais) administra os serviços sanitários de três cidades, sendo: Pudente de Morais, Capim Branco e Funilândia. O esgotamento sanitário da cidade de Jequitibá é administrado por um departamento da Prefeitura Municipal e de forma parcial pela COPASA. Em Sete Lagoas a responsabilidade é do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE).

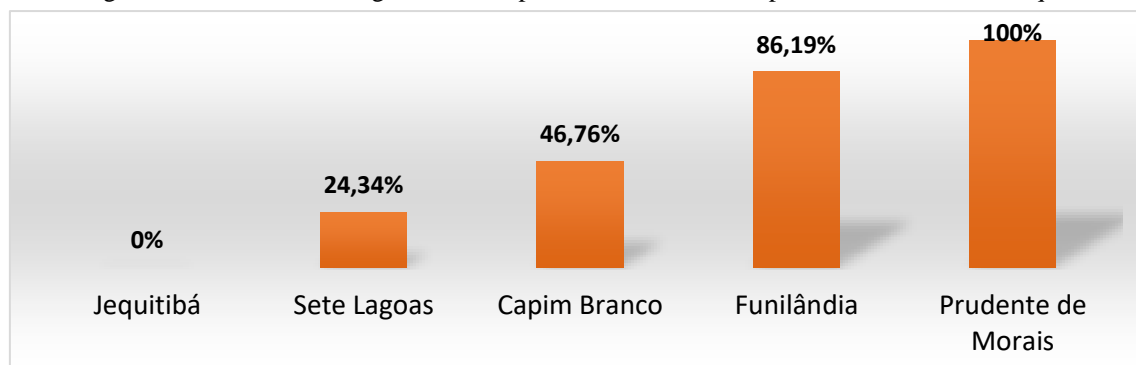
Dos dados declarados no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS em 2021 há uma dissimetria entre os percentuais de coleta de esgoto e os percentuais tratados. Conforme a figura 19, apesar dos municípios de Sete Lagoas (97%) e Jequitibá (100%), apresentarem um excelente percentual de coleta de esgoto, os respectivos municípios apresentam um índice baixo de tratamento, sendo 24,34% para o município de Sete Lagoas e conforme dados declarados no SNIS (2021) o município de Jequitibá não trata nenhum percentual do esgoto coletado (figura 20).

Figura 19: Percentual de esgoto coletado nos municípios da UTE Ribeirão Jequitibá.



Fonte: Elaborado pela autora (SNIS, 2021).

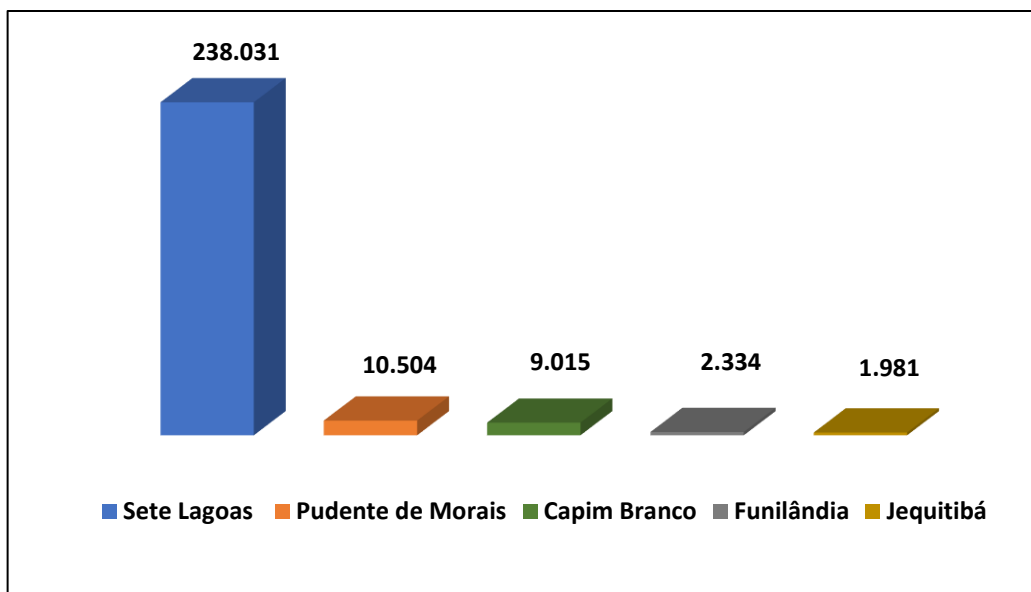
Figura 20: Percentual de esgoto tratado após a coleta nos municípios da UTE Ribeirão Jequitibá.



Fonte: Elaborado pela autora (SNIS, 2021)

O município de Sete Lagoas é o que detém a maior população urbana da UTE Ribeirão Jequitibá (figura 21), os residentes na área urbana dos outros quatro municípios que fazem parte da UTE, representam juntos um percentual de apenas 10% do total. Enquanto município de Sete Lagoas apresenta uma população residente na malha urbana de aproximadamente 238.031 habitantes, os outros quatro municípios juntos possuem 23.834 habitantes residindo no perímetro urbano.

Figura 21: População residente na área urbana dos municípios da UTE Ribeirão Jequitibá.



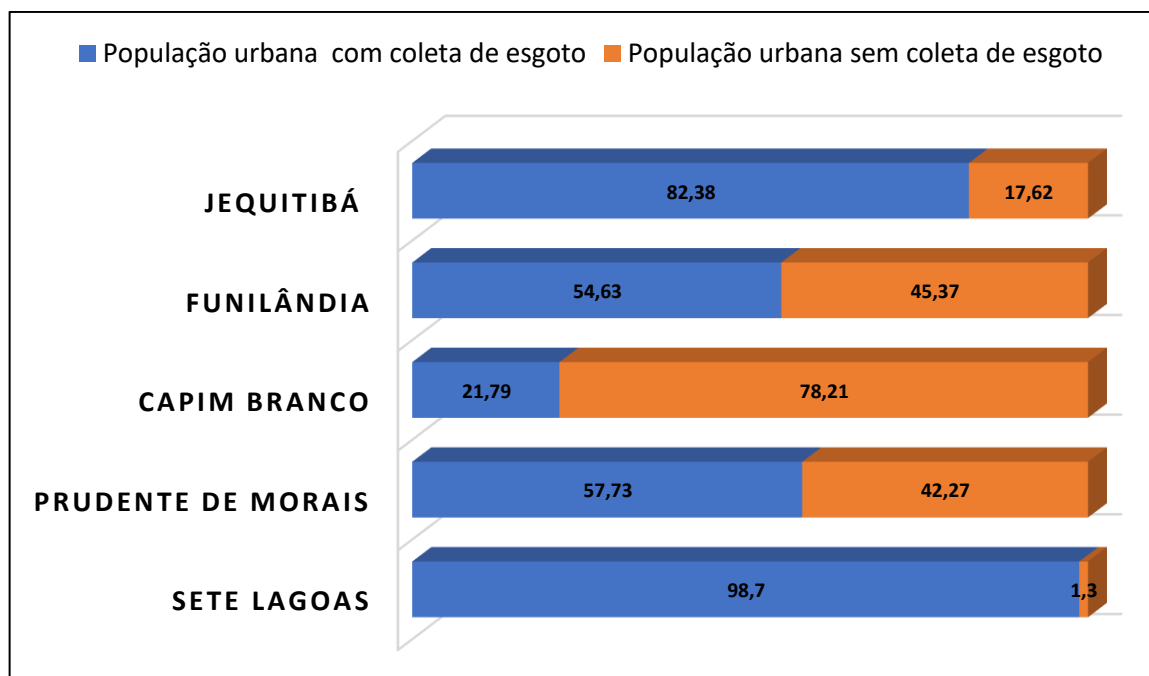
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do SNIS (2021).

O volume de esgotos gerados está associado diretamente à população. Notoriamente o município de Sete Lagoas é o que possui a maior demanda por esgotamento sanitário e conseqüentemente o que possui o maior potencial de comprometer a qualidade da água dos corpos hídricos, tendo em vista a grande geração de efluentes domésticos e industriais. Segundo a ANA (2017), o índice de coleta e tratamento de esgotos nas áreas urbanas ainda apresenta um percentual insatisfatório, em média 61,4% da população urbana brasileira é atendida com rede coletora. O esgoto que não é coletado é destinado a fossas sépticas, negras, e em alguns casos despejados diretamente no solo e em copos d'água.

Em relação a parcela da população urbana da UTE que possui rede coletora de esgotos (figura 22), apenas o município de Sete Lagoas consegue atender 98,7% da parcela urbana, seguido pelo município de Jequitibá que atende 82,38%. Os municípios de Funilândia e Prudente de Morais apresentam percentuais entre 50 e 60% de rede coletora das residências

urbanas e com o menor percentual está o município de Capim Branco com apenas 21,79% da população urbana com rede coletora de esgoto.

Figura 22: Percentual da população urbana dos municípios da UTE Ribeirão Jequitibá que são atendidos com coleta de esgoto.



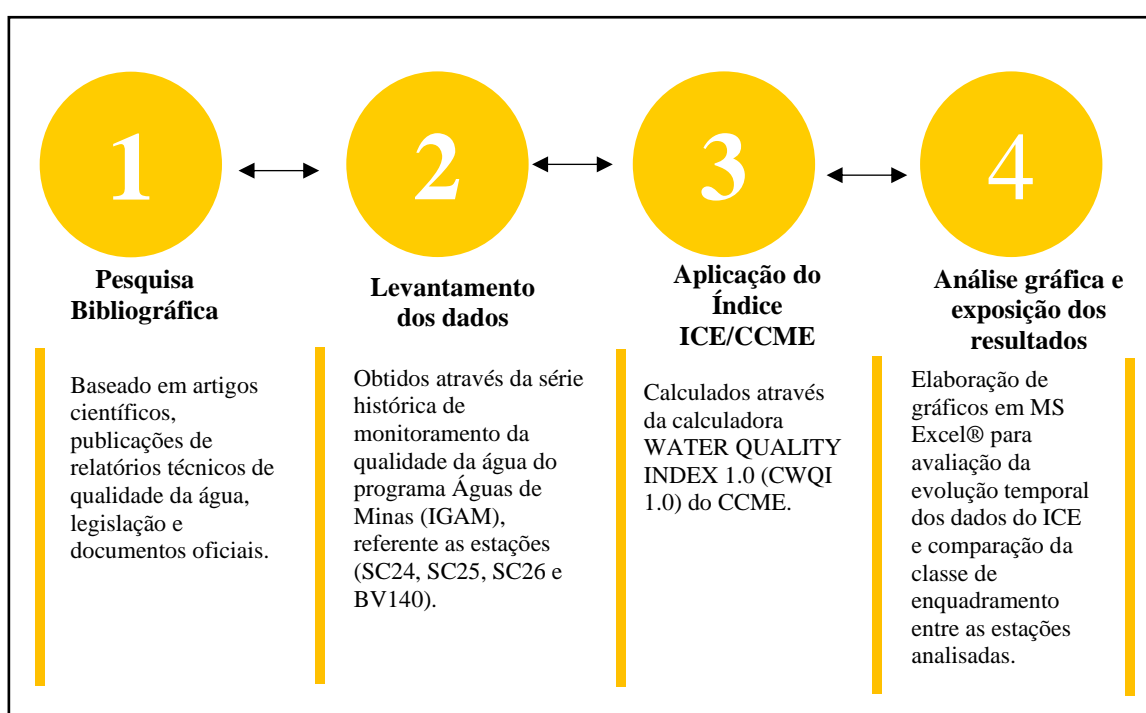
Fonte: Elaborado pela autora (SNIS, 2021)

Os outros municípios Capim Branco, Funilândia, Prudente de Moraes e Jequitibá, por possuírem uma menor população urbana, conseqüentemente possuem também uma menor geração de esgoto doméstico, portanto, o volume destinado a rede coletora é menor. É perceptível que o índice de esgotamento sanitário na UTE Ribeirão Jequitibá ainda é insatisfatório, principalmente pela ausência de tratamento no esgoto coletado. Os percentuais baixos só endossam a fragilidade da qualidade das águas dos recursos hídricos superficiais da UTE.

5. MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa possui uma abordagem quali-quantitativa e descritiva que abrange a Unidade Territorial Estratégica Ribeirão Jequitibá. Desse modo, a pesquisa apresentará o cálculo de um índice de qualidade da água, utilizado como ferramenta no monitoramento da qualidade das águas em bacia hidrográficas. O enfoque descritivo será apresentado através da análise da interação de variáveis para compreender e identificar a interferência da ocupação do solo na qualidade das águas superficiais da UTE. A figura 23 descreve o processo metodológico de pesquisa.

Figura 23: Processo metodológico de pesquisa.



Fonte: Autora (2023).

5.1 Estações de amostragem e levantamento de dados

Os dados referentes a série histórica, foram solicitados ao IGAM, especificamente a Gerência de Monitoramento da Qualidade de Águas (GEMOQ). Foram fornecidos os dados do monitoramento de quatro estações de amostragem localizadas na UTE Ribeirão Jequitibá, sendo as estações denominadas SC24, SC25, SC26 e BV140 (quadro 6). A série histórica contempla dados para um período de 10 anos.

Os dados que fundamentam esta pesquisa foram obtidos em quarenta (40) campanhas, compreendendo o período entre os anos de 2011 e 2021, sendo quatro (4) campanhas anuais, divididas em uma (1) amostragem por trimestre.

A tabela de dados em MS Excel®, disponibilizada pelo IGAM continha 60 parâmetros descritos, deste total estavam disponíveis dados de 50 parâmetros para as estações analisadas.

Quadro 6: Identificação das estações de monitoramento da UTE Ribeirão Jequitibá.

Estação	Classe de Enquadramento	Curso d'água	Descrição	Município	Latitude			Longitude		
SC24	Classe 2	Ribeirão Jequitibá	Ribeirão Jequitibá a Jusante da ETE Prudente de Moraes	Prudente de Moraes (MG)	19°	28'	6,4"	44°	10'	10,5"
SC25	Classe 2	Córrego do Diogo	Córrego do Diogo a montante de Sete Lagoas	Sete Lagoas (MG)	19°	27'	59"	44°	14'	19,9"
SC26	Classe 2	Ribeirão do Matadouro	Ribeirão do Matadouro a jusante dos lançamentos de esgoto de Sete Lagoas	Sete Lagoas (MG)	19°	26'	48,3"	44°	12'	29"
BV140	Classe 2	Ribeirão Jequitibá	Ribeirão Jequitibá próximo de sua foz no Rio das Velhas	Jequitibá (MG)	19°	15'	9,01"	44°	2'	54,37"

Fonte: Autora (2023).

5.2 Parâmetros definidos para aplicação do ICE/CCME

Para a escolha dos parâmetros a serem utilizados no cálculo do Índice de Conformidade ao Enquadramento, foram observados alguns critérios:

- Disponibilidade do dado de análises (realização mínima de 3 campanhas anuais);
- Parâmetros que indicassem a presença de lançamentos efluentes domésticos e industriais;
- Parâmetros com padrões de classe de enquadramento definidos na Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG N° 8, de 21 de novembro de 2022.

O quadro 7 apresenta todos os parâmetros analisados pelo programa Água de Minas. Para os parâmetros densidade de cianobactérias, ensaio ecotoxicológico, estanho total, ferro total, fitoplâncton, macroinvertebrados bentônicos, microcistina, perfil térmicos, saxitoxina, sólidos sedimentáveis e transparência da água) não havia dados disponíveis das estações SC24, SC25, SC26 e BV140.

Quadro 7: Parâmetros monitorados no programa Água de Minas.

Parâmetros monitorados no programa Águas de Minas		
Alcalinidade total	Cálcio total	Condutividade elétrica in loco
Óleos e graxas	Ferro total #	Microcistina
Alumínio dissolvido	Sódio dissolvido	Sulfeto
Ensaio ecotoxicológico #	Chumbo total	Cor verdadeira
Oxigênio dissolvido	Fitoplâncton #	Níquel total
Arsênio Dissolvido	Sólidos dissolvidos totais	Temperatura da água
Escherichia coli/colif. termotolerantes	Cianeto Livre	Cromo total
Perfil Térmico #	Fósforo total	Temperatura do ar
Arsênio total	Sólidos em suspensão totais	Demanda Bioquímica de Oxigênio
Estanho total #	Cloreto total	Nitrito
pH in loco*	Macroinvertebrados bentônicos#	Transparência da água #
Bário total	Sólidos sedimentáveis #	Demanda Química de Oxigênio
Fenóis totais	Clorofila a	Nitrogênio amoniacal total
Potássio dissolvido	Magnésio total	Turbidez
Boro total	Cobre dissolvido	Densidade de cianobactérias #
Feoftina a	Manganês total	Nitrogênio orgânico
Saxitoxina #	Substâncias tensoativas	Zinco total
Cádmio total	Coliformes totais	Sólidos totais
Ferro dissolvido	Mercúrio total	Dureza total
Selênio total	Sulfato total	Nitrato

dados não disponíveis para as estações (SC24, SC25, SC26 e BV140).

Fonte: IGAM (2021).

Tendo em vista o objetivo de avaliar as condições de qualidade das águas superficiais e a conformidade com o enquadramento vigente, optou-se por selecionar 15 diretrizes de peso para o enquadramento classe 1, 2, 3 e classe 4, conforme a DN COPAM-CERH/MG N° 8/2022. O quadro 8 reúne os parâmetros definidos para aplicação no cálculo do ICE/CCME para a UTE Ribeirão Jequitibá.

Quadro 8: Parâmetros selecionados associados ao padrão de enquadramento classe 1, 2, 3, e 4 de acordo com a DN COPAM-CERH/MG Nº 8/2022.

Parâmetros	Unidade	Classe 1		Classe 2		Classe 3		Classe 4	
		Limite Mínimo	Limite Máximo	Limite Mínimo	Limite Máximo	Limite Mínimo	Limite Máximo	Limite Mínimo	Limite Máximo
Clorofila a	ug/L		10		30		60		
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L		3		5		10		
<i>Escherichia coli</i>	NMP		250		1000		4000		
Ferro Dissolvido	mg/L		0,3		0,3		5		
Fósforo Total	mg/L		0,1		0,1		0,15		
Nitrato	mg/L		10		10		10		
Nitrito	mg/L		1		1		1		
Nitrogênio Amoniacal Total	mg/L		3,7		3,7		5,6		
Oxigênio Dissolvido	mg/L	6		5		4		2	
Sólidos Dissolvidos	mg/L		500		500		500		
Sólidos em Suspensão	mg/L		50		100		100		
Turbidez	UNT		40		100		100		
pH		6	9	6	9	6	9	6	9
Cor verdadeira	mg.Pt/L		0		75		75		
Cloreto Total	mg/L		250		250		250		

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Os dados foram organizados em planilha de MS Excel®, nesta ordem dos parâmetros e separados por estação (SC24, SC25, SC26 e BV140). Os cálculos utilizando a calculadora CCME-CWQI 1.0, foram aplicados de forma individual para cada ano e por estação. Todos os parâmetros definidos apresentaram dados nas 4 campanhas realizadas anualmente (2011 a 2021), exceto para parâmetro *Escherichia coli* que não foi realizado as análises nos anos de 2011 e 2012 nas estações de amostragem SC 25, SC26 e BV140. Para a estação SC24 nos anos de 2011 e 2012 não foi disponibilizado os dados referentes as amostragens de ferro dissolvido.

O quadro 9 apresenta os parâmetros selecionados e os aspectos relevantes que comprometem a qualidade dos copos hídricos.

Quadro 9: Aspectos relevantes dos parâmetros selecionados para o cálculo do ICE.

Parâmetros	Aspectos Relevantes
Clorofila a	Pigmento de coloração verde detectada nos organismos fotossintetizante. A clorofila A está presente nas cianobactérias, e o monitoramento se faz necessário pois a clorofila A é um indicador do crescimento de algas na água, causador da eutrofização, processo em que causa um grande comprometimento da qualidade das águas. Parâmetro relacionado com a proteção da comunidade aquática.
Demanda Bioquímica de Oxigênio	A DBO está diretamente relacionada com a presença de cargas poluentes de origem orgânica. É um parâmetro empregado para o enquadramento das classes. O monitoramento do DBO tem impacto tanto na proteção da comunidade aquática, quanto no uso para abastecimento humano.
<i>Escherichia coli</i>	Bactéria que possui como habitat primário o trato gastrointestinal de humanos e de outros animais. Sua presença nos corpos d'água está relacionada com o lançamento de efluentes doméstico <i>in natura</i> . A ingestão de água ou alimentos contaminados com a cepa da <i>E. Coli</i> pode desencadear doenças como diarreias. É um parâmetro relacionado com o enquadramento classe especial e classes 1,2 e 3.
Ferro Dissolvido	Parâmetro de monitoramento que afeta as características organolépticas da água.
Fósforo Total	A concentração de fósforo indica o potencial de eutrofização, considerado como nutriente, o fósforo é absorvido pelas algas, podendo desencadear uma proliferação excessiva. É um parâmetro de monitoramento com impacto nas comunidades aquáticas, abastecimento humano, aquicultura e pesca.
Nitrato e Nitrito	São formas em que o nitrogênio se apresenta na água. Principal fonte de contaminação são os efluentes industriais e agroindustriais. A presença de nitrato e nitrito impacta diretamente os usos das águas para abastecimento humano. Os nitratos são elementos tóxicos e que podem causar prejuízos a saúde humana.
Nitrogênio Amoniacal Total	Assim como o fósforo o monitoramento do nitrogênio é de suma importância, pois também é indicador de potencial da ocorrência de eutrofização. Notadamente efluentes domésticos e industriais estão carregados desses nutrientes e quando dispostos nos corpos hídricos comprometem as condições de qualidade. Ocorrência do nitrogênio impacta os usos das classes especial, classe 1 e 2.
Oxigênio Dissolvido	Oxigênio dissolvido é um parâmetro essencial para a manutenção da biota aquática. O oxigênio dissolvido pode ter sua concentração comprometida quando o parâmetro de DBO se apresenta em concentrações elevadas. Compromete o uso das águas destinadas a aquicultura e pesca.
Sólidos Dissolvidos	Refere-se a concentração de todos os elementos químicos presentes na água, incluindo sais orgânicos como bicarbonatos, cálcio, magnésio, potássio e pequenas partículas orgânicas que se dissolvem.
Sólidos em Suspensão	Os sólidos em suspensão apresentam-se na forma solúvel e interferem na passagem da luz, interferindo na turbidez. Podem comprometer a qualidade da água da comunidade aquática, comprometer o tratamento das águas destinadas ao abastecimento humano e também as águas destinadas a navegação.
Turbidez	A presença de material sólido em suspensão acarreta níveis elevados de turbidez. A alteração na turbidez pode estar ligada a erosão do solo, mas o lançamento de efluentes também é uma fonte. O excesso de turbidez compromete o tratamento de água para abastecimento público, demandando o uso de uma quantidade maior de coagulantes.

pH	O pH fora da faixa pela legislação (6 e 9) compromete o desenvolvimento da vida aquática. As substâncias tóxicas contidas nos efluentes além de alterar o pH podem causar danos aos organismos.
Cor verdadeira	A cor é causada pela presença de material sólido flutuante e dissolvido. Águas com coloração mais verde pode indicar a presença de algas. A cor pode ser em decorrência de uma condição natural ou ser alteração pelo lançamento de efluentes.
Cloreto Total	O cloreto é um íon inorgânico, proveniente de compostos a base cloro. Os cloretos são derivados a partir da reação de uma base com ácidos clorídrico. Sua ocorrência em concentrações elevadas pode indicar lançamento de efluentes industriais.

Fonte: Elaborado pela autora (CETESB, 2017; ANA, 2017).

5.3 Aplicação da calculadora CCME-CWQI 1.0 e tratamento dos dados

O arquivo para a aplicação da calculadora CCME-CWQI 1.0 está disponível no site do governo Canadense, juntamente com três arquivos testes e modelos para formatação dos dados a serem inseridos para o cálculo. Os parâmetros definidos foram inseridos na lista de variáveis (figura 24) e lançados os limites máximo e mínimos exigidos para cada parâmetros, conforme o enquadramento classe 1, 2, 3, e 4 de acordo com a DN COPAM-CERH/MG N° 8/2022.

Figura 24: Ilustração da inserção dos parâmetros e valores na calculadora CCME-CWQI 1.0.

Variables	Symbol	Units	Lower	Upper	Lower	Upper
Clorofila A	CLA	ug/L		30		60
Demanda Bioquímica de Oxigênio	DBO	mg/L		5		10
Escherichia Coli	EC	NMP		1000		4000
Ferro Dissolvido	F	mg/L		0,3		5
Fósforo Total	P	mg/L		0,1		0,15
Nitrato	NI	mg/L		10		10
Nitrito	NIT	mg/L		1		1
Nitrogênio Amoniacal Total	NAT	mg/L		3,7		5,6
Oxigênio Dissolvido	OD	mg/L	5		4	
Sólidos Dissolvidos	SD	mg/L		500		500
Sólidos em Suspensão	SS	mg/L		100		100
Turbidez	TU	UNT		100		100
pH	pH			7,5		7,5
cor verdadeira	CV	mg.Pt/L		75		75
cloreto total	CLT	mg/L		250		250

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Após a inserção das variáveis foi feito o lançamento dos dados de monitoramento das respectivas estações. Optou-se por gerar um resultado de ICE para cada ano referente a cada estação, dessa forma o cálculo anual do ICE foi feito considerando os dados de quatro campanhas amostrais, exceto para os anos de 2017 em que foram realizadas apenas 3 campanhas anuais para as estações SC24 e SC26.

5.4 Análise de correlação (Spearman) e análise por componentes principais (PCA)

Os dados foram organizados em planilha Excel, onde as colunas acomodaram os quinze parâmetros de qualidade da água e as linhas os resultados de todas as amostragens realizadas entre o período de 2011 e 2021. Foram aplicados a normalização de critérios nos dados referente as estações SC24, SC25, SC26 e BV140.

De acordo com Zambon *et al.* (2005) o processo de normalização utilizando os valores de máximo e mínimo permitem tornar os resultados comparáveis em uma escala normalizada (por exemplo, entre 0 e 100), como aplicados nos dados utilizados nesta pesquisa. Utilizou-se o seguinte cálculo para normalização dos dados:

$$X_i = \frac{(X_r - X_{\min})}{(X_{\max} - X_{\min})} * 100$$

Onde:

X_r : valor a ser normalizado

X_{\min} : valor mínimo para o critério

X_{\max} : valor máximo para o critério

*100: valor normalizado para que os resultados se apresentem entre 0 e 100.

