**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**
Centro de Tecnologia e Ciências
Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos

Ana Paula Viana Ferreira

# Panorama atual do monitoramento da qualidade das águas e do uso de índices no Brasil. Estudo de caso: Ribeirão da Mata – Aplicação do IQA-CCME

Rio de Janeiro
2019

Ana Paula Viana Ferreira

# Panorama atual do monitoramento da qualidade das águas e do uso de índices no Brasil. Estudo de caso: Ribeirão da Mata – Aplicação do IQA-CCME

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 (PROF-ÁGUA), na Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos.

Orientadora: Prof.ª Dra. Cláudia Hamacher

Rio de Janeiro

2019

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

F383 Ferreira, Ana Paula Viana.
Panorama atual do monitoramento da qualidade das águas e do uso de índices no Brasil: estudo de caso: Ribeirão da Mata – Aplicação do IQA-CCME / Ana Paula Viana Ferreira. – 2019.
115 f.: il.

Orientadora: Cláudia Hamacher.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia e Ciências.

1. Água – Qualidade – Belo Horizonte, Região Metropolitana de (MG) – Teses. 2. Controle de qualidade da água – Belo Horizonte, Região Metropolitana de (MG) – Teses. 3. Índice de qualidade da água – Ribeirão da Mata, Bacia do (MG) – Teses. 4. Água – Ribeirão da Mata, Bacia do (MG) – Teses. I. Hamacher, Cláudia. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Centro de Tecnologia e Ciências. III. Título.

CDU 556.51(815.1)

Bibliotecária responsável: Taciane Ferreira da Silva / CRB-7: 6337

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

Assinatura Data

Ana Paula Viana Ferreira

**Panorama atual do monitoramento da qualidade das águas e do uso de índices no Brasil. Estudo de caso: Ribeirão da Mata – Aplicação do IQA-CCME**

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 (PROF-ÁGUA), na Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos

Aprovada em 11 de outubro de 2019.

Banca Examinadora:

Profª. Dra. Cláudia Hamacher
Faculdade de Oceanografia – UERJ

Prof. Dr. Friedrich Wilhelm Herms
Faculdade de Oceanografia – UERJ

Prof.ª Dra Marília Carvalho de Melo
Instituto Mineiro de Gestão das Águas

Rio de Janeiro

2019

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pois, minha fé me fez concluir esse curso mesmo com todas as adversidades pelas quais passei.

Meu filho, que está por vir, pois dele surgiu uma força maior para lutar contra todas as adversidades e deu sentido a minha vida, aos objetivos e sonhos que foram realizados.

À minha família e meus amigos que entenderam minha ausência em vários momentos, tanto para viajar semanalmente ao Rio de Janeiro, quanto para estudar. Além disso, me apoiaram em todos os momentos.

À minha orientadora, Cláudia Hamacher, pelo suporte técnico, ensinamentos, paciência, apoio e contribuição com o meu trabalho a partir da sua experiência e conhecimento. Ao coordenador do curso Friedrich Willems pelo suporte e ensinamentos que sempre deu aos alunos e também pelos "puxões de orelha" que contribuíram não somente para nossa vida profissional como também pessoal.

A todos os meus colegas de classe pelo companheirismo e cumplicidade da turma.

Aos meus cachorros (Quinn, Pirulito e Preta) e meus gatos (Logan – *in memorian* e Yogan) que aprontavam comigo em meio a meus estudos me tirando a concentração, mas que ainda assim todas as travessuras eram compensadas pelas boas energias, amor incondicional e diversão que eles me proporcionam.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas (ANA) através do Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015. Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) pelo apoio técnico científico oferecido, e a ANA e a CAPES pelo apoio ao ProfÁgua aportado até o momento.

Não se gerencia o que não se mede, não se mede o que não se define, não se define o que não se entende, e não há sucesso no que não se gerencia.

*William Edwards Deming*

# RESUMO

FERREIRA, Ana Paula Viana. *Panorama atual do monitoramento da qualidade das águas e do uso de índices no Brasil:* estudo de caso: Ribeirão da Mata – Aplicação do IQA-CCME. 2019. 115 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA)) – Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

Esse trabalho inicialmente apresenta a atual situação do monitoramento da qualidade das águas, o uso de índices de qualidade das águas e ainda como essas informações são disponibilizadas á sociedade no Brasil, em cada Unidade da Federação. Posteriormente, por meio de um estudo de caso na Bacia Hidrográfica do Ribeirão da Mata, foram avaliados os índices de qualidade das águas, atualmente utilizados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM): Índice de Qualidade das Águas da National Sanitation Foundation (IQA-NSF), Contaminação por Tóxicos (CT) e Índice de Estado Trófico (IET). Esses índices foram comparados ao Índice de Qualidade das Águas do Canadian Council of Ministers of the Environment (IQA-CCME). As condições dos corpos de águas integrantes da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão da Mata foi avaliada, por meio da aplicação do IQA-CCME, com o intuito de verificar o atendimento ou não ao enquadramento previsto pelo Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas atualmente em vigência. Para essa avaliação foram utilizados os parâmetros analisados pelo IGAM cujos limites estão previstos pela legislação que dispõe sobre a classificação dos corpos de água no estado de Minas Gerais. Na apresentação do panorama da qualidade das águas no Brasil foi verificada uma heterogeneidade no monitoramento das águas no país além dos esforços realizados pela Agência Nacional das Águas para nivelamento desse cenário brasileiro. O estudo de caso demonstrou que o índice IQA-CCME atende bem a proposta de informar o quão uma bacia hidrográfica atende a sua proposta de enquadramento, a aplicação do índice IQA-CCME identificou também, condizendo com os estudos já realizados pelo IGAM, que as maiores fontes de poluição do Ribeirão da Mata estão relacionadas ao lançamento de efluentes sanitários, no entanto, foram sugeridos estudos mais aprofundados com a finalidade de averiguar contaminações por substâncias tóxicas também identificadas nessa bacia hidrográfica. Sobre as avaliações dos índices de qualidade das águas foram verificados as aplicações e limitações de cada um desses índices.

Palavras-chave: Qualidade das Águas. Monitoramento. Índices. Parâmetros de Qualidade das Águas.

**ABSTRACT**

FERREIRA, Ana Paula Viana. *An Overview of Water Quality Monitoring and the use of indexes in Brazill:* case study: Ribeirão da Mata – application of the CCME-WQI. 2019. 115 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA)) – Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

This work presents the current status of water quality monitoring, the use of water quality indices and how this information is available in society in Brazil, in each Federation Unit. Posteriorly, through a case study in the Ribeirão da Mata River Basin, evaluate the water quality indexes, currently used by the Minas Gerais Institute for Water Management: Water Quality Index of the National Water Foundation Sanitation (IQA -NSF), Toxic Contamination (CT) and Trophic State Index (TSI). These indices were compared to the Water Quality Index of the Canadian Council of Environment Ministers (IQA-CCME). The conditions of the water bodies in the Ribeirão da Mata basin were evaluated by IQA-CCME applying, in order to verify the compliance or not with the legislation. For this evaluation, we used the parameters analyzed by IGAM, the limits that should be applied on the classification of water bodies in the state of Minas Gerais. About the presentation of the overview of the water quality in Brazil was verified a heterogeneity in the monitoring of the waters in the country and the performances by the National Water Agency for equate this scenario. The case study demonstrated through IQA-CCME index well meets a proposal for information on what a river basin meets its proposed framework, an application of the IQA-CCME index also identified, leading to studies already conducted by IGAM, which as major sources of pollution of Ribeirão da Mata are related to the discharge of sanitary effluents, however, further studies with the use of medium contamination by toxic substances also identified in this watershed were suggested. About how water quality index tests were verified as applications and permissions of each of these indices.

Keywords: Water Quality. Monitoring. Index. Water Quality Parameters.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Equação e Curva de Variação do pH..... 24
Figura 2 – Mapa da UTE Ribeirão da Mata..... 36

## LISTA DE QUADROS


Quadro 1 – Parâmetros de Qualidade da Água do IQA utilizado pelo IGAM e seus respectivos pesos..... 21
Quadro 2 – Parâmetros de Qualidade das Águas Utilizados pelo IQA..... 23
Quadro 3 – Descrições numéricas do IQA-NSF..... 25
Quadro 4 – Faixas de concentração por valores de CT..... 26
Quadro 5 – Parâmetros de Qualidade das Águas Utilizados pelo CT ..... 27
Quadro 6 – Parâmetros de Qualidade das Águas Utilizados no cálculo do IET..... 30
Quadro 7 – Classificação de Estado Trófico para Rios ..... 31
Quadro 8 – Classes de Estado Trófico e suas Características..... 32
Quadro 9 – Faixas de classificação do IQA CCME..... 35
Quadro 10 – Parâmetros de qualidade das águas avaliados pelo Programa Águas de Minas..... 40
Quadro 11 – Enquadramento dos trechos dos corpos d'água na sub-bacia do Ribeirão da Mata..... 42
Quadro 12 - Valor estimado PIB (R$ mil) de cada setor econômico por município do Rio das Velhas e da UTE Ribeirão da Mata..... 43
Quadro 13 - Distribuição das principais Classes de Uso do Solo na UTE Ribeirão da Mata..... 44
Quadro 14 - Fatores de pressão antrópica das estações de monitoramento localizadas na UTE Ribeirão da Mata..... 45
Quadro 15 - Parâmetros selecionados para o cálculo do IAQA-CCME e seus respectivos valores máximos permitidos (VMPs) segundo a COPAM (2008)..... 47
Quadro 16 - Parâmetros da DN COPAM nº 01 de 2008 não analisados pelo Programa Águas de Minas..... 49
Quadro 17 - Parâmetros não mencionados pela DN COPAM e analisados pelo Programa Águas de Minas..... 50
Quadro 18 - Enquadramento das águas da sub-bacia do Ribeirão da Mata por pontos de amostragem..... 52
Quadro 19 - Parâmetros tóxicos não considerados pelo índice CT..... 78

## LISTA DE TABELAS


Tabela 1 – Disponibilidade hídrica da UTE Ribeirão da Mata..... 38

Tabela 2 – Área e Demografia da UTE Ribeirão da Mata..... 38

Tabela 3 – Valores e Classificação IQA CCME das estações de amostragem do Ribeirão da Mata..... 53

Tabela 4 – Resultado das variáveis que tiveram algum valor superior aos limites máximos permitidos pela Resolução COPAM-CERH nº 01 de 2008 nos anos de 2016 a 2018 na estação SC22..... 58

Tabela 5 – Resultado das variáveis que tiveram algum valor superior aos limites máximos permitidos pela Resolução COPAM-CERH nº 01 de 2008 nos anos de 2016 a 2018 na estação SC23..... 58

Tabela 6 – Resultado das variáveis que tiveram algum valor superior aos limites máximos permitidos pela Resolução COPAM-CERH nº 01 de 2008 nos anos de 2016 a 2018 na estação SC12..... 60

Tabela 7 - Resultado das variáveis que tiveram algum valor superior aos limites máximos permitidos pela Resolução COPAM-CERH nº 01 de 2008 nos anos de 2016 a 2018 na estação SC13..... 61

Tabela 8 – Resultado das variáveis que tiveram algum valor superior aos limites máximos permitidos pela Resolução COPAM-CERH nº 01 de 2008 nos anos de 2016 a 2018 na estação SC21..... 63

Tabela 9 – Resultado das variáveis que tiveram algum valor superior aos limites máximos permitidos pela Resolução COPAM-CERH nº 01 de 2008 nos anos de 2016 a 2018 na estação BV160..... 65

Tabela 10 – Resultado das variáveis que tiveram algum valor superior aos limites máximos permitidos pela Resolução COPAM-CERH nº 01 de 2008 nos anos de 2016 a 2018 na estação SC17..... 67

Tabela 11 - Resultado das variáveis que tiveram algum valor superior aos limites máximos permitidos pela Resolução COPAM-CERH nº 01 de 2008 nos anos de 2016 a 2018 na estação BV130..... 69

Tabela 12 - Comparação entre os resultados do cálculo do IQA-CCME e do IQA-NSF, utilizando-se as variáveis do último índice..... 71

Tabela 13 - Comparação entre os resultados do IQA-CCME e do CT..... 74

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---|---|
| ANA | Agência Nacional das Águas |
| BV | Baixo Velhas |
| BMWP | Biological Monitoring Working Party Score System |
| CCME | Canadian Council of Ministers of the Environment |
| CETESB | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo |
| COPAM | Conselho Estadual de Política Ambiental |
| CERH | Conselho Estadual de Recursos Hídricos |
| CT | Contaminação por Tóxicos |
| DN | Deliberação Normativa |
| IQA | Índice de Qualidade das Águas |
| IQA-CCME | Índice de Qualidade das Águas do Canadian Council of Ministers of the Environment |
| IGAM | Instituto Mineiro de Gestão das Águas |
| PNRH | Nacional de Recursos Hídricos |
| NSF | National Sanitation Foundation |
| PIB | Produto Interno Bruto |
| RNQA | Rede Nacional de Qualidade das Águas |
| SC | Saneamento e Cidadania |
| SEGRH-MG | Sistema Estadual de Recursos Hídricos em Minas Gerais |
| UTEs | Unidade Territorial Estratégica |
| VMP | Valor Máximo Permitido |

## LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|---|---|
| % | Porcentagem |
| mg | Miligrama |
| cm | Centímetro |
| $m^3$ | metros cúbicos |
| ln | Logarítimo Natural |
| > | Maior que |
| < | Menor que |
| $\geq$ | Maior ou Igual |
| $\leq$ | Menor ou Igual |
| $\sum$ | Somatório |
| $\prod$ | Produto Ponderado |

**SUMÁRIO**


| | | |
|---|---|---|
| | **INTRODUÇÃO**..... | 15 |
| 1 | **OBJETIVOS**……..... | 18 |
| 1.1 | **Objetivo Geral**…….. | 18 |
| 1.2 | **Objetivos Específicos**……...……. | 18 |
| 2 | **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**……. | 19 |
| 2.1 | **Índices e Indicadores Ambientais**……..…….. | 19 |
| 2.2 | **Índices de Qualidade das Águas**..... | 20 |
| 2.2.1 | Índice de Qualidade das Águas da National Sanitation Foundation (IQA-NSF)..... | 20 |
| 2.2.2 | Índice de Contaminação por Tóxicos (CT)..... | 26 |
| 2.2.3 | Índice de Estado Trófico (IET)..... | 29 |
| 2.2.4 | Índice de Qualidade das Águas do Canadian Council of Ministers of the Environment – IQA-CCME……... | 32 |
| 2.3 | **A Bacia Hidrográfica do Ribeirão da Mata**..... | 36 |
| 2.4 | **Monitoramento da Qualidade das Águas do Ribeirão da Mata - Programa Águas de Minas**..... | 39 |
| 2.5 | **Enquadramento de Corpos d'Água no Estado de Minas Gerais e na Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão da Mata**..... | 41 |
| 2.6 | **Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do Ribeirão da Mata**…… | 43 |
| 2.6.1 | Uso e Ocupação do Solo..... | 43 |
| 2.6.2 | Potenciais Fontes de Contaminação..... | 44 |
| 3 | **METODOLOGIA**..... | 46 |
| 4 | **RESULTADOS E DISCUSSÃO**…….. | 52 |
| 4.1 | **Avaliação da Qualidade da Água do Ribeirão da Mata com base nos Resultados do IQA-CCME por ponto de amostragem** | 52 |
| 4.1.1 | Estação SC22..... | 54 |
| 4.1.2 | Estação SC23..... | 57 |
| 4.1.3 | Estação SC12..... | 59 |
| 4.1.4 | Estação SC13..... | 61 |
| 4.1.5 | Estação SC21..... | 62 |
| 4.1.6 | Estação BV160..... | 64 |
| 4.1.7 | Estação SC17..... | 66 |

4.1.8 Estação BV130 ..... 68
4.2 **Análise Comparativa entre os Índices IQA-NSF, CT e IQA-CCME** ..... 70
4.2.1 Comparação entre os Índices IQA-NSF e IQA-CCME ..... 70
4.2.2 Comparação entre os Índices CT e IQA-CCME ..... 73
4.3 **Análise Crítica dos índices de qualidade das águas adotados pelo IGAM e o IQA-CCME** ..... 76
**CONSIDERAÇÕES FINAIS** ..... 81
**REFERÊNCIAS** ..... 83
**APÊNDICE A –** Resultados do Cálculo do IQA-CCME para Avaliação da Qualidade das Águas do Ribeirão da Mata ..... 86
**APÊNDICE B –** Resultados do cálculo do IQA-CCME aplicados aos parâmetros do IQA-NSF ..... 89
**APÊNDICE C –** Resultados do cálculo do IQA-CCME aplicados aos parâmetros do CT ..... 92
**APÊNDICE D –** Panorama do Monitoramento da Qualidade das Águas no Brasil (Artigo Científico) ..... 95

# INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), estabelecida pela Lei Federal nº 9.433 de 1997, determina como um dos seus princípios os usos múltiplos da água, além do objetivo de assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões adequados aos respectivos usos (BRASIL, 1997).

Nesse contexto, foi definido como instrumentos de gestão os planos de recursos hídricos, o enquadramento dos corpos d'água, a outorga de direito de uso dos recursos hídricos, a cobrança pelos seus usos e o sistema de informações (BRASIL, *Op. Cit.*).

Esses instrumentos são inter-relacionados de forma que o enquadramento e os planos são utilizados como referência nos processos de outorga e de cobrança pelos usos dos recursos hídricos. O sistema de informações de recursos hídricos serve como base de dados para a elaboração dos planos e do enquadramento que, por sua vez, alimentam, após finalizados, o próprio sistema de informações (Almeida, 2014).

As fontes de contaminação dos cursos d'água são diversas em virtude das diferentes formas de uso dos recursos hídricos, tais como os usos urbanos, agrícolas e industriais. Essas atividades geram efluentes que, por sua vez, têm contribuído consideravelmente para a poluição dos rios. Além disso, há ainda a extração de recursos naturais e outras intervenções em matas ripárias que favorecem a degradação dos rios, bem como a poluição difusa, não necessariamente direta, que acaba indo para o curso d´água.

Em regiões mais urbanizadas a degradação da qualidade das águas tem sido crescente, e, em consequência disso, também há um aumento da preocupação acerca dos seus aspectos quantitativos, em grande parte devido à escassez de água que atenda aos padrões de potabilidade.

Deve-se ainda considerar que a qualidade da água é determinada também pelos fenômenos naturais ocorridos na bacia hidrográfica. A água, por ser um solvente natural, transporta gases, substâncias e compostos orgânicos que determinam suas características naturais de acordo com a geoquímica dos solos e das rochas que drenam os rios e lagos (Von Sperling, 2007; Tundisi e Matsumara-Tundisi, 2008).

O monitoramento da qualidade das águas torna-se uma ferramenta imprescindível para a PNRH, tanto para fazer cumprir com seus objetivos, quanto para servir como base na execução dos seus instrumentos. Ambas as parcelas de água que contribuem para a vazão dos

rios – superficial e subterrânea - devem ser monitoradas para que se determine a quantidade de recursos hídricos e verifique suas condições (ANA, 2017).

ANA (2019) coloca ainda que para avaliar as condições das águas em rios e reservatórios são determinadas concentrações e níveis de parâmetros biológicos, físico-químicos e químicos. Essas variáveis podem ser utilizadas como indicadoras da qualidade das águas no monitoramento e também na classificação dos corpos hídricos.

Os dados de monitoramento da qualidade das águas devem ser utilizados para o entendimento de um ecossistema como um todo e dependem tanto das características naturais quanto do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica (Ribeiro *et al*, 2012).

Considerando as variações na qualidade das águas devido aos aspectos naturais e antrópicos é de ser esperar que um grande número de parâmetros de qualidade das águas deva ser utilizado para a verificação das condições dos cursos d'águas. Diante disso, fica difícil a transmissão desses resultados para a sociedade caso essas informações não estiverem consolidadas e "traduzidas" para uma linguagem menos técnica.

Assim, surge o uso de índices que geram informações de caráter mais geral e de fácil entendimento sobre a condição das águas. Os índices são ferramentas que combinam as variáveis monitoradas em um único resultado e fornecem uma informação sucinta sobre a qualidade da água em relação a um estado desejável. Na gestão de recursos hídricos é uma ferramenta útil para descrever, em uma linguagem simples, o estado da água e da vida aquática e ainda classificar a qualidade das águas para os mais variados usos, tais como consumo humano e preservação de ecossistemas (CCME, 2001).

De acordo com Almeida (2014) o agrupamento de vários parâmetros em um único resultado, facilita dentre outras, a comunicação sobre a qualidade dos cursos d'água no tempo e no espaço. Dessa forma, torna-se possível transformar dados em informações sintéticas e acessíveis para os responsáveis pelos processos de tomada de decisão e para a sociedade em geral.

No Brasil, são utilizados vários índices de qualidade das águas, sendo o mais empregado o Índice de Qualidade das Águas (IQA) da *National Sanitation Foundation* (IQA-NSF), ou esse adaptado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), conhecido como IQA-CETESB. Essa instituição adota ainda o Índice de Qualidade das Águas para Reservatórios (IQAR), o Índice de Qualidade das Águas Brutas para fins de abastecimento público (IAP) e o Índice de Balneabilidade (IB). Em outros estados brasileiros há diversos índices empregados, como exemplo, em Minas Gerais podemos citar o Índice de Estado Trófico

(IET) e o Índice de Contaminação por Tóxicos (CT) que são utilizados atualmente pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM).

Buscando uma análise acessível, completa, real e eficaz sobre a qualidade das águas das bacias hidrográficas brasileiras, o presente trabalho tem como objetivo principal a avaliação do emprego, na bacia hidrográfica do Ribeirão da Mata, de índices de qualidade das águas e suas aplicabilidades sob diferentes aspectos naturais e antrópicos que possam alterar as condições das águas.

A pesquisa apresenta ainda, no apêndice D, um artigo submetido para a Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental onde é apresentado e discutido o papel da Agência Nacional das Águas bem como dos órgãos estaduais gestores de recursos hídricos no monitoramento da qualidade das águas, no uso de índices de qualidade das águas e na disponibilização de informações à sociedade.

Para a realização dessa pesquisa serão utilizados os dados de monitoramento da qualidade das águas do Programa Águas de Minas realizado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) na bacia hidrográfica do Ribeirão da Mata, localizada na região metropolitana da capital do estado – Belo Horizonte. Nessa bacia há 10 pontos de amostragem sendo 5 deles pertencentes ao próprio Ribeirão da Mata e outros 5 em dois de seus afluentes. O Ribeirão da Mata é afluente do Rio das Velhas, um dos principais tributários do Rio São Francisco no estado de Minas Gerais.

Para alcançar seus objetivos o trabalho compreende as seguintes etapas: i) avaliação do monitoramento de qualidade das águas e da aplicação de índices no Brasil; ii) diagnóstico de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão da Mata; iii) levantamento dos dados do programa de monitoramento Águas de Minas; iv) revisão da literatura sobre os índices de qualidade das águas aplicados pelo IGAM (IQA, IET e CT) e Índice de Qualidade das Águas criado pelo Canadian Council of Ministers of the Environment (IQA-CCME); v) aplicação do IQA-CCME utilizando os dados de monitoramento da bacia hidrográfica do Ribeirão da Mata; vi) realização de análise comparativa dos resultados dos índices já utilizados pelo IGAM com os resultados do IQA-CCME.

# 1. OBJETIVOS

## 1.1 Objetivo Geral

Avaliar a aplicação de diferentes índices de qualidade de água (IQA-NSF, IET, CT e CCME) frente a distintos cenários de atividades humanas e de condições ambientais ao longo do Ribeirão da Mata, Minas Gerais.

## 1.2 Objetivos Específicos

Além do objetivo principal propõe-se:

a) Levantar informações e analisar criticamente o monitoramento brasileiro de qualidade das águas segundo parâmetros estudados, frequência de amostragem, disponibilização das informações para o público e aplicação de índices de qualidade de água;
b) Fazer uma análise crítica dos índices IQA, IET e CT, atualmente utilizados pelo IGAM, assim como do Índice de Qualidade das Águas do Canadian Council of Ministers of the Environment (IQA-CCME);
c) Avaliar a qualidade das águas do Ribeirão da Mata perante suas classes de enquadramento por meio da aplicação do IQA-CCME.

# 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

## 2.1 Índices e Indicadores Ambientais

Comunicar os resultados dos programas de monitoramento ambiental aos responsáveis pelo gerenciamento dos recursos ambientais e ao público em geral pode se tornar um desafio visto a complexidade das informações, associada ao grande número de variáveis mensuradas e ainda à falta de conhecimento técnico do público alvo.

Usualmente os dados dos monitoramentos de qualidade de águas são utilizados para a produção de relatórios que descrevem tendências e conformidade com normas e legislações, ou quaisquer outros objetivos que se deseja alcançar com o monitoramento. Apesar desses relatórios possuírem uma riqueza de dados e informações, os receptores, em muitos casos, não conseguem interpretá-los e compreendê-los em detalhes. Diante disso, o público em geral acaba exigindo informações mais sucintas que resumam o estado geral de um sistema (CCME, 2001a).

Uma solução para esse tipo de problema é o emprego de índices e indicadores. A necessidade de criação de índices e indicadores de sustentabilidade que fossem mais funcionais tomou força a partir da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, em 1992:

> "Os indicadores comumente utilizados, como o produto nacional bruto (PNB) ou as medições das correntes individuais de contaminação ou de recursos, não dão indicações precisas de sustentabilidade. Os métodos de avaliação da interação entre diversos parâmetros setoriais do meio ambiente e o desenvolvimento são imperfeitos ou se aplicam deficientemente. É preciso elaborar indicadores de desenvolvimento sustentável que sirvam de base sólida para adotar decisões em todos os níveis, e que contribuam a uma sustentabilidade auto-regulada dos sistemas integrados do meio ambiente e o desenvolvimento" (UNITED NATIONS,1992 p.473, tradução nossa)

De acordo com CETESB (2017) os índices e indicadores ambientais foram originados a partir de uma preocupação social com os aspectos ambientais, tornando-os cada vez mais utilizados e em diferentes graus de complexidade. Dessa forma, os indicadores acabaram se tornando fundamentais, tanto no processo decisório das políticas públicas, quanto no acompanhamento dos seus efeitos.

Cabe ressaltar que os termos "índices" e "indicadores" são, muitas vezes, equivocadamente utilizados como sinônimos. A diferença entre ambos é que o índice é um valor final de um procedimento de cálculo onde se utiliza, inclusive, os indicadores como

variáveis. Já o indicador é parâmetro selecionado e considerado isoladamente ou em combinação com outros para refletir sobre as condições do sistema em análise (SICHE et al., 2017).

Os índices combinam matematicamente as variáveis monitoradas e podem fornecer a informação sobre a qualidade da água em relação a um estado desejável. Na gestão de recursos hídricos é uma ferramenta útil para descrever, em uma linguagem simples, o estado da coluna d'água e de vida aquática e, ainda, classificar a qualidade das águas para os mais variados usos, tais como consumo humano e preservação de ecossistemas (CCME, 2001a).

Vollenweider (1989) aponta que os índices devem ser funcionais de forma a retratarem o maior número possível de informações, de forma sintética e acessível. Assim, podem abranger os mais diversos tipos de público, desde os tomadores de decisão até a comunidade ou interessados em determinado assunto.

CETESB (2017, p.2) expõe as vantagens do emprego dos índices:

> "As principais vantagens dos índices são a facilidade de comunicação com o público leigo, o status maior do que as variáveis isoladas e o fato de representar uma média de diversas variáveis em um único número, combinando unidades de medidas diferentes em uma única unidade."

Existem diversos índices de qualidade das águas na literatura nacional e internacional. A seguir serão descritos os índices utilizados pelo IGAM (IQA-NSF, CT e IET) e o índice desenvolvido pelo Canadá (IQA-CCME).

## 2.2 Índices de Qualidade das Águas

### 2.2.1 Índice de Qualidade das Águas da National Sanitation Foundation (IQA-NSF)

O Índice de Qualidade das Águas (IQA) foi criado em 1970 a partir de uma pesquisa realizada por especialistas da *National Sanitation Foundation (NSF)*, dos Estados Unidos. Esses pesquisadores indicaram 35 parâmetros considerados importantes para a avaliação da qualidade das águas, para fins de abastecimento público, e seus respectivos pesos, de acordo com a relevância de cada um (ANA, 2005; CETESB, 2017).

Das 35 variáveis propostas inicialmente pelos especialistas, nove delas, consideradas mais representativas, foram selecionadas para compor os parâmetros de qualidade das águas utilizados para o cálculo do IQA e, a critério dos pesquisadores, determinou-se curvas de variação em conformidade com o estado de cada parâmetro (ANA, 2005; CETESB, 2017; IGAM, 2017).

O uso do IQA no Brasil iniciou em 1975 pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) a qual realizou algumas adaptações em relação ao IQA criado pela NSF. Nessas adequações, o parâmetro fosfato total foi substituído pelo fósforo total e o parâmetro nitrato pelo nitrogênio total. Os pesos e as curvas de qualidade foram mantidos em conformidade com o índice original. Posteriormente, outros estados brasileiros adotaram o IQA, sendo esse o índice mais utilizado atualmente no país, tanto na versão NSF, quanto na CETESB (ANA, 2005).

Há alguma variação da aplicação do IQA nos estados do Brasil. No Rio Grande do Sul, por exemplo, a variável temperatura não faz parte dos cálculos. Os estados de Minas Gerais, Amapá e Mato Grosso utilizam o fosfato total e o nitrato, mantendo assim os parâmetros da NSF. Já o estado do Paraná mantém o mesmo formato do índice utilizado pela CETESB (ANA, 2005).

No presente trabalho será apresentado um resumo do atual panorama do monitoramento da qualidade das águas no Brasil, com a apresentação dos índices utilizados pelas unidades da federação.

O estado de Minas Gerais, através do IGAM, utiliza o IQA-NSF desde 1997. O quadro 1 apresenta os parâmetros de qualidade das águas utilizados pelo IGAM:

Quadro 1 – Parâmetros de Qualidade da Água utilizados pelo IGAM para o cálculo do IQA e seus respectivos pesos

| **Parâmetro de Qualidade da Água** | **Peso (w)** |
|---|---|
| Oxigênio dissolvido – OD (%ODSat.) | 0,17 |
| *E. coli* (NMP/100mL) | 0,15 |
| pH | 0,12 |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO (mg/L) | 0,10 |
| Nitrato (mg/L $NO_3^-$) | 0,10 |
| Fosfato Total (mg/L $PO_4^{-2}$) | 0,10 |
| Variação da temperatura (°C) | 0,10 |
| Turbidez (UNT) | 0,08 |
| Sólidos totais (mg/L) | 0,08 |

Fonte: INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS, 2017.

Cabe ressaltar que, a partir do ano de 2013, sua versão original foi alterada, substituindo-se o parâmetro coliformes termotolerantes por *Escherichia coli* (IGAM, 2017).

Segundo a metodologia de cálculo do IQA adotada pelo IGAM, a ausência de resultados dos parâmetros *E. coli* e oxigênio dissolvido implica na impossibilidade de cálculo do índice. Para os demais parâmetros, em casos de falta de resultados, os pesos correspondentes são igualmente repartidos entre os outros indicadores, sendo possível o cálculo de um resultado final. Essa forma de cálculo é diferente da originalmente proposta pelo NSF, que indica a impossibilidade de cálculo do índice na ausência de qualquer um dos 9 parâmetros que o compõem (Porto, 1991).

O quadro 2 resume o significado ambiental dos parâmetros de qualidade das águas utilizados pelo IGAM na aplicação do IQA-NSF.