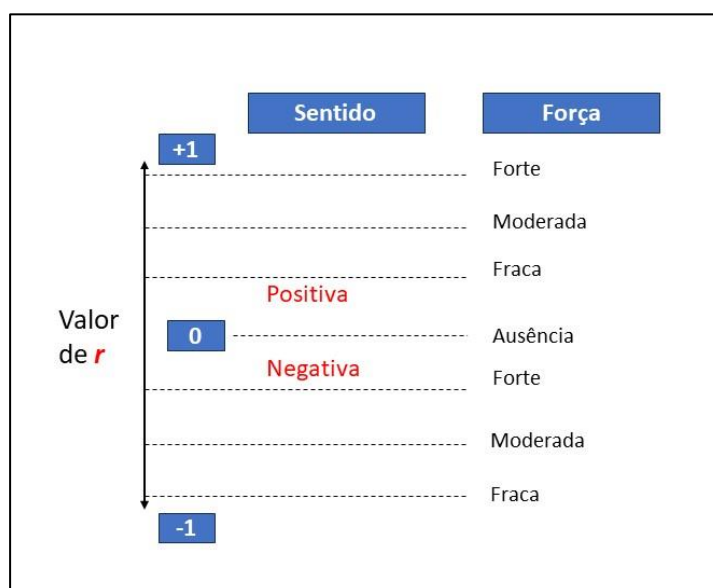
Em seguida foi empregado o teste de Kaiser- Meyer-Olkin (KMO) e Bartlett na matriz de dados normalizados de cada estação antes da realização das análises de componentes principais. O teste de KMO aplica uma comparação entre magnitude dos coeficientes, os valores variam entre 0 e 1, valores inferiores a 0,5 de KMO são considerados inadequados para a análise de componentes principais (Drose *et al.*, 2020). O teste de Bartlett é utilizado para verificar a homogeneidade entre as variáveis, portanto, o valor é considerado adequado a este teste se apresentar resultados inferiores a 0,05.

Após a aplicação dos testes de KMO e Bartlett, foi aplicado na matriz de dados das estações as análises de componentes principais (PCA), utilizando o software Jamovi. A PCA é uma técnica multivariada que tem como finalidade transformar um conjunto de dados correlacionados, em um conjunto menor que contém a maior parte das informações do conjunto original (Hongyu, 2015). Portanto, através da análise de componentes principais os parâmetros são agrupados conforme sua variação. Após a aplicação dos testes foram geradas as matrizes de correlação para melhor interpretação e discussão dos resultados.

Utilizou-se a análise de correlação Spearman a fim de identificar quais parâmetros correlacionavam entre si em cada estação. A correlação Spearman varia entre -1 e 1, quando o

valor está próximo a 0, considera-se que não há relação entre as variáveis. Se o valor for positivo, as duas variáveis estão aumentando simultaneamente. O valor sendo negativo, indica que uma variável tende a aumentar e a outra diminuir simultaneamente (Azevedo *et al.*, 2020). A figura 25 apresenta a interpretação do coeficiente de correlação linear (r) do Spearman. Dessa forma, a correlação Spearman mensura a intensidade da relação de duas variáveis. Para o teste de correlação Spearman foram utilizados os dados brutos dos parâmetros de qualidade da água, também foi utilizado o software Jamovi.

Figura 25: Interpretação do valor da correlação Spearman no R.



Fonte: elaborado pela autora, adaptado de UTFPR (2023).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

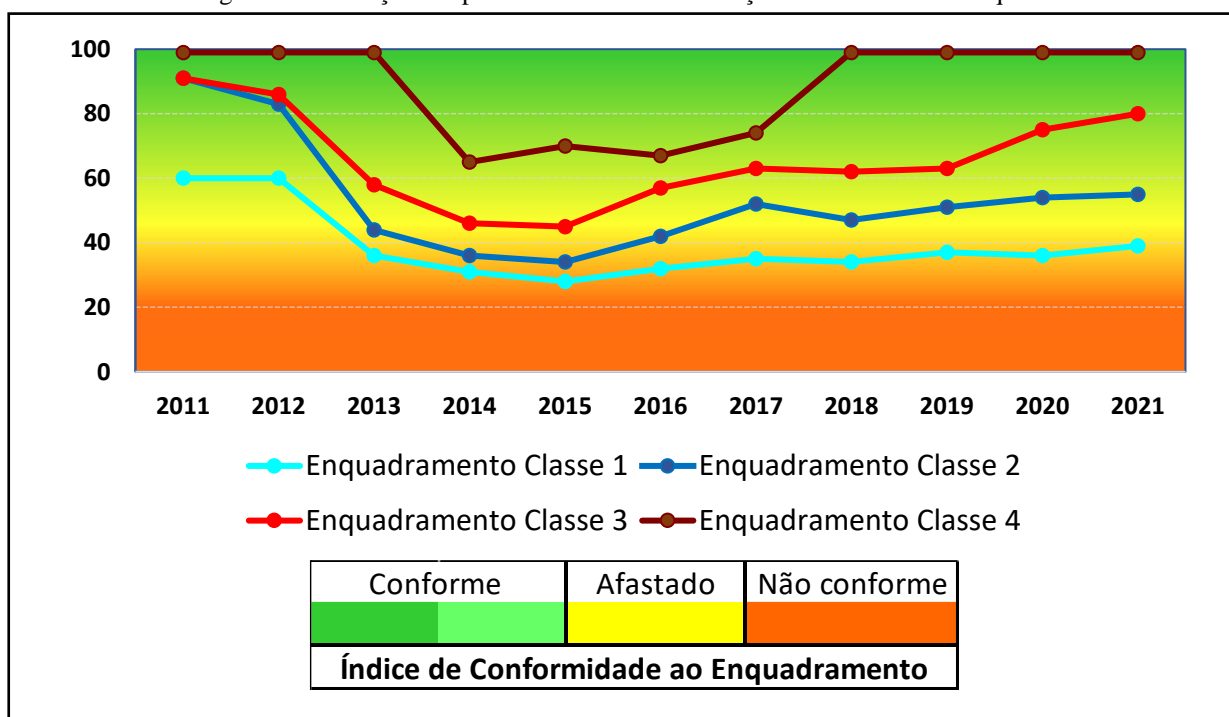
6.1 Resultados do ICE para as estações SC24, SC25, SC26 e BV140

Os dados de qualidade da água superficial da UTE Ribeirão Jequitibá referente ao período de 2011 e 2021, estão representados através das figuras geradas a partir do cálculo do ICE/CCME. Dessa forma, a representação permite avaliar a condição atual em relação ao enquadramento e a verificação de quais locais necessitam de maior controle da poluição causada pelo lançamento de carga orgânica. As figuras 26, 27, 28 e 29 representam graficamente a evolução temporal do Índice de Conformidade ao Enquadramento.

Comparando a conformidade ao enquadramento classe 1, 2, 3 e classe 4, observou que a classe 4 apresentou os valores de conformidade ao enquadramento para as estações SC24, SC25 e SC26 (figuras 26, 27 e 28). A estação BV140 demonstrou uma condição de qualidade entre boa e excelente para enquadramento classe 2 e 3 (figura 29).

A estação SC24 (figura 26) permaneceu com a classificação ruim para o enquadramento classe 1, 2 e 3. As condições de qualidade apresentaram classificação de boa e excelente para enquadramento classe 4, no entanto, observou-se que entre 2014 e 2017, o valor do ICE para a classe 4 manteve-se entre 65 e 74, demonstrando uma condição razoável ao enquadramento classe 4, tal resultado se justificou pelo não atendimento ao parâmetro de oxigênio dissolvido para este período, conforme quadro 10.

Figura 26: Evolução temporal anual do ICE da estação SC24 - Ribeirão Jequitibá.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Os valores do índice abaixo de 40, para os enquadramentos classe 1, 2 e 3, denota uma condição de qualidade da água afastada das condições desejadas, onde os parâmetros analisados excederam os limites dos padrões de qualidade (quadro 10).

Quadro 10: Número de amostras por parâmetro em desconformidade no trecho SC24.

Estação SC24 - Ribeirão Jequitibá - Paramêtros em não conformidade															
Período	Paramêtros														
	Clorofila A	DBO	Escherichia Coli	Ferro Dissolvido	Fósforo Total	Nitrato	Nitrito	Nitrogênio Amoniacal	Oxigênio Dissolvido	Sólidos Dissolvidos	Sólidos em suspensão	turbidez	pH	Cor verdadeira	Cloreto Total
Enquadramento classe 1															
2011					1			1		1				4	
2012		4			3			1	1					4	
2013		2	3		3			1	3		1			4	
2014		4	4	4	4			2	4		1			4	
2015		4	4	3	3			2	4		3	1		4	
2016		3	4	3	3			2	4		1			4	
2017		1	3	2	3			1	3			1		4	
2018		4	4		4			4	2		1	1		4	
2019		4	4		3			4	3			1		4	
2020		4	4	1	4			2	3		2			4	
2021		2	4	1	4			1	2					4	
Enquadramento classe 2															
2011					1						1				
2012		1			3			1							
2013		2	3		3			1	1						
2014		4	4	2	4			2	4		1			4	
2015		4	4	3	3			2	4		2			1	
2016		3	4	3	4			2	4						
2017		2	3	2	3			1	2					1	
2018		4	4		4			4	3		1			1	
2019		4	4		3			4	3					1	
2020		3	4	1	4			2	1						
2021		2	4	1	4			1	1						
Enquadramento classe 3															
2011					1						1				
2012		1			2			1							
2013		2	3		3										
2014		4	4		4			2	3		1				
2015		3	4		2			2	4		2			1	
2016		2	4		3			2	3						
2017			3		2				2					1	
2018		4	4		4			3			1			1	
2019		4	4		3			3	1					1	
2020		1	4		4			1							
2021			4		4										
Enquadramento classe 4															
2011															
2012															
2013															
2014									2						
2015									1						
2016									2						
2017									2						
2018															
2019															
2020															
2021															

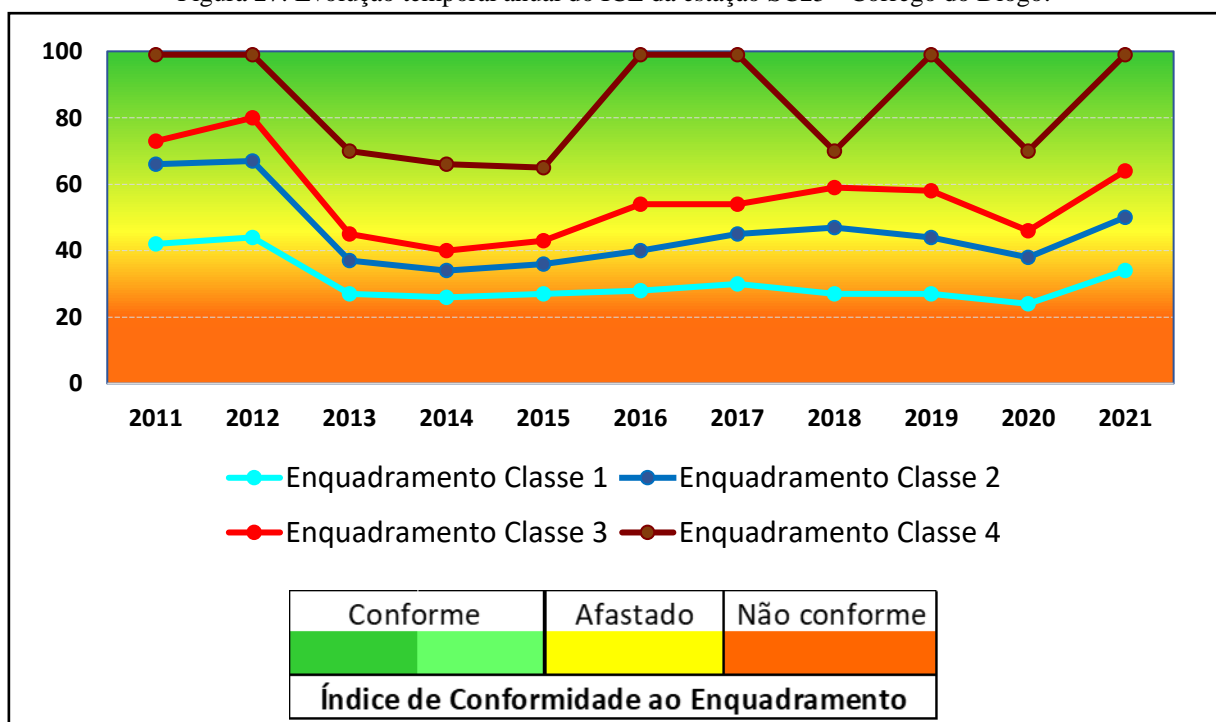
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Os parâmetros que mais falharam em não atendimento aos limites estabelecidos na estação SC24 foram: DBO, Escherichia Coli, fósforo total, nitrogênio amoniacal, oxigênio dissolvido e cor verdadeira (quadro 10). A estação SC24 está localizada próxima a área urbana do município de Prudente de Moraes e a jusante da ETE do município. A condição de qualidade ruim indica que o trecho necessita de medidas de recuperação e controle da qualidade da água.

A figura 27 apresenta as condições de qualidade da estação SC25, trecho localizado no córrego do Diogo na área urbana do município de Sete Lagoas. Entre 2012 e 2015 observou-se uma queda nas condições de qualidade da água, o trecho saiu de uma condição boa para uma condição ruim. Entre 2015 e 2019 houve uma melhora na qualidade para o enquadramento 2 e 3. O enquadramento classe 4 prevalece também na estação SC25, contudo, as condições de qualidade para a classe 4 não foram atendidas pelos parâmetros de oxigênio dissolvido e pH.

Como o município de Sete Lagoas trata uma porcentagem menor que 30% do efluente coletado, é de se esperar que os corpos hídricos apresentam uma maior dificuldade em atender a meta de enquadramento classe 2, sendo que diariamente uma grande parcela de efluente *in natura* são dispostos no córrego do Diogo e no ribeirão Matadouro.

Figura 27: Evolução temporal anual do ICE da estação SC25 - Córrego do Diogo.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Conforme quadro 11, para o enquadramento classe 1 e 2, na estação SC25 o único parâmetro em conformidade foi o cloreto total. E para a classe 3 esteve em acordo apenas ferro dissolvido e o cloreto total.

Quadro 11: Número de amostras por parâmetro em desconformidade no trecho SC25.

Estação SC25 - Córrego do Diogo - Parâmetros em não conformidade															
Período	Parâmetros														
	Clorofila A	DBO	Escherichia Coli	Ferro Dissolvido	Fósforo Total	Nitrato	Nitrito	Nitrogênio Amoniacal	Oxigênio Dissolvido	Sólidos Dissolvidos	Sólidos em suspensão	turbidez	pH	Cor verdadeira	Cloreto Total
Enquadramento classe 1															
2011	2	4			4			3	4		1			4	
2012	4	4			3			3	3		3	1		4	
2013		3	4		4	2		4	2	3	1	1		4	
2014	1	4	4		4			3	3	3	2	2		4	
2015	1	4	3		3			1	4	3	3	1		4	
2016	1	4	4		3	1		1	3	2	2			4	
2017	2	3	3		3	2		1		2	2	1		4	
2018	1	4	4		4			4	2	3	2	1	1	4	
2019	2	4	4	1	2		1	4	1	2	2			4	
2020		4	4		3	1	2	2	4	2	3	2	1	4	
2021		4	4		2	1		3	3	1	1			4	
Enquadramento classe 2															
2011	1	4			4			3	3						
2012	2	4			3			3	1		1				
2013		3	4		4	2		4	2	3					
2014		4	4		4			2	2	3	2	2	2		
2015		4	3		3			2	3	3	3			1	
2016		4	4		3	1		2	1	2					
2017		3	3		3	2		1		2	2	1			
2018		4	4		4			4	1	3			1		
2019		4	4	1	2		1	4	1	2				1	
2020		3	4		3	1	2	2	4	3	3		1		
2021		4	4		2	1		3	3	1					
Enquadramento classe 3															
2011	1	3			4			2	2						
2012		3			2			2			1				
2013		3	4		4	2		4	2		3				
2014		4	4		4			2	2	3	2				
2015		3	3		3			2	3	3	3			1	
2016		4	4		1	1		1		2					
2017		3	3		3	2		1		2	1	1			
2018		3	4		4			3	1	3			1	1	
2019		2	4		2		1	4	1		2			1	
2020		4	4		3	1	2	2	3	2	3		1		
2021		2	4		2	1		2	2	1					
Enquadramento classe 4															
2011															
2012															
2013									1						
2014									1						
2015									2						
2016									2						
2017												1			
2018															
2019															
2020													1		
2021															

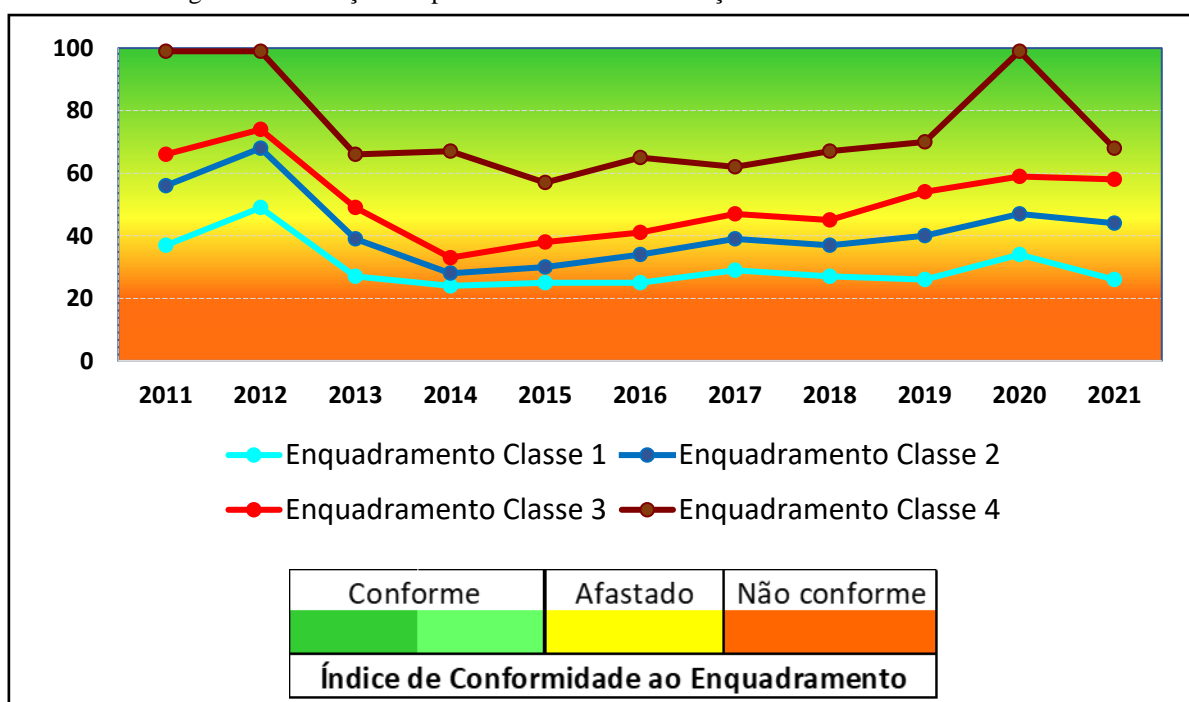
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O comportamento temporal da condição de qualidade das águas da estação SC26 (figura 28) segue a mesma tendência temporal da SC25, o trecho SC26 está a jusante e também localizado na área urbana de Sete Lagoas, o que demonstra que o trecho também recebe contribuição de carga orgânica. Quanto mais próximos os trechos estão das áreas urbanas, menores são os valores de ICE.

Contudo, o enquadramento classe 4 se manteve em conformidade excelente apenas nos anos de 2011, 2012 e 2020. Nos demais anos houve uma queda nos valores do ICE para a classe 4, mantendo em condição mais afastada, e conforme quadro 11, esse afastamento da conformidade ao enquadramento para a classe 4 deve-se ao não atendimento ao parâmetro de oxigênio dissolvido, que se manteve em desacordo durante o período analisado, exceto para os anos de 2011 e 2012.

Nos estudos realizados por Silva *et al.* (2022) com aplicação do ICE nos reservatórios da bacia do Ipojuca em Pernambuco, o parâmetro oxigênio dissolvido também se apresentou em desacordo contribuindo significativamente para uma piora do ICE.

Figura 28: Evolução temporal anual do ICE da estação SC26 - Ribeirão Matadouro.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Os resultados insatisfatórios para o ICE na estação SC26 são justificados pelo não atendimento aos padrões de qualidade (quadro 12). Dos resultados analisados, os parâmetros com maiores percentuais de inconformidade foram clorofila a, DBO, *Escherichia Coli*, fósforo total, nitrogênio amoniacal, oxigênio dissolvido, sólidos dissolvidos, sólidos em suspensão e cor verdadeira.

Os resultados apontam a influência do lançamento de efluentes *in natura*. Os valores encontrados com o cálculo do ICE vão de encontro com os dados de qualidade das águas publicados pelo IGAM (2021), no qual demonstra que o IQA dos pontos monitorados no ribeirão Jequitibá (SC24), córrego do Diogo (SC25) e ribeirão Matadouro (SC26), apresentaram resultados correspondentes ao nível de qualidade “ruim”, refletindo a contaminação por esgotos sanitários, nutrientes, materiais orgânicos e sólidos.

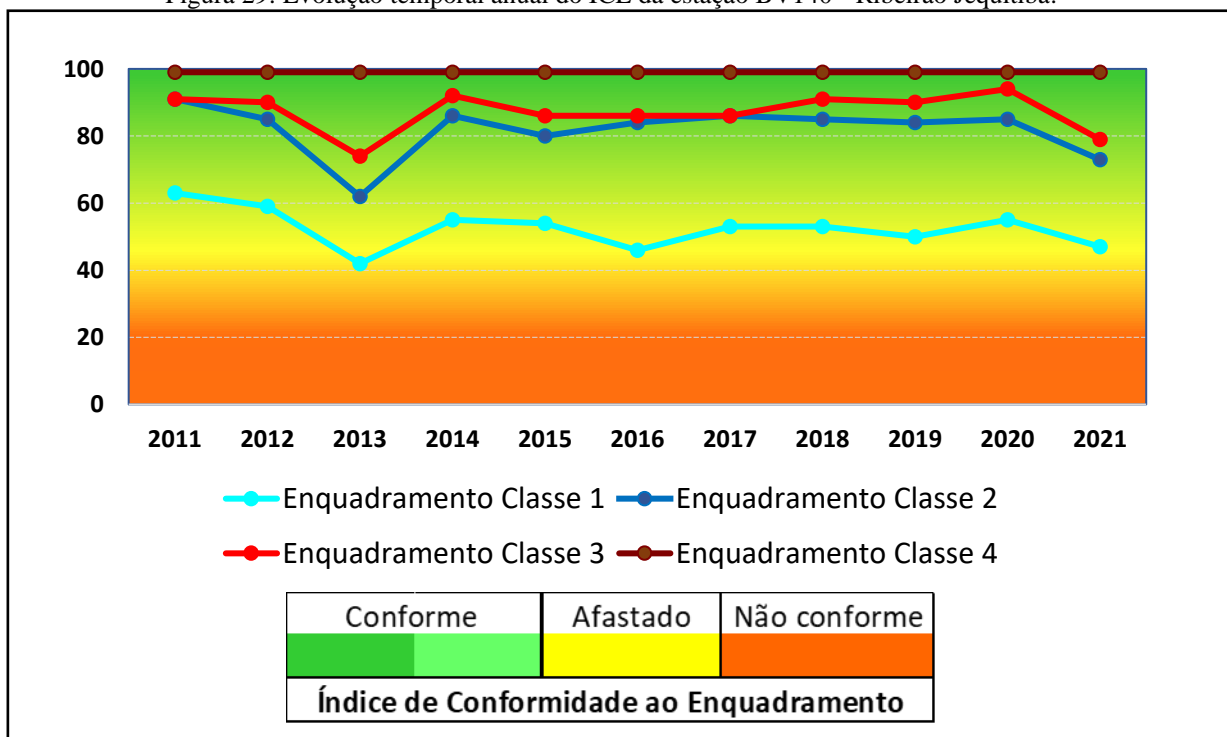
Quadro 12: Número de amostras por parâmetro em desconformidade no trecho SC26.

Estação SC26 - Ribeirão Matadouro - Parâmetros em não conformidade															
Período	Parâmetros														
	Clorofila A	DBO	Escherichia Coli	Ferro Dissolvido	Fósforo Total	Nitrato	Nitrato	Nitrogênio Amoniacal	Oxigênio Dissolvido	Sólidos Dissolvidos	Sólidos em suspensão	turbidez	pH	Cor verdadeira	Cloreto Total
Enquadramento classe 1															
2011	4	4		1	4		1	3	4		1			4	
2012	4	4			2			3	3					4	
2013	4	3	4		4			4	4		2	2		4	
2014	4	4	4		4			4	4	1	1	2		4	
2015	3	3	4		3			3	4	1	3	3		4	
2016	3	4	4		4			4	4	2	2	1		4	
2017	3	3	3		2			3	3	2	1			3	
2018	4	4	4		3			3	3	1	3	2		4	
2019	3	4	4		2	2	3	4	4	1	1			4	
2020	2	4	4		4			4	4	1				4	
2021	4	4	4		3			1	4	4		2	1	4	
Enquadramento classe 2															
2011	3	2		1	4			1	3	4		1			
2012	4	3			2			3	3						
2013	1	3	4		4			4	3						
2014	2	4	4		4			4	4	1	1	1	2		
2015	2	4	4		3			3	4	1	1	1		1	
2016	3	4	4		4			4	4	2	1				
2017	3	3	3		2			3	3	2				2	
2018	4	4	4		3			3	3	1	1	1		1	
2019	3	4	4		2	2	3	4	4	1					
2020	2	4	4		4			4	4	1					
2021	2	4	4	1	3			1	4	3					
Enquadramento classe 3															
2011	2	2			4		1	2	1		1				
2012	1	2			2			3	2						
2013		3	4		4			4	3						
2014	1	4	4		4			4	4	1	1	1		2	
2015		4	4		2			3	4	1	1	1		1	
2016	2	4	4		4			3	4	2	1				
2017	3	3	3		2			3	2	2				2	
2018	2	4	4		4			3	2	1	1	1		1	
2019		3	4		2	2	3	4	4	1					
2020	1	1	4		3			4	4	1					
2021	2	2	4		2			1	4	3					
Enquadramento classe 4															
2011															
2012															
2013								1							
2014								2				2			
2015								3							
2016								2							
2017								2							
2018								2							
2019								1							
2020								1							
2021								1							

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O trecho que apresentou as melhores condições de qualidade das águas foi o ribeirão Jequitibá, localizado na estação BV140 (figura 29). A melhora da qualidade da água ao longo do curso d'água pode ser justificada pela autodepuração entre as estações SC26 e BV140 e pela contribuição dos seus tributários.

Figura 29: Evolução temporal anual do ICE da estação BV140 - Ribeirão Jequitibá.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Para a região da UTE Ribeirão Jequitibá, notou-se a influência da área urbana do município de Sete Lagoas na degradação da qualidade das águas nos trechos das estações, SC24, S25 e SC26. O único trecho que está de acordo com o enquadramento vigente classe 2 é a estação BV140, que durante o período analisado, apresentou condições de boa e excelente para o enquadramento classe 2, 3 e 4. Contudo, observou-se que os parâmetros que tem interferido na qualidade das águas do ribeirão Jequitibá no trecho BV140 são principalmente DBO, *Escherichia Coli* e fósforo total (quadro 13).

Entre a estação SC26 e BV140 o ribeirão Jequitibá percorre um caminho onde a ocupação do solo está sob a influência de pastagens e formação florestal, afastado de áreas urbanas. A montante da estação BV140, o ribeirão Jequitibá recebe contribuição de diluição de dois tributários com enquadramento classe 1, sendo eles o ribeirão Paiol e córrego Saco da Vida. O quadro 14 apresenta os valores do ICE para as estações analisadas, e o trecho BV140 é o único que apresenta resultados satisfatórios para as classes 2, 3 e 4, mantendo uma condição mais afastada da classe 1.

Quadro 13: Número de amostras por parâmetro em desconformidade no trecho BV140.

Estação BV140 - Ribeirão Jequitibá - Parâmetros em não conformidade															
Período	Parâmetros														
	Clorofila A	DBO	Escherichia Coli	Ferro Dissolvido	Fósforo Total	Nitrato	Nitrito	Nitrogênio Amoniacal	Oxigênio Dissolvido	Sólidos Dissolvidos	Sólidos em suspensão	turbidez	pH	Cor verdadeira	Cloreto Total
Enquadramento classe 1															
2011					3						2	1		4	
2012	1	1			4						3	1		4	
2013	1	2	2	1	4						2				
2014	1	1	2		4			1						4	
2015		2	2		3	1					2			4	
2016		2	1		4	1		1			1	1		4	
2017	1		1		2	2				2				4	
2018		2			4			1			1			4	
2019		1	2		4	1		2				1		4	
2020		2	2		3		1	1			1			4	
2021		2	3		3	1		1			1	1		4	
Enquadramento classe 2															
2011					3						1				
2012		1			4						1				
2013		2	1	1	4						2	2		1	
2014		1			4										
2015		1			3	1					1				
2016					4	1					1				
2017					2	2				1					
2018		1			4										
2019		1			4	1									
2020		1			3		1	1							
2021		1	1		3	1					1	1			
Enquadramento classe 3															
2011					2						1				
2012					3						1				
2013			1		4						2	2		1	
2014					4										
2015					3	1					1				
2016					3	1					1				
2017					2	2				1					
2018					4										
2019					3	1									
2020					3										
2021		1			2	1					1	1			
Enquadramento classe 4															
2011															
2012															
2013															
2014															
2015															
2016															
2017															
2018															
2019															
2020															
2021															

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Quadro 14: Resultados do ICE nas estações de monitoramento da qualidade da água da UTE

Ribeirão Jequitibá, no período de 2011 a 2021.

Estação SC24 - Ribeirão Jequitibá				
Período	Classe 1	Classe 2	classe 3	classe 4
2011	60	91	91	100
2012	60	83	86	100
2013	36	44	58	100
2014	31	36	46	65
2015	28	34	45	70
2016	32	42	57	67
2017	35	52	63	74
2018	34	47	62	100
2019	37	51	63	100
2020	36	54	75	100
2021	39	55	80	100
Estação SC25 - Córrego do Diogo				
2011	42	66	73	100
2012	44	67	80	100
2013	27	37	45	70
2014	26	34	40	66
2015	27	36	43	65
2016	28	40	54	100
2017	30	45	54	100
2018	27	47	59	70
2019	27	44	58	100
2020	24	38	46	70
2021	34	50	64	100
Estação SC26 - Ribeirão Matadouro				
2011	37	56	66	100
2012	49	68	74	100
2013	27	39	49	66
2014	24	28	33	67
2015	25	30	38	57
2016	25	34	41	65
2017	29	39	47	62
2018	27	37	45	67
2019	26	40	54	70
2020	34	47	59	100
2021	26	44	58	68
Estação bv140 - Ribeirão Jequitibá				
2011	63	91	91	100
2012	59	85	90	100
2013	42	62	74	100
2014	55	86	92	100
2015	54	80	86	100
2016	46	84	86	100
2017	53	86	86	100
2018	53	85	91	100
2019	50	84	90	100
2020	55	85	94	100
2021	47	73	79	100

	Conforme as diretrizes de qualidade para a classe de enquadramento.
	Afastado das diretrizes de qualidade para a classe de enquadramento.
	Não conforme as diretrizes de qualidade para a classe de enquadramento.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

6.2 Evolução temporal dos parâmetros de qualidade da água

A ocupação urbana associada ao lançamento de esgotos e a retirada da vegetação natural das bacias para a prática de atividades agrícolas, são responsáveis pelo lançamento de fósforo e nitrogênio nos corpos hídricos. A elevada carga de nutrientes como o fósforo favorece a proliferação de algas fotossintetizantes (Nepomuceno, 2018). Por deter a maior população urbana da UTE, a cidade de Sete Lagoas por consequência é a que tem maior demanda por esgotamento sanitário e por sua vez causa um maior impacto na qualidade dos corpos hídricos.

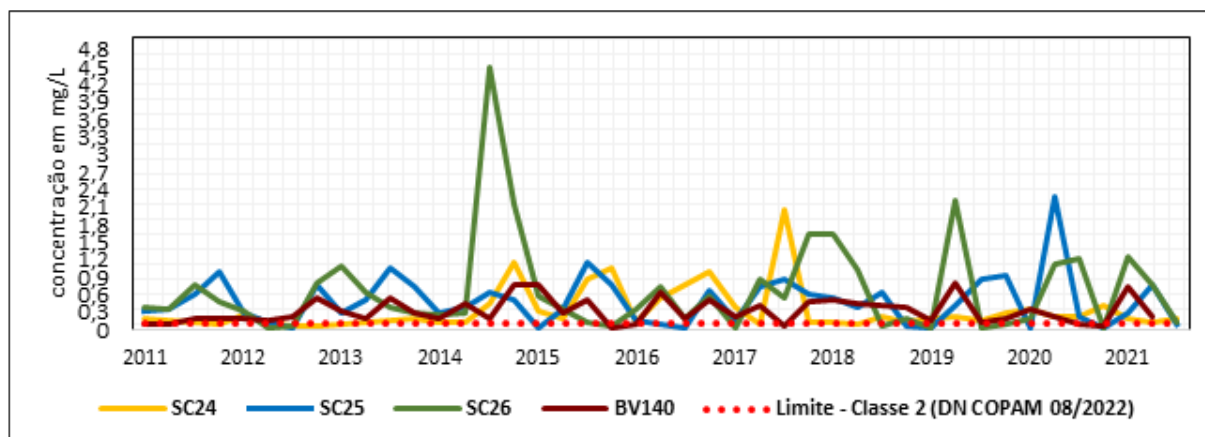
Nos estudos realizados por Cabral e Mello (2015) nos trechos do rio Arrudas (estação BV155) e rio das Velhas logo a jusante do ribeirão Arrudas (estação BV083), foram identificados altos percentuais de DBO, fósforo total e coliformes termotolerantes, de acordo com os autores os valores encontrados estão condizentes com os estudos realizados pela Ecoplam (2013) para elaboração do Plano de Diretor da bacia do rio das Velhas. No qual indicou a degradação da qualidade das águas do rio Arrudas em decorrência do lançamento de esgotos domésticos.

Fósforo total

Segundo Mota e Sperling (2009), o atendimento aos limites do parâmetro de fósforo nos corpos hídricos são bem difíceis, tendo em vista a necessidade de as razões de diluição serem bem elevadas. Considera-se que os efluentes tratados são lançados com certo teor de fósforo. Para os autores a dificuldade em atender os padrões de fósforo no corpo receptor aponta para a necessidade de uma gestão integrada, especificamente para ações de reúso de efluentes nas atividades agrícolas no qual podem se beneficiar da presença de nutrientes (nitrogênio e fósforo).

A figura 30 apresenta a evolução temporal da concentração de fósforo total dos trechos monitorados. Observou-se que as concentrações de fósforo total estão bem acima dos limites para enquadramento classe 2 (DN COPAM N° 08/2022). O trecho SC24 atingiu 2,2 mg/L de fósforo total entre 2017 e 2018. Entre 2020 e 2021 no trecho SC25 o parâmetro fósforo total apresentou concentração de 2,4 mg/L. O pior resultado para o fósforo total foi encontrado na estação SC26 entre os anos de 2014 e 2015, onde a concentração atingiu o valor de 4,5 mg/L. Considerando os limites de fósforo total estabelecidos pela DN COPAM N° 08/2022, sendo respectivamente 0,1 mg/L para classe 2 e 0,15 mg/L para classe 3, as concentrações encontradas nos trechos analisados estão cerca de 30 vezes acima do limite estabelecido. Apesar da estação BV140 apresentar o melhor resultado de conformidade a classe 2, o parâmetro fósforo se manteve em desacordo em toda a série histórica analisada.

Figura 30: Evolução temporal do parâmetro fósforo total entre 2011 e 2021.



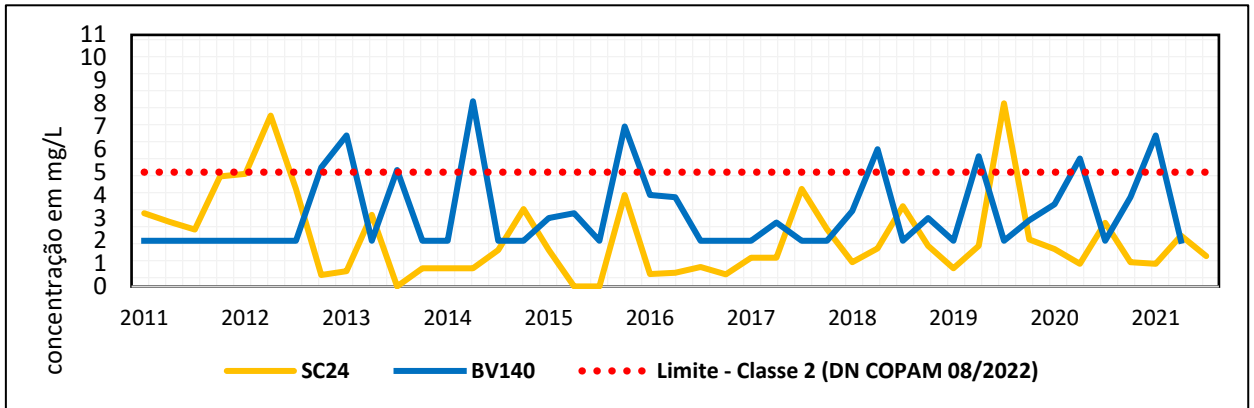
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

DBO

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é um parâmetro que corresponde à quantidade de oxigênio necessária para a digestão biológica da matéria orgânica no meio aquático. É um parâmetro utilizado para mensurar a quantidade de poluição que está presente em um corpo hídrico (Júnior Melo *et al.*, 2018). Para os cursos d'água com enquadramento classe 2, a DN COPAM N° 08/2022 determina que a concentração da DBO seja de até 5mg/L.

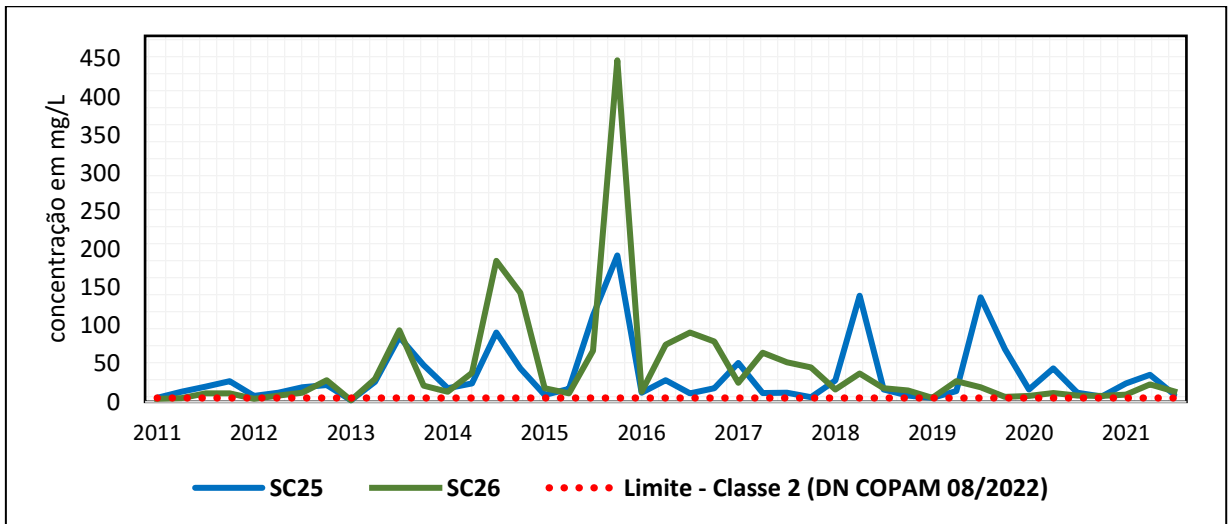
Conforme a figura 31, as estações SC24 e BV140 apresentaram algumas amostras em inconformidade ao parâmetro DBO, contudo, observou-se que o valor violado foi pouco acima do limite, com concentrações de aproximadamente 8 mg/L. Porém, nas estações SC25 e SC26 (figura 32) notou-se concentrações de DBO de até 192 mg/L na SC25 e de até 448 mg/L na SC26, os valores encontrados indicam uma quantidade significativa de matéria orgânica lançadas nestes trechos através dos efluentes domésticos. As altas concentrações de DBO encontradas demonstram o quanto o córrego do Diogo (SC25) e o ribeirão matadouro (SC26) encontram -se com a qualidade das águas degradadas.

Figura 31: Evolução temporal do parâmetro DBO nas estações SC24 e BV140 entre 2011 e 2021.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 32: Evolução temporal do parâmetro DBO nas estações SC25 e SC26 entre 2011 e 2021.



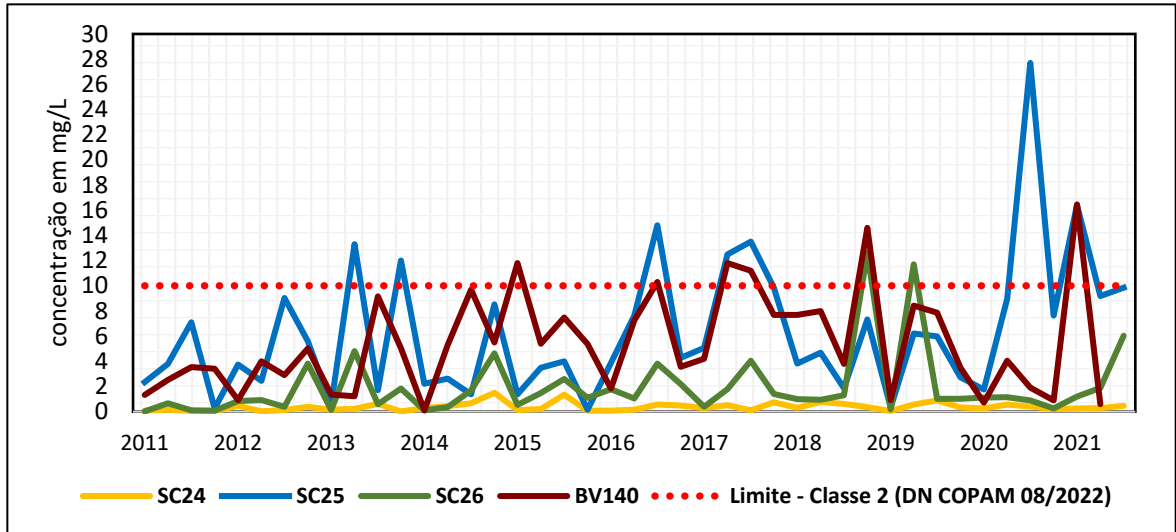
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal

Os íons de nitrato e nitrito fazem parte do ciclo do nitrogênio, contudo, a ação antrópica tem interferido no ciclo e causado um desequilíbrio devido ao lançamento de efluentes domésticos e industriais sem o devido tratamento.

Conforme a figura 33, o limite estabelecido pela DN COPAM N° 08/2022 para o parâmetro nitrato é de 10 mg/L (enquadramento classe 2), observou-se que na estação SC25 córrego do Diogo chegou a apresentar um pico de 27,7mg/L na concentração de nitrato. A estação SC24 foi o único trecho que não violou o limite para o parâmetro nitrato.

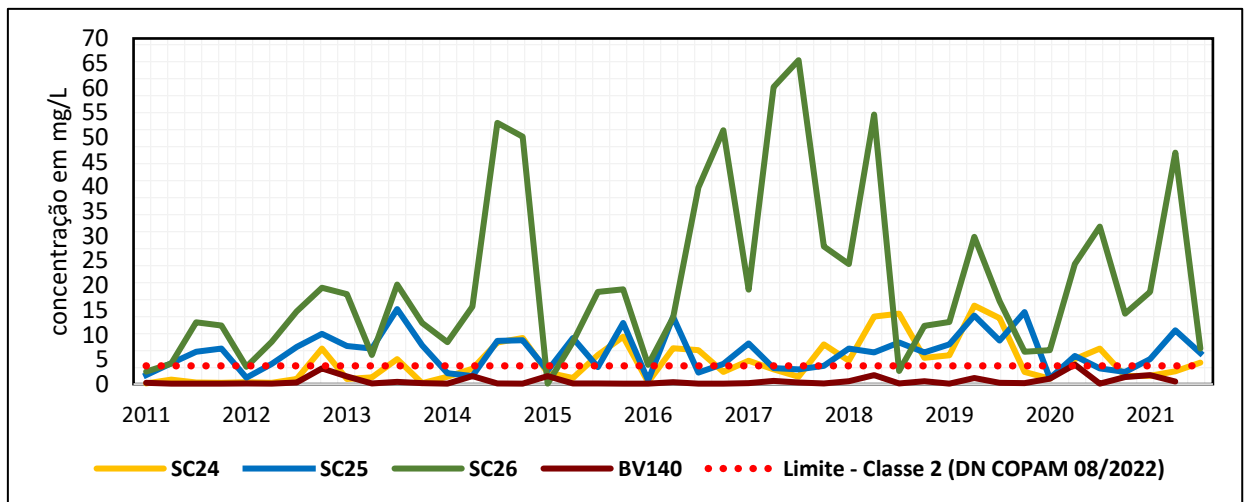
Figura 33: Evolução temporal do parâmetro nitrato entre 2011 e 2021.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O parâmetro nitrogênio amoniacal esteve em desconformidade nas estações SC24, SC25 e SC26 (figura 34). A estação SC26 foi a que apresentou as maiores concentrações de nitrogênio amoniacal, com picos de 65 mg/L, quase 18 vezes a mais do que a concentração limite de 3,7mg/L definidos pela DN COPAM 08/2022, para corpos hídricos classe 2.

Figura 34: Evolução temporal do parâmetro nitrogênio amoniacal entre 2011 e 2021.

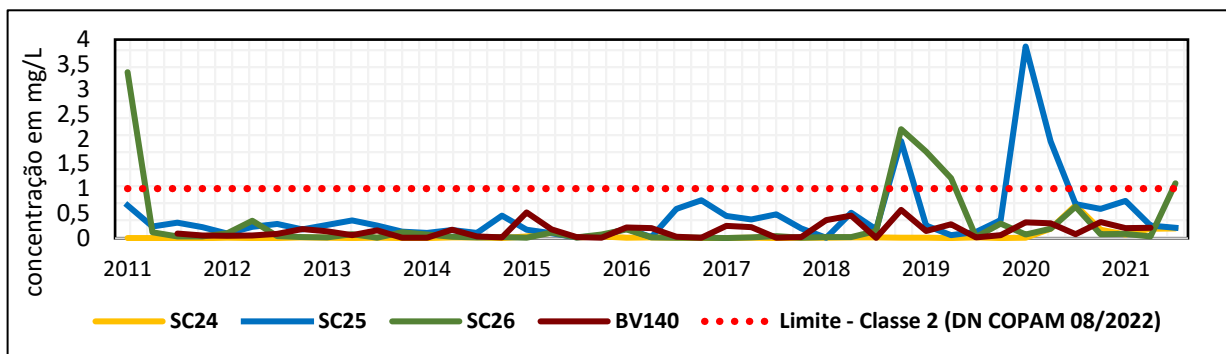


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

As reações de oxidação que envolvem o nitrogênio amoniacal a nitrito e posteriormente em nitrato, além de implicarem no consumo do oxigênio dissolvido, quando o nitrogênio amoniacal se associa aos compostos de fósforo conduz o crescimento de algas que podem levar o meio aquático ao processo de eutrofização (Von Sperling, 1995).

De acordo com Fonseca e Tibiriçá (2021), a concentração de nitrogênio amoniacal interfere no oxigênio dissolvido, devido a reação de nitrificação. Portanto, as elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal apresentadas nas três estações confirmam o impacto do lançamento de efluentes sem tratamento nos cursos d'água. As concentrações de nitrito em desconformidade foram identificadas nas estações SC25 e SC26 (figura 35).

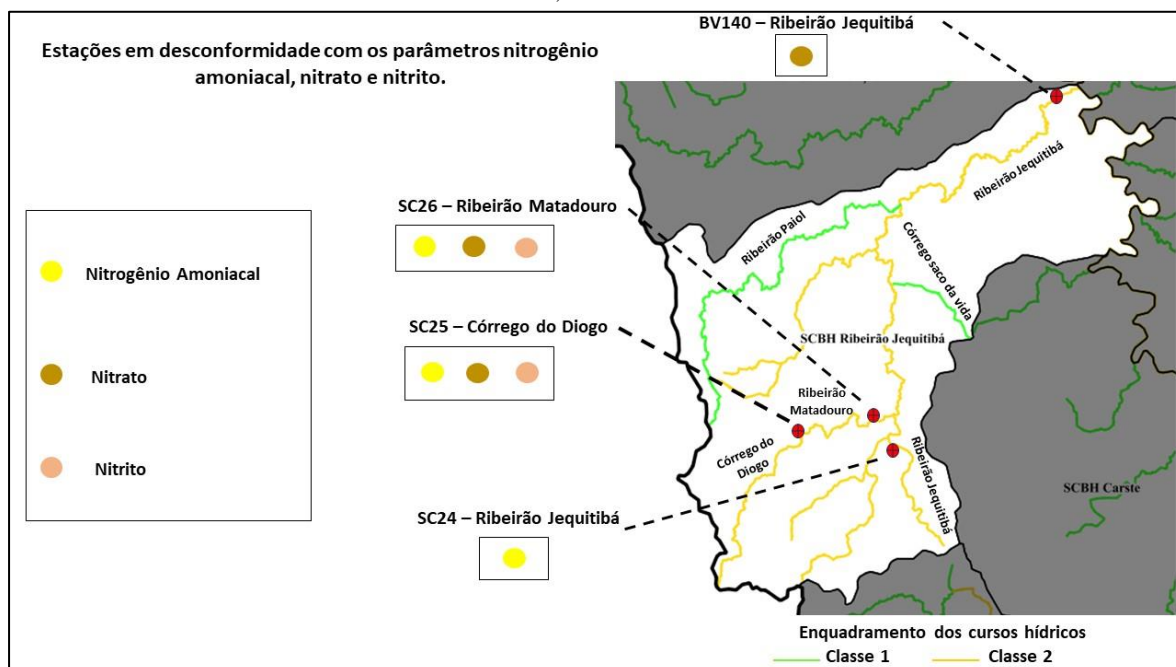
Figura 35: Evolução temporal do parâmetro nitrito entre 2011 e 2021.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A figura 36 apresenta as estações em desconformidade para os parâmetros de nitrito, nitrato e nitrogênio amoniacal.

Figura 36: Estações da UTE ribeirão Jequitibá em desconformidade com os parâmetros nitrogênio amoniacal, nitrato e nitrito.



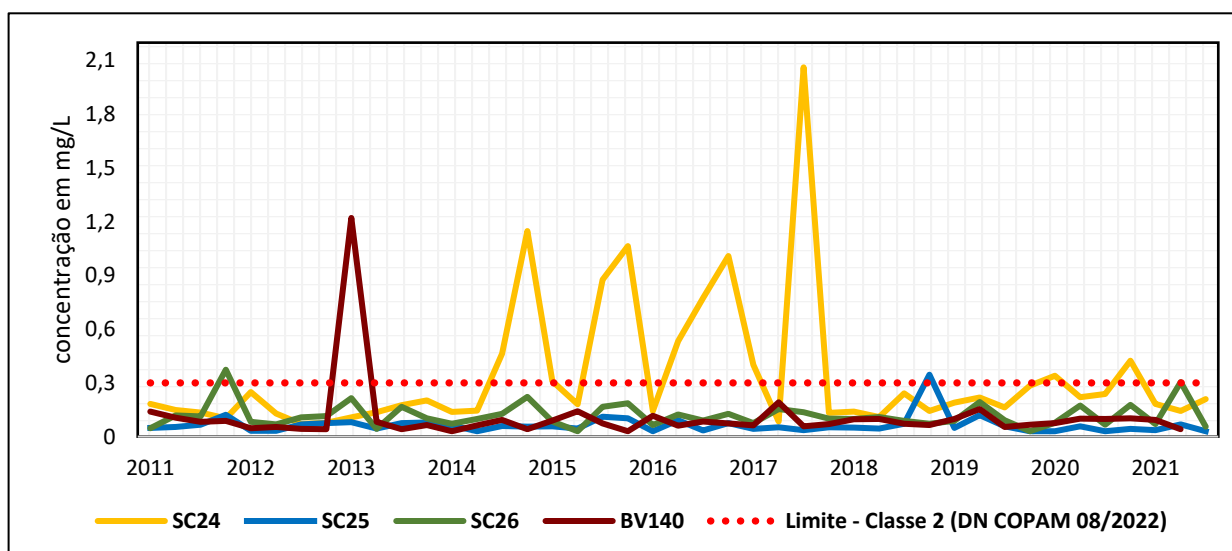
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Ferro dissolvido

O ferro dissolvido é um elemento químico metálico, a presença deste metal na água superficial indica ocorrência de carreamento de partículas decorrentes de processos erosivos. Concentrações elevadas de ferro dissolvido podem causar transtornos nos processos de tratamento de água para abastecimento público (CETESB, 2019). O valor máximo permitido para o parâmetro ferro dissolvido em águas superficiais com enquadramento classe 2 é de 0,3 mg/L (DN COPAM N° 08/2022).