Quadro 2 – Parâmetros de Qualidade das Águas Utilizados pelo IQA (continua)

| **Parâmetro** | **Conceito** | **Origem Natural** | **Origem Antrópica** | **Efeitos** |
|---|---|---|---|---|
| Oxigênio Dissolvido | Concentração de oxigênio contido na água. | Dissolução de oxigênio atmosférico e produção pelos organismos fotossintéticos. | Introdução de aeração artificial. | Vital para os seres aquáticos aeróbios e principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição orgânica nas águas. |
| *E. Coli* | Grupo de bactérias termotolerantes, microorganismos presentes no intestino de animais de sangue quente. | Excrementos de animais. | Introdução de despejos domésticos e excrementos de animais. | Indicam contaminações por dejetos humanos na água. |
| pH | Concentração de íons hidrogênio (em escala anti-logarítmica) e indica as condições de acidez, alcalinidade e ou neutralidade da água. | Dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação de matéria orgânica e fotossíntese. | Despejos domésticos (oxidação da matéria orgânica) e despejos industriais tais como aqueles provenientes de lavagens com produtos ácidos ou básicos. | Valores de pH afastados da neutralidade podem afetar os microorganismos responsáveis pelo tratamento biológico de esgoto, a vida aquática e ainda as águas de abastecimento provocando incrustações e corrosividade. |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio | Retrata a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar, através de processos bioquímicos, a matéria orgânica. | Matéria orgânica animal ou vegetal. | Despejos domésticos e industriais. | Retrata de forma indireta o teor de matéria orgânica nos esgotos ou corpos d'água sendo, portanto, uma indicação do consumo potencial de oxigênio dissolvido. |

Quadro 2 – Parâmetros de Qualidade das Águas Utilizados pelo IQA (conclusão)

| **Parâmetro** | **Conceito** | **Origem Natural** | **Origem Antrópica** | **Efeitos** |
|---|---|---|---|---|
| Fosfato | Representa as formas inorgânicas de fósforo dissolvido em água. | Dissolução de compostos do solo e decomposição de matéria orgânica. | Despejos domésticos e industriais, excrementos de animais, detergentes e fertilizantes. | Nutriente essencial para o crescimentos de algas e microorganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica. Quantidades excessivas podem causar a eutrofização. |
| Variação da temperatura | Medida da intensidade de calor | Radiação, condução ou convecção. | Águas de torres de resfriamento e alguns outros despejos industriais. | As elevações de temperatura aumentam as taxas de transferência dos gases e das reações químicas e biológicas, diminuem a solubilidade dos gases. |
| Turbidez | Grau de interferência da passagem da luz através da água, conferindo aparência turva a mesma. | Microorganismos, tais como algas, e material particulado em suspensão inorgânico. | Despejos domésticos, industriais e erosão. | Reduzem a penetração da luz, diminuindo a profundidade da zona eufótica, prejudicando a fotossíntese. |
| Sólidos totais | É definido como resíduo que permanece na amostra após a aplicação dos procedimentos de evaporação e calcinação. | Processos erosivos, dissolução de rochas. | Despejos domésticos, industriais e processos erosivos. | Podem causar danos aos peixes e às demais formas de vida aquática. |

Fonte: Marcos Von Sperling, 2005 adaptado pela autora, 2019.

Calcula-se o IQA-NSF pelo produtório ponderado referente às variáveis de qualidade das águas que integram o índice (ANA 2005; ANA 2013; CETESB, 2017; IGAM 2017), por meio da seguinte fórmula:

$$IQA = \prod_{i=1}^{9} qi^{wi} \quad (1)$$

Onde:

**IQA:** Índice de Qualidade de Água, valor que varia entre 0 a 100;

**$q_i$:** qualidade do parâmetro i obtido através da curva média específica da qualidade";

**$w_i$:** peso atribuído ao parâmetro, em função de sua importância na qualidade, entre 0 e 1 (IGAM, 2017)

Através das curvas de variação é possível obter os valores do "$q_i$" para cada parâmetro (IGAM, 2017). Como exemplo, a Figura 1 traz a curva e a equação para o parâmetro pH.

Figura 1 – Equação e Curva de Variação do pH

**Potencial Hidrogeniônico – pH**

As equações para o cálculo da qualidade ($q_s$) do parâmetro Potencial Hidrogeniônico (pH) são:

Para pH ≤ 2,0 ⇒ $q_s = 2{,}0$

Para 2,0 < pH ≤ 6,9

$$q_s = -37{,}1085 + 41{,}91277 \times pH - 15{,}7043 \times pH^2 + 2{,}417486 \times pH^3 - 0{,}091252 \times pH^4$$

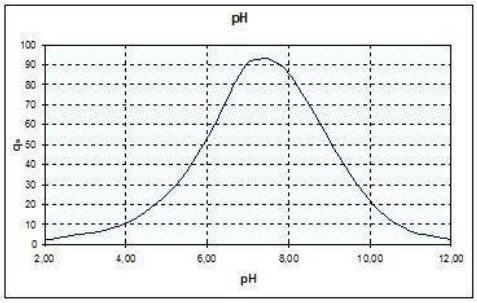
Para 6,9 < pH ≤ 7,1

$$q_s = -4{,}69365 - 21{,}4593 \times pH - 68{,}4561 \times pH^2 + 21{,}638886 \times pH^3 - 1{,}59165 \times pH^4$$

Para 7,1 < pH ≤ 12

$$q_s = -7.698{,}19 + 3.262{,}031 \times pH - 499{,}494 \times pH^2 + 33{,}1551 \times pH^3 - 0{,}810613 \times pH^4$$

Para pH ≥ 12,0 ⇒ $q_s = 3{,}0$




Fonte: Portal InfoHidro, on-line. 2019

Após o cálculo do valor do IQA, a avaliação da qualidade das águas é realizada em conformidade da com o quadro 3, apresentado a seguir:

Quadro 3 - Descrições numéricas do IQA-NSF

| **Descrição** | **Faixa** | **Cor indicadora** |
|---|---|---|
| Muito Ruim | 0 – 25 | Vermelha |
| Ruim | 26 – 50 | Laranja |
| Médio | 51 – 70 | Amarelo |
| Bom | 71 – 90 | Verde |
| Excelente | 91 – 100 | Azul |

Fonte: INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS, 2017.

### 2.2.2 Índice de Contaminação por Tóxicos (CT)

Outro índice utilizado pelo IGAM, além do IQA, é o Índice de Contaminação por Tóxicos (CT). Weinberg (2018) afirma que o IGAM elaborou e adota um tipo de classificação dos seus corpos d'água de acordo com as concentrações de substâncias tóxicas presentes no meio. Essas substâncias, de acordo com IGAM (2017) são: amônia, arsênio total, bário total, cádmio total, chumbo total, cianeto livre, cobre total, cobre dissolvido, cromo hexavalente, cromo total, fenóis totais, mercúrio total, nitrito, nitrato e zinco total.

A concentração desses parâmetros são comparadas com os limites permitidos pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM CERH nº 01 de 2008 e assim obtêm-se as faixas de classificação conforme o quadro 04 (IGAM, 2017).

Quadro 4 – Faixas de concentração por valores de CT

| **Concentração em relação às classes de enquadramento** | **Classe de contaminação** | **Cor** |
|---|---|---|
| < 1,2 x P | Baixa | Verde |
| 1,2 x P < concentração = 2 x P | Média | Amarela |
| Concentração > 2 x P | Alta | Vermelha |

Nota: P = Limite de classe definido pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1, de 05 de Maio de 2008.
Fonte: INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS, 2017

A classificação baixa do CT refere-se ao excesso em até 20% do limite de determinada substância tóxica de acordo com os limites previstos pela legislação. A denominação média indica que a concentração da substância ultrapassou os limites numa faixa entre 21% a 100% e, por fim, a contaminação classificada como alta é referente a um excesso em mais de 100% considerando-se o máximo permitido, ou seja, mais que o dobro de concentração (IGA, 2017).

O quadro 05 apresenta resumidamente os conceitos, origens e efeitos de cada uma das substâncias tóxicas usadas na aplicação do CT:

Quadro 5 – Parâmetros de Qualidade das Águas Utilizados pelo CT (continua)

| **Parâmetro** | **Conceito** | **Origem Natural na água** | **Origem Antrópica na água** | **Efeitos** |
|---|---|---|---|---|
| Amônia | Uma das formas em que pode ser encontrado o nitrôgênio no meio. | Ciclo do nitrogênio (processos de fixação química de nitrogênio) – ocorre no solo e por meio das chuvas a amônia pode ser transportada para os corpos d'água. | Indústrias químicas, petroquímicas, siderúrgicas, farmacêuticas, conservas alimentícias, matadouros, frigoríficos, curtumes e efluentes domésticos | Efeito tóxico à vida dos peixes, pode ser fatal em concentrações acima de 5 mg/L. Além disso, provoca o consumo de oxigênio dissolvido das águas ao ser oxidada. |
| Arsênio | Elemento raro presente na crosta terrestre em uma concentração média de 2 a 5 mg/kg, principalmente como complexos com sulfitos e óxidos. | Encontrado em sedimentos e, a partir desses, pode ser encontrado também na água. | Produzido para uso em inseticidas, rodenticidas, dissecante de plantas, detergentes e na indústria farmacêutica e têxtil. | Sua ingestão causa efeitos tóxicos carcinogênicos e teratogênicos ao organismo humano e organismos aquáticos. |
| Bário | Elemento metálico, sólido à temperatura ambiente, macio e prateado. Pertence ao grupo dos metais alcalinos terrosos. | Presente na água na forma de carbonatos pricipalmente em algumas fontes minerais. | São utilizados os compostos de bário na indústria da borracha, têxtil, cerâmica, farmacêutica, entre outras. | Em elevadas concentrações causa efeitos nos humanos no coração, no sistema nervoso, obstrução dos vasos sangüíneos, elevando a pressão arterial. A morte pode ocorrer em poucas horas ou dias dependendo da dose e da solubilidade do sal de bário. |
| Cianeto livre | Cianetos são uma família de compostos que contêm o ânion cianeto | O cianeto pode ser encontrado naturalmente em baixas concentrações na água, no solo e em vegetais, como amandioca brava. | Usados em galvanoplastia, extração de ouro e prata, limpeza de metais, na produção de fibras sintéticas, corantes, pigmentos e nylon,como reagente em química analítica, agente de fumigação e gaseificação do carvão. | Extremamente tóxico para os organismos, A consequência direta mais importante é a inibição do metabolismo do oxigênio.Os efeitos da exposição aguda ao composto são observados sobretudo no sistema nervoso central e cardiovascular. |

Quadro 5 – Parâmetros de Qualidade das Águas Utilizados pelo CT (continuação)

| **Parâmetro** | **Conceito** | **Origem Natural na água** | **Origem Antrópica na água** | **Efeitos** |
|---|---|---|---|---|
| Cobre | Elemento amplamente distribuído na natureza | Ocorre naturalmente em todas as plantas e animais e é um nutriente essencial em baixas doses. Está naturalmente presente na atmosfera por dispersão pelo vento e erupções vulcânicas. | Fabricação de tubos, válvulas, acessórios para banheiro e está presente em ligas e revestimentos. Na forma de sulfato é usado como algicida. | Uma concentração de 20 mg/L de cobre ou um teor total de 100 mg/L por dia na água é capaz de produzir intoxicações ao homem, com lesões no fígado. Para peixes, as doses elevadas de cobre são extremamente nocivas. Concentrações de 0,5 mg/L são letais para trutas, carpas, bagres, peixes vermelhos de aquários ornamentais e outros. Doses acima de 1,0 mg/L são letais para microorganismos. |
| Cromo | Metal acinzentado muito resistente à corrosão. Possui diferentes estados de oxidação e os mais comuns são os denominados bi, tri e hexavalente. | Encontrados naturalmente em rochas, solo, poeiras, névoas vulcânicas, água, animais e plantas. | Utilizado na produção de ligas metálicas, estruturas da construção civil, fertilizantes, tintas, pigmentos, curtumes, preservativos para madeira, entre outros usos. | Na forma trivalente, o cromo é essencial ao metabolismo humano e sua carência causa doenças. Na forma hexavalente, é tóxico e cancerígeno. |
| Fenóis | Sólido branco cristalino em seu estado puro | Os fenóis e seus derivados não aparecem naturalmente nas águas. | Indústrias de processamento da borracha, colas e adesivos, resinas impregnantes, componentes elétricos (plásticos) e as siderúrgicas, entre outras. | Os fenóis são tóxicos ao homem, aos organismos aquáticos e aos microrganismos que tomam parte dos sistemas de tratamento de esgotos sanitários e de efluentes industriais. |
| Mercúrio | Elemento metálico encontrado naturalmente no ambiente | Está presente na forma inorgânica na água superficial e subterrânea. As concentrações geralmente estão abaixo de 0,5 μg/L, embora depósitos de minérios possam elevar a concentração do metal na água subterrânea. | Indústrias cloro-álcali de células de mercúrio, vários processos de mineração e fundição, efluentes de estações de tratamento de esgotos, indústrias de tintas etc. | Altamente tóxico ao homem, sendo que doses de 3 a 30 gramas são letais. Apresenta efeito cumulativo e provoca lesões cerebrais. O pescado é um dos maiores contribuintes para a transferência de mercúrio para o homem, sendo que este se mostra mais tóxico na forma de compostos organo-metálicos. |

Quadro 5 – Parâmetros de Qualidade das Águas Utilizados pelo CT (conclusão)

| **Parâmetro** | **Conceito** | **Origem Natural na água** | **Origem Antrópica na água** | **Efeitos** |
|---|---|---|---|---|
| Nitrito | Uma das formas oxidadas do nitrogênio | Biofixação desempenhada por bactérias e algas presentes nos corpos hídricos, que incorporam o nitrogênio atmosférico em seus tecidos. | Esgotos sanitários constituem, em geral, a principal fonte. Indústrias químicas, petroquímicas, siderúrgicas, farmacêuticas, alimentícias, matadouros, frigoríficos e curtumes também podem originar o nitrito nas águas. | Eutrofização |
| Zinco | Metal brilhante encontrado na crosta terrestre | A presença de zinco é comum nas águas superficiais naturais, em concentrações geralmente abaixo de 10 µg/L; em águas subterrâneas ocorre entre 10-40 µg/L. | Usado na fabricação de ligas e latão, galvanização do aço, na borracha como pigmento branco, suplementos vitamínicos, protetores solares, desodorantes, xampus etc. | Prejudicial à saúde quando ingerido em concentrações muito elevadas, o que é extremamente raro, e, neste caso, pode acumular-se em outros tecidos do organismo humano. Nos animais, a deficiência em zinco pode conduzir ao atraso no crescimento. |

Nota: O nitrato foi excluído uma vez que já foi apresentado no Quadro 2.
Fonte: COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2017, adaptado pela autora, 2019

### 2.2.3 Índice de Estado Trófico (IET)

O Índice de Estado Trófico (IET) é mais um índice de qualidade das águas utilizado pelo IGAM. Segundo ANA (2012) o IET indica a presença dos nutrientes fósforo e nitrogênio em quantidades excessivas avaliando, assim, a qualidade das águas e os efeitos da eutrofização relacionados ao crescimento de algas e ao aumento da quantidade de macrófitas aquáticas.

O IET calculado pelo IGAM é obtido por meio de duas variáveis: Índice de Estado Trófico para o fósforo total ($IET_{PT}$) e Índice de Estado Trófico para clorofila-a ($IET_{CL}$).

De acordo com Santos (2015) os resultados do $IET_{PT}$ tratam de uma medida do potencial de eutrofização uma vez que este nutriente (fósforo) atua como um dos agentes causadores desse processo.

IGAM (2018) expõe que, o $IET_{CL}$ é considerado a medida da resposta do corpo d'água ao agente causador da eutrofização, já que indica o nível do crescimento do fitoplâncton devido à presença dos nutrientes.

A seguir são apresentados os conceitos, origens e efeitos da clorofila-a e do fósforo.