Dos trechos analisados somente a estação SC25 não violou nenhuma amostra de ferro dissolvido. Nos pontos onde estão localizadas as estações SC26 e BV140 ao menos uma amostra apresentou-se inconformidade com o ferro dissolvido. A estação SC24 foi a que apresentou a maior quantidade de amostras em inconformidades com o parâmetro ferro dissolvido, com concentração de 2mg/L (figura 37).

Figura 37: Evolução temporal do parâmetro ferro dissolvido entre 2011 e 2021.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

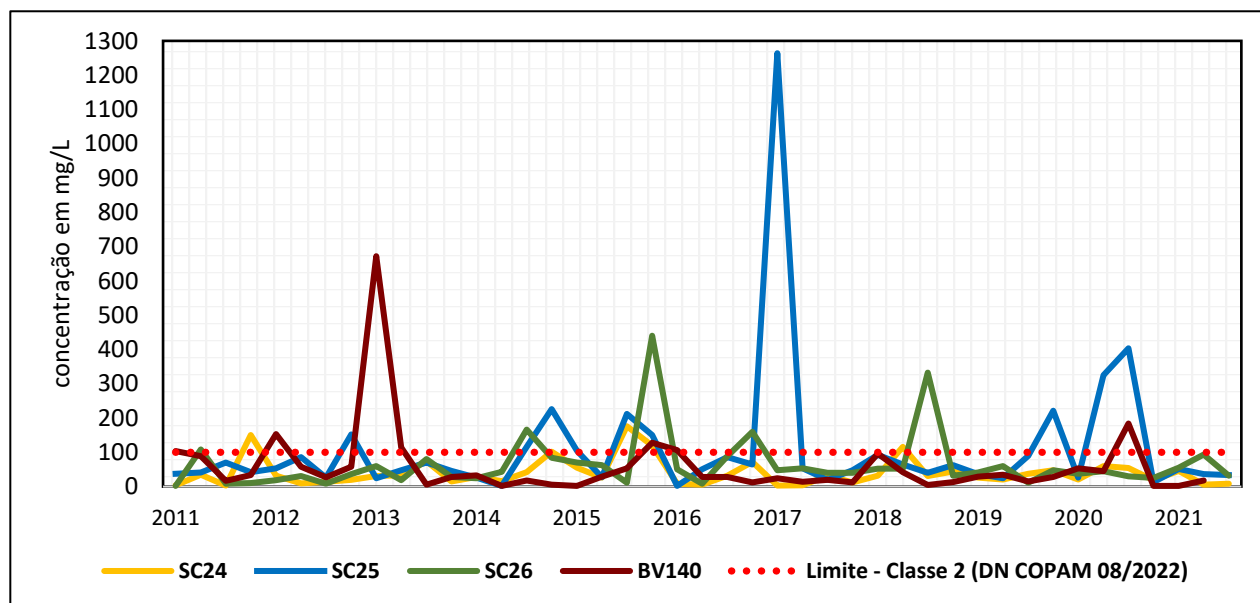
Sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos

O valor máximo permitido de concentração de sólidos em suspensão é de 100 mg/L (DN COPAM N° 8/2022), conforme a figura 38, a maior concentração de sólidos em suspensão ocorreu no trecho da estação SC25 no ano de 2017, a amostra apresentou concentração de 1264 mg/L. A estação SC24 apresentou algumas amostras em desconformidades, contudo, as concentrações não ultrapassaram 200 mg/L. A SC26 e a BV140 também apresentam violação do limite estabelecidos para sólidos em suspensão, no ano de 2016 o trecho SC26 apresentou

concentrações de 400 mg/L e no ano de 2013 no trecho da BV140 apresentou concentração de 672 mg/L.

De acordo com Vitó *et al.* (2016), a presença de sólidos no corpo hídrico pode ser em decorrência de processos naturais, como as erosões das margens dos rios e pode ser proveniente do lançamento carga orgânica. A presença dos sólidos em suspensão altera o valor de turbidez da água, uma vez que as partículas sólidas impedem a passagem dos raios solares.

Figura 38: Evolução temporal do parâmetro sólidos em suspensão entre 2011 e 2021.

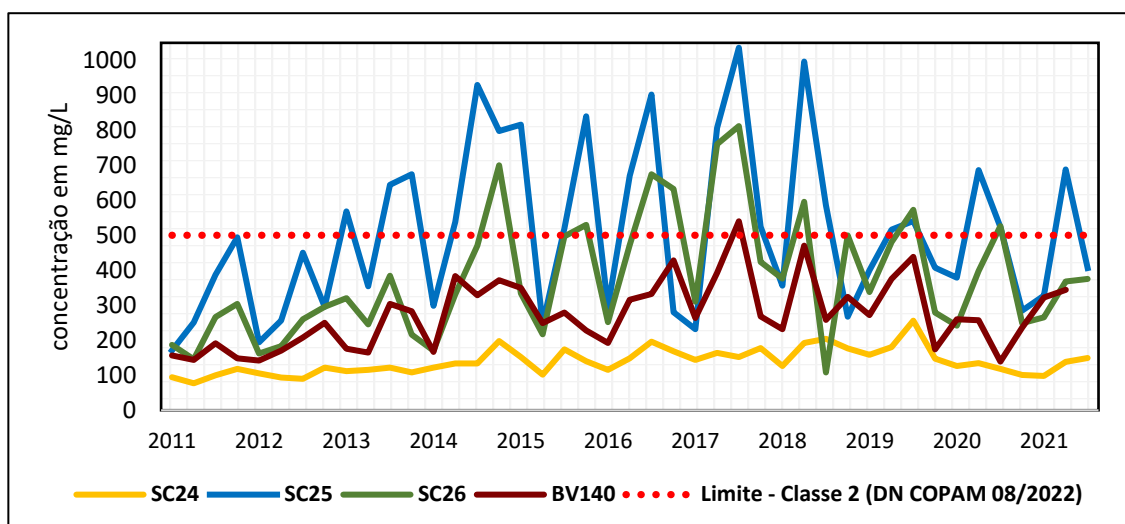


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A figura 39 apresenta a evolução temporal das concentrações de sólidos dissolvidos nos trechos analisados. No trecho analisado, referente a estação SC24, não ocorreu violação nenhuma amostra para o parâmetro sólidos dissolvido, a estação BV140 apresentou comportamento semelhante, exceto para a amostragem entre 2017 e 2018, aonde o parâmetro sólido dissolvido foi violado apresentando concentração um pouco acima do limite com concentração de 540 mg/L (limite de 500 mg/L – enquadramento classe 2).

As estações SC25 e SC26 apresentam maiores percentuais de inconformidade do parâmetro sólidos dissolvidos, as concentrações ficaram maiores entre os anos de 2014 e 2018, a estação SC25 atingiu a concentração de 812 mg/L de sólidos dissolvidos em 2018 e a estação SC26 no ano de 2017 apresentou a violação do parâmetro sólidos dissolvidos com concentração de 1036 mg/L.

Figura 39: Evolução temporal do parâmetro sólidos dissolvidos entre 2011 e 2021.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

As estações SC24 e BV140 estão localizadas em áreas menos antropizadas (município de Prudente de Moraes e Jequitibá), com usos predominantes de áreas de pastagens e formação florestal, já as estações SC25 e SC26 estão localizadas na parte em que predomina a área urbana da UTE ribeirão Jequitibá (municípios de Sete Lagoas). O comportamento das concentrações de sólidos dissolvidos está semelhante ao encontrado nos estudos realizados por Araújo *et al.* (2018) em microbacias do reservatório Billings, no estado de São Paulo. A pesquisa constatou que as menores concentrações de sólidos dissolvidos foram obtidas nas regiões menos urbanizadas, com predominância de vegetação, contudo, as áreas em que havia centros urbanizados com contribuição de cargas de efluentes, os trechos analisados apresentaram maiores concentrações de sólidos dissolvidos.

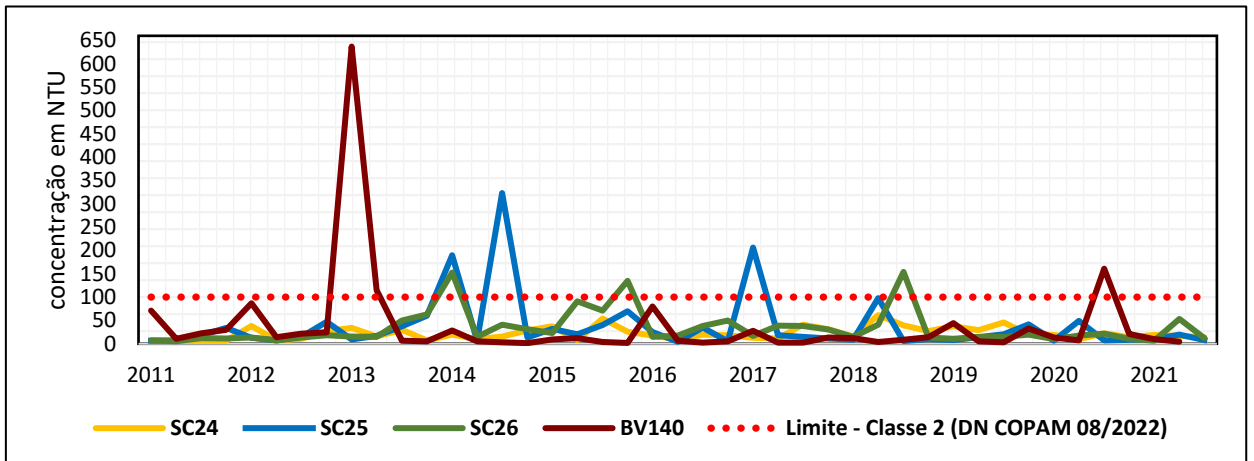
Turbidez

A turbidez mostrou-se mais elevada na estação BV140 no ano de 2013, com concentração de 637 NTU, nos anos seguintes manteve de acordo com o valor máximo permitido de 100 NTU, para as águas com enquadramento classe 2, exceto para o ano de 2020 em que a turbidez no trecho BV140 violou o limite, apresentado a turbidez de 160 NTU.

Conforme a figura 40, a estação SC24 esteve em conformidade com o parâmetro turbidez durante todo o período analisado. As estações SC25 e SC26 apresentou algumas amostras inconformes para a turbidez entre os anos de 2014 e 2018.

A concentração dos sólidos em suspensão interfere na concentração da turbidez, os resultados mostram que no ano de 2013 quando a estação BV140 apresentou concentração de 672 mg/L, a turbidez no trecho elevou-se a 637 NT. De forma semelhante notou-se a elevação da concentração dos sólidos suspensos em 2017 no trecho SC25 e no mesmo período a elevação do teor de turbidez.

Figura 40: Evolução temporal do parâmetro turbidez entre 2011 e 2021.



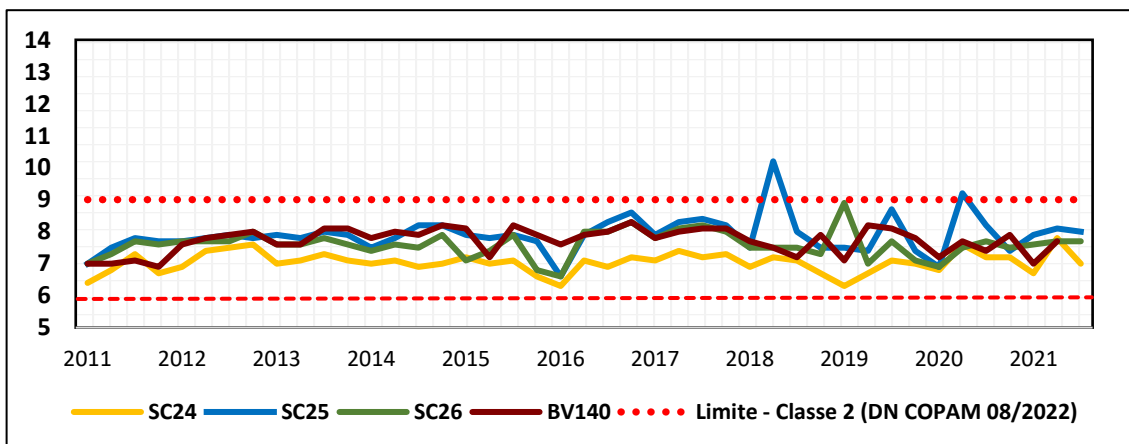
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

pH

Os resultados das amostras de pH apresentaram conformidade para as estações analisadas, exceto para a estação SC25 (figura 41), no qual a amostra referente ao ano de 2018 violou o valor máximo permitido de pH 9. Para o respectivo ano o trecho SC25 apresentou pH a 10,2 de concentração. De uma forma geral, o pH esteve em conformidade ao enquadramento classe 2 para os trechos analisados.

De acordo com Von Sperling (2014) vários fatores podem influenciar nos valores de pH em um corpo hídrico, esses fatores estão ligados a causas naturais como dissolução de rochas, absorção de gases atmosféricos e fatores antrópicos como lançamento de carga orgânica através dos efluentes não tratados.

Figura 41: Evolução temporal do parâmetro pH entre 2011 e 2021.



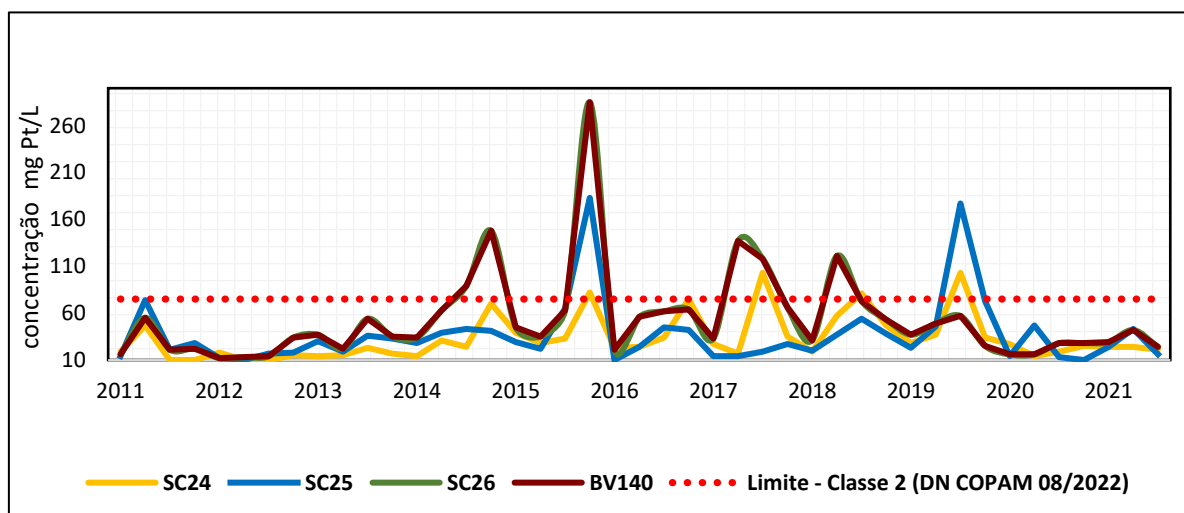
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Cor verdadeira

No que tange ao parâmetro cor verdadeira (figura 42), o trecho que apresentou menor percentual de violação ao limite de 75mg Pt/L (DN COPMA N° 08/2022) foi a estação SC24. A estação BV140 apresentou os piores resultados para o parâmetro. O material orgânico em suspensão coloidal e em decomposição pode influenciar elevando os valores de cor.

Nos estudos de Piratoba *et al.* (2017), associou-se o aumento da cor verdadeira em um trecho do rio Pará no período chuvoso quando comparado com o período de seca, o lançamento de efluentes associado ao aumento da vazão causada pela precipitação favorece o aumento da cor do corpo hídrico.

Figura 42: Evolução temporal do parâmetro cor verdadeira entre 2011 e 2021.

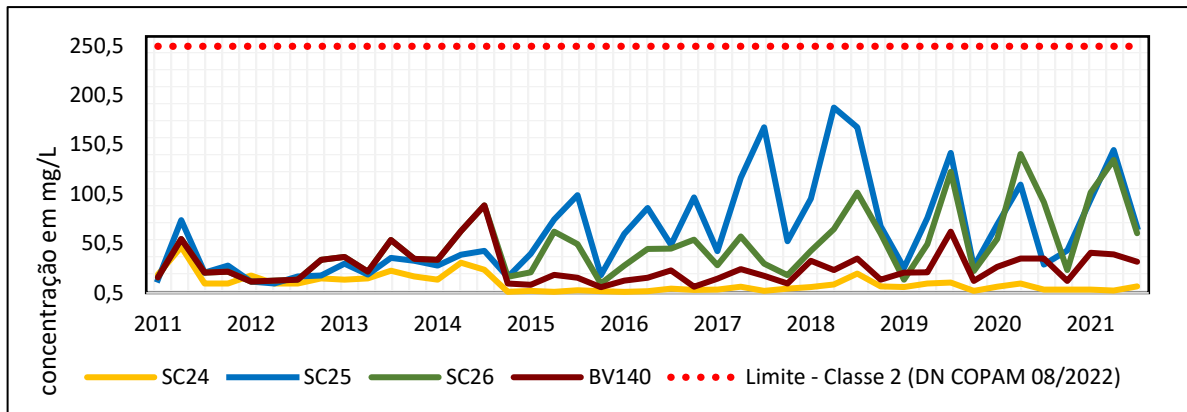


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Cloreto Total

O cloreto total foi o único parâmetro que não esteve em desconformidade durante o período analisado. Conforme a figura 43, a estação que apresentou as maiores concentrações foi o trecho SC25, localizado no córrego do Diogo, região urbana do município de Sete Lagoas. Nas amostras de 2018, identificou-se concentração de 188 mg/L, contudo, o valor não violou o limite de 250 mg/L de cloreto total para copos d'água classe 2. Os íons de cloreto presentes nas águas superficiais podem ser provenientes de esgotos domésticos (expelido na urina humana) e industriais (Piratoba, 2017).

Figura 43: Evolução temporal do parâmetro cloreto total entre 2011 e 2021.



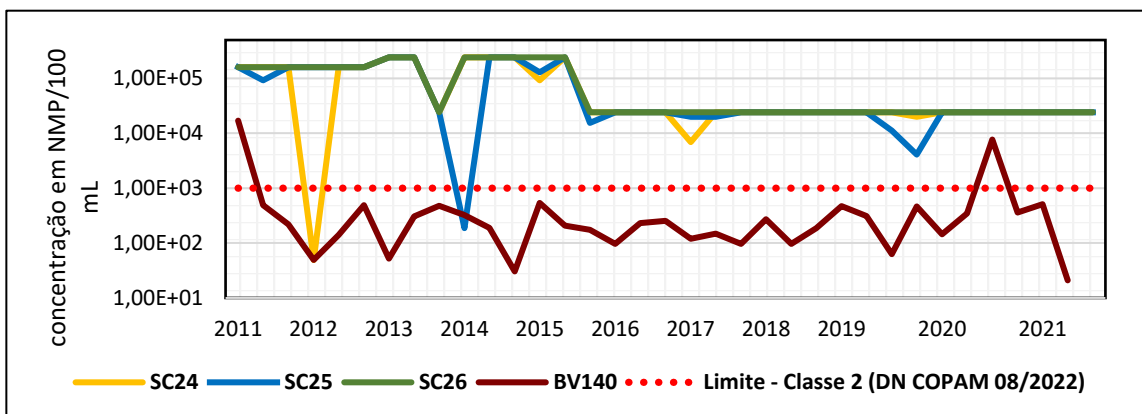
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Escherichia Coli

O monitoramento do parâmetro microbiológico *Escherichia Coli* (*E. coli*) é de suma importância principalmente nos trechos onde ocorre captação para consumo humano. De acordo com a DN COPAM N° 08/2022, as águas superficiais com enquadramento classe 2, podem ser direcionadas ao abastecimento público após tratamento convencional. O limite permitido é de 1000 NMP (número mais provável) /100 mL de *E. coli*.

A estação BV140 foi a única que apresentou o melhor percentual em atendimento ao parâmetro *E. coli*, conforme a figura 44, o trecho esteve em desacordo apenas nas amostras de 2011 e 2020. As estações SC25 (exceto no ano de 2014) SC26 e SC24 (exceto no ano de 2012), esteve em desacordo durante todo o período analisado.

Figura 44: Evolução temporal do parâmetro *E. Coli* entre 2011 e 2021.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

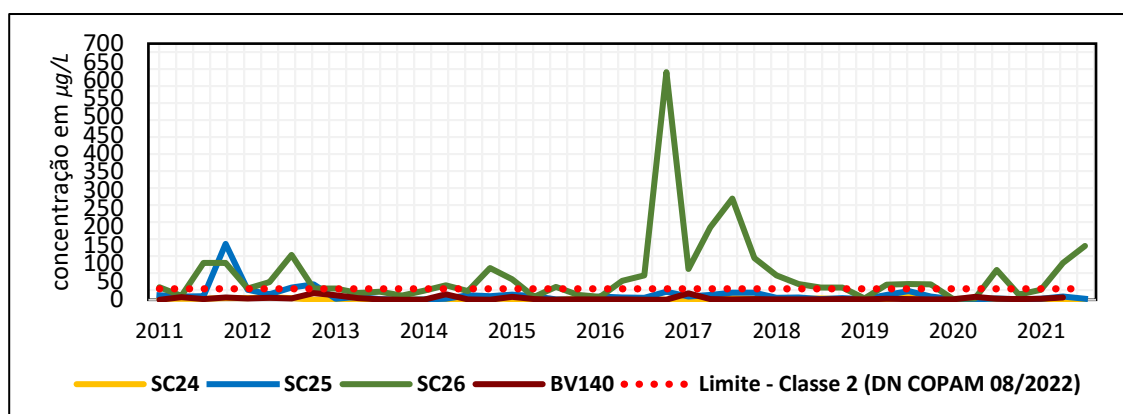
De acordo com Frias *et al.* (2020), as maiores concentrações de *E. coli* nas águas superficiais estão associadas as áreas urbanas que descarregam um grande volume de efluentes domésticos e a áreas de atividades pecuárias. Tais atividades associadas ao escoamento superficial favorecem o crescimento de microrganismos de origem fecal nos corpos d'água.

Clorofila a

O trecho que apresentou maiores valores de floração de clorofila a foi a estação SC26. De acordo com a DN COPAM N° 08/2022, o limite máximo permitido é de 30 µg/L para corpos d'água classe 2. De acordo com a figura 45, no ano de 2017 no trecho SC26 a concentração de clorofila atingiu 622,11 µg/L, cerca de vinte vezes a mais que o limite estabelecido. Nas estações BV140 e SC24 nenhuma amostra violou o valor máximo permitido para clorofila a. Entre 2011 e 2012 no trecho SC25 identificou-se concentração de 152,72 µg/L de clorofila a.

A clorofila a é um pigmento encontrado nas algas fotossintetizantes. Por ser um pigmento presente nos fitoplâncton, a concentração da clorofila é um indicativo de presença de algas (Watanabe *et al.*, 2015). A proliferação das algas depende de alguns fatores como disponibilidade de luz, nutrientes e oxigênio dissolvido.

Figura 45: Evolução temporal do parâmetro clorofila a entre 2011 e 2021.



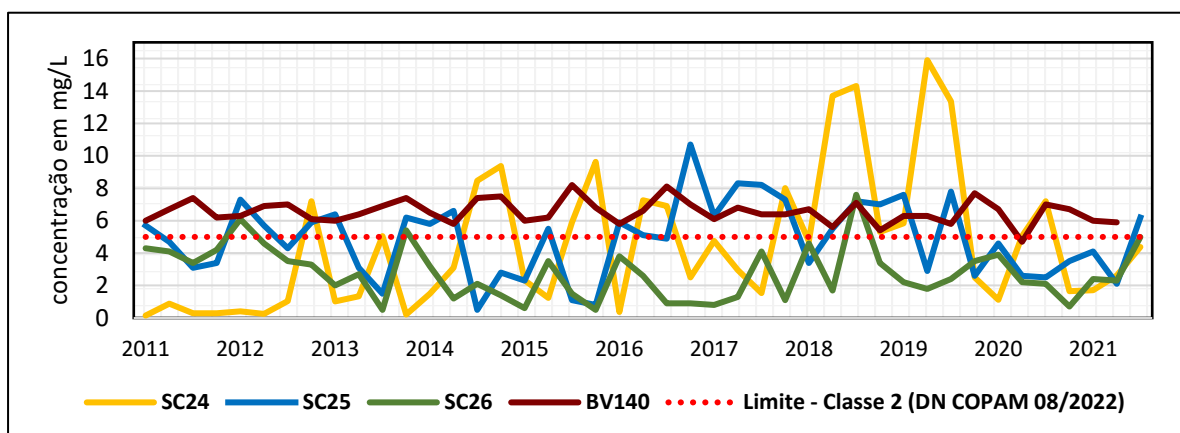
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Oxigênio dissolvido

A estação BV140 foi o único trecho em conformidade com o parâmetro oxigênio dissolvido (figura 46). Os trechos referentes as estações SC24, SC25 e SC26 apresentaram resultados insatisfatórios para o oxigênio dissolvido, demonstrando que estes trechos apresentam uma degradação da qualidade das águas. De acordo com Pinto *et al.* (2010), os microrganismos presentes na água dependem do oxigênio dissolvido para sobrevivência e proliferação, a maioria das espécies não sobrevivem a concentrações inferiores a 4 mg/L. A reintrodução do oxigênio dos corpos d'água acontece através do fenômeno de reaeração superficial da água. Além disso, a atividade fotossintética das algas contribui para o aumento do oxigênio dissolvido, todavia, não se pode avaliar as condições de qualidade da água apenas pela alta concentração de oxigênio, pois a proliferação exagerada de algas resultará em uma

concentração de oxigênio que poderá ser superior a 10 mg/L (situação de saturação). E proliferações excessivas de algas acarreta estado de eutrofização das águas (CETESB, 2016).