Quadro 6 – Parâmetros de Qualidade das Águas Utilizados no cálculo do IET

| **Parâmetro** | **Conceito** | **Origem Natural na água** | **Origem Antrópica na água** | **Efeitos** |
|---|---|---|---|---|
| Clorofila-a | O principal pigmento responsável pelo processo fotossintétic o | É a mais universal das clorofilas (a, b, c, e d) e representa, aproximadamente , de 1 a 2% do peso seco do material orgânico em todas as algas planctônicas. | Os efluentes, principalment e sanitários, contendo nutrientes, quando despejados nas águas naturais causam aumento do crescimento do fitoplâncton aumentando assim a produção da clorofla a | É considerada a principal variável indicadora de estado trófico dos ambientes aquáticos. |
| Fósforo | Elemento mineral presente em diversos alimentos (de origem vegetal e animal) e de grande importância para o funcioname nto do organismo dos seres humanos. | O fósforo, em sua forma de fosfato, pode ser transferido para as águas pelos processos de desagregação e dissolução das partículas do solo e dos resíduos vegetais pela ação da água da chuva. | Descarga de esgotos sanitários e de alguns efluentes industriais, tais como os de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios. | Eutrofização . Assim como o nitrogênio, o fósforo constitui-se em um dos principais nutrientes para os processos biológicos, incluíndo a fotossíntese. |

Fonte: COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2013, adaptado pela autora, 2019.

O $IET_{PT}$ e o $IET_{CL}$ são calculados por meio das equações abaixo (IGAM, 2017):

$$IET_{CL(\mu g/L)}=10\ \{\ 6-[(-0{,}7-0{,}6\frac{(\ln(CL))}{\ln 2})]\}-20 \qquad (2)$$

$$IET_{PT\ (\mu g/L)} = 10\ \{6 - 0{,}42 - 0{,}36\frac{(\ln(P))}{\ln 2}) - 20 \quad (3)$$

Os resultados de IET são obtidos por meio da média aritmética dos índices relativos ao fósforo total e à clorofila-a.

De acordo com IGAM (2017) após o cálculo são encontradas as classes conforme os limites de trofia apresentados no quadro 7.

Quadro 7 – Classificação de Estado Trófico para Rios

| **Descrição** | **Faixa** | **Cor indicadora** |
|---|---|---|
| Ultraoligotrófico | IET ≤ 47 | Azul |
| Oligotrófico | 47 < IET ≤ 52 | Verde |
| Mesotrófico | 52 < IET ≤ 59 | Amarelo |
| Eutrófico | 59 < IET ≤ 63 | Laranja |
| Supereutrófico | 63 < IET ≤ 67 | Vermelho |
| Hipereutrófico | IET > 67 | Rocho |

Fonte: INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS, 2017

As características principais das classes de estado trófico são apresentadas conforme o quadro 8:

Quadro 8 – Classes de Estado Trófico e suas Características

| Valor do IET | Classes de Estado Trófico | Características |
|---|---|---|
| 47 | Ultraoligotrófico | Corpos d'água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam em prejuízos aos usos da água. |
| 47<IET= 52 | Oligotrófico | Corpos d'água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, decorrentes da presença de nutrientes. |
| 52 < IET ≤ 59 | Mesotrófico | Corpos d'água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos. |
| 59 < IET ≤ 63 | Eutrófico | Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos. |
| 63 < IET ≤ 67 | Supereutrófico | Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem com freqüência alterações indesejáveis na qualidade da água, como a ocorrência de episódios florações de algas, e interferências nos seus múltiplos usos |
| > 67 | Hipereutrófico | Corpos d'água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a episódios florações de algas ou mortandades de peixes, com conseqüências indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas. |

Fonte: Lamparelli, 2004

### 2.2.4 Índice de Qualidade das Águas do Canadian Council of Ministers of the Environment – IQA-CCME

O Índice de Qualidade das Águas Canadian Council of Ministers of the Environment (IQA-CCME) foi criado no Canadá em 2001 por uma subcomissão técnica formada por representantes do Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) e Water Quality Task Group. Eles se basearam em uma ferramenta já utilizada pela British Columbia Ministry of Environment, desde 1996. A proposta do IQA-CCME se deu com o intuito de sintetizar os

dados gerados pelos relatórios de monitoramento da qualidade das águas do Canadá. Atualmente, essa ferramenta é utilizada por várias jurisdições no programa de indicadores de sustentabilidade ambiental do Canadá (CCME, 2001a).

O IQA-CCME é formado por três fatores: Alcance, Frequência e Amplitude. A integração desses fatores, após um artifício matemático, produzirá um número entre 0 (pior qualidade da água) e 100 (melhor qualidade da água).

Os cálculos dos fatores Alcance e Frequência são relativamente diretos, já o cálculo da Amplitude requer algumas etapas adicionais (CCME, 2001a).

O Alcance (F1) representa o percentual de variáveis não conformes com os seus padrões, pelo menos uma vez durante o período considerado, em relação ao número total de parâmetros medidos (CCME, 2001a; CCME, 2001b). O cálculo é realizado conforme a equação 1:

$$F1 = \left(\frac{nº\ de\ parâmetros\ não\ conformes}{nº\ total\ de\ parâmetros}\right)\ x\ 100 \qquad (4)$$

A Frequência (F2) representa a porcentagem de testes individuais não conformes (CCME, 2001a; CCME, 2001b). Abaixo segue a equação 2 utilizada para o cálculo da frequência:

$$F2 = \left(\frac{nº\ de\ testes\ não\ conformes}{nº\ total\ de\ testes}\right)\ x\ 100 \qquad (5)$$

A Amplitude (F3) representa a quantidade pela qual os valores dos testes não conformes não alcançaram o padrão estabelecido. É calculada em três etapas: Discrepâncias (Δ), Soma Normalizada das Discrepâncias ($\Sigma n\Delta$), e cálculo da Amplitude (CCME, 2001a; CCME, 2001b):

a) Discrepâncias (Δ) – a discrepância representa o valor em que uma concentração individual é maior (quando o limite é máximo) ou menor (quando o limite é mínimo) do que o valor padrão (CCME, 2001a; CCME, 2001b). É expressa conforme a equação 3 (utilizada quando o valor da análise excede o padrão) e a equação 4 (para os casos em que acontece de o valor da análise ser inferior ao padrão):

$$Discrepância = \left(\frac{Valor\ da\ análise\ não\ conforme}{Padrão}\right) - 1 \qquad (6)$$

$$Discrepância = \left(\frac{Padrão}{Valor\ da\ análise\ não\ conforme}\right) - 1 \qquad (7)$$

b) Soma normalizada das discrepâncias (nse) – é calculada a partir da soma dos valores individuais das discrepâncias obtidas por meio das equações 3 e/ou 4. Posteriormente, dividi-se o resultado pelo número total de testes (CCME, 2001a; CCME, 2001b):

$$nse = \frac{\sum_{i=1}^{n} discrepância}{nº\ total\ de\ testes} \quad (8)$$

c) Amplitude (F3) – é calculada por uma função assintótica, a qual escalona a soma normalizada das discrepâncias para obter uma variação entre 0 e 100 (CCME, 2001a; CCME, 2001b).

$$F3 = \left(\frac{nse}{0{,}01\ nse + 0{,}01}\right) \quad (9)$$

O IQA CCME é calculado utilizando-se a soma de F1, F2 e F3 ao quadrado, ou seja, como se eles fossem vetores visto que, a soma dos quadrados de cada fator é igual ao quadrado do índice. Dessa forma, o índice é tratado como um espaço tridimensional definido por cada um dos fatores ao longo de um eixo. Com este modelo, as mudanças no índice ocorrerão em proporção direta com alteração nos três fatores (CCME, 2001a; CCME, 2001b):

$$IQA - CCME = 100 - \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2\ F3^2}}{1{,}732} \quad (10)$$

O valor 1,732 normaliza o valor resultante para um número entre 0 e 100. Essa faixa, de 0 a 100, é relacionada a cinco categorias: excelente, boa, mediana, marginal e ruim (Quadro 9, CCME, 2001b).

Quadro 9 – Faixas de classificação do IQA CCME

| Categoria | Faixa de valor | Descrição |
|---|---|---|
| Excelente | 95 – 100 | Condições muito próximas às naturais |
| Boa | 80 – 94 | Condições que raramente se afastam das condições naturais |
| Mediana | 65 – 79 | Condições que eventualmente se afastam das condições naturais |
| Marginal | 45 – 64 | Condições que frequentemente se afastam das condições naturais |
| Ruim | 0 – 44 | Condições que sempre ou quase sempre se afastam das condições naturais |

Fonte: CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT, 2001b.

Esse índice é flexível quanto ao tipo e à quantidade máxima de parâmetros de qualidade da água a ser avaliados. Para o seu cálculo é recomendado o mínimo de quatro parâmetros, monitorados em pelo menos quatro campanhas de amostragens. Além disso, o índice não se limita ao período de aplicação ou ao tipo de corpo d'água podendo ser aplicado em rios, lagos, mares ou até mesmo em águas subterrâneas (CCME, 2001b).

A definição de quais e quantos parâmetros serão incorporados ao índice deve ser realizada por profissionais que conheçam o histórico da qualidade das águas do corpo hídrico que é objeto do estudo. A qualidade do curso d'água em que será aplicado o índice pode ser definido por um ou mais pontos de amostragem sendo que, quanto mais pontos forem utilizados, mais assertivas serão as conclusões e, caso se opte pela utilização individual de cada estação de coleta, deve-se haver disponibilidade de dados suficientes (CCME, 2001a).

A escolha do período de tempo que será contemplado pelo cálculo depende da quantidade de dados disponíveis, bem como dos requisitos de comunicação estabelecidos. Dados de anos diferentes, por exemplo, podem ser utilizados para comparar o comportamento da qualidade das águas entre um ano e outro (CCME, 2001a).

## 2.3 A Bacia Hidrográfica do Ribeirão da Mata

A bacia hidrográfica do Ribeirão da Mata é uma das mais importantes Unidades Territoriais Estratégicas (UTEs) da bacia hidrográfica do Rio das Velhas que, por sua vez, é um dos principais afluentes do Rio São Francisco em Minas Gerais (LAVARINI, 2012).

Torres et al. (2016) citam que essa bacia é um patrimônio espeleológico e paleontológico de destaque internacional, devido à apresentação de feições cársticas, tais como maciços, dolinas, uvalas, grutas e paredões.

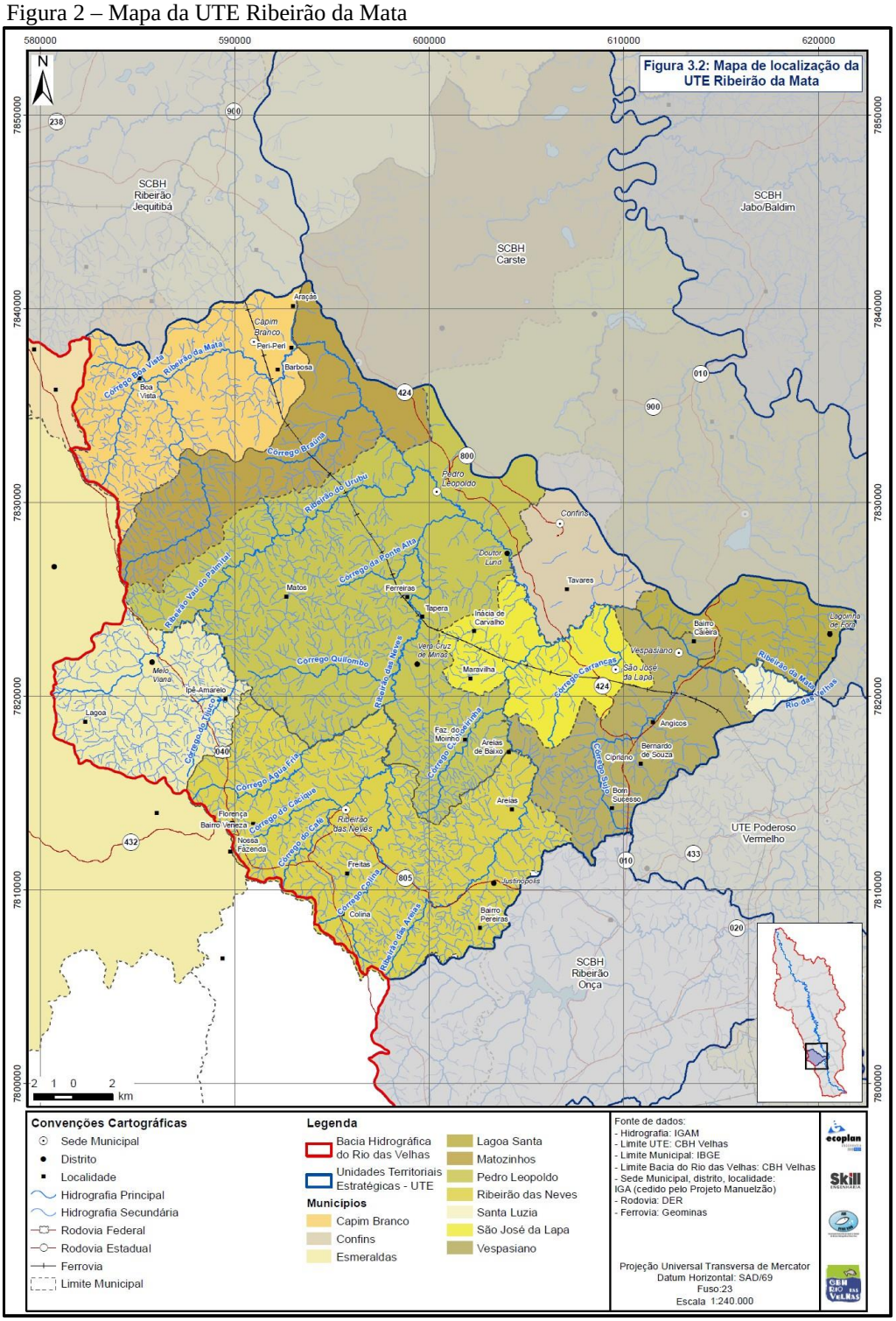
O Ribeirão da Mata possui sua nascente no pico da Roseira, localizado no município de Matozinhos, Minas Gerais. Percorre ainda outros seis municípios na seguinte ordem: Capim Branco, volta a Matozinhos, segue para Pedro Leopoldo e, posteriormente, Confins, São José da Lapa, Vespasiano e, por fim, Santa Luzia, onde deságua na margem esquerda do Rio das Velhas (NUNES e GARCIA, 2006).

A bacia hidrográfica compreende ainda os municípios de Lagoa Santa, Ribeirão das Neves e Esmeraldas, todos pertencentes à região metropolitana de Belo Horizonte (figura 01) (TORRES et al, 2016). Totaliza uma área de drenagem de 786,84 km² e o comprimento do rio principal é de 80,44 km (ECOPLAN/SKILL, 2015).

Ao longo do seu percurso sinuoso, o Ribeirão da Mata recebe ainda contribuição de seis afluentes: Córrego Boa Vista, Córrego Braúna, Ribeirão Urubu, Ribeirão das Neves, Ribeirão das Areias e Córrego Carrancas (CONCREMAT, 2009).

Ainda de acordo com Concremat (Op. Cit.), compõem a mencionada sub-bacia as unidades de conservação: Área de Proteção Ambiental (APA) Carste de Lagoa Santa, o Parque Estadual do Sumidouro e a Área de Proteção Especial (APE) do Entorno do Aeroporto de Confins. A figura 2 apresenta o mapa da UTE Ribeirão da Mata.

Figura 2 – Mapa da UTE Ribeirão da Mata




Fonte: Consórcio Ecoplan/Skill, 2015.

Sobre a disponibilidade hídrica, em termos de águas superficiais, o Ribeirão da Mata apresenta uma vazão média de longo período ($Q_{mlp}$) de 9,31 $m^3 s^{-1}$ da nascente até a sua foz, (ECOPLAN/SKILL, 2015). A Tabela 1 apresenta todos valores de disponibilidade hídrica da UTE.

Tabela 1 – Disponibilidade hídrica da UTE Ribeirão da Mata

| Área (km²) | $Q_{mlp}$ | | $Q_{90}$ | | $Q_{95}$ | | $Q_{7,10}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $m^3 s^{-1}$ | $L s^{-1}.km^{-2}$ | $m^3 s^{-1}$ | $L s^{-1}.km^{-2}$ | $m^3 s^{-1}$ | $L s^{-1}.km^{-2}$ | $m^3 s^{-1}$ | $L s^{-1}.km^{-2}$ |
| 786,84 | 9,31 | 11,84 | 2,64 | 3,36 | 2,23 | 2,84 | 1,57 | 1,99 |

Notas: A $Q_{mlp}$ representa a média das vazões diárias de cada ano, extraídas das séries históricas da estação fluviométrica. As vazões $Q_{90}$e $Q_{95}$ representam a probabilidade de 90% e 95%, respectivamente, de as vazões serem igualadas ou superadas no tempo. A vazão $Q_{7,10}$ corresponde a vazão mínima observada em 7 dias consecutivos e tempo de retorno de dez anos.
Fonte: Consórcio Ecoplan/Skill, 2015.

A UTE Ribeirão da Mata apresenta dois sistemas de aquíferos predominantes: fissurado em rochas cristalinas e filiação granítica – que cobre 74 % da área e apresenta vazões médias de 1,263 $m^3 h^{-1} m^{-1}$ – e cárstico fissurado, com vazões que variam entre 0,043 a 1695 $m^3 h^{-1} m^{-1}$ (ECOPLAN/SKILL, *Op. Cit.*).

No que diz respeito à área e demografia a tabela 2 apresenta os dados do Censo de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Tabela 2 – Área e Demografia da UTE Ribeirão da Mata

| Área (km²) | População total (hab) | | População Urbana (hab) | | População Rural (hab) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pessoas | % | Pessoas | % | Pessoas | % |
| 786,84 | 500.743 | 100 | 481.423 | 96,1 | 19.320 | 3,9 |

Fonte: IBGE, 2010.

Nunes e Garcia (2006) classificam a vegetação predominante por região na UTE Ribeirão da Mata, sendo que na região nordeste há a chamada mata seca – vegetação de mata fechada e árvores altas, a sudeste é uma área de cerrado – árvores espaçadas, arbustos e gramíneas.

Cabe ressaltar que a região tem enfrentado diversos problemas de degradação ambiental, tais como o assoreamento, a destruição da paisagem natural, a poluição dos cursos d'água por esgotos domésticos e industriais não tratados, entre outros. Alves et al. (2009) consideram que somente próximo à nascente o Ribeirão da Mata apresenta-se nas condições desejáveis em relação à qualidade de suas águas.

## 2.4 Monitoramento da Qualidade das Águas do Ribeirão da Mata - Programa Águas de Minas

O Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) é o órgão gestor do Sistema Estadual de Recursos Hídricos em Minas Gerais (SEGRH-MG) e, no que lhe concerne ao monitoramento quali-quantitativo dos recursos hídricos, desde 1997, quando desenvolveu o Programa Águas de Minas, realiza o monitoramento e disponibiliza uma série de dados sobre a qualidade das águas de estado de Minas Gerais (IGAM, 2018).

De acordo com IGAM (*Op. Cit.*) o monitoramento das águas visa o conhecimento da situação da qualidade e quantidade das águas e o seu comportamento espacial e temporal.

> Os principais objetivos desse programa de monitoramento são conhecer e avaliar as condições da qualidade das águas superficiais em Minas Gerais, divulgar a situação de qualidade das águas para os usuários e apoiar o estabelecimento de metas de qualidade, fornecer subsídios para o planejamento da gestão dos Recursos Hídricos, verificar a efetividade de ações de controle ambiental implementadas e propor prioridades de atuação. (IGAM, 2015 p.09).

O Programa Águas de Minas possui 600 estações de amostragem de águas superficiais distribuídas nas bacias hidrográficas dos rios São Francisco, Grande, Doce, Paranaíba, Paraíba do Sul, Mucuri, Jequitinhonha, Pardo, Buranhém, Itapemirim, Itabapoana, Itanhém, Itaúnas, Jucuruçu, Peruípe, São Mateus e Piracicaba/Jaguari (IGAM, 2017).

No monitoramento, as campanhas de amostragem são trimestrais com um total anual de 4 campanhas para a maioria das estações. Dessas 4, há 2 campanhas ditas completas e 2 campanhas intermediárias. As denominadas completas são realizadas uma nos meses de janeiro, fevereiro ou março e a outra nos meses de julho, agosto e setembro, que são considerados, respectivamente, como períodos chuvoso e de seca. As campanhas intermediárias são realizadas também em dois períodos, considerados períodos de transição. Dessas, uma ocorre nos meses de abril, maio ou junho e a outra nos meses de outubro, novembro ou dezembro (IGAM, 2017).

No Quadro 10 estão apresentados todos os parâmetros monitorados pelo Programa Águas de Minas.

Quadro 10 – Parâmetros de qualidade das águas avaliados pelo Programa Águas de Minas.

| | | |
|---|---|---|
| Alcalinidade | Cromo Total | Nitrogênio Amoniacal Total |
| Alcalinidade Total | Demanda Química de Oxigênio – DQO | Nitrogênio Orgânico |
| Alumínio Dissolvido | Densidade de Cianobactérias | Óleos e Graxas |
| Arsênio Total | Dureza (Cálcio) | Oxigênio Dissolvido - OD* |
| Bário Total | Dureza (Magnésio) | pH *in loco** |
| Bicarbonato | Dureza total | Potássio |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO* | *Escherichia coli* * | Selênio Total |
| Boro Total | Estreptococos Fecais | Sódio |
| Cádmio Total | Fenóis Totais | Sólidos Dissolvidos* |
| Cálcio | Feoftina* | Sólidos em Suspensão* |
| Chumbo Total | Ferro Dissolvido | Sólidos Totais* |
| Cianeto Livre | Fósforo Total* | Substâncias tensoativas |
| Cloreto Total* | Magnésio Total | Sulfatos |
| Clorofila a* | Manganês Total | Sulfetos |
| Cobre Dissolvido | Mercúrio Total | Temperatura da Água* |
| Coliformes Totais* | Níquel Total | Temperatura do Ar* |
| Condutividade Elétrica in loco* | Nitrato* | Turbidez* |
| Cor Verdadeira | Nitrito | Zinco Total |

Nota: Os parâmetros destacados por "*" são comuns a todos os pontos nas campanhas intermediárias.
Fonte: INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS, 2017.

Nas campanhas completas são analisados todos os 54 parâmetros do quadro 1. Nas campanhas de transição são determinados apenas 19 parâmetros: cloreto total, clorofila a, coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, coliformes totais, condutividade elétrica *in situ*, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), feofitina, fósforo total, nitrato, nitrogênio amoniacal total, oxigênio dissolvido (OD), pH *in situ*, sólidos dissolvidos, sólidos em suspensão, sólidos totais, temperatura da água/ar e turbidez (IGAM, 2017).

Das 600 estações de monitoramento existentes no estado de Minas Gerais, 8 delas estão localizadas na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão da Mata. Dessas, as estações denominadas Baixo Velhas (BV)130, Saneamento e Cidadania (SC)17, SC21, SC22 e SC23 estão localizadas no próprio Ribeirão da Mata. Já a estação BV160 fica situada no Ribeirão das Neves. Por fim, aquelas denominadas SC12 e SC13 estão no Ribeirão Areias, afluente do Ribeirão da Mata.

Através dos dados de monitoramento, o IGAM calcula os índices: IQA-NSF, CT, IET, BMWP, apresenta os resultados dos indicadores biológicos: Densidade de Cianobactérias e Ensaios Ecotoxicológicos e ainda disponibiliza o Panorama da Qualidade das Águas e a Avaliação da Conformidade ao Enquadramento (IGAM, 2017).

Para todas as estações de amostragem do estado de Minas Gerais são apresentados o Panorama da Qualidade das Águas, a Análise de Conformidade à Legislação e os resultados dos índices IQA, IET e CT(IGAM, 2017).

O índice BMWP é realizado em apenas 38 estações de amostragem,todas localizadas ao longo da bacia hidrográfica do Rio das Velhas (IGAM, 2017). Apesar do Ribeirão da Mata fazer parte da bacia do Rio das Velhas, não foi verificado o uso desse índice para as suas estações de amostragem.

No caso dos Ensaios Ecotoxicológicos esses, são realizados em 195 das 600 estações de amostragem do estado de Minas Gerais (IGAM, 2017). As estações de amostragem BV130 e BV160, localizadas na sub-bacia Ribeirão da Mata, são dois desses 195 pontos de monitoramento.

Não foram verificados resultados da Densidade de Cianobactérias para as estações de amostragem e períodos contemplados pelo presente estudo. De acordo com IGAM (*Op. Cit*.) a avaliação da presença de cianobactérias é realizada em 190 estações de monitoramento prioritárias em locais onde predominam condições propícias à floração de cianobactérias.

## 2.5 Enquadramento de Corpos d'Água no Estado de Minas Gerais e na Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão da Mata

A Deliberação Normativa (DN) do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) e do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) nº 01 de 2008 estabelece os critérios para classificação e enquadramento dos corpos d'água no Estado de Minas Gerais, além disso determina condições e padrões para o lançamento de efluentes em corpos d'água.

A classificação da qualidade das águas é definida como uma qualificação em função dos seus usos preponderantes e da integridade ecológica do ambiente aquático gerando assim a classe de qualidade para os corpos hídricos (COPAM-CERH, 2008).

COPAM-CERH (2008) definem ainda o termo condição de qualidade. Trata-se da qualidade da água apresentada em escala temporal e espacial (segmento do corpo d'água) baseada nas classes de qualidade.

Já o enquadramento é definido como um instrumento de gestão dos recursos hídricos, o qual estabelece a classe de qualidade das águas como meta ou objetivo que deverá ser obrigatoriamente alcançado ou mantido (COPAM-CERH, 2008). Na bacia hidrográfica do Rio

das Velhas, a qual o Ribeirão da Mata constitui sub-bacia, o enquadramento foi instituído pela DN COPAM nº 20 de 24 de junho de 1997 e ainda é o que prevalece (ECOPLAN-SKILL, 2015).

Abaixo está apresentado o Quadro 11 que detalha o enquadramento de cada trecho da sub-bacia do Ribeirão da Mata. Todos os trechos do Ribeirão da Mata são enquadrados como classes 1 e 2 para ambientes lóticos da DN COPAM-CERH nº 01 de 2008.

Quadro 11 – Enquadramento dos trechos dos corpos d'água na sub-bacia do Ribeirão da Mata

| **Trecho** | **Classe** |
|---|---|
| Ribeirão da Mata, das nascentes até a confluência com o córrego Araçás, inclui-se o córrego Boa Vista | Classe 1 |
| Ribeirão da Mata, da confluência com o córrego Araçás até a confluência com o Rio das Velhas incluem-se o córrego Braúna e os ribeirões das Neves e Areias | Classe 2 |
| Ribeirão Vau do Palmital/Ribeirão Urubu, das nascentes até a cachoeira do Urubu - incluem-se os córregos do Ipê Amarelo e Tijuco | Classe 1 |
| Ribeirão Vau do Palmital/Ribeirão Urubu, da cachoeira do Urubu até a confluência com o ribeirão da Mata e confluência com o Ribeirão das Neves | Classe 2 |
| Córrego do Quilombo, das nascentes até a confluência com o Ribeirão das Neves | Classe 1 |
| Córrego da Ponte Alta, das nascentes até a confluência com o Ribeirão das Neves | Classe 1 |

Fonte: CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL, 1997.

As águas classe 1 podem ser destinadas aos seguintes usos: abastecimento para consumo (após tratamento simplificado), proteção das comunidades aquáticas, recreação de contato primário, proteção das comunidades aquáticas e, por último, irrigação de hortaliças e frutas (COPAM-CERH, 2008).

Os usos definidos para a classe 2 são também o abastecimento para consumo humano, porém após tratamento convencional, a proteção das comunidades aquáticas, a recreação de contato primário, a irrigação de hortaliças, as plantas frutíferas e as áreas em que o público possa ter contato direto além de aquicultura e pesca (COPAM-CERH, 2008).

No que diz respeito às condições de qualidade das águas classe 1 e 2 COPAM-CERH (2008) estabelece parâmetros biológicos e físico-químicos. Esses parâmetros, assim como seus valores máximos permitidos para as classes 1 e 2, estão apresentados no Anexo A e serão utlizados posteriormente para o cálculo do IQA-CCME, conforme será detalhado mais a frente.

## 2.6 Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do Ribeirão da Mata

### 2.6.1 Uso e Ocupação do Solo

O Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas caracteriza o uso do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão da Mata dizendo que "Na UTE Ribeirão da Mata, 38,3% do uso do solo é representado por vegetação arbustiva, outros 32,7% pela agropecuária e 17,9% área urbana." (CBH Velhas, 2016, p. 05).

As atividades de serviços predominam na UTE Ribeirão da Mata concentrando a maior parte do Produto Interno Bruto (PIB) e, em segundo plano, aparece o setor industrial. O Quadro 12 apresenta o PIB de cada setor econômico por município e da UTE Ribeirão da Mata como um todo.

Quadro 12 – Valor estimado PIB (R$ mil) de cada setor econômico por município do Rio das Velhas e da UTE Ribeirão da Mata.

| Unidade territorial | PIB | Agropecuária | Indústria e Mineração | Serviços | Impostos |
|---|---|---|---|---|---|
| Capim Branco | 64.656 | 3.294 | 20.091 | 35.264 | 6.009 |
| Confins | 1.072.181 | 473 | 9.133 | 273.325 | 789.251 |
| Esmeraldas | 24.064 | 3.495 | 3.255 | 16.160 | 1.153 |
| Lagoa Santa | 129.887 | 563 | 38.259 | 73.298 | 17.767 |
| Matozinhos | 190.039 | 2.781 | 93.112 | 69.392 | 24.755 |
| Pedro Leopoldo | 190.039 | 2.781 | 93.112 | 69.392 | 24.755 |
| Ribeirão das Neves | 1.926.219 | 2.339 | 341.351 | 1.382.752 | 199.778 |
| Santa Luzia | 49.345 | 156 | 17.867 | 24.922 | 6.401 |
| São José da Lapa | 318.046 | 5.669 | 147.542 | 115.077 | 49.758 |
| Vespasiano | 1.314.176 | 725 | 555.661 | 546.388 | 211.402 |
| UTE Ribeirão da Mata | 5.875.148 | 33.310 | 1.570.517 | 2.853.200 | 1.418.120 |

Fonte: COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS, 2016, adaptado pela autora, 2019

Como é possível verificar, os municípios com maiores atividades agropecuárias são os municípios de São José da Lapa, Esmeraldas e Capim Branco. Os municípios de Vespasiano e Ribeirão das Neves se destacam pelos maiores números de indústrias e mineração. No caso do setor de serviços, novamente o município de Ribeirão das Neves se destaca de todos os demais.

Cabe destacar ainda a contribuição no pagamento de impostos no município de Confins que não apresentou maiores atividades em nenhum dos ramos apresentandos, no entanto, trata-

se do município onde fica localizado o principal aeroporto da região, fato esse que pode justificar tamanho valor no que diz respeito aos impostos da UTE Ribeirão da Mata.

Ainda com a finalidade de conhecer os usos do solo na UTE, o Diagnóstico Geral do PDRH do Rio das Velhas caracterizou o uso e cobertura do solo a partir de imagens de satélite e sistemas de georreferenciamento. Dessa maneira, concluiu-se que as classes de uso antrópico, dividas entre agropecuária, queimada, mineração e área urbana, abrangem 52,7% da superfície da bacia hidrográfica (ECOPLAN-SKILL, 2015). O Quadro 13 apresenta esse levantamento.