Figura 46: Evolução temporal do parâmetro oxigênio dissolvido entre 2011 e 2021.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

6.3 Matriz de correlação Spearman R dos parâmetros de qualidade da água

A análise de correlação Spearman R foi aplicada a partir da matriz de dados das variáveis referentes às amostragens dos quinze parâmetros selecionados (Clorofila *a*, Demanda bioquímica de oxigênio, *Escherichia Coli*, Ferro, Fósforo, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio Amoniacal, Oxigênio dissolvido, Sólidos dissolvidos, Sólidos em suspensão, Turbidez, pH (potencial hidrogeniônico), Cor verdadeira e Cloreto total. A representação do nível de significância da correlação dos quinze parâmetros de qualidade empregadas neste trabalho nas estações SC24, SC25, SC26 e BV140, estão expressas na figura 47.

Foi considerado a cor azul para as correlações positivas e vermelha para as correlações negativas. Conforme a correlação se afasta do zero e se aproxima do 1 e -1 a esfera representativa aumenta e a cor ficar mais intensa (figura 47). As matrizes de correlação, com os valores gerados na aplicação do teste Spearman R, estão expressas nas tabelas 1,2,3 e 4. De acordo com Liu *et al.* (2003) considera-se que os valores entre 0,75 e 1 (correlações fortes), entre 0,50 e 0,75 (correlações moderadas) e entre 0,30 e 0,50 (correlações fracas).

Avaliando as relações dos parâmetros na estação SC24 (tabela 1) observou-se uma correlação positiva e forte entre do parâmetro DBO com fósforo, nitrogênio amoniacal, sólidos dissolvidos e cloreto total. As correlações negativas fracas e ausentes no parâmetro clorofila *a*, *E. coli*, nitrato e ferro.

Observa-se na estação SC25 que as correlações positivas e negativas fortes estão em menos evidências. O parâmetro sólidos dissolvidos apresentou uma correlação positiva forte

com pH e cloreto total e o parâmetro fósforo com a DBO (tabela 2). Porém, a correlação em DBO e oxigênio dissolvido apresentou relação negativa moderada, tal resultado é esperado, tendo em vista que quando a demanda bioquímica de oxigênio aumenta, o oxigênio dissolvido presente na água diminui.

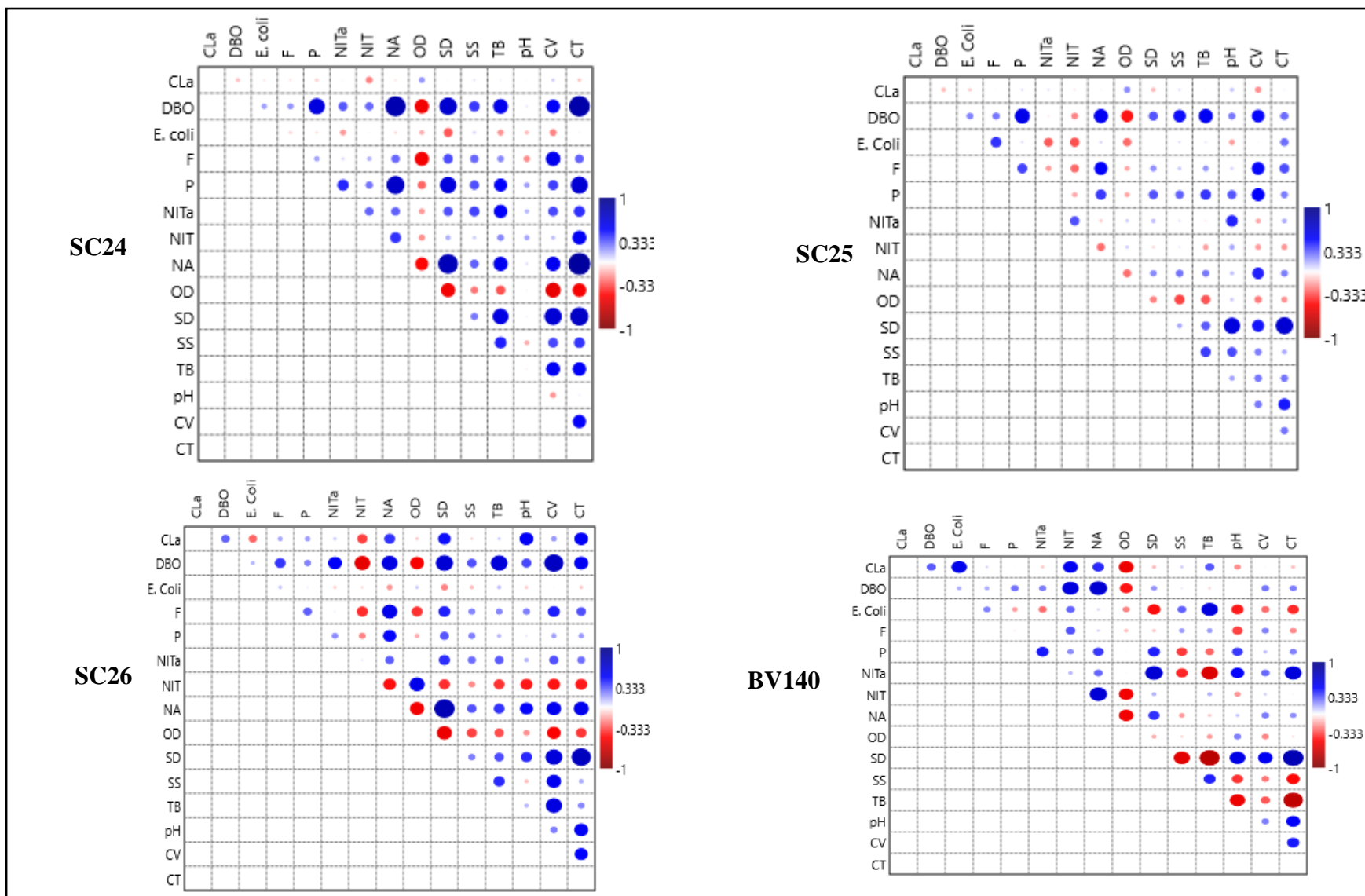
Por outro lado, a estação SC26 apresentou mais relações negativas fortes, o parâmetro oxigênio dissolvido e o nitrito só apresentaram uma correlação positiva (tabela 3). As correlações positivas moderadas e forte podem ser verificadas com o parâmetro DBO, sólidos dissolvidos e cor verdadeira. Por fim, a estação BV140 apresentou correlações ausentes e fracas no oxigênio dissolvido e no ferro dissolvido (tabela 4).

No contexto deste trabalho, notou-se que há uma correlação positiva e forte entre a DBO e o nitrogênio amoniacal nas estações analisadas, em decorrência do lançamento de efluentes domésticos não tratados. O parâmetro oxigênio dissolvido apresentou correlação negativa com a DBO em todas estações, comportamento este esperado, uma vez as que estas variáveis atuam em sentido opostos, sendo que quando há uma alta concentração de DBO, o oxigênio dissolvido na água é reduzido, esse cenário de correlação negativa entre a DBO e oxigênio dissolvido demonstra o impacto na qualidade das águas causada pela presença de efluentes *in natura*.

O lançamento de matéria orgânica nos pontos SC24, SC25 e SC26 provoca o decaimento do oxigênio dissolvido nesses trechos, o restabelecimento do equilíbrio no meio aquático se torna improvável pelo constante lançamento de efluentes. De acordo com Andrade (2010), o processo de autodepuração que ocorre ao longo de curso d'água segue longitudinalmente e ao longo do tempo, o autor considera que no processo de autodepuração, os trechos ao longo do curso hídrico se dividem em : zonas de águas limpas (a montante do lançamento de efluentes), zonas de degradação (a jusante do lançamento de efluentes), zona de decomposição ativa (restabelecimento das concentrações mínimas de oxigênios) e zona de recuperação (restabelecimento do equilíbrio anterior à condição de poluição das águas).

Conclui-se que os trechos SC24, SC25 e SC26 estão inseridos nas zonas de degradação sendo caracterizada pela diminuição da concentração de oxigênio dissolvido. Contudo, o trecho BV140 já se caracteriza como a zona de recuperação dentro da UTE Ribeirão Jequitibá, com o restabelecimento dos padrões de qualidade e da conformidade ao enquadramento classe 2.

Figura 47: Representação do nível de significância da correlação dos parâmetros de qualidade da água nas estações SC24, SC25, SC26 e BV140.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Obs.: CLa (Clorofila a), DBO (Demanda bioquímica de oxigênio), E. Coli (Escherichia Coli), F (Ferro), P (Fósforo), NITa (Nitrato), NIT (Nitrito), NA (Nitrogênio Amoniacal), OD (oxigênio dissolvido), SD (Sólidos dissolvidos), SS (Sólidos em suspensão), TB (Turbidez), pH (potencial hidrogeniônico), CV (Cor verdadeira) e CL (Cloreto total).

Tabela 1: Matriz de correlação de Spearman (R) entre os parâmetros de qualidade da água na estação SC24.

	Clorofila a	DBO	Escherichia coli	Ferro	Fósforo	Nitrato	Nitrito	Nitrogênio A.	Oxigênio D.	Turbidez	pH	Cloreto T.	Sólidos D.	Sólidos S.	Cor V.
Clorofila a	—														
DBO	-0.125	—													
Escherichia coli	-0.084	0.156	—												
Ferro	-0.057	0.210	-0.077	—											
Fósforo	-0.093	0.628 ***	-0.081	0.184	—										
Nitrato	-0.018	0.329 *	-0.221	0.075	0.428 **	—									
Nitrito	-0.249	0.298	-0.025	0.149	0.273	0.306 *	—								
Nitrogênio A.	-0.049	0.801 ***	-0.089	0.296	0.708 ***	0.309 *	0.404 **	—							
Oxigênio D.	0.203	-0.545 ***	-0.133	-0.542 ***	-0.297	-0.197	-0.217	-0.496 ***	—						
Turbidez	0.028	0.566 ***	-0.236	0.236	0.499 ***	0.510 ***	0.234	0.553 ***	-0.342 *	—					
pH	-0.010	0.046	-0.129	-0.225	0.190	0.135	0.172	0.068	-0.024	-0.027	—				
Cloreto T.	-0.109	0.824 ***	-0.004	0.310 *	0.666 ***	0.407 **	0.534 ***	0.875 ***	-0.527 ***	0.518 ***	0.030	—			
Sólidos D.	-0.013	0.684 ***	-0.347 *	0.352 *	0.635 ***	0.345 *	0.160	0.777 ***	-0.543 ***	0.611 ***	0.027	0.719 ***	—		
Sólidos S.	0.052	0.390 **	0.066	0.298	0.345 *	0.371 *	0.095	0.310 *	-0.267	0.442 **	-0.159	0.398 **	0.263	—	
Cor V.	0.092	0.519 ***	-0.268	0.560 ***	0.376 *	0.357 *	0.125	0.555 ***	-0.583 ***	0.533 ***	-0.205	0.509 ***	0.670 ***	0.361 *	—

Nota. * p < .05, ** p < .01, *** p < .001

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Tabela 2: Matriz de correlação de Spearman (R) entre os parâmetros de qualidade da água na estação SC25.

	Clorofila a	DBO	E. coli	ferro	Fósforo	Nitrato	Nitrito	Nitrogênio A.	Oxigênio D.	Turbidez	pH	Cloreto T.	Sólidos D.	Sólidos S.	Cor V.
Clorofila a	—														
DBO	-0.137	—													
E. coli	-0.101	0.210	—												
ferro	-0.015	0.265	0.408**	—											
Fósforo	0.066	0.585***	0.055	0.368*	—										
Nitrato	0.055	-0.039	-0.317*	-0.194	-0.005	—									
Nitrito	-0.042	-0.240	-0.348*	-0.295	-0.171	0.344*	—								
Nitrogênio A.	0.021	0.540***	0.072	0.502***	0.389**	-0.098	-0.287	—							
Oxigênio D.	0.224	-0.459**	-0.293	-0.167	-0.170	0.096	0.093	-0.284	—						
Turbidez	-0.015	0.546***	0.018	0.204	0.394**	-0.045	-0.191	0.261	-0.335*	—					
pH	0.123	0.261	-0.218	0.079	0.329*	0.434**	0.174	0.123	0.099	0.178	—				
Cloreto T.	0.029	0.289	0.291	0.355*	0.257	0.160	-0.205	0.256	-0.213	0.270	0.453**	—			
Sólidos D.	-0.138	0.336*	-0.024	0.215	0.339*	0.133	-0.078	0.231	-0.247	0.323*	0.629***	0.674***	—		
Sólidos S.	0.059	0.475**	0.059	0.102	0.309*	0.056	0.042	0.273	-0.367*	0.381*	0.358*	0.162	0.167	—	
Cor V.	-0.218	0.487***	-0.002	0.486***	0.500***	-0.169	-0.196	0.437**	-0.261	0.269	0.268	0.275	0.462**	0.252	—

Nota. * p < .05, ** p < .01, *** p < .001

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Tabela 3: Matriz de correlação de Spearman (R) entre os parâmetros de qualidade da água na estação SC26.

	Clorofila a	DBO	Ferro	Fósforo	Nitrato	Nitrito	Nitrogênio A.	Oxigênio D.	Turbidez	pH	Cloreto T.	E. coli	Sólidos D.	Sólidos S.	Cor V.
Clorofila a	—														
DBO	0.307 *	—													
Ferro	0.172	0.398 **	—												
Fósforo	0.192	0.242	0.312 *	—											
Nitrato	0.104	0.520 ***	0.032	0.223	—										
Nitrito	-0.374 *	-0.595 ***	-0.412 **	-0.241	0.044	—									
Nitrogênio A.	0.402 **	0.609 ***	0.581 ***	0.493 ***	0.316 *	-0.476 **	—								
Oxigênio D.	-0.101	-0.524 ***	-0.403 **	-0.161	0.009	0.575 ***	-0.541 ***	—							
Turbidez	0.094	0.645 ***	0.236	0.139	0.323 *	-0.401 **	0.401 **	-0.345 *	—						
pH	0.525 ***	0.360 *	0.252	0.050	0.148	-0.453 **	0.493 ***	-0.218	0.144	—					
Cloreto T.	0.524 ***	0.538 ***	0.343 *	0.195	0.281	-0.449 **	0.572 ***	-0.393 **	0.237	0.528 ***	—				
E. coli	-0.300	0.138	0.115	0.033	-0.096	-0.064	-0.206	0.104	0.125	-0.099	-0.107	—			
Sólidos D.	0.474 **	0.662 ***	0.439 **	0.328 *	0.411 **	-0.408 **	0.788 ***	-0.570 ***	0.348 *	0.419 **	0.749 ***	-0.243	—		
Sólidos S.	-0.082	0.342 *	0.240	0.248	0.290	-0.227	0.341 *	-0.372 *	0.418 **	-0.133	0.164	-0.131	0.248	—	
Cor V.	0.204	0.735 ***	0.447 **	0.185	0.342 *	-0.463 **	0.555 ***	-0.511 ***	0.617 ***	0.253	0.497 ***	-0.013	0.643 ***	0.552 ***	—

Nota. * p < .05, ** p < .01, *** p < .001

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Tabela 4: Matriz de correlação de Spearman (R) entre os parâmetros de qualidade da água na estação BV140.

	Clorofila a	DBO	E. Coli	Ferro	Fósforo	Nitrato	Nitrito	Nitrogênio A.	Oxigênio D.	Turbidez	pH	Cloreto T.	Sólidos D.	Sólidos S.	Cor V.
Clorofila a	—														
DBO	0.281	—													
E. Coli	0.529***	0.087	—												
Ferro	0.110	0.209	0.309*	—											
Fósforo	0.051	0.347*	-0.160	-0.059	—										
Nitrato	-0.113	0.245	-0.311*	0.000	0.480**	—									
Nitrito	0.518***	0.593***	0.250	0.397*	0.290	0.117	—								
Nitrogênio A.	0.378*	0.643***	0.007	0.122	0.454**	0.291	0.633***	—							
Oxigênio D.	-0.524***	-0.424**	-0.191	-0.173	-0.029	0.003	-0.510***	-0.510***	—						
Turbidez	0.325*	-0.085	0.640***	0.209	-0.300	-0.636***	0.156	-0.121	-0.203	—					
pH	-0.213	0.011	-0.447**	-0.380*	0.389*	0.498***	-0.204	0.134	0.245	-0.578***	—				
Cloreto T.	-0.200	0.193	-0.525***	-0.207	0.312*	0.641***	-0.046	0.166	0.001	-0.777***	0.550***	—			
Sólidos D.	-0.195	0.169	-0.557***	-0.101	0.495***	0.663***	0.111	0.379*	-0.116	-0.782***	0.615***	0.781***	—		
Sólidos S.	0.084	0.029	0.309*	0.204	-0.392*	-0.433**	-0.021	-0.219	-0.065	0.441**	-0.395**	-0.514***	-0.628***	—	
Cor V.	-0.007	0.265	-0.320*	0.258	0.143	0.294	0.078	0.261	-0.238	-0.331*	0.264	0.455**	0.542***	-0.265	—

Nota. * p < .05, ** p < .01, *** p < .001

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

6.4 Análise de componentes principais dos parâmetros de qualidade da água

Para verificar a aplicação da análise de componentes principais nos dados das estações da UTE Ribeirão Jequitibá, foram aplicados os testes de KMO e Bartlet, conforme as tabelas 5 e 6. Em todas as estações as amostras apresentaram-se adequadas para a aplicação da análise de componentes principais, onde $KMO > 0,5$ e Bartlet com resultados inferiores a 0,05.

Tabela 5: Teste de Bartlett nos dados das estações SC24 (a), SC25 (b), SC26 (c) e BV140 (d).

	χ^2	gl	p		χ^2	gl	p
a)	415	105	< .001	b)	216	105	< .001
c)	357	105	< .001	d)	429	105	< .001

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Tabela 6: Medida de adequação de amostragem de KMO das estações SC24 (a), SC25 (b), SC26 (c) e BV140 (d).

a)	Global	0.664	b)	Global	0.513
	Clorofila a	0.162		Clorofila a	0.327
	DBO	0.719		DBO	0.626
	E.coli	0.317		E.coli	0.457
	Ferro	0.698		Ferro	0.353
	Fósforo	0.823		Fósforo	0.698
	Nitrato	0.624		Nitrato	0.316
	Nitrito	0.179		Nitrito	0.427
	Nitrogênio Amoniacal	0.821		Nitrogênio Amoniacal	0.593
	Oxigênio dissolvido	0.642		Oxigênio dissolvido	0.479
	Sólidos dissolvidos	0.693		Sólidos dissolvidos	0.568
	Sólidos suspensos	0.784		Sólidos suspensos	0.438
	Turbidez	0.812		Turbidez	0.508
	pH	0.200		pH	0.476
Cor verdadeira	0.779	Cor verdadeira	0.530		
Cloreto total	0.669	Cloreto total	0.508		
c)	Global	0.639	d)	Global	0.727
	Clorofila a	0.601		Clorofila a	0.716
	DBO	0.700		DBO	0.622
	E.coli	0.329		E.coli	0.739
	Ferro	0.721		Ferro	0.795
	Fósforo	0.346		Fósforo	0.794
	Nitrato	0.394		Nitrato	0.842
	Nitrito	0.723		Nitrito	0.692
	Nitrogênio Amoniacal	0.694		Nitrogênio Amoniacal	0.671
	Oxigênio dissolvido	0.687		Oxigênio dissolvido	0.612
	Sólidos dissolvidos	0.687		Sólidos dissolvidos	0.771
	Sólidos suspensos	0.532		Sólidos suspensos	0.777
	Turbidez	0.658		Turbidez	0.721
	pH	0.798		pH	0.626
Cor verdadeira	0.702	Cor verdadeira	0.855		
Cloreto total	0.768	Cloreto total	0.653		

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

As tabelas 7 e 8 apresentam o peso de cada parâmetros de qualidade da água, nas estações SC24, SC25 a predominância do componente 1, na estação SC26 o peso está entre os componentes 1 e 2 e na estação BV140 a distribuição dos pesos está entre os componentes 1, 2 e 3.

Tabela 7: Peso dos componentes principais na estação SC24 (a) e SC25 (b).

a)	Componente	
	1	Singularidade
Clorofila a		0.980
DBO	0.835	0.303
E.coli		0.999
Ferro	0.506	0.744
Fósforo	0.791	0.375
Nitrato	0.448	0.800
Nitrito		0.999
Nitrogênio Amoniacal	0.760	0.422
Oxigênio dissolvido	-0.686	0.530
Sólidos dissolvidos	0.835	0.303
Sólidos suspensos	0.560	0.686
Turbidez	0.731	0.466
pH		0.999
Cor verdadeira	0.745	0.445
Cloreto total	0.824	0.321

Nota. Foi utilizada a rotação 'varimax'

b)	Componente	
	1	Singularidade
Clorofila a		0.999
DBO	0.842	0.291
E.coli	0.378	0.857
Ferro		0.990
Fósforo	0.540	0.709
Nitrato		0.991
Nitrito	-0.305	0.907
Nitrogênio Amoniacal	0.555	0.692
Oxigênio dissolvido	-0.504	0.746
Sólidos dissolvidos	0.673	0.548
Sólidos suspensos		0.974
Turbidez	0.463	0.785
pH	0.478	0.771
Cor verdadeira	0.655	0.570
Cloreto total	0.680	0.537

Nota. Foi utilizada a rotação 'varimax'

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Tabela 8: Peso dos componentes principais na estação SC26 (c) e BV140 (d).

c)	Componente			Singularidade
	1	2		
Clorofila a	0.643			0.583
DBO		0.901		0.139
E.coli	-0.368	0.422		0.686
Ferro	0.345			0.812
Fósforo	0.328			0.868
Nitrato				0.934
Nitrito				0.899
Nitrogênio Amoniacal	0.873			0.199
Oxigênio dissolvido	-0.536			0.663
Sólidos dissolvidos	0.901			0.138
Sólidos suspensos		0.814		0.337
Turbidez		0.703		0.475
pH	0.588			0.592
Cor verdadeira	0.382	0.846		0.139
Cloreto total	0.752	0.302		0.343

Nota. Foi utilizada a rotação 'varimax'

d)	Componente			Singularidade
	1	2	3	
Clorofila a			0.619	0.5074
DBO		0.310	0.672	0.3759
E.coli	-0.702			0.4616
Ferro		0.941		0.0779
Fósforo	0.587		0.308	0.5600
Nitrato	0.732			0.4237
Nitrito			0.736	0.4054
Nitrogênio Amoniacal			0.867	0.2330
Oxigênio dissolvido			-0.785	0.3766
Sólidos dissolvidos	0.861			0.2408
Sólidos suspensos	-0.325	0.908		0.0658
Turbidez	-0.309	0.924		0.0453
pH	0.657			0.5520
Cor verdadeira	0.375	0.751		0.2867
Cloreto total	0.795			0.3611

Nota. Foi utilizada a rotação 'varimax'

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Os resultados das análises de componentes principais para as estações SC24, SC25, SC26 e BV140 entre 2011 e 2021 estão dispostos nas figuras 48, 49, 50 e 51. Observou-se que na estação SC24 (figura 48) os três primeiros componentes (CP) correspondem cerca de 60,2% da variância total das variáveis. Para o trecho SC25 (figura 49), o percentual de variância ficou em 47,0% nos primeiro três componentes, na estação SC26 (figura 50) a variância total corresponde a 58,3% e o trecho BV140 (figura 51) a variância foi de 66,8% nos três primeiro componente principais.

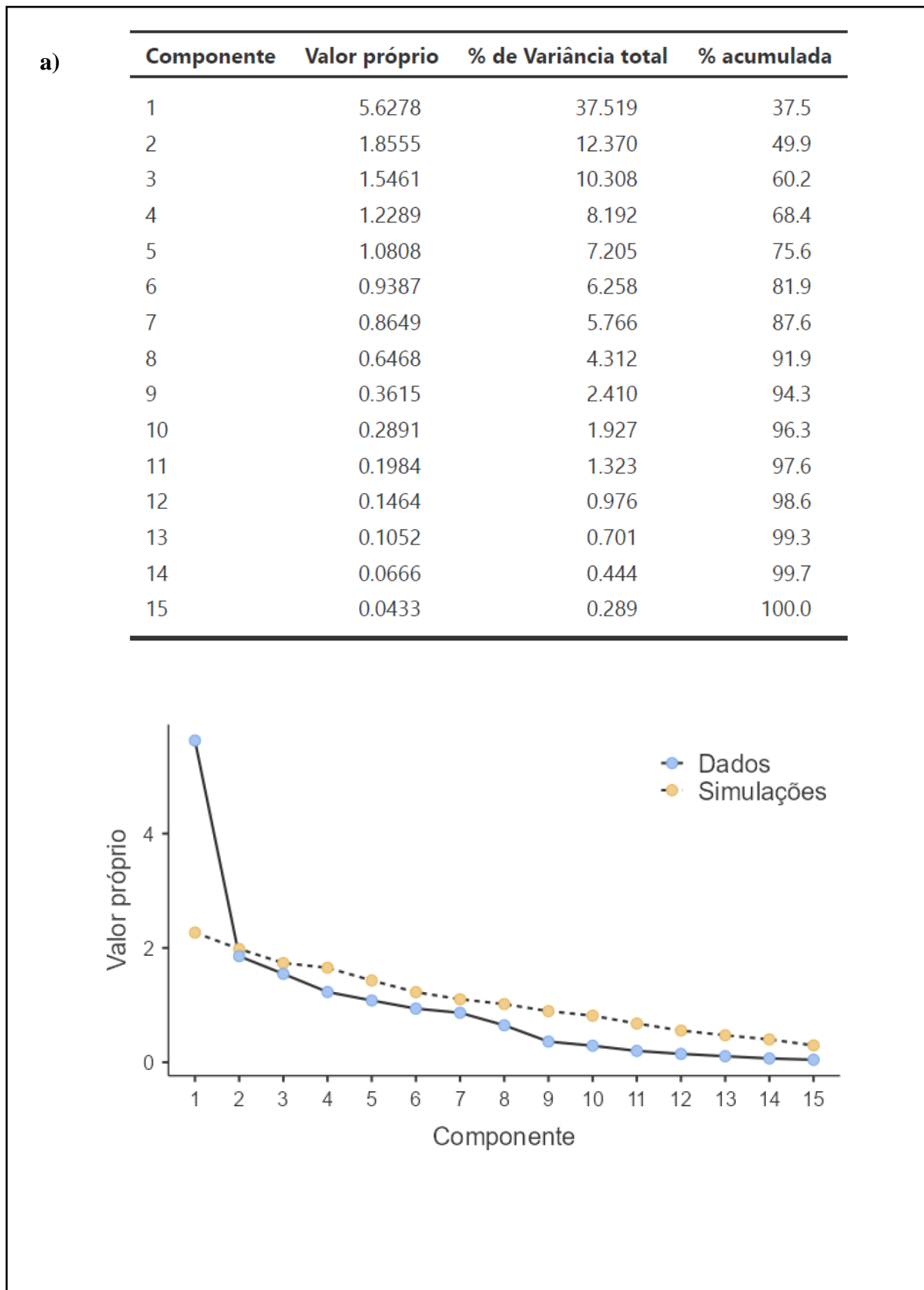
Observou-se que no CP1 da estação SC24 houve uma contribuição significativa dos parâmetros DBO (0,835), fósforo (0,791), nitrogênio amoniacal (0,760), sólidos dissolvidos (0,835), cor verdadeira (0,745) e turbidez (0,731). No trecho SC25 notou-se que a contribuição significativa para o CP1 foi principalmente a DBO (0,842), sólidos dissolvidos (0,673) e cor verdadeira (0,655). O nitrogênio amoniacal (0,873) e sólidos dissolvidos (0,901) foram mais significativos CP1 da estação SC26, contudo, CP2 teve peso dos parâmetros DBO (0,901), sólidos suspensos (0,814), turbidez (0,703) e cor verdadeira (0,846). De acordo com Liu et al. (2003), variáveis com carga fatorial acima de 0,75 são considerados de peso forte entre os parâmetros de qualidade da água.

Por fim, a estação BV140 esteve em evidências no CP1 os parâmetros *E. coli* (0,702), nitrato (0,730) e sólidos dissolvidos (0,861). No CP2 os sólidos suspensos (0,908), cor verdadeira (0,751) e turbidez (0,924) e no CP3 a clorofila a (0,619), DBO (0,672), nitrito (0,730), nitrogênio amoniacal (0,867) e oxigênio dissolvido (0,785).

Nos estudos aplicados por Silva *et al.*, (2022) na água da represa Ipaneminha no município de Sorocaba, os três primeiro fatores explicaram cerca de 70 % da variância dos dados. Os autores identificaram que os parâmetros de pesos com maior contribuição para os componentes foram fósforo, DBO e nitrogênio, poluentes associados a descargas de efluentes domésticos e urbanização.

Os scree plot gerado a partir das matrizes de variância (figura 48, 49, 50 e 51), fornece uma comparação entre os dados reais (data) com dados de uma análise paralela (simulações) da análise de componentes principais. O eixo valor próprio apresenta o percentual de variância do componente, no momento em que a reta vai declinando, o valor próprio diminui e vai se avançando nos componentes principais. Em um dado momento a linha dos dados reais se cruza com os dados da simulação, a partir desse momento os dados reais passam a ser menores que os dados simulados. Neste momento do corte, tem-se então a explicação da quantidade de fatores que representam a maior variância dos componentes de dados.

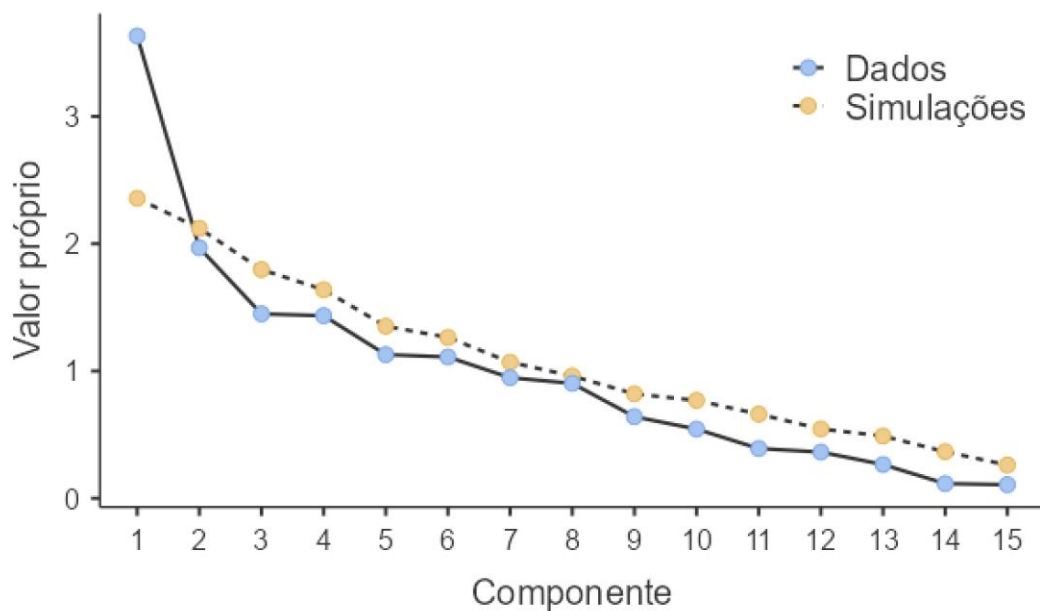
Figura 48: Matrizes de variância acumulada e scree plot dos componentes principais da estação SC24.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 49: Matrizes de variância acumulada e scree plot dos componentes principais da estação SC25.

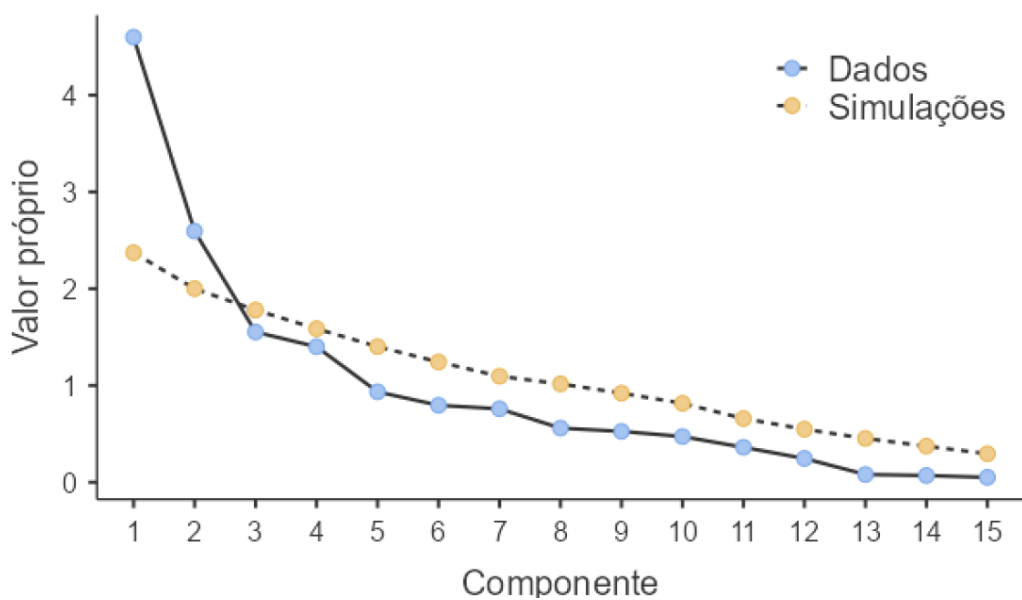
Componente	Valor próprio	% de Variância total	% acumulada
1	3.632	24.214	24.2
2	1.968	13.121	37.3
3	1.449	9.658	47.0
4	1.435	9.563	56.6
5	1.129	7.525	64.1
6	1.110	7.402	71.5
7	0.948	6.317	77.8
8	0.903	6.019	83.8
9	0.641	4.275	88.1
10	0.544	3.624	91.7
11	0.391	2.608	94.3
12	0.363	2.421	96.8
13	0.265	1.767	98.5
14	0.115	0.769	99.3
15	0.107	0.713	100.0



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 50: Matrizes de variância acumulada e scree plot dos componentes principais da estação SC26.

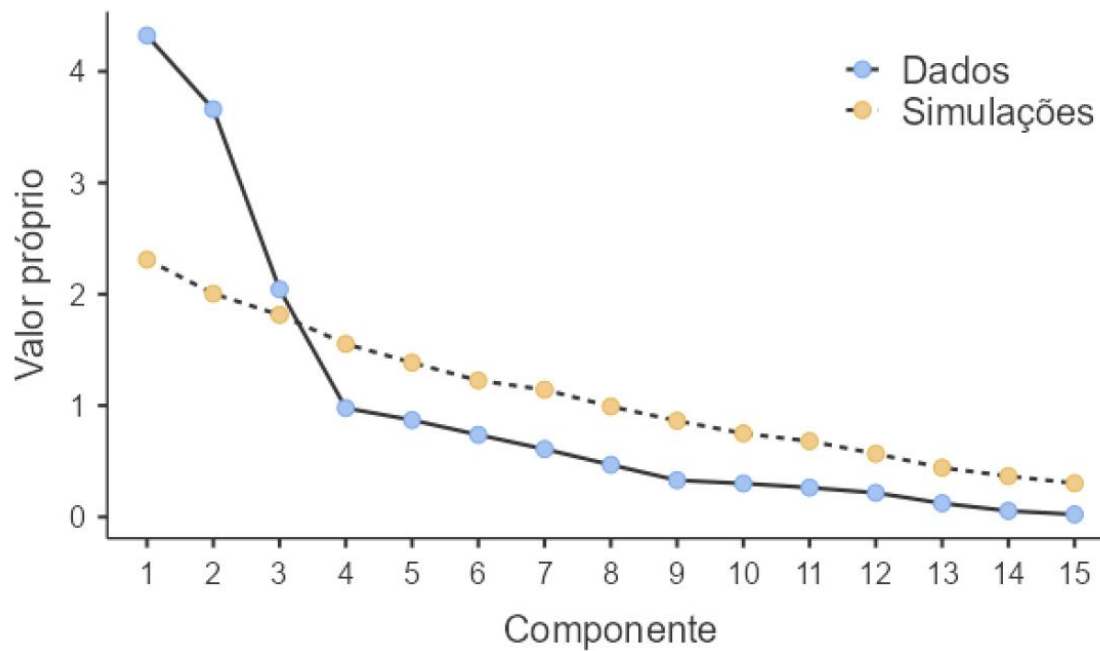
Componente	Valor próprio	% de Variância total	% acumulada
1	4.5984	30.656	30.7
2	2.5949	17.299	48.0
3	1.5523	10.349	58.3
4	1.4001	9.334	67.6
5	0.9347	6.232	73.9
6	0.7953	5.302	79.2
7	0.7587	5.058	84.2
8	0.5596	3.730	88.0
9	0.5256	3.504	91.5
10	0.4723	3.148	94.6
11	0.3613	2.409	97.0
12	0.2460	1.640	98.7
13	0.0804	0.536	99.2
14	0.0696	0.464	99.7
15	0.0507	0.338	100.0



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 51: Matrizes de variância acumulada e scree plot dos componentes principais da estação BV140.

Componente	Valor próprio	% de Variância total	% acumulada
1	4.3222	28.815	28.8
2	3.6602	24.402	53.2
3	2.0443	13.629	66.8
4	0.9776	6.517	73.4
5	0.8700	5.800	79.2
6	0.7374	4.916	84.1
7	0.6092	4.061	88.1
8	0.4682	3.121	91.3
9	0.3296	2.198	93.5
10	0.3006	2.004	95.5
11	0.2634	1.756	97.2
12	0.2168	1.445	98.7
13	0.1228	0.819	99.5
14	0.0548	0.366	99.8
15	0.0227	0.152	100.0



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Conforme os scree plot gerados (figura 48, 49, 50 e 51), o primeiro componente explica as variações dos dados das estações SC24 e SC25 e dois componentes explicam a variação para as estações SC26 e três componentes explicam a variação dos dados da estação BV140. Resultados similares foram encontrados por Araújo *et al.*, (2020) nos parâmetros físico-químicos e microbiológicos nas águas do rio Corrente dos Matões no estado do Piauí. Onde os três primeiros componentes principais explicaram a variância total dos dados, explicando 78,08% da variância total. Com carregamento dos pesos dos parâmetros pH, sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, turbidez e fósforo total.

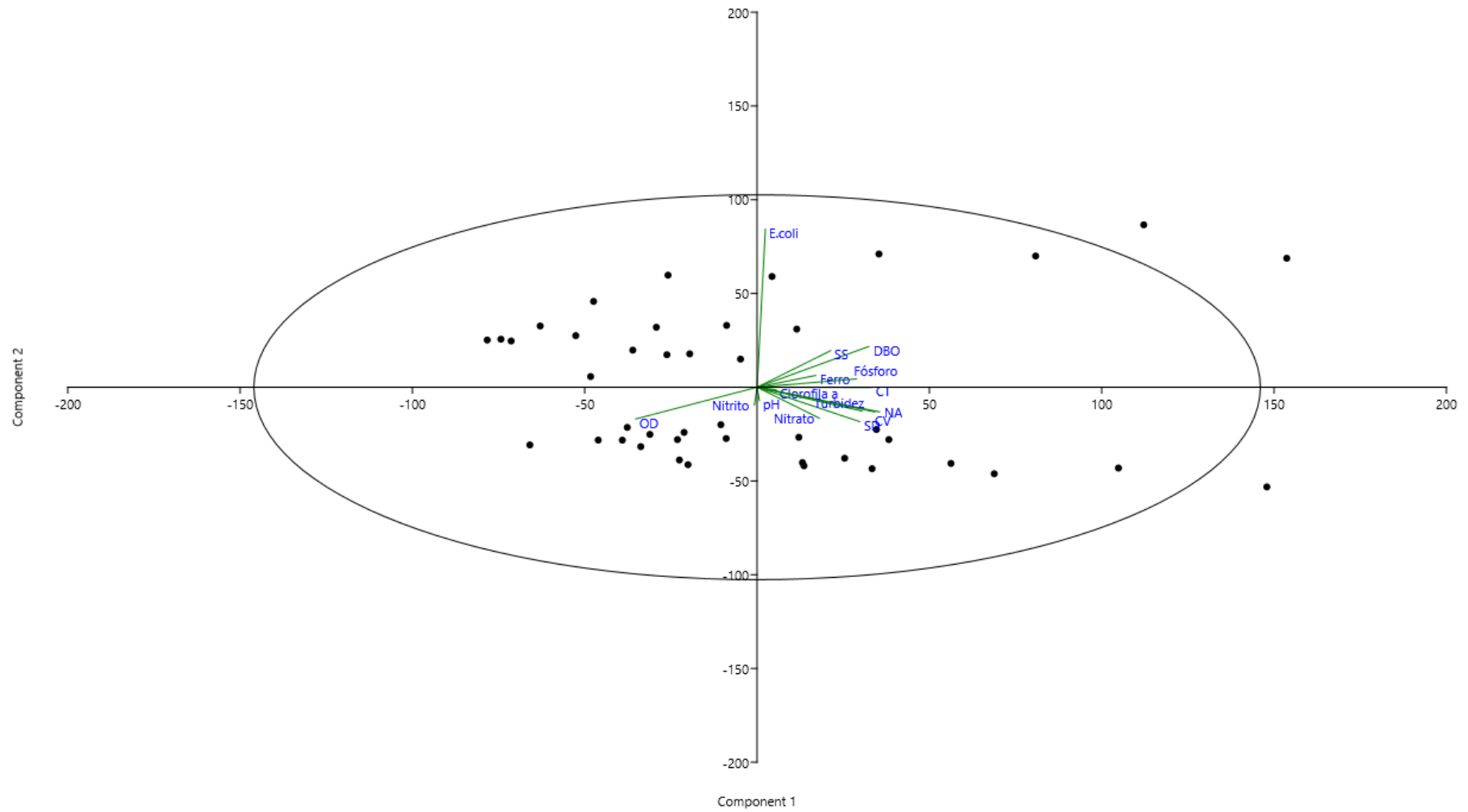
Os gráficos do tipo biplot ilustrados nas figuras 52, 53, 54 e 55, permite avaliar os parâmetros que influenciaram na formação dos agrupamentos, dos componentes principais das estações da UTE Ribeirão Jequitibá. A figura 52 apresenta o biplot dos CP1 e PC2 dos parâmetros da qualidade da água da estação SC24, contata-se que os parâmetros sólidos dissolvidos, DBO, fósforo, clorofila a, ferro, pH, turbidez, nitrato, nitrogênio amoniacal sólidos dissolvidos e cor verdadeira, apresentaram importante contribuição positiva para o CP1. Não existe correlação entre os parâmetros E. Coli e oxigênio dissolvido, estes parâmetros apresentaram vetor de maior comprimento e distância entre si.

As variáveis fósforo total, cor verdadeira, cloreto total, DBO, nitrogênio amoniacal, turbidez, clorofila, ferro e sólidos suspensos, apresentaram contribuições similares para a CP1 da estação SC25 (figura 53). Não existe correlação entres sólidos dissolvidos e *E.coli*, pois os eixos forma angulo de 90 graus (Hongyu *et al.*, 2015).

Para a estação SC26 (figura53) nota-se uma correlação forte entre sólidos suspensos, DBO, nitrito, turbidez e cor verdadeira, pois formaram ângulos agudos entre as variáveis. E por fim, a estação BV140 (figura 54) demonstrou menores correlações no CP1, apresentando correlação entre pH, cor verdadeira, sólidos dissolvidos e nitrato.

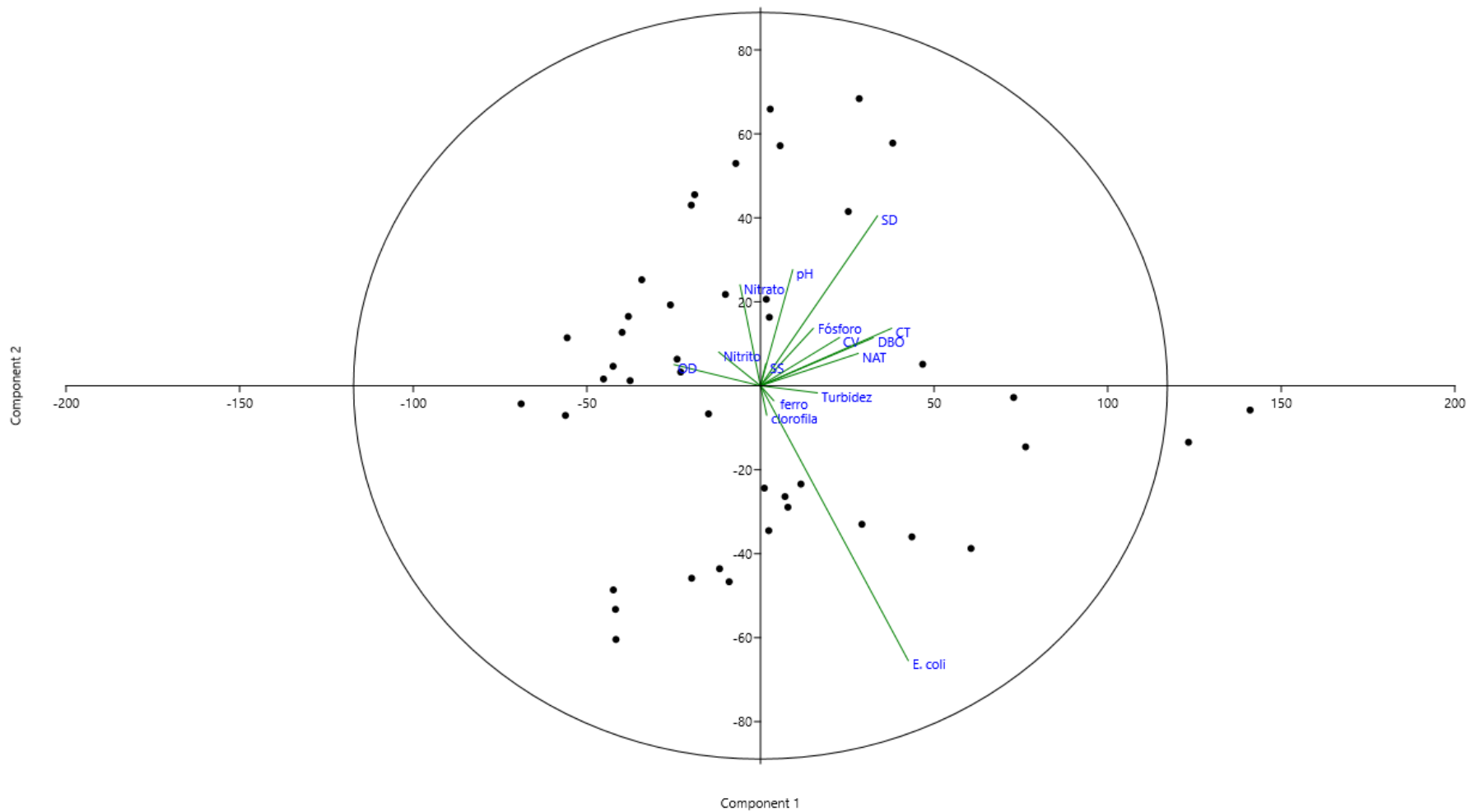
O carregamento dos parâmetros DBO, fósforo, nitrogênio amoniacal, sólidos dissolvidos, turbidez e cor verdadeira, no CP1 para as estações SC24 e SC25 e CP1 e CP2 para a estação SC26, demonstra uma relação de degradação da qualidade das águas por esgoto domésticos, nos trechos predominantemente urbanos da UTE Ribeirão Jequitibá. Com base nos dados obtidos pelos componentes principais para a área de estudo, as principais medidas de mitigação para a poluição das águas deve ser o aumento do percentual de coleta e um direcionamento para um tratamento mais eficiente das águas residuárias dos municípios de Sete Lagoas, Prudente de Moraes, Capim Branco, Funilândia e Jequitibá.

Figura 52: Carregamento dos componentes para PC1 e PC2 da estação SC24.



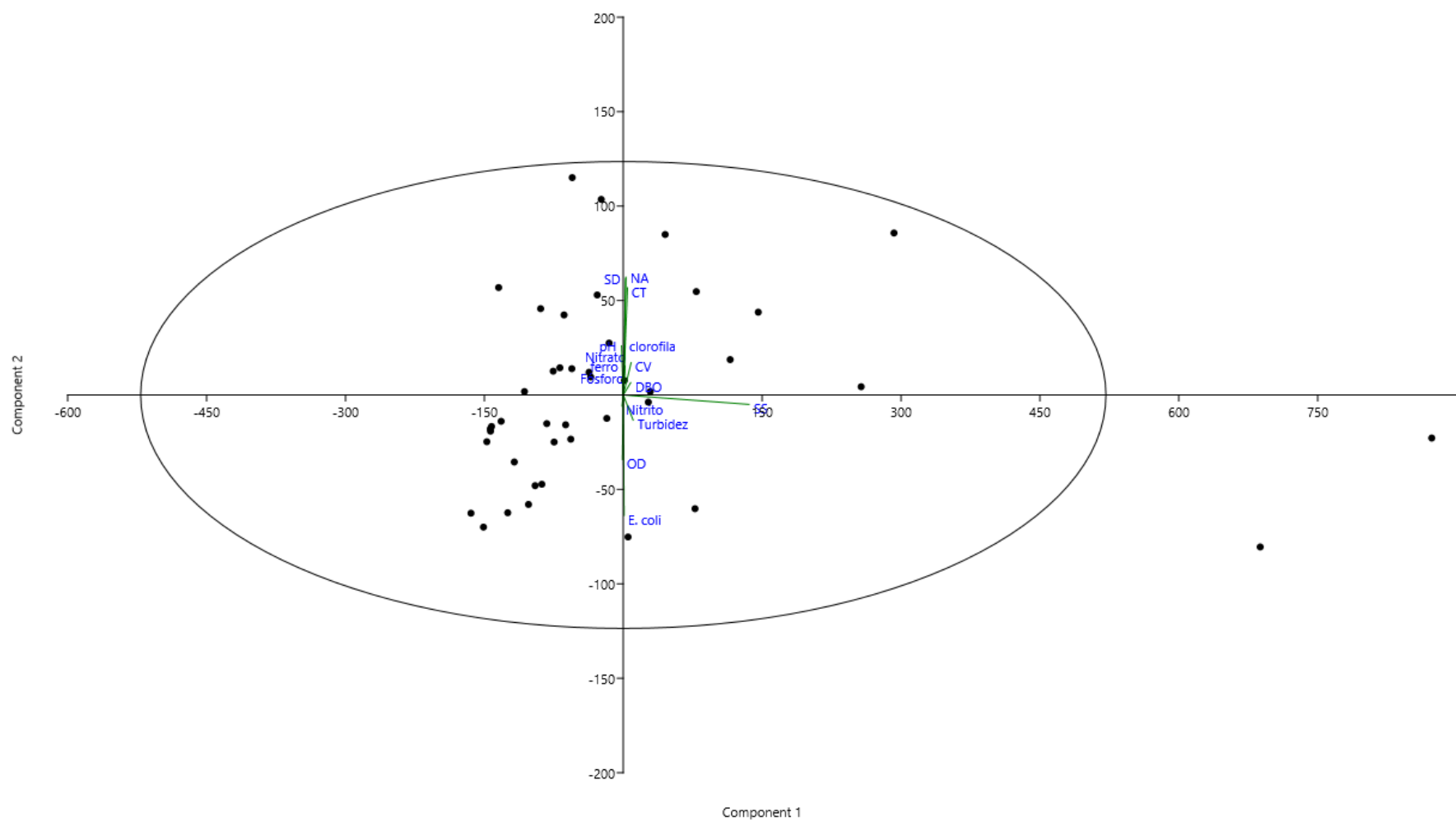
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 53: Carregamento dos componentes para PC1 e PC2 da estação SC25.