Quadro 13 – Distribuição das principais Classes de Uso do Solo na UTE Ribeirão da Mata

| **Classe** | **Área (km²)** | **Porcentagem da área da UTE** |
|---|---|---|
| Vegetação Arbustiva | 301,2 | 38,28% |
| Vegetação Arbórea | 68,06 | 8,65% |
| Hidrografia | 2,89 | 0,37% |
| Agropecuária | 257,23 | 32,69% |
| Silvicultura | 1,54 | 0,20% |
| Queimada | 10,58 | 1,34% |
| Mineração | 4,76 | 0,60% |
| Área Urbana | 140,59 | 17,87% |
| TOTAL | 786,85 | 100% |

Fonte: Consórcio Ecoplan/Skill, 2015

A partir do quadro a cima também é possível verificar que a vegetação, seja ela arbustiva ou arbórea, ocupa cerca de 47 % do território da UTE Ribeirão da Mata, enquanto que os rios respresentam apenas 0,37 % do território. Entre as atividades antrópicas destacam-se a agropecuária, ocupando cerca de 33 %, e a área urbana, 18 % do total da área.

### 2.6.2 Potenciais Fontes de Contaminação

Em virtude da sua proximidade com centros industriais e urbanos, o Ribeirão da Mata recebe diariamente diversos tipos de poluentes que comprometem a sua qualidade (TORRES et al., 2012).

Em seu relatório anual 2017 de qualidade das águas o IGAM aponta os fatores de pressão antrópicos de cada estação de monitoramento conforme demonstra o Quadro 14.

Quadro 14 – Fatores de pressão antrópica das estações de monitoramento localizadas na UTE Ribeirão da Mata.

| **Estação de monitoramento** | **Curso d'água** | **Fator de pressão** |
|---|---|---|
| SC 17 | Ribeirão da Mata | Lançamento de esgotos sanitários de Ribeirão das Neves, Pedro Leopoldo e Vespasiano |
| SC 21 | Ribeirão da Mata | Efluentes de Pedro Leopoldo e Ribeirão das Neves |
| SC 22 | Ribeirão da Mata | Efluentes domésticos do município de Capim Branco |
| SC 23 | Ribeirão da Mata | Lançamento de efluente de indústria têxtil a montante da estação |
| BV 130 | Ribeirão da Mata | Lançamento de esgotos domésticos (Matozinhos, Vespasiano, Ribeirão das Neves, Pedro Leopoldo), lançamento de efluentes industriais (abate de animais, laticínios) |
| BV 160 | Ribeirão das Neves | Lançamento de esgotos domésticos (Ribeirão das Neves, Pedro Leopoldo) e de efluente industrial (indústrias de bebidas, têxteis, curtume, laticínios) |
| SC 12 | Ribeirão Areias | Carga difusa |
| SC 13 | Ribeirão Areias | Lançamento de esgoto doméstico de alguns bairros do município de Ribeirão das Neves |

Fonte: INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS, 2017, adaptado pela autora, 2019.

A maior potencial fonte de poluição do Ribeirão da Mata, denominada no quadro 14, como fator de pressão, é o lançamento de esgostos domésticos provenientes da maior parte dos municípios dessa UTE. No entanto, deve-se considerar também a existência de diversos ramos industriais na região.

# 3. METODOLOGIA

O desenvolvimento do trabalho foi baseado nos dados de monitoramento das águas realizado pelo IGAM e nos resultados dos índices de qualidade das águas IQA-NSF, IET e CT das estações de monitoramento localizadas na bacia hidrográfica do Ribeirão da Mata.

Os dados dos parâmetros monitorados e dos índices de qualidade foram obtidos a partir de planilhas Excel e dos relatórios da qualidade das águas, ambos gerados trimestralmente e anualmente pelo próprio IGAM. Essas informações são disponibilizadas por meio do portal Infohidro – base de dados de qualidade das águas disponibilizados à sociedade pelo IGAM.

A aplicação do IQA-CCME foi realizada com os dados do monitoramento referentes aos anos de 2016 a 2018, sendo que esse intervalo foi subdividido em dois. O primeiro foi o período referente ao ano de 2016, para esse ano há relatórios de monitoramento nos meses de janeiro, abril, julho e outubro, totalizando 4 campanhas de amostragem. O segundo intervalo compreendeu os anos de 2017 e 2018, uma vez que em 2017 só foram feitas 3 amostragens, número insuficiente para a aplicação do IQA-CCME. As amostragens nesse segundo período se deram nos meses de janeiro, julho e outubro de 2017 e janeiro, abril, julho e outubro de 2018 sendo efetuadas 7 campanhas de amostragem.

Optou-se pela subdivisão dos dados entre os anos de 2016 e 2017 a 2018 com a finalidade de comparar e identificar possíveis evoluções ou retrocessos na qualidade das águas entre esses períodos.

Até a data de aplicação desses dados à pesquisa, não foram encontrados disponíveis os relatórios trimestrais referentes ao segundo trimestre do ano de 2016, segundo trimestre do ano de 2017 e terceiro e quarto trimestres do ano de 2018 além do relatório anual de 2018.

Sendo assim, como resultados dos índices aplicados pelo IGAM foi realizada a média dos relatórios disponíveis para os períodos delimitados na realização da pesquisa (2016 e 2017/2018).

As análises críticas e comparativas foram realizadas entre o IQA-CCME e os índices de qualidade das águas monitorados pelo IGAM e que possuem resultados apresentados para todas as estações de amostragem localizadas no Ribeirão da Mata: IQA-NSF, CT e IET.

Esse estudo tem a intenção de avaliar a qualidade da águas do Ribeirão da Mata e os índices utilizados pelo IGAM com base nos parâmetros cujos limites são definidos pela Deliberação Normativa COPAM nº 01 de 2008. O índice BMWP, além de não possuir resultados de aplicação para as estações de amostragem do estudo, trata-se de um índice que

utiliza como parâmetros as famílias de macroinvertebrados bentônicos expostos à poluição orgânica e, portanto, não foi utilizado.

Incialmente foi realizada a seleção de parâmetros para o cálculo do IQA-CCME. Para tanto, foram escolhidos os parâmetros analisados pelo Programa Águas de Minas - cujos limites máximos permitidos são estabelecidos pela DN Copam nº 01 de 2008 – para cursos d'água classes 1 e 2. As variáveis verificadas pelo programa e que não são mencionadas na legislação não foram incluídas nos cálculos, uma vez que não há limite para as mesmas, condição sem a qual não se pode calcular o IQA-CCME. O Quadro 15 apresenta as variáveis selecionadas e seus respectivos Valores Máximos Permitidos (VMPs).

Quadro 15 – Parâmetros selecionados para o cálculo do IAQA-CCME e seus respectivos valores máximos permitidos (VMPs) segundo a COPAM (2008) (continua)

| **Parâmetro** | **Valor Máximo Permitido (VMP)** |
|---|---|
| 2,4,6-Triclorofenol | 0,01 mg/L |
| Aldrin + Dieldrin | 0,005 µg/L |
| Alumínio dissolvido | 0,1 mg/L Al |
| Arsênio total | 0,01 mg/L As |
| Atrazina | 2 µg/L |
| Bário total | 0,7 mg/L Ba |
| Boro total | 0,5 mg/L B |
| Cádmio total | 0,001 mg/L Cd |
| Chumbo total | 0,01mg/L Pb |
| Cianeto livre | 0,005 mg/L CN |
| Clordano (cis + trans) | 0,04 µg/L |
| Cloreto total | 250 mg/L Cl |
| Clorofila *a* | 10 mg/L (classe 1)<br>30 mg/L (classe 2) |
| Cobre dissolvido | 0,009 mg/L Cu |
| Coliformes termotolerantes | 200 coliformes termotolerantes/100 mL (classe 1)<br>1000 coliformes termotolerantes/100 mL (classe 2) em 80% ou mais de amostras pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com freqüência bimestral |
| Cor verdadeira | nível de cor natural do corpo de água em mg Pt/L(classe 1)<br>75 mg Pt/L (classe 2) |
| Cromo total | 0,05 mg/L Cr |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), 5 dias a 20°C | até 3 mg/L $O_2$ |
| DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD) | 0,002 µg/L |
| Densidade de cianobactérias | 20.000 cel/mL ou 2 $mm^3$/L (classe 1)<br>50.000 cel/mL ou 5 $mm^3$/L ( classe 2) |
| Endossulfan (α + β + sulfato) | 0,056 µg/L |
| Endrin | 0,004 µg/L |
| Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-amino antipirina) | 0,003 mg/L $C_6H_5OH$ |

Quadro 15 – Parâmetros selecionados para o cálculo do IAQA-CCME e seus respectivos valores máximos permitidos (VMPs) segundo a COPAM (2008) (conclusão)

| Parâmetro | Valor Máximo Permitido (VMP) |
|---|---|
| Ferro dissolvido | 0,3 mg/L Fe |
| Fósforo total (ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários) | 0,1 mg/L P |
| Heptacloro epóxido + Heptacloro | 0,01 µg/L |
| Hexaclorobenzeno | 0,0065 µg/L |
| Lindano (γ-HCH) | 0,02 µg/L |
| Manganês total | 0,1 mg/L Mn |
| Mercúrio total | 0,0002 mg/L Hg |
| Metoxicloro | 0,03 µg/L |
| Níquel total | 0,025 mg/L Ni |
| Nitrato | 10,0 mg/L N |
| Nitrito | 1,0 mg/L N |
| Nitrogênio amoniacal total | 3,7 mg/L N, para pH <7,5<br>2,0 mg/L N, para 7,5 < pH £ 8,0<br>1,0 mg/L N, para 8,0 < pH £ 8,5<br>0,5 mg/L N, para pH >8,5 |
| Oxigênio Dissolvido | não inferior a 3 mg/L $O_2$ (classe 1)<br>5 mg/L $O_2$ (classe 2) |
| pH | 6 a 9 |
| Pentaclorofenol | 0,009 mg/L |
| Selênio total | 0,01 mg/L Se |
| Simazina | 2,0 µg/L |
| Sólidos dissolvidos totais | 500 mg/L |
| Sólidos em suspensão totais | 50 mg/L (classe 1)<br>100 mg/L (classe 2) |
| Substâncias tensoativas que reagem com o azul de metileno | 0,5 mg/L LAS |
| Sulfato total | 250 mg/L $SO_4$ |
| Sulfeto ($H_2S$ não dissociado) | 0,002 mg/L S |
| Trifluralina | 0,2 µg/L |
| Turbidez | 40 UNT (classe 1)<br>100 UNT (classe 2) |
| Zinco total | 0,18 mg/L Zn |

Fonte: A Autora, 2019

O parâmetro coliformes termotolerantes foi subtituído por *E. Coli*, pois o primeiro não é monitorado pelo IGAM. Essa alteração é prevista e permitida pela DN COPAM-CERH nº 01 de 2008, observando-se os mesmos limites.

Algumas variáveis que são mencionadas pela DN Copam nº 01 de 2008 não foram incluídas nos cálculos do IQA CCME por não fazer parte do Programa Águas de Minas. Esses parâmetros estão apresentados a seguir no Quadro 16.

Quadro 16 – Parâmetros da DN COPAM nº 01 de 2008 não analisados pelo Programa Águas de Minas

| Parâmetros | Valores máximos permitidos |
|---|---|
| 1,1-Dicloroeteno | 0,003 mg/L |
| 1,2-Dicloroetano | 0,01 mg/L |
| 2,4,5–T | 2,0 µg/L |
| 2,4,5-TP | 10,0 µg/L |
| 2,4–D | 4,0 µg/L |
| 2,4-Diclorofenol | 0,3 µg/L |
| 2-Clorofenol | 0,1 µg/L |
| Acrilamida | 0,5 µg/L |
| Alacloro | 20 µg/L |
| Antimônio | 0,005mg/L Sb |
| Benzeno | 0,005 mg/L |
| Benzidina | 0,001 µg/L |
| Benzo(a)antraceno | 0,05 µg/L |
| Benzo(a)pireno | 0,05 µg/L |
| Benzo(b)fluoranteno | 0,05 µg/L |
| Benzo(k)fluoranteno | 0,05 µg/L |
| Berílio total | 0,04 mg/L Be |
| Carbaril | 0,02 µg/L |
| Cloro residual total (combinado + livre) | 0,01 mg/L Cl |
| Cobalto total | 0,05 mg/L Co |
| Criseno | 0,05 µg/L |
| Demeton (Demeton-O + Demeton-S) | 0,1 µg/L |
| Glifosato | 65 µg/L |
| Gution | 0,005 µg/L |
| Lítio total | 2,5 mg/L Li |
| Malation | 0,1 µg/L |
| Metolacloro | 10 µg/L |
| Paration | 0,04 µg/L |
| PCBs - Bifenilas policloradas | 0,001 µg/L |
| Tetracloreto de carbono | 0,002 mg/L |
| Tetracloroeteno | 0,01 mg/L |
| Tolueno | 2,0 µg/L |
| Toxafeno | 0,01 µg/L |
| Tributilestanho | 0,063 µg/L TBT |
| Triclorobenzeno (1,2,3-TCB + 1,2,4-TCB) | 0,02 mg/L |
| Tricloroeteno | 0,03 mg/L |
| Urânio total | 0,02 mg/L U |
| Vanádio total | 0,1 mg/L V |
| Xileno | 300 µg/L |
| Dibenzo(a,h)antraceno | 0,05 µg/L |
| Diclorometano | 0,02 mg/L |
| Dodecacloro pentaciclodecano | 0,001 µg/L |
| Estireno | 0,02 mg/L |
| Etilbenzeno | 90,0 µg/L |
| Indeno(1,2,3-cd)pireno | 0,05 µg/L |
| Prata total | 0,01 mg/L Ag |
| Fluoreto total | 1,4 mg/L F |

Fonte: A Autora, 2019

Da mesma forma em que há parâmetros que constam na DN COPAM-CERH nº 01 de 2008 e que são faltantes no escopo de amostragens do Programa Águas de Minas, há também parâmetros que são analisados pelo programa mas que não constam na legislação que trata sobre a classificação dos corpos d’água mineiros. Esses, estão apresentados no Quadro 17.

Quadro 17 – Parâmetros não mencionados pela DN COPAM e analisados pelo Programa Águas de Minas

| | | |
|---|---|---|
| Alcalinidade de bicarbonato | Dureza de Cálcio | Ortofosfato |
| Alcalinidade total | Dureza de magnésio | Permetrina - cis + trans |
| Alumínio total | Dureza total | pH in loco |
| Arsênio Dissolvido | Ensaio ecotoxicológico | pH laboratório |
| Boro dissolvido | Escherichia coli | Potássio dissolvido |
| Cálcio total | Estanho total | Potássio total |
| Cianeto total | Estreptococos fecais | Precipitação |
| Cobre total | Feoftina a | Profundidade |
| Coliformes totais | Ferro total | Saxitoxina |
| Condição de tempo | Fluoreto ionizado | Sódio dissolvido |
| Condutividade elétrica in loco | Magnésio total | Sódio total |
| Condutividade elétrica laboratório | Microcistina | Sólidos sedimentáveis |
| Cromo hexavalente | Molinato | Sólidos totais |
| Cromo trivalente | Nitrogênio orgânico | Temperatura da água |
| Demanda Química de Oxigênio | Óleos e graxas | Temperatura do ar |
| Descarga Liquida | | |

Fonte: A Autora, 2019

Os relatórios de qualidade das águas apresentados pelo IGAM mencionam que os parâmetros Cloreto Total, Clorofila a, Coliformes Termotolerantes, *E.coli*, Coliformes Totais, Condutividade Elétrica *in loco*, Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO, Demanda Química de Oxigênio – DQO, Feofitina, Fósforo Total, Nitrato, Nitrogênio Amoniacal Total, Oxigênio Dissolvido – OD, pH *in loco*, Sólidos Dissolvidos, Sólidos em Suspensão, Sólidos Totais, Temperatura da Água/Ar e Turbidez são os únicos realizados também nas campanhas de transição, todos os demais, são realizados apenas nas campanhas considerados chuvosos e de estiagem. No entanto, foi verificado que nos anos de 2016, 2017 e 2018 além desses, as varáveis chumbo total, cobre dissolvido, cor verdadeira, fenóis totais, ferro dissolvido, fósforo total, nitrito, substâncias tensoativas e zinco total também foram analisados em todas as campanhas de amostragem e em todos os pontos da sub-bacia do Ribeirão da Mata.