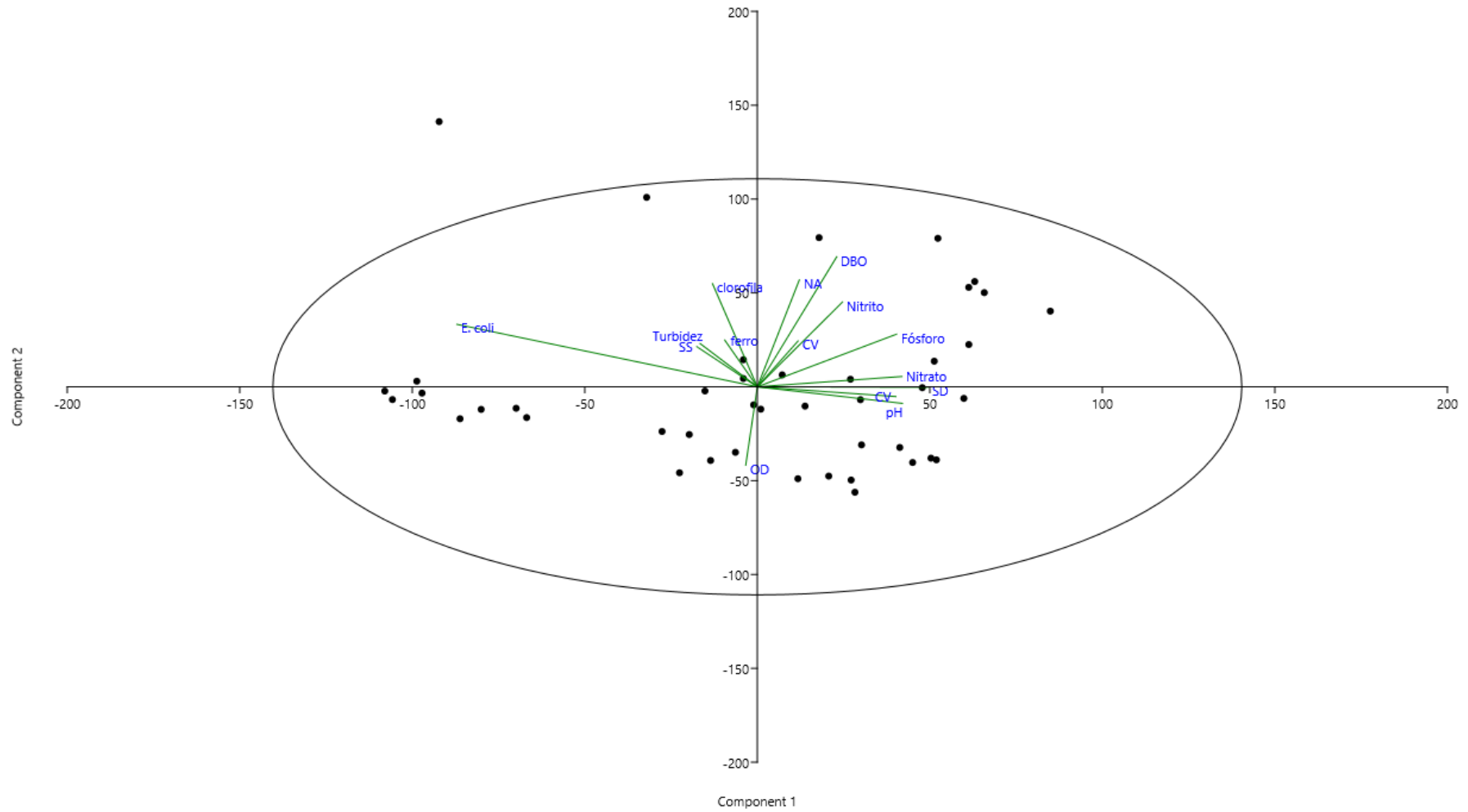
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 54: Carregamento dos componentes para PC1 e PC2 da estação SC26.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 55: Carregamento dos componentes para PC1 e PC2 da estação BV140.



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A poluição das águas superficiais é um dos principais desafios da gestão dos recursos hídricos da UTE Ribeirão Jequitibá, sem dúvida é uma preocupação atual, que requer a implementação de estratégias para melhorar a qualidade das águas. A presença de contaminantes, principalmente de origem doméstica tem sido causada pelo lançamento de efluentes *in natura*. A degradação da qualidade das águas superficiais tem interferido no atendimento das metas de enquadramentos e comprometido os usos preponderantes na UTE Ribeirão Jequitibá.

A mensuração da qualidade das águas do córrego do Diogo, ribeirão Matadouro e ribeirão Jequitibá, utilizando os dados de monitoramento do IGAM, compiladas no ICE-CCME, demonstrou que a qualidade das águas da área da UTE Ribeirão Jequitibá encontra-se comprometida nos trechos SC24, SC25 e SC26. Os respectivos trechos analisados (SC24, SC25, SC26 e BV140) estão com enquadramento vigente classe 2, conforme DN COPAM 08/2022. Ao comparar dos dados do monitoramento de qualidade com os limites estabelecidos para as quatro classes de enquadramento, constatou-se que a qualidade da água está imprópria para os fins indicados para enquadramento classe 2 nas estações SC24, SC25 e SC26.

O trecho BV140 localizado no ribeirão Jequitibá localizado próximo a confluência com o rio das Velhas, foi o único trecho em que os valores apresentados pelo ICE-CCME atendem a conformidade ao enquadramento classe 2. Os trechos SC24, SC25 e SC26 conforme resultados do ICE-CCME, apresentam predominantemente conformidade ao enquadramento classe 4. Os resultados do ICE-CCME são categóricos em apontar as variáveis fósforo total, nitrogênio amoniacal, clorofila a, DBO e oxigênio dissolvido, como os parâmetros de qualidade das águas que mais contribuíram com resultados insatisfatórios.

O ICE-CCME é um índice que apresenta uma flexibilidade em relação a escolha dos parâmetros a serem utilizados na análise. Ao mesmo tempo, escolha de poucos parâmetros e uma série histórica de poucos dados pode comprometer os resultados, apresentando-os distorcidos. Portanto, é ideal que a escolha dos parâmetros sejam feitas por critérios técnicos, para que através dos resultados do cálculo do ICE-CCME, denotem a real situação da qualidade das águas de um determinado curso hídrico.

Com o uso da metodologia do ICE-CCME associada as técnicas de estatísticas multivariadas, através da aplicação da correlação de Spearman e de componentes principais, permitiu avaliar a correlação dos parâmetros de qualidade das águas das quatro estações e extrair os componentes principais e as variáveis de mais peso. O carregamento dos parâmetros sólidos dissolvidos, DBO, fósforo, clorofila a, ferro, pH, turbidez, nitrato, nitrogênio amoniacal sólidos dissolvidos e cor

verdadeira, evidenciam o quanto o lançamento de efluentes sem tratamento nos municípios da UTE Ribeirão Jequitibá tem comprometido a qualidade das águas dos trechos analisados nesta pesquisa. Foi possível observar principalmente a influência da área urbana do município de Sete Lagoas e a sua contribuição no lançamento de efluentes domésticos sem tratamento.

Dessa forma, medidas precisam serem tomadas junto aos gestores dos municípios, juntamente com ações que possam ser implementadas e direcionadas pelo subcomitê Ribeirão Jequitibá e pelo comitê da bacia do rio das Velhas. A implementação de uma estação de tratamento de efluentes no município de Sete Lagoas é uma das ações prioritárias que precisa ser tomada para a melhoria da qualidade das águas superficiais. Também é importante que haja participação da sociedade e dos principais usuários das águas superficiais da UTE, para que se tenha discussões sobre o uso do solo, como a expansão de loteamentos e usos preponderantes futuros. Com a finalização da pesquisa, os dados obtidos poderão ser utilizados para discussão e subsídios de medidas de controle da poluição das águas da UTE Ribeirão Jequitibá.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021**: relatório pleno / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. -- Brasília: ANA, 2022. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura_2021_pdf_final_revdirec.pdf. Acesso em 05 de fev. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **O Comitê de Bacia Hidrográfica: O que é e o que faz?**. Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos. 1. ed. Brasília: Ana, 2011. Disponível em: <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/57>, Acesso em: 02 de jun. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Águas Subterrâneas**. Cadernos de Capacitação em Gestão Recursos Hídricos. Volume 5. ed. Brasília: Ana, 2022. Disponível em https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/Busca/Download?codigoArquivo=155644., Acesso em: 26 de jan. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017 :relatório pleno / Agência Nacional de Águas**. Brasília: ANA, 2017. Disponível em <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/relatorio-conjuntura-2017.pdf/view> , Acesso em: 26 de jan. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Planos de recursos hídricos e enquadramento dos corpos de água**. Brasília: ANA, 2013. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2013/planoDeRecursosHidricosEnquadramento.pdf>. Acesso em 20 de dez. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Enquadramento dos corpos d'água em classes**. Brasília: ANA, 2020. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/encarte_enquadramento_conjuntura2019.pdf. Acesso em 20 de jan. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas**. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: ANA, 2017. 88 p. il. ISBN: 978-85-8210-050-9.

ALMEIDA, A. A. **Estudo Comparativo entre os Métodos IQANSF e IQACCME na Análise da Qualidade da Água do Rio Cuiabá**. 2007. 94p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Mato Grosso, MT, 2007. Disponível em: <https://www.livrosgratis.com.br/ler-livro-online-31359/estudo-comparativo-entre-o-metodos-iqansf-e-iqaccme-na-analise-da-qualidade-da-agua-do-rio-cuiaba>. Acesso em: 29 de mar. 2023.

AMARO, C, A. **Proposta de um Índice para a Avaliação de Conformidade da Qualidade dos Corpos Hídricos ao Enquadramento**. 2009. 224p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo São Paulo, SP. 2009. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde11082009121147/publico/Cris_Dissertacao.pdf . Acesso em: 29 de mar. 2023.

ANDRADE, L. N. **Auto depuração dos corpos d'água**. Revista da Biologia, Instituto de Biociência da USP. 2010. Disponível em: <file:///C:/Users/cintiadiniz/Downloads/108617-Texto%20do%20artigo-193989-1-10-20151217.pdf>. Acesso em 25 de out. 2023.

ARAÚJO, P. L.; HAMBURGER, D. S.; JESUS, T. A.; BENASSI, R. F.; CICCIO, V. **Relação entre a qualidade da água e o uso do solo em microbacias do reservatório Billings, na Região Metropolitana de São Paulo – SP**. REGA, Porto Alegre, v. 15, e2, 2018. DOI: 10.21168/rega.v15e2.

ARAÚJO, F. B. V.; MOURA, M. C. S.; ARAÚCO, A. M. S.; NOVAIS, M. C. **Avaliação espacial e sazonal da qualidade da água do rio Corrente dos Matões (Piauí), utilizando análise multivariada**. Ambiência Guarapuava (PR) v.16 n.1 p. 900 - 917 Jan/Mar 2020 ISSN 2175 – 9405. DOI:10.5935/ambiencia.2020.01.02.

AZEVEDO, A. G.; AZEVEDO, A. G.; IANELLI, L. A. R.; CESAR, R. **Análise Estatística de Correlação entre a Piezometria de uma Barragem de Terra e o Nível de Água do seu Reservatório**. XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2020. ISBN: 978-65-89463-30-6. Disponível em: https://web.archive.org/web/20220819172411id_/https://doi.editoracubo.com.br/10.4322/cobramseg.2022.0176.pdf. Acesso em 21 de ago. 2023.

BASTOS, S. Q.; JUNIOR, A. A. B.; GOMES, B. S. M.; e DINIZ, J. A. S. **Evidências entre a Qualidade das Bacias Hidrográficas e as Características dos Municípios de Minas Gerais**. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/YfL6wzXsfXVsW4YpWxYcksC/?lang=pt>. Acesso em: 26 de jan. 2023.

BRASIL, Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 03 de jun. 2022.

BRASIL. **Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005**. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso e 06 de fev. 2023.

CABRAL, S. L. L.; MELLO, C. E. F. **Avaliação o índice de conformidade ao enquadramento em um trecho do rio das Velhas**. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2015. Brasília-DF.

CÔMITE DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS (CBH). **Cartilha Plano Diretor de Recursos Hídricos Unidade Territorial Estratégica Ribeirão Jequitibá**, 2016. Disponível em: <https://cbhvelhas.org.br/jequitiba/>. Acesso em: 01 jun. 2022.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem**. 2016. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2018/03/Apendice-E-Significado-Ambiental-e-Sanitario-das-Variaveis-de-Qualidade-2016.pdf>. Acesso em 04 de set. 2023.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo | Apêndice D - Índices de Qualidade das Águas**. 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-D-%C3%8Dndices-de-Qualidade-das-%C3%81guas.pdf>. Acesso em: 19 de jan. 2023.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2019**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em 10 de abr. 2023.

CHINAQUE, F. F.; SANTOS, A. C. A.; MELO, I. B. N.; MARQUES, S. C. M. **O papel dos comitês de bacia nos processos de licenciamento ambiental: um estudo de caso do comitê de bacia do rio Sorocaba e Médio Tietê (SP)**. Rev. Ambient. Água 12 (6). Dez 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/7nRGmnyNrKtFQNQYwhZtzBq/?lang=pt>. Acesso em 20 de jul. 2022.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (CCME). **Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0 Technical Report**. Canadian Environmental Quality Guidelines. Canadian Council of Ministers of the Environment. Canada, 2001. Disponível em <https://www.gov.nl.ca/ecc/waterres/quality/background/cwqi/>. Acesso em 04 de jan. 2023.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (CCME). **Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index User's Manual 2017 Update**. Canadian Environmental Quality Guidelines. Canadian Council of Ministers of the Environment. Disponível em: <https://ccme.ca/en/res/wqimanualen.pdf>. Acesso em 05 de jan. 2023.

DROSE, A.; VALENTINI, M. H. K.; DUARTE, V. H.; SANTOS, G. B.; NADALETI, W. C.; VIEIRA, B. **Utilização de Métodos Estatísticos Multivariados no Monitoramento de Qualidade da Água da Lagoa Mirim**. Meio Ambiente (Brasil), v.2, n.4, p.58-67, 2020. ISSN: 2675-3065.

ECOPLAN. **Atualização do Plano diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio das Velhas PDH RIO DAS VELHAS. RP 02B – Diagnóstico específico das UTE**. Porto Alegre, 2013.

ECOPLAN. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas 2015: Plano Diretor Consolidado – Volume I**. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas. Belo Horizonte, 2015. 316 p.; il. color.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa Milho e Sorgo). **Anais [do] I Seminário Sobre Serviços Ambientais: Gestão de Bacias Hidrográficas**. Sete Lagoas, 2019. 47 p. ISSN 1518-4277; 240.

FONSECA, W. C., TIBIRIÇÁ, C. E. J. A. **Avaliação da influência da estação de tratamento de efluente de Catanduva (SP) na qualidade da água do rio São Domingos**. Eng Sanit Ambient | v.26 n.1 | jan/fev 2021 | 181-191. doi.org/10.1590/S1413-415220180157.

FRIAS, D. F. R.; PINHEIRO, R. S. B.; PINHEIRO, J. H. P. A.; BIOSI, A. L. B. **Variação espaço-temporal da concentração de Escherichia coli em águas superficiais e a saúde pública**. Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades. ISSN 2318-8472. v. 08. N. 60, 2020.

GIRARDI, R.; PINHEIRO, A.; VENZON, P. T. **Parâmetros de qualidade de água de rios e efluentes presentes em monitoramentos não sistemáticos.** REGA, v. 16, e2, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.21168/reg.v16e2>. Acesso em 06 de jan. 2023.

GLORIA, L. P, HORN, B. C.; HILGEMANN, M. **Avaliação da qualidade da água de Bacias Hidrográficas através da ferramenta do Índice de Qualidade da Água – IQA.** Revista Caderno Pedagógico, Lajeado, v. 14, n. 1, 2017. ISSN 1983-0882. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22410/issn.1983-0882.v14i1a2017.1421>. Acesso em 26 de jan. 2023.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; JUNIOR, G. J. O. **Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação.** Engineering and Science 2015. ISSN: 2358-5390. DOI: 10.18607/ES20165053.

LANDAU, E, C.; OLIVEIRA, R, P, C.; SANTOS, M, A.; GUIMARÃES, D, P. **Expansão Urbana da Cidade de Sete Lagoas/MG entre 1949 e 2010.** Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.4011. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.14.18.18/doc/p1067.pdf>. Acesso em 14 de ago. 2023.

LIU, C. W., LIN, K. H., & KUO, Y. M. 2003. **Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan.** Science of the Total Environment, v. 313, n. 1-3, p. 77-89, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sete Lagoas.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/sete-lagoas/panorama>. Acesso em 26 de abr. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Prudente de Moraes.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/prudente-de-morais/panorama>. Acesso em 26 de abr. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Funilândia.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/funilandia/panorama>. Acesso em 26 de abr. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Jequitibá.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/jequitiba/panorama>. Acesso em 26 de abr. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Capim Branco.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/capim-branco/panorama>. Acesso em 26 de abr. 2023.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Avaliação da qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2021:** resumo executivo anual / Instituto Mineiro de Gestão das Águas. --- Belo Horizonte: Igam, 2022. 88 p.: il.

JUNIOR, A. S. M., FILHO, R. C. B., PAPADOPOLI, G. U., MORAIS, A. C., HOCK, L. B. J., CHIRINOS, G. J. **Avaliação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) em uma lagoa facultativa.** INOVAE - ISSN: 2357-7797, São Paulo, Vol.6, JAN-DEZ, 2018 - pag. 300-319.

MACHADO, E. S., KNAPIK, H.G., BITENCOURT, C.C. A. **Considerações sobre o processo de enquadramento de corpos de água.** Eng Sanit Ambient | v.24 n.2 | mar/abr 2019 | 261-269.

Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/jTQf3g6bdXr99vH3svTxQWv/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 21 de jul. 2022.

MAIER, D. C., MARQUES, G. F., FORMIGA-JOHNSON, R. M. (2023). **Dimensionamento da estrutura de apoio técnico-executivo a comitês de bacias: estudo de caso da Região do Guaíba-RS**. Rev. Gest. Água Am. Lat., Porto Alegre, v. 20, e1, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.21168/reg.v20e1>. Acesso em 30 de jan. 2023.

MAPBIOMAS. **Cobertura do solo recorte territorial por município (2021)**. Disponível em: [https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/cobertura?activeBaseMap=9&layersOpacity=100&activeModule=coverage&activeModuleContent=coverage%3Acoverage_main&activeYear=2021&mapPosition=-15.072124%2C-51.459961%2C4&timelineLimitsRange=1985%2C2021&baseParams\[territoryType\]=4&baseParams\[activeClassTreeOptionValue\]=default&baseParams\[activeClassTreeNodeIds\]=1%2C7%2C8%2C9%2C10%2C2%2C11%2C12%2C13%2C14%2C15%2C16%2C3%2C17%2C18%2C27%2C37%2C38%2C39%2C40%2C41%2C28%2C42%2C43%2C44%2C19%2C20%2C4%2C21%2C22%2C23%2C24%2C5%2C25%2C26%2C6&baseParams\[activeSubmodule\]=coverage_main](https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/cobertura?activeBaseMap=9&layersOpacity=100&activeModule=coverage&activeModuleContent=coverage%3Acoverage_main&activeYear=2021&mapPosition=-15.072124%2C-51.459961%2C4&timelineLimitsRange=1985%2C2021&baseParams[territoryType]=4&baseParams[activeClassTreeOptionValue]=default&baseParams[activeClassTreeNodeIds]=1%2C7%2C8%2C9%2C10%2C2%2C11%2C12%2C13%2C14%2C15%2C16%2C3%2C17%2C18%2C27%2C37%2C38%2C39%2C40%2C41%2C28%2C42%2C43%2C44%2C19%2C20%2C4%2C21%2C22%2C23%2C24%2C5%2C25%2C26%2C6&baseParams[activeSubmodule]=coverage_main). Acesso em 26 de abr. 2023.

MENEZES, J. P. C.; BITTENCOURT, R. P.; FARIAS, M.S.; BELLO, I.P.; FIA, R.; OLIVEIRA, L. F.C. **Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana**. Eng Sanit Ambient. v.21 n.3. jul/set 2016. 519-534. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/9WBFsRNdrzqJcrZnPXSgDyM/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 06 de fev. 2023.

MENEZES, J. P. C.; BERTOSSI, A. P. A.; SANTOS, R.A.; NEVES, M. A. **Correlação entre uso da terra e qualidade da água subterrânea**. Eng Sanit Ambient. v.19 n.2. abr/jun 2014. 173-186. DOI: 10.1590/S1413-41522014000200008.

MOTA, S. F. B.; SPERLING, M. V. **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. Projeto PROSAB. ISBN: 978-85-7022-164-3. 2009. 428p.

NEPOMUCENO, T. C. **Modelo para simulação de nitrogênio e fosforo em sistemas de recursos hídricos, aplicação em região do alto curso do rio Piranhas-PB**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande. 2018. 203f.

OLIVEIRA, I. S.; PANTA, L. M. L.S.; BARBOSA, I. M. B. R.; SILVA, S. R. **Índice de Conformidade ao Enquadramento nos Reservatórios Jucazinho, Bituri, Botafogo e Pirapama, em Pernambuco, Brasil**. Revista Brasileira de Geografia Física v.11, n.04 (2018) 1575-1584.

PLANO DIRETOR DÊ RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRAFICA DO RIO DAS VELHAS 2015 (PDRH). **Plano Diretor Consolidado – Volume I**. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas. Belo Horizonte, 316f. 2015.

PINTO, C. C.; SOARES, A. L.C.; MELO, L. D. V.; OLIVEIRA, S. M. A. C. **Análise dos valores do índice de conformidade ao enquadramento no baixo rio das Velhas, situado na bacia hidrográfica do Rio São Francisco**. I Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. 2016. Disponível em: <https://cdn.agenciapeixe vivo.org.br/media/2019/06/An%C3%A1lise-dos-valores>

do%C3%ADndice-de-conformidade-ao-enquadramento-no-Baixo-Rio-das-Velhas-situado-na-BH-do-SF.pdf. Acesso em: 29 de mar. 2023.

PINTO, A. L.; OLIVEIRA, G. H.; PEREIRA, G. A. **Avaliação da eficiência da utilização do oxigênio dissolvido como principal indicador da qualidade das águas superficiais da bacia do córrego Bom Jardim, Brasilândia/MS.** Rev. GEOMAE. Campo Mourão, PR. v.1n.1. p.69 – 82. ISSN 2178-3306. Disponível em: <https://periodicos.unespar.edu.br/index.php/geomae/article/view/5746/3770>. Acesso em: 23 de set. 2023.

PIRATOBA, A. R. A.; RIBEIRO, H. M. C.; MORALES, G. P.; GONÇALVES, W. G. **Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil.** Rev. Ambient. Água vol. 12 n. 3 Taubaté – May /Jun. 2017. doi:10.4136/ambi-agua.1910.

RELATÓRIO TÉCNICO DO PLANO DE TRABALHO (RTPT). **Diagnóstico Ambiental e Plano de Ações para a Bacia do Ribeirão Jequitibá.** Março, 2013. Disponível em: <https://cdn.agenciapeixevivo.org.br/arquivos/images/subcomites/projetos/jequitiba/01%20rel%20jequitiba%20plano%20de%20trabalho.pdf>. Acesso em 20 de abr. 2023.

SENRA, J. B.; NASCIMENTO, N. O. **Após 20 anos da lei das águas como anda a Gestão Integrada de Recursos Hídricos do Brasil, no âmbito das Políticas e Planos Nacionais setoriais?** REGA, Porto Alegre, v. 14, e6, 2017. DOI: 10.21168/rega.v14e6. Acesso em: 06 de fev. 2023.

SCHNEIDER, V. E.; RAMOS, F. L.; HELENA, S. H.; CARRA, Z.; CORNELLI, R.; PANIZZON, T. **Análise de conformidade ao enquadramento das águas na bacia experimental do Arroio Lageado Tacongava.** 5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente. 2016.

SILVA, T. A.; DUARTE, M. L.; COELHO, C. M. P.; GUANDIQUE, M. E. G.; COSTA, H. S. **Uso da terra e sua influência na qualidade da água em uma represa de abastecimento de água no município de Sorocaba – SP.** Revista USP. Volume 42 (2022). DOI: 10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2022.188984.

SILVA, M. M. A. P. M.; FARIA, S. D.; MOURA, P. M. **Modelagem da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba (MG).** Eng Sanit Ambient | v.22 n.1 | jan/fev 2017 | 133-143. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/nMcMQbZwQpVVFfn8DDhw3GdS/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 27 de jan. 2023.

SILVA, F. S.; VASCO, G.; BARBOSA, I. M. B. R.; TAVARES, B. S.; FERREIRA, A. A. Evaluation of the framework proposal through index of compliance with framework of the Ipojuca basin, Pernambuco, Brazil. Interfaces Científicas. Aracaju. V.9 , N.1, p. 348 – 364, 2022. ISSN Digital: 2316-3798. DOI: 10.17564/2316-3798.2022v9n1p348-364.

SCHUCH, C. S. **Influências urbana, industrial e climática na superexploração do aquífero cárstico no município de Sete Lagoas (MG).** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Geologia da Escola de Minas. Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais. Ouro Preto, 83f. 2022.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Informações e indicadores municipais consolidados (série histórica).** Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em 26 de abr. 2023.

STRADA, D. C. **Aplicação do IQA-CCME em série histórica de qualidade da água: estudo de caso das sub-bacias do Arroio do Salso e do Arroio do Lami, RS.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisa e Hidráulica. Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (Profágua). Porto Alegre, 120f. 2021.

TRINDADE, A. L. C.; ALMEIDA, K. C. B.; BARBOSA, P. E.; OLIVEIRA, S. M. A. C., 2017. **Tendências temporais e espaciais da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Rio das Velhas, estado de Minas Gerais.** Eng. Sanit. Ambient. vol.22 no.1 Rio de Janeiro Jan./Feb. 2017,

UTFPR. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. **Estatísticas aplicada a experimentos de correlação.** 2023. Disponível em: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/sheilaro/estatistica-aplicada-a-experimentos/AULA13Correlao.pdf>. Acesso em 21 de ago. 2023.

VITO, C. V. G.; SILVA, L. J. B. F.; OLIVEIRA, K. M. L.; GOMES, A. T.; NUNES, C. R. O. **Avaliação da qualidade da água: determinação dos possíveis contaminantes da água de poços artesianos na região noroeste fluminense.** Acta Biomedica Brasiliensia . Volume 7. nº 2. dezembro de 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.18571/acbm.111>.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 4. ed. - Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. v.1. 472p.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005. v. 1, 452 p.

VON SPERLING, M. **Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Em: Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos.** 2a edição, 1995.

WATANABE, F.; ALCANTARA, E.; RODRIGUES, T.; ROTTA, L.; BERNADO, N.; IMANI, N. **Remote sensing of the chlorophyll-a based on OLI/Landsat-8 and MSI/Sentinel-2A (Barra Bonita reservoir, Brazil).** Anais da Academia Brasileira de Ciências. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720170125>.

ZAMBON, K.L.; CARNEIRO, A.A. F. M.; SILVA, A. N. R.; NEGRI, J. C. **Análise de decisão de multicritério na localização de usinas hidrelétricas utilizando SIG.** Pesquisa Operacional, v.25, n.2, p.183-199, 2005. ISSN 1678-5142.

ANEXO A – PARÂMETROS A SEREM CONSIDERADOS PARA O CÁLCULO DO ÍNDICE DE CONFOMIDADE AO ENQUADRAMENTO (ICE) NA ESTAÇÃO SC24.

Data de Amostragem	Clorofila a	DBO	Escherichia coli	Ferro dissolvido	Fósforo total	Nitrato	Nitrito	Nitrogênio Amon.	Oxigênio dissolvido	Sólidos dissol.	Sólidos susp.	Turbidez	pH	Cor verdadeira	cloreto total
01/02/2011	3,2	2	160000,00	0,1831	0,09	0,25	0,003	0,15	5,3	94	4	7,2	6,4	19	1,63
27/04/2011	2,83	2	160000,00	0,1478	0,16	0,39	0,003	0,89	6,5	77	35	6,19	6,8	47	2,51
27/07/2011	2,49	2	160000,00	0,1343	0,05	0,1	0,003	0,3	7,2	100	3	6,79	7,3	10	1,56
19/10/2011	4,81	2	160000,00	0,1028	0,05	0,07	0,001	0,29	6,1	118	150	6,69	6,7	10	3,04
02/02/2012	4,93	2	160000,00	0,249	0,47	0,46	0,01	0,41	7	105	32	37,8	6,9	18	2,35
19/04/2012	7,476	2	160000,00	0,1283	0,04	0,1	0,006	0,26	7	93	9	7,1	7,4	10	1,52
19/07/2012	4,272	4,4	160000,00	0,0708	0,12	0,12	0,005	1,05	7,3	90	14	10,5	7,5	10	2,06
09/10/2012	0,6	33,1	160000,00	0,0772	0,38	1,01	0,015	7,2	5,3	122	20	27,4	7,6	15	4,93
24/01/2013	0,67	2	160000,00	0,1077	0,16	1,24	0,013	1,03	4,8	112	31	33,8	7	14	3,55
16/04/2013	3,134219269	23	160000,00	0,1366	0,24	1,91	0,008	1,34	5	115	33	15,4	7,1	15	3,86
16/07/2013	0,006	52	160000,00	0,1748	0,62	0,64	0,009	5,04	5,2	122	74	29,6	7,3	23	6,76
09/10/2013	0,801	2	49,00	0,202	0,02	0,37	0,003	0,21	6,2	108	15	7,19	7,1	17	2,55
22/01/2014	0,801	20	160000,00	0,1386	0,29	0,32	0,005	1,49	4,4	122	28	19,3	7	14	4,66
16/04/2014	0,801	33	160000,00	0,1445	0,44	0,26	0,02	3,09	3,3	134	16	10,3	7,1	31	6,38
17/07/2014	1,602	59	241960,00	0,463	0,66	0,29	0,015	8,46	1,8	134	42	15,7	6,9	24	8,9
16/10/2014	3,391330645	111	241960,00	1,148	1,5	1,21	0,005	9,37	0,6	198	102	28,5	7	70	20
30/01/2015	1,602	27	24196,00	0,309	0,14	0,67	0,039	2,32	3,7	152	55	37,6	7,2	39	7,11
23/04/2015	0,006	9,1	241960,00	0,1808	0,2	0,71	0,112	1,23	3,3	102	26	7,85	7	28	6,44
24/07/2015	0,006	129	241960,00	0,877	1,35	0,41	0,021	5,89	2,4	174	176	53,7	7,1	33	9,82
20/10/2015	4,005	64	241960,00	1,063	0,08	0,4	0,04	9,63	1,2	140	120	25,5	6,6	82	11
22/01/2016	0,541026316	2,1	92084,00	0,1437	0,08	0,27	0,014	0,38	4,6	115	8	17,8	6,3	23	2,55
19/04/2016	0,601483517	16,2	241960,00	0,533	0,16	0,33	0,016	7,27	1,4	148	6	9,1	7,1	24	6,82
20/07/2016	0,855769231	20	24196,00	0,775	0,55	0,85	0,012	6,91	2,5	196	32	19,4	6,9	34	9,93
21/10/2016	0,534	8,3	24196,00	1,009	0,49	0,87	0,003	2,5	1,5	168	72	18	7,2	75	3,65
19/01/2017	1,266538462	5,3	24196,00	0,401	0,29	0,27	0,005	4,75	1,8	144	3	13	7,1	27	3,85
20/07/2017	1,262181818	8	24196,00	0,0835	0,51	0,4	0,014	2,96	5,9	164	4	11,4	7,4	17	3,89
18/10/2017	4,272	4,1	6866,70	2,062	0,11	1,2	0,007	1,53	0,8	152	32	40,7	7,2	103	2,75
18/01/2018	2,51025641	20	24196,00	0,1318	0,74	0,61	0,009	8,02	4,1	178	12	31,3	7,3	35	6,89
25/04/2018	1,05952381	12	24196,00	0,1391	0,3	0,44	0,011	4,73	6	126	32	15,8	6,9	19	4,64
27/07/2018	1,66875	61	24196,00	0,109503757	0,77	1,43	0,018	13,7	4,5	192	116	61,3	7,2	57	12
18/10/2018	3,513157895	37	24196,00	0,241	0,61	0,31	0,015	14,3	4,2	204	31	39,2	7,1	81	7,15
17/01/2019	1,78	14	24196,00	0,143833204	0,37	1,44	0,009	5,3	5,2	177	44	27,4	6,7	47	4,5
11/04/2019	0,801	14	24196,00	0,190476952	0,06	0,03	0,011	5,84	4,9	158	26	37,4	6,3	28	5,63
12/07/2019	1,78	25	24196,00	0,219059934	0,56	0,41	0,005	15,9	6,2	180	21	29,4	6,7	37	9,13
15/10/2019	8,01	71	24195,70	0,162159528	0,89	1,38	0,016	13,36	2	256	37	45,5	7,1	103	18,5
22/01/2020	2,053846154	5,5	19862,90	0,284657175	0,33	0,33	0,004	2,5	5,8	147	48	19,8	7	34	4,01
27/04/2020	1,634693878	12	24196,00	0,339470387	0,25	0,67	0,013	1,13	6,7	126	21	18,9	6,8	27	3,16
16/07/2020	1	4,1	24196,00	0,219740418	0,56	0,38	0,192	5,04	4,9	135	60	9,99	7,6	14	4,75
16/10/2020	2,789552239	5,9	24196,00	0,237392578	0,41	1	0,665	7,2	5,2	118	54	22,2	7,2	19	16,5
21/01/2021	1,068	2	24196,00	0,423567517	0,2	0,38	0,17	1,66	4,1	101	19	14	7,2	25	3,5
15/04/2021	1	3	24196,00	0,1819	0,25	0,84	0,077	1,72	7,4	98	46	18,8	6,7	24	3,57
22/07/2021	2,225	9,6	24196,00	0,143341624	0,29	1,18	0,189	2,62	5,4	138	6	16,6	7,8	24	6,94
14/10/2021	1,335	5,2	24196,00	0,209673417	0,45	0,81	0,198	4,37	6,7	149	8	14	7	21	8,46

Fonte: IGAM (2021).

ANEXO B – PARÂMETROS A SEREM CONSIDERADOS PARA O CÁLCULO DO ÍNDICE DE CONFOMIDADE AO ENQUADRAMENTO (ICE) NA ESTAÇÃO SC25.

Data da amostragem	clorofila	DBO	E. coli	ferro	Fósforo	Nitrato	Nitrito	Nitrogênio amoniaca	Oxigênio dissolvido	Sólidos dissolvidos totais	Sólidos em suspensão totais	Turbidez	pH	Cor verdadeira	cloreto total
01/02/2011	12,28	5,2		0,0486	0,33	2,33	0,661	1,85	5,7	171	37	6,27	7	14	16,3
27/04/2011	8,54	13		0,054	0,35	3,78	0,234	4,2	4,7	251	41	7,38	7,5	74	40
27/07/2011	9,79	20		0,066	0,6	7,1	0,314	6,58	3,1	387	70	17,9	7,8	21	74,9
19/10/2011	152,72	27		0,122	0,99	0,26	0,221	7,23	3,4	494	42	33,7	7,7	28	99,5
02/02/2012	27,67	7,8		0,0316	0,28	3,75	0,098	1,32	7,3	194	53	12,6	7,7	12	18,4
19/04/2012	14,69	12		0,0319	0,14	2,45	0,228	4,06	5,7	256	86	6,91	7,8	10	60,3
19/07/2012	33,13	19		0,0689	0,03	9,03	0,288	7,53	4,3	450	26	14,8	7,9	17	86,3
09/10/2012	42,16	22		0,0748	0,76	5,6	0,176	10,2	5,9	296	152	47	7,8	18	49,1
24/01/2013	3,05	2	160000	0,0803	0,29	0,53	0,269	7,73	6,4	568	24	9,5	7,9	30	97
16/04/2013	8,32	26	92000	0,0441	0,5	13,3	0,361	7,23	3,1	354	48	16,5	7,8	19	42,8
16/07/2013	2,14	85	160000	0,0757	1,06	1,71	0,256	15,2	1,5	644	70	37,5	8	36	117
09/10/2013	0,01	48	160000	0,078	0,73	12	0,134	7,83	6,2	674	46	59,9	7,9	33	168
22/01/2014	0,80	18	160000	0,0626	0,29	2,22	0,111	2,22	5,8	298	26	190	7,5	28	52,7
16/04/2014	2,94	24	160000	0,03	0,38	2,62	0,166	1,61	6,6	538	2	6,3	7,8	39	95,8
17/07/2014	12,68	91	241960	0,0597	0,65	1,38	0,109	8,78	0,5	930	116	323	8,2	43	188
16/10/2014	9,61	44	241960	0,0548	0,52	8,52	0,453	8,9	2,8	798	226	13,3	8,2	41	168
30/01/2015	13,88	9,1	24196	0,0569	0,02	1,37	0,17	2,76	2,3	816	105	31,9	7,9	29	67,9
23/04/2015	9,90	17	186,9	0,0445	0,34	3,48	0,104	9,37	5,5	245	27	20,2	7,8	22	25,9
24/07/2015	0,89	113	241960	0,1111	1,16	4	0,02	3,43	1,1	520	212	39,9	7,9	65	76,3
20/10/2015	0,40	192	241960	0,1021	0,76	0,16	0,047	12,4	0,8	840	150	69,6	7,7	183	142
22/01/2016	9,35	12	129965	0,03	0,15	3,88	0,194	0,76	5,9	294	2	24,8	6,6	10	26,8
19/04/2016	5,93	28,2	241960	0,0916	0,11	7,64	0,025	13,6	5,1	670	50	4,38	7,9	24	69,7
20/07/2016	5,21	11	15531,2	0,0342	0,04	14,8	0,589	2,34	4,9	902	86	34,8	8,3	45	110
21/10/2016	22,25	18	24196	0,0752	0,68	4,27	0,766	4,11	10,7	280	64	5,13	8,6	42	29,2
19/01/2017	9,35	51	24196	0,0431	0,16	5,07	0,447	8,23	6,3	232	1264	206	7,9	14	43,2
20/07/2017	13,46	11,7	24196	0,0525	0,74	12,5	0,378	3,23	8,3	807	53	18,2	8,3	14	94,7
18/10/2017	19,42	12	19862,9	0,0352	0,87	13,5	0,484	3	8,2	1036	20	15	8,4	19	145
18/01/2018	19,09	6,1	19862,9	0,0516	0,62	9,85	0,201	3,71	7,3	524	48	11,4	8,2	27	67,1
25/04/2018	5,47	28	24196	0,0499	0,54	3,82	0,01	7,23	3,4	356	92	8,72	7,5	20	54,8
27/07/2018	6,68	139	24195,7	0,044398894	0,39	4,67	0,514	6,43	5,5	996	64	97,7	10,2	37	46,7
18/10/2018	1,86	16	24196	0,0726	0,66	1,87	0,181	8,41	7,2	586	40	5,94	8	54	12,2
17/01/2019	4,87	8,3	24196	0,345637458	0,08	7,32	1,958	6,42	7	267	63	10,3	7,5	38	59,9
11/04/2019	1,60	5,4	24196	0,048031552	0,04	0,33	0,259	8,07	7,6	400	36	7,57	7,5	23	58,5
12/07/2019	12,91	14	24196	0,120223478	0,43	6,21	0,063	13,9	2,9	516	24	14,3	7,4	46	64,8
15/10/2019	23,50	137	11198,7	0,056580963	0,86	5,98	0,128	8,83	7,8	541	90	20,4	8,7	177	117
22/01/2020	8,90	69	4083	0,03	0,92	2,72	0,368	14,6	2,6	407	221	41,5	7,4	73	10,2
27/04/2020	2,23	16	24196	0,03	0,04	1,76	3,861	1,19	4,6	379	26	6,61	6,9	14	17,8
16/07/2020	1,00	43,9	24196	0,057867888	2,29	8,97	1,951	5,69	2,6	686	325	49,3	9,2	47	38,16
16/10/2020	3,96	12	24196	0,03	0,24	27,7	0,686	3,17	2,5	523	403	7,33	8,2	13	116
21/01/2021	1,46	6,7	24196	0,042783891	0,04	7,62	0,593	2,5	3,5	285	13	8,34	7,4	10	25,37
15/04/2021	2,54	24	24196	0,0356	0,3	16,4	0,751	5,07	4,1	328	51	9,86	7,9	24	51,8
22/07/2021	8,54	35,5	24196	0,068719831	0,77	9,18	0,257	10,9	2,1	688	36	19,5	8,1	43	121,16
14/10/2021	2,67	9,4	24196	0,03	0,1	9,85	0,211	6,28	6,2	406	34	8,07	8	16	51

Fonte: IGAM (2021).

ANEXO C – PARÂMETROS A SEREM CONSIDERADOS PARA O CÁLCULO DO ÍNDICE DE CONFOMIDADE AO ENQUADRAMENTO (ICE) NA ESTAÇÃO SC26.

Data de Amostragem	Clorofila a	Demanda Bioquímica de C	Escherichia coli	Ferro dissolvido	Fósforo total	Nitrato	Nitrito	Nitrogênio amoniac	Oxigênio diss	Sólidos dissolv	Sólidos em susp	Turbidez	pH	Cor verdadeira	cloreto toal
01/02/2011	34,71	4,1		0,0469	0,39	0,02	3,344	2,53	4,3	187	2	7,4	7	16	16,8
27/04/2011	10,3	4,6		0,119	0,34	0,67	0,124	4,17	4,1	146	108	5,4	7,3	55	21,3
27/07/2011	100,66	11		0,1135	0,77	0,1	0,035	12,5	3,4	266	8	12,3	7,7	21	62,4
19/10/2011	100,39	11		0,3736	0,48	0,09	0,037	11,9	4,2	304	10	11,6	7,6	22	49,9
02/02/2012	30,37125	3,9		0,0828	0,32	0,83	0,102	3,53	6,1	162	19	13,4	7,7	12	9,87
19/04/2012	48,37411765	8		0,0688	0,04	0,93	0,35	8,54	4,6	183	31	7,54	7,7	13	28,2
19/07/2012	122,48625	12		0,1069	0,06	0,38	0,041	14,7	3,5	260	8	13,5	7,7	14	44,9
09/10/2012	30,972	28,4		0,115	0,8	3,81	0,022	19,5	3,3	296	36	18,2	8	34	45,2
24/01/2013	31,15	2	160000	0,215	1,08	0,12	0,018	18,2	2	320	60	15,2	7,6	37	54,2
16/04/2013	18,15060606	30	160000	0,0438	0,65	4,81	0,08	5,91	2,7	245	19	15,1	7,6	22	28,3
16/07/2013	21,98823529	94	160000	0,1665	0,4	0,6	0,009	20,2	0,5	384	80	50,1	7,8	54	57,7
09/10/2013	11,72195122	21	160000	0,1028	0,28	1,84	0,118	12,4	5,4	216	28	62,5	7,6	35	29,9
22/01/2014	24,475	13	160000	0,0712	0,25	0,1	0,074	8,51	3,2	170	24	153	7,4	34	18,3
16/04/2014	39,605	38	160000	0,0984	0,29	0,35	0,028	15,7	1,2	331	43	14,8	7,6	63	42,9
17/07/2014	23,56965517	185	241960	0,1269	4,51	1,67	0,016	52,9	2,1	470	166	41	7,5	89	65
16/10/2014	87,16573171	143	241960	0,221	2,14	4,62	0,024	50,1	1,4	700	84	31,1	7,9	148	102
30/01/2015	56,07	18	24196	0,0836	0,57	0,53	0,01	0,1	0,6	334	70	23,2	7,1	45	60,5
23/04/2015	7,721602788	11	241960	0,03	0,36	1,49	0,114	8,59	3,5	217	63	90,7	7,4	35	13,8
24/07/2015	35,155	67	241960	0,1657	0,13	2,6	0,021	18,7	1,5	497	11	70,8	7,9	63	49,8
20/10/2015	13,35	448	241960	0,187	0,07	1,09	0,078	19,2	0,5	530	440	135	6,8	285	123
22/01/2016	7,832	13	241960	0,0643	0,35	1,79	0,177	3,91	3,8	252	50	14,5	6,6	21	22,6
19/04/2016	51,78952381	74,9	241960	0,1231	0,75	1,04	0,019	13,5	2,6	472	8	17,2	8	56	55
20/07/2016	66,90523256	91	24196	0,089	0,21	3,82	0,01	39,8	0,9	674	89	38	8	62	141
21/10/2016	622,11	79	24196	0,1274	0,58	2,2	0,009	51,4	0,9	632	160	49,5	8,3	64	92,1
19/01/2017	84,55	25	24196	0,0758	0,05	0,39	0,005	19,1	0,8	310	48	16,9	7,8	33	23,7
20/07/2017	197,58	64,6	24196	0,1533	0,86	1,78	0,018	60,2	1,3	760	53	39	8,1	137	102
18/10/2017	276,5503846	52	24196	0,1365	0,54	4,04	0,042	65,6	4,1	812	40	38,3	8,2	118	135
18/01/2018	114,1100423	45	24196	0,1012	1,64	1,4	0,014	27,9	1,1	424	40	30,4	8	66	60,9
25/04/2018	66,25555556	16	24196	0,098	1,64	0,99	0,024	24,3	4,6	376	52	14,6	7,5	31	46,3
27/07/2018	43,3875	37	24196	0,108908493	1,02	0,94	0,022	54,6	1,7	596	52	40,7	7,5	121	29,3
18/10/2018	33,82	18	24196	0,0874	0,06	1,31	0,147	2,66	7,6	108	332	154	7,5	73	8,51
17/01/2019	33,75642857	15	24196	0,072064654	0,21	12,6	2,195	11,8	3,4	500	32	13,7	7,3	53	67,7
11/04/2019	3,738	5,3	24196	0,088672954	0,02	0,18	1,743	12,6	2,2	338	41	10,4	8,9	37	46,5
12/07/2019	40,94	27	24196	0,193515701	2,22	11,7	1,208	29,8	1,8	480	60	14,7	7	49	4,4
15/10/2019	43,20545455	19	24196	0,091061203	0,02	1,01	0,022	16,83	2,4	573	11	14,7	7,7	57	137
22/01/2020	41,79130435	6,6	24196	0,03	0,11	1,03	0,293	6,54	3,5	279	48	19,3	7,1	25	10,7
27/04/2020	2,396153846	7,7	24196	0,077665489	0,21	1,11	0,074	6,89	3,9	242	37	10,3	6,9	16	17
16/07/2020	3,738	11,6	24196	0,174074063	1,14	1,14	0,193	24,34	2,2	398	45	17,2	7,5	16	22,86
16/10/2020	81,31363636	8,1	24196	0,066404749	1,21	0,9	0,634	31,9	2,1	526	30	21,8	7,7	28	77,4
21/01/2021	14,0175	7,8	24196	0,176456005	0,02	0,25	0,082	14,3	0,7	249	25	10,7	7,5	28	19,7
15/04/2021	27,71	9,2	24196	0,0694	1,25	1,2	0,089	18,7	2,4	265	55	6,8	7,6	29	54,8
22/07/2021	101,1789474	22,8	24196	0,304814825	0,76	1,88	0,04	46,9	2,3	368	93	53,4	7,7	42	102,58
14/10/2021	146,85	13,8	24196	0,055817662	0,14	6,03	1,108	7,23	5	375	32	12,1	7,7	24	79,15

Fonte: IGAM (2021).

ANEXO D – PARÂMETROS A SEREM CONSIDERADOS PARA O CÁLCULO DO ÍNDICE DE CONFOMIDADE AO ENQUADRAMENTO (ICE) NA ESTAÇÃO BV140.

Data de Amostragem	Clorofila a	Demanda Bioquímica de Oxigênio	Escherichia coli	Ferro dissolvido	Fósforo total	Nitrato	Nitrito	Nitrogênio amoniacal total	Oxigênio dissolvido	Sólidos dissolvidos totais	Sólidos em suspensão totais	Turbidez	pH	cor verdadeira	cloreto total
24/01/2011	0,01	2		0,1404	0,09	1,33	0,047	0,25	6	157	104	70,8	7	17	9,84
11/04/2011	6,92	2		0,1059	0,11	2,52		0,1	6,7	144	89	10,9	7	12	8,73
18/07/2011	1,64	2		0,0826	0,19	3,54	0,095	0,1	7,4	191	17	22,4	7,1	14	18,8
17/10/2011	5,90	2		0,0881	0,2	3,4	0,057	0,1	6,2	148	34	30	6,9	16	15,7
23/01/2012	4,01	2		0,0461	0,18	0,93	0,049	0,15	6,3	142	153	86,6	7,6	11	6,25
23/04/2012	5,01	2		0,054	0,15	4	0,058	0,1	6,9	170	58	14,2	7,8	10	13
23/07/2012	3,74	2		0,0438	0,22	2,89	0,089	0,3	7	208	27	21,5	7,9	10	15,8
15/10/2012	18,25	5,2		0,0417	0,55	5,02	0,186	3,16	6,1	250	58	24,3	8	16	23,3
21/01/2013	12,46	6,6	17000	1,221	0,31	1,36	0,14	1,59	6	176	672	637	7,6	76	6,72
15/04/2013	4,45	2	490	0,0825	0,18	1,22	0,066	0,11	6,4	165	114	115	7,6	20	14,8
15/07/2013	0,80	5,1	220	0,0409	0,55	9,16	0,157	0,46	6,9	304	6	6,42	8,1	16	24,5
14/10/2013	0,01	2	49	0,06398672	0,28	5,05	0,012	0,21	7,4	283	28	5,45	8,1	20	17,7
27/01/2014	0,01	2	140	0,03	0,21	0,1	0,012	0,1	6,5	167	33	28,6	7,8	10	9,89
21/04/2014	14,99	8,1	490	0,0631	0,46	5,3	0,174	1,61	5,8	383	2	4,83	8	31	33,1
21/07/2014	0,67	2	52	0,0937	0,21	9,68	0,035	0,11	7,4	329	18	2,93	7,9	19	23,7
13/10/2014	0,40	2	306	0,041	0,78	5,49	0,02	0,1	7,5	372	6	1,32	8,2	23	35,3
26/01/2015	7,74	3	479,8	0,0903	0,78	11,8	0,518	1,62	6	350	2	9,1	8,1	28	14
22/04/2015	1,74	3,2	323,7	0,1407	0,29	5,4	0,178	0,11	6,2	249	29	11,7	7,2	23	21
20/07/2015	0,13	2	189	0,0729	0,52	7,48	0,026	0,11	8,2	279	53	3,66	8,2	17	21,4
19/10/2015	0,80	7	30,6	0,03	0,04	5,36	0,014	0,1	6,8	228	128	1,97	7,9	26	62,4
25/01/2016	1,47	4	537,1	0,1158	0,11	1,84	0,215	0,1	5,8	192	106	80,2	7,6	20	12,6
18/04/2016	0,93	3,9	208,6	0,0612	0,66	7,25	0,202	0,39	6,6	316	28	6,85	7,9	73	26,7
18/07/2016	0,40	2	174,9	0,0838	0,19	10,3	0,031	0,1	8,1	332	28	2,74	8	18	35,3
31/10/2016	0,53	2	96,9	0,073	0,52	3,57	0,013	0,1	7	428	12	4,97	8,3	26	35,1
23/01/2017	17,43	2	230,7	0,0624	0,24	4,2	0,248	0,17	6,1	264	24	28,1	7,8	19	12,4
24/07/2017	1,74	2,8	253	0,1917	0,43	11,8	0,226	0,64	6,8	393	14	2,73	8	35	41
23/10/2017	0,80	2	119,9	0,057	0,06	11,2	0,013	0,32	6,4	540	20	2,16	8,1	37	39,4
22/01/2018	1,74	2	148	0,0694	0,47	7,69	0,022	0,12	6,4	268	12	13,5	8,1	25	32
23/04/2018	0,80	3,3	96,9	0,0966	0,5	7,67	0,363	0,57	6,7	232	96	11,7	7,7	20	20,7
30/07/2018	1,20	6	271,8	0,097638747	0,46	8	0,454	1,83	5,6	470	42	3,84	7,5	30	29,37
22/10/2018	0,80	2	96,9	0,0715	0,43	3,78	0,008	0,14	7,1	258	5	8,51	7,2	32	16,1
28/01/2019	1,74	3	187	0,063880385	0,39	14,6	0,572	0,6	5,4	324	13	14,2	7,9	21	30,8
22/04/2019	0,80	2	472,5	0,097832088	0,17	0,91	0,144	0,1	6,3	272	29	44,2	7,1	31	17,3
22/07/2019	2,80	5,7	308,9	0,153285897	0,82	8,41	0,28	1,23	6,3	375	35	5,42	8,2	30	49,2
21/10/2019	1,60	2	63,2	0,054571897	0,14	7,86	0,016	0,29	5,8	438	15	3,04	8,1	33	43
28/04/2020	0,80	2,9	463,8	0,065729478	0,2	3,48	0,066	0,21	7,7	174	28	32,7	7,8	17	9,51
20/07/2020	1,00	3,6	144,9	0,075974252	0,36	0,71	0,324	1,12	6,7	260	53	13,3	7,2	11	11,46
19/10/2020	7,74	5,6	345,1	0,101154951	0,23	4,05	0,302	3,96	4,7	257	45	7,17	7,7	19	12,3
18/01/2021	3,14	2	7701	0,098745996	0,11	1,92	0,082	0,1	7	139	184	161	7,4	26	7,53
19/04/2021	2,29	3,9	359	0,1027	0,06	0,89	0,329	1,42	6,7	236	2	21,1	7,9	30	22,6
26/07/2021	2,40	6,6	512	0,092443104	0,74	16,46	0,208	1,81	6	322	2	10	7	18	39,21
18/10/2021	5,87	2	20,9	0,040971147	0,23	0,58	0,211	0,52	5,9	344	18	4,77	7,7	22	36,51

Fonte: IGAM (2021).