Após a seleção dos parâmetros, o IQA-CCME foi aplicado para cada estação de amostragem com a finalidade de avaliar as condições da qualidade das águas perante as classes de enquadramanento de cada trecho do Ribeirão da Mata, segundo esse índice.

Cabe ressaltar que, sobre o enquadramento das águas da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, estabelecido pela Deliberaçao Normativa COPAM nº 20 de 1997, esse dispõe trechos classe 1 e trechos classe 2 para a sub-bacia hidrográfica do Ribeirão da Mata. No entanto, as planilhas trimestrais apresentadas pelo IGAM com os dados relativos aos resultados das

amostragens declara que todos os trechos do Ribeirão da Mata são classe 2. Para a realização desse trabalho, foram consideradas as classes de enquadramento previstas pela DN COPAM nº 20 de 1997.

Para a realização da análise comparativa entre os índices, o IQA-CCME foi calculado com os parâmetros utilizados pelo IQA-NSF e CT.

A obtenção dos resultados dos cálculos dos índices se deu por meio dos relatórios trimestrais e anuais gerados pelo IGAM e disponibilizados pelo portal Infohidro. Esses relatórios contém, dentre outras informações, os resultados dos índices de qualidade das águas para todas as estações de amostragem do Programa Águas de Minas no estado de Minas Gerais.

# 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 4.1 Avaliação da Qualidade da Água do Ribeirão da Mata com base nos Resultados do IQA-CCME por ponto de amostragem

A aplicação do IQA-CCME teve a finalidade de averiguar se os pontos de amostragem analisados estão em conformidade com o enquadramento das águas na sub-bacia do Ribeirão da Mata. Conforme foi apresentado no Quadro 18 – Enquadramento dos trechos dos corpos d'água na sub-bacia do Ribeirão da Mata - nessa sub-bacia há trechos classe 1 e classe 2, esses foram correlacionados às suas respectivas classes (Quadro 23).

Quadro 18 – Enquadramento das águas da sub-bacia do Ribeirão da Mata por pontos de amostragem

| Trecho | Ponto de Amostragem | Classe |
|---|---|---|
| Ribeirão da Mata, das nascentes até a confluência com o córrego Araçás, inclui-se o córrego Boa Vista | SC22 e SC23 | Classe 1 |
| Ribeirão da Mata, da confluência com o córrego Araçás até a confluência com o Rio das Velhas incluem-se o córrego Braúna e os Ribeirões das Neves e Areias | BV130, BV160, SC12, SC13 e SC17 | Classe 2 |
| Ribeirão Vau do Palmital/Ribeirão Urubu, da cachoeira do Urubu até a confluência com o Ribeirão da Mata e confluência com o Ribeirão das Neves | SC21 | Classe 2 |

Fonte: CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL, 1997 adaptado pela autora, 2019

A seguir estão apresentados os resultados da aplicação do IQA CCME por estação de amostragem para cada período de estudo:

Tabela 3 – Valores e Classificação IQA CCME das estações de amostragem do Ribeirão da Mata

| Estação | Descrição | Data de Amostragem | IQA CCME Valor | IQA CCME Categoria |
|---|---|---|---|---|
| SC22 | Ribeirão da Mata a montante da ETE Matozinhos | 2016 | 82,06 | Boa |
| | | 2017/2018 | 77,84 | Mediana |
| SC23 | Ribeirão da Mata a jusante da ETE Matozinhos | 2016 | 52,54 | Marginal |
| | | 2017/2018 | 64,66 | Marginal |
| SC12 | Ribeirão das Areias a montante do aterro sanitário de Ribeirão das Neves | 2016 | 89,89 | Boa |
| | | 2017/2018 | 87,44 | Boa |
| SC13 | Ribeirão das Areias a jusante do aterro sanitário de Ribeirão das Neves | 2016 | 61,49 | Marginal |
| | | 2017/2018 | 66,37 | Marginal |
| SC21 | Ribeirão da Mata a jusante da confluência com Ribeirão das Neves | 2016 | 61,80 | Marginal |
| | | 2017/2018 | 68,53 | Mediana |
| BV160 | Ribeirão das Neves próximo de sua foz no Ribeirão da Mata | 2016 | 57,54 | Marginal |
| | | 2017/2018 | 63,57 | Marginal |
| SC17 | Ribeirão da Mata a montante da ETE Vespasiano | 2016 | 67,89 | Mediana |
| | | 2017/2018 | 67,48 | Mediana |
| BV130 | Ribeirão da Mata próximo de sua foz no Rio das Velhas | 2016 | 61,22 | Marginal |
| | | 2017/2018 | 65,39 | Mediana |

NOTA: Os pontos de amostragem na tabela estão ordenados pelo fluxo do curso d'água, sendo a estação SC22 a mais próxima à nascente e a estação BV130 o ponto mais próximo da sua foz.
Fonte: A Autora, 2019

Para aplicação do IQA-CCME foram excluídos dois parâmetros analisados pelo programa Águas de Minas e previstos pela DN COPAM-CERH nº 01 de 2008: mercúrio e sulfeto. Os limites de detecção das medições de ambos são maiores que os limites máximos permitidos para essas variáveis de acordo com a DN COPAM-CERH nº 01 de 2008. Essa circunstância influenciaria negativamente os resultados finais obtidos, uma vez que não foi possível verificar se esses extrapolaram os limites e, caso posivitivo, o quanto - fatores relevantes para o cálculo do IQA-CCME. Sugere-se fortemente a adequação das metodologias empregadas de mercúrio e de sulfeto para que os limites de detecção sejam menores que os valores preconizados pela legislação e, dessa forma, ser possível avaliar a contaminação, ou não, por essas substâncias.

De acordo com os resultados obtidos, houve uma variação dos valores do IQA-CCME e, consequentemente, da classificação da qualidade das águas em cada estação de amostragem. Para a presente análise há também que se considerar que, de acordo com o fluxo do curso d'água, há estações que retratam a carga orgânica, mesmo que diluída, de estações localizadas à montante. Nesse sentido, isso ocorre com as estações: SC23 que fica à jusante da estação SC22, SC13 que fica à jusante da estação SC12, BV160 localizada à jusante da SC21. Já as

estações SC17 e BV130 recebem, nessa ordem, a carga poluidora de todas as estações de amostragem anteriores.

A seguir estão as análises dos resultados de cada uma das estações de amostragem.

As planilhas contendo os cálculos do IQA-CCME para avaliação da qualidade das águas no Ribeirão da Mata constam no Apêndice A.

### 4.1.1 Estação SC22

A estação SC22, classificada conforme seu enquadramento como classe 1, apresentou, respectivamente nos períodos de 2016 e 2017/2018 classificações boa e mediana.

De acordo com CCME (2001a; 200b) a categoria boa é descrita como ambientes aquáticos em que raramente suas condições de afastam das condições naturais e a categoria mediana trata-se de condições que eventualmente afastam-se das condições naturais. Em comparação às categorias das demais estações de monitoramento, a estação SC22 apresentou uma das melhores condições do percurso do Ribeirão da Mata, tal fato pode ser explicado por se tratar da estação mais próxima da sua nascente.

Em contrapartida, deve-se levar em conta que houve um decréscimo na pontuação obtida, visto que, em 2016 a estação SC22 apresentou-se na categoria boa e, em 2017/2018, na categoria mediana. A principal fonte de contaminação dessa estação, de acordo com o Plano Diretor de Recursos Hídricos (PDRH) do Rio das Velhas, é o lançamento de efluentes domésticos do município de Capim Branco. Dessa forma cabe uma avaliação, sobre os fatores que possam ter causado a piora na qualidade das águas entre os períodos analisados, tais como aumento da população aliada à uma possível falta de estações de tratamento de esgotos, menor incidência de chuvas, entre outros fatores.

Os resultados dos parâmetros avaliados nessa estação de amostragem permitiu evidenciar a fonte de contaminação informada pelo plano diretor – lançamento de efluentes domésticos - visto a ocorrência de diversas variáveis relacionadas ao lançamento de efluentes domésticos acima dos limites permitidos pela legislação. A Tabela 4 apresenta todos os valores dos parâmetros monitorados na estação de amostragem SC22.

O parâmetro *E. Coli*, um dos principais indicadores de contaminações por efluentes domésticos, foi o que apresentou maior ocorrência de testes não conformes e maiores

amplitudes na extrapolação dos limites máximos permitidos, evidenciando as contaminações por esgotos domésticos na estação SC22.

A ocorrência dos parâmetros DBO e fósforo total acima do LMP e o OD abaixo do LMP também são indicadores do lançamento carga poluidora de origem orgânica.

Houve também a ocorrência de outros parâmetros não conformes com a legislação e que não estão diretamente relacionados com cargas orgânicas: alumínio dissolvido, ferro dissolvido e manganês total. Esses parâmetros podem retratar condições naturais do corpo d'água devido às características da região.

Os valores de sólidos em suspensão, aproximadamente 40 % acima do limite permitido e de turbidez que ultrapassou 200 % do LMP, apresentados na amostragem do mês de janeiro de 2016, foi um fato isolado e, por isso, pode ser justificado pela ocorrência das chuvas características do período da amostragem, que podem ocasionar um maior carreamento de sedimentos para os cursos d'água.

Tabela 4 – Resultado das variáveis que tiveram algum valor superior aos limites máximos permitidos pela Resolução COPAM-CERH nº 01 de 2008 nos anos de 2016 a 2018 na estação SC22

| **Data de Amostragem** | **Alumínio dissolvido** | **DBO** | **Ferro dissolvido** | **Fósforo total** | **Manganês total** | **OD** | **SST** | **Turbidez** | **Zinco total** | ***E. coli*** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 21/01/2016 | 0,228 | 2,1 | 0,441 | 0,24 | 0,143 | 6,4 | 141 | 121 | 0,072 | 8664,4 |
| 14/04/2016 | n.a. | 2,2 | 0,130 | 0,02 | n.a. | 6,4 | 10 | 6,44 | 0,02 | 1235 |
| 14/07/2016 | 0,1 | 2,0 | 0,105 | 0,03 | 0,032 | 6,6 | 12 | 2,19 | 0,02 | 2755,1 |
| 27/10/2016 | n.a. | 2,0 | 0,090 | 0,02 | n.a. | 2,0 | 16 | 3,03 | 0,02 | 122,3 |
| 19/01/2017 | 0,1 | 2,0 | 0,358 | 0,07 | 0,048 | 6,0 | 15 | 11,3 | 0,02 | 1112,3 |
| 20/07/2017 | 0,031 | 2,0 | 0,099 | 0,03 | 0,0299 | 6,2 | 2 | 2,23 | 0,02 | 932,6 |
| 16/10/2017 | n.a. | 2,4 | 0,743 | 0,1 | n.a. | 0,9 | 22 | 19,7 | 0,02 | 24195,7 |
| 18/01/2018 | 0,037 | 8,6 | 0,176 | 0,13 | 1,231 | 2,3 | 10 | 10,4 | 0,02 | > 24196 |
| 19/04/2018 | n.a. | 2,0 | 0,183 | 0,03 | n.a. | 7,6 | 18 | 8,57 | 0,02 | 3255,4 |
| 26/07/2018 | 0,029 | 2,0 | 0,119 | 0,03 | 0,058 | 8,5 | 2 | 3,7 | 0,043 | 11198,7 |
| 18/10/2018 | n.a. | 2,0 | 0,157 | 0,05 | n.a. | 4,2 | 20 | 8,3 | 0,02 | 1515,2 |
| LMP | 0,1 mg/L | 3 mg/L | 0,3 mg/L | 0,1 mg/L | 0,1 mg/L | 5 mg/L | 100 mg/L | 40 UNT | 0,18 mg/L | 600 NMP/100 ml |

Legenda: DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
*E. Coli – Escherichia Coli*
LMP - Limite Máximo Permitido
OD - Oxigênio dissolvido
SST - Sólidos em suspensão totais
n.a. – não analisado

Nota: LMP de acordo com a DN COPAM-CERH nº 01 de 2008 para corpos de água classe 1. Em destaque, em vermelho, os valores não conformes.

Fonte: A Autora, 2019

### 4.1.2 Estação SC23

A estação SC23 apresentou, em ambos os períodos, classificação marginal. Segundo CCME (2001a; 2001b) trata-se de um corpo hídrico cujas condições frequentemente se afastam das naturais.

Essa estação, assim como a SC22, está localizada no trecho em que as águas foram enquadradas como classe 1, conforme previsto na legislação de enquadramento da bacia hidrográfica do Rio das Velhas. O fator de pressão, conforme levantado pelo plano diretor, é o lançamento de efluentes de uma indústria têxtil localizada à montante da estação. A Tabela 5 aponta os parâmetros que apresentaram-se em desacordo com a legislação vigente:

Tabela 5 – Resultado das variáveis que tiveram algum valor superior aos limites máximos permitidos pela Resolução COPAM-CERH nº 01 de 2008 nos anos de 2016 a 2018 na estação SC23

| **Data de Amostragem** | **Alumínio dissolvido** | **Cianeto Livre** | **Clorofila a** | **DBO** | **Fósforo total** | **Manganês total** | **OD** | **SST** | **Turbidez** | **Zinco total** | ***E. coli*** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 21/01/2016 | 0,149 | 0,005 | 3,783 | 2,0 | 0,28 | 0,125 | 6,1 | 133 | 94,5 | 0,0571 | 6866,7 |
| 14/04/2016 | n.a. | n.a. | 2,221 | 12,3 | 0,37 | n.a. | 5,2 | 18 | 7,07 | 0,02 | 241957 |
| 14/07/2016 | 0,1 | 0,002 | 2,000 | 15 | 0,26 | 0,0604 | 4,7 | 52 | 10,5 | 0,02 | > 24196 |
| 27/10/2016 | n.a. | n.a. | 7,630 | 25 | 0,69 | n.a. | 1,8 | 72 | 4,94 | 0,02 | > 24196 |
| 19/01/2017 | 0,1 | 0,002 | 12,215 | 7,3 | 0,28 | 0,069 | 5,1 | 54 | 22,1 | 0,02 | > 24196 |
| 20/07/2017 | 0,053 | 0,002 | 5,421 | 18,6 | 0,73 | 0,068 | 4,3 | 13 | 14,3 | 0,03 | > 24196 |
| 16/10/2017 | n.a. | n.a. | 5,340 | 26 | 0,15 | n.a. | 3,7 | 14 | 12,8 | 0,02 | > 24196 |
| 18/01/2018 | 0,038 | 0,002 | 2,403 | 2,1 | 0,29 | 0,303 | 3,2 | 18 | 10,3 | 0,224 | > 24196 |
| 19/04/2018 | n.a. | n.a. | 3,872 | 6,6 | 0,29 | n.a. | 6,5 | 18 | 10,1 | 0,02 | > 24196 |
| 26/07/2018 | 0,032 | 0,007 | 5,674 | 20 | 0,75 | 0,0756 | 5,6 | 12 | 15,7 | 0,02 | > 24196 |
| 18/10/2018 | n.a. | n.a. | 12,136 | 16 | 0,26 | n.a. | 3,6 | 13 | 10,1 | 0,02 | > 24196 |
| LMP | 0,1 mg/L | 0,005 mg/L | 10 mg/L | 3 mg/L | 0,1 mg/L | 0,1 mg/L | 5 mg/L | 100 mg/L | 40 mg/L | 0,18 mg/L | 600 NMP/100 mL |

Legenda: DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
*E. Coli – Escherichia Coli*
LMP - Limite Máximo Permitido
OD - Oxigênio dissolvido
SST - Sólidos em suspensão totais
n.a. – não analisado

Nota: LMP de acordo com a DN COPAM-CERH nº 01 de 2008 para corpos de água classe 1. Em destaque, em vermelho, os valores não conformes.

Fonte: A Autora, 2019

A análise dos parâmetros acima do LMP nessa estação permite verificar que, após a estação SC22, no trecho até a SC23 pode haver o lançamento de efluentes domésticos visto a piora das pontuações gerais de IQA-CCME e os parâmetros críticos estar relacionados a esse tipo de contaminação: DBO, fósforo total, E. Coli e Oxigênio Dissolvido. Há ainda que se considerar um início de processo de eutrofização evidenciado pela ocorrência de clorofila-a acima do LMP nos meses de Janeiro de 2017 e Outubro de 2018.

A carga poluidora da indústria têxtil localizada a montante dessa estação pode justificar a presença dos parâmetros cianeto livre e zinco total, substâncias utilizadas como corante nesse tipo de indústria.

Assim como na estação SC22 o alumínio dissolvido e o manganês total podem retratar condições naturais das águas da região. Os parâmetros turbidez e sólidos em supensão, ocorridos acima do LMP, somente no mês de janeiro de 2016, podem ser em virtude do período chuvoso.

### 4.1.3 Estação SC12

A estação SC12, localizada no Ribeirão Areias, foi classificada pelo índice como boa em ambos os períodos de análise. Em comparação com as demais estações, tanto nos valores dos cálculos do IQA-CCME quanto na classificação, foi a estação que apresentou os melhores resultados. No entanto, há que se considerar uma redução na pontuação obtida no período de 2016 para 2017/2018 indicando uma piora na qualidade das águas.

Os valores dos parâmetros monitorados foram aplicados ao IQA-CCME conforme o enquadramento do trecho que a compreende - classe 2. Os parâmetros não conformes estão destacados na Tabela 6:

Tabela 6 – Resultado das variáveis que tiveram algum valor superior aos limites máximos permitidos pela Resolução COPAM-CERH nº 01 de 2008 nos anos de 2016 a 2018 na estação SC12

| Data de Amostragem | Alumínio dissolvido | Cianeto Livre | Cor verdadeira | Ferro dissolvido | Manganês total | *E. coli* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 21/01/2016 | 0,478 | 0,003 | 80 | 0,745 | 0,068 | 3255,4 |
| 18/04/2016 | n.a. | n.a. | 18 | 0,274 | n.a. | 503 |
| 19/07/2016 | 0,1 | 0,002 | 18 | 0,456 | 0,037 | 2909,3 |
| 20/10/2016 | n.a. | n.a. | 37 | 1,183 | n.a. | 1071,2 |
| 18/01/2017 | 0,1 | 0,002 | 43 | 0,552 | 0,078 | 3448 |
| 19/07/2017 | 0,055 | 0,015 | 21 | 0,247 | 0,076 | 2359,3 |
| 17/10/2017 | n.a. | n.a. | 32 | 0,430 | n.a. | 575,6 |
| 16/01/2018 | 0,037 | 0,002 | 44 | 0,274 | 0,159 | 587,8 |
| 24/04/2018 | n.a. | n.a. | 33 | 0,425 | n.a. | 5172,1 |
| 26/07/2018 | 0,025 | 0,002 | 29 | 0,248 | 0,040 | 1313,5 |
| 17/10/2018 | n.a. | n.a. | 40 | 0,360 | n.a. | 612,7 |
| LMP | 0,1 mg/L | 0,005 mg/L | 75 Pt/L | 0,3 mg/L | 0,1 mg/L | 1000 NMP/100 ml |

Legenda: DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
*E. Coli – Escherichia Coli*
LMP - Limite Máximo Permitido
n.a.- não analisado
Nota: LMP de acordo com a DN COPAM-CERH nº 01 de 2008 para corpos de água classe 2. Em destaque, em vermelho, os valores não conformes.
Fonte: A Autora, 2019

De acordo com o plano diretor, essa estação recebe uma carga difusa como fonte de poluição, sem estarem explícitas as atividades que originam as possíveis contaminações.

Visto o histórico das estações de monitoramento SC22 e SC23 bem como as características naturais da região pode-se inferir que os parâmetros alumínio dissolvido e ferro dissolvido acima dos limites podem estar retratando as condições naturais do local.

Devido às altas concentrações de *E. Coli* e grande número de amostras que extrapolaram o LMP desse parâmetro, pode-se dizer que uma das fontes de poluição desse trecho do Ribeirão Areias é a descarga de esgotos domésticos.

A presença de cianeto livre pode estar relacionado a algumas atividades econômicas nas quais essa substância é utilizada, tais como galvanoplastia, limpeza de metais ou na produção de fibras sintéticas, corantes, pigmentos e nylon. No entanto, a presença de cianeto não parece ser um problema grave na região, uma vez que somente foi verificado um valor acima do LMP no período estudado. Convém continuar monitorando.

### 4.1.4 Estação SC13

A estação SC13, localizada no Ribeirão Areias, foi classificada na categoria marginal em ambos os períodos. Conforme IQA CCME (2001a; 2001b) a faixa marginal representa um corpo hídrico cujas condiçõesque frequentemente se afastam das naturais.

Apesar da mesma classificação do IQA-CCME houve uma melhoria nas pontuações obtidas no período de 2016 para 2017/2018 indicando melhorias na qualidade das águas.

O trecho do curso d'água no qual essa estação pertence é enquadrado na classe 2 e os valores dos parâmetros de qualidade que se apresentaram acima do LMP, de acordo com essa classe, estão apresentados na Tabela 7:

Tabela 7 – Resultado das variáveis que tiveram algum valor superior aos limites máximos permitidos pela Resolução COPAM-CERH nº 01 de 2008 nos anos de 2016 a 2018 na estação SC13

| **Amostragem** | **Cobre dissolvido** | **DBO** | **Ferro dissolvido** | **Fósforo total** | **Manganês total** | **OD** | ***E. Coli*** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 18/04/2016 | < 0,004 | 2,0 | 0,443 | 0,61 | n.a. | 5,3 | 43517 |
| 19/07/2016 | < 0,004 | 13 | 0,312 | 0,40 | 0,274 | 5,2 | 24195,7 |
| 20/10/2016 | < 0,004 | 6,9 | 0,433 | 0,66 | n.a. | 4,8 | > 24196 |
| 18/01/2017 | < 0,004 | 5,6 | 0,444 | 0,20 | 0,250 | 5,9 | 12996,5 |
| 19/07/2017 | 0,012 | 13,5 | 0,280 | 0,32 | 0,394 | 4,9 | 17328,9 |
| 17/10/2017 | < 0,004 | 8,2 | 0,260 | 0,69 | n.a. | 6.0 | 6488,2 |
| 16/01/2018 | < 0,004 | 12 | 0,215 | 0,42 | 0,185 | 6,2 | 15531,2 |
| 24/04/2018 | < 0,004 | 8,7 | 0,334 | 0,27 | n.a. | 6,5 | 24195,7 |
| 26/07/2018 | < 0,004 | 7,0 | 0,404 | 0,65 | 0,279 | 5,4 | > 24196 |
| 17/10/2018 | < 0,004 | 8,2 | 0,662 | 0,57 | n.a. | 5,2 | > 24196 |
| LMP | 0,009 mg/L | 5 mg/L | 0,3 mg/L | 0,1 mg/L | 0,1 mg/L | 5 mg/L | 1000 NMP/100 ml |

Legenda: DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
*E. Coli – Escherichia Coli*
LMP - Limite Máximo Permitido
OD - Oxigênio dissolvido
n.a. = não analisado.
Nota: LMP de acordo com a DN COPAM-CERH nº 01 de 2008 para corpos de água classe 2. Em destaque, em vermelho, os valores não conformes.
Fonte: A Autora, 2019

As potenciais fontes de contaminação do trecho que corresponde à estação SC13 previstas pelo Plano Diretor são o lançamento de efluentes domésticos de alguns bairros do município de Ribeirão das Neves. O fato pode ser evidenciado pelas análises dos parâmetros relacionados a esse tipo de contaminação que estão acima do LMP conforme apresentados na tabela 7: DBO, fósforo total e *E. Coli*. O Oxigênio Dissolvido abaixo do LMP também é um indicador de excesso de carga orgânica proveniente do lançamento de esgotos sanitários.

Os parâmetros DBO e fósforo total também apresentaram valores acima do LMP. Essa contaminação foi obtida no percursos entre a estação SC12 e a estação SC13 visto que a estação SC12 não apresentou extrapolação dos limites dessas substâncias.

Houve também a ocorrência do cobre acima do LMP no mês de julho de 2017. Diante disso, deve ser verificada a ocorrência de atividades na região cujos efluentes possam conter essa substância visto que não se trata de uma contaminação relacionada a esgotos domésticos, conforme o único fator de pressão previsto pelo Plano Diretor. O cobre pode ser proveniente da fabricação de tubos, válvulas e acessórios para banheiros. Cabe ressaltar também que não é uma substância de ocorrência natural da região.

Assim como todas as demais estações o ferro dissolvido e o manganês total aparecem acima dos LMPs e podem representar uma ocorrência natural.

### 4.1.5 Estação SC21

A estação SC21 fica localizada no Ribeirão das Neves, em um trecho com classe de enquadramento a 2. Segundo os resultados da aplicação do índice IQA-CCME a qualidadse das águas nessa estação foi classificada como marginal, no ano de 2016, e mediana, no período de 2017/2018. Sendo assim, apresentou melhoria na qualidade das águas em decorrência do tempo.

Os parâmetros que extrapolaram os limites previstos pela legislação estão apresentados a seguir na Tabela 8:

Tabela 8 – Resultado das variáveis que tiveram algum valor superior aos limites máximos permitidos pela Resolução COPAM-CERH nº 01 de 2008 nos anos de 2016 a 2018 na estação SC21

| Data de amostragem | Alumínio dissolvido | Chumbo total | DBO | Fósforo total | Manganês total | OD | SST | Turbidez | *E. Coli* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 21/01/2016 | 0,146 | 0,0112 | 5,5 | 0,24 | 0,133 | 7,1 | 479 | 171 | 46111 |
| 14/04/2016 | n.a. | < 0,005 | 6,3 | 0,16 | n.a. | 6,3 | 16 | 15,2 | 19862 |
| 14/07/2016 | 0,100 | < 0,005 | 5,3 | 0,03 | 0,141 | 6,5 | 28 | 6,1 | 24195,7 |
| 27/10/2016 | n.a. | < 0,005 | 2 | 0,53 | n.a. | 5,4 | 28 | 5,01 | 8164,1 |
| 19/01/2017 | 0,100 | < 0,005 | 4 | 0,2 | 0,0679 | 6,1 | 38 | 33,8 | > 24196 |
| 20/07/2017 | 0,045 | < 0,005 | 5,4 | 0,63 | 0,0793 | 7,4 | 27 | 7,09 | 12996,5 |
| 16/10/2017 | n.a. | < 0,005 | 4,6 | 0,43 | n.a. | 6,8 | 18 | 5,79 | 6866,7 |
| 18/01/2018 | 0,041 | < 0,005 | 4,7 | 0,21 | 0,1021 | 5,9 | 20 | 22,1 | > 24196 |
| 19/04/2018 | n.a. | < 0,005 | 5,2 | 0,14 | n.a. | 7,3 | 18 | 21,3 | > 24196 |
| 26/07/2018 | 0,0503 | < 0,005 | 6,6 | 0,50 | 0,0681 | 9,4 | 6 | 10,7 | 19862,9 |
| 18/10/2018 | n.a. | < 0,005 | 9,6 | 0,38 | n.a. | 4,6 | 62 | 51,7 | 24195,7 |
| LMP | 0,1 mg/L | 0,01 mg/L | 5 mg/L | 0,1 mg/L | 0,1 mg/L | 5 mg/L | 100 mg/L | 100 UNT | 1000 NMP/100 ml |

Legenda: DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
*E. Coli – Escherichia Coli*
LMP - Limite Máximo Permitido
OD - Oxigênio dissolvido
SST - Sólidos em suspensão totais
n.a. - não analisado

Nota: LMP de acordo com a DN COPAM-CERH nº 01 de 2008 para corpos de água classe 2. Em destaque, em vermelho, os valores não conformes.

Fonte: A Autora, 2019

Assim como as demais estações pode-se verificar a ocorrência de manganês e alumínio dissolvido acima do LMP na estação SC21, possivelmente retratando uma condição natural. Os parâmetros SST e Turbidez só se apresntaram com valores superiores ao LMP no mês de janeiro de 2016 e, como são parâmetros afetados pelo período chuvoso, assim como observado nas demais estações de monitoramento, esses valores podem ter sido influenciados pewla ocorrência de chuvas na região.

De acordo com o PDRH os fatores de pressão do trecho que compreende essa estação de amostragem são os efluentes dos municípios de Pedro Leopoldo e de Ribeirão das Neves. Apesar de não haver indicações de qual tipo de efluentes, pode-se inferir que os mesmo s sejam efluentes sanitários, cuja influência é refletida na elevada frequência e amplitude dos valores dos parâmetros não conformes DBO, fósforo total, OD e *E. Coli*, indicadores de contaminações por carga orgânica originária de esgotos domésticos.

Cabe destacar a presença de chumbo total não conforme no mês de janeiro. Apesar de ser tóxico, o chumbo pode ter origem natural a partir de lixiviação do solo principalmente no período chuvoso. Levando-se em conta essa ocorrência somente no mês de janeiro do ano de

2016 e que a amplitude de extrapolação dos limites é baixa (12%) pode-se inferir que há possibilidades de se tratar de condições naturais do local.

O chumbo pode ser encontrado nos processos de fabricação de baterias, tintas, esmaltes, inseticidas, vidros e ligas metálicas. Sendo assim, deve-se considerar também a necessidade de maiores avaliações acerca das atividades desenvolvidas na região visto que não há indicação de nenhuma dessas atividades no entornbo da estação SC21 segundo o PDRH.

### 4.1.6 Estação BV160

A estação BV160, assim como a SC21, fica localizada no Ribeirão das Neves. Está no trecho que tem a classe 2 para águas doces como enquadramento.

Essa estação apresentou classificação marginal na aplicação do IQA-CCME para ambos os períodos estudados. No período de 2016 apresentou os mais baixos valores de índice em comparação com todas as demais estações. No entanto, apresentou melhora nos resultados para o período de 2017/2018 mantendo-se ainda com a mesma classificação do período anterior. Os parâmetros acima do LMP observados nessa estação estão apresentados na Tabela 9:

Tabela 9 – Resultado das variáveis que tiveram algum valor superior aos limites máximos permitidos pela Resolução COPAM-CERH nº 01 de 2008 nos anos de 2016 a 2018 na estação BV160

| **Data de Amostragem** | **Alumínio dissolvido** | **Chumbo total** | **DBO** | **Ferro dissolvido** | **Fósforo total** | **Manganês total** | **OD** | **SST** | **Turbidez** | ***E. Coli*** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 21/01/2016 | 0,252 | 0,014 | 5,6 | 0,309 | 0,08 | 0,151 | 7,4 | 604 | 284 | 36087 |
| 14/04/2016 | n.a. | < 0,005 | 5,5 | 0,107 | 0,16 | 0,096 | 5,7 | 38 | 24,3 | 41058 |
| 14/07/2016 | 0,100 | < 0,005 | 6,9 | 0,152 | 0,62 | 0,138 | 6 | 44 | 9,19 | 24195,7 |
| 27/10/2016 | n.a. | < 0,005 | 2,0 | 0,093 | 0,41 | 0,0881 | 3,3 | 36 | 9,54 | > 24196 |
| 19/01/2017 | 0,100 | < 0,005 | 11 | 0,060 | 0,15 | 0,0915 | 5,7 | 54 | 54,3 | >24196 |
| 20/07/2017 | 0,071 | < 0,005 | 6,3 | 0,081 | 0,64 | 0,148 | 6,7 | 40 | 17,6 | 12033,3 |
| 16/10/2017 | n.a. | < 0,005 | 5,6 | 0,093 | 0,70 | 0,090 | 4,6 | 20 | 10,2 | > 24196 |
| 18/01/2018 | 0,146 | < 0,005 | 8,0 | 0,241 | 0,29 | 0,124 | 5,9 | 146 | 45,5 | > 24196 |
| 19/04/2018 | n.a, | < 0,005 | 9,2 | 0,031 | 0,27 | 0,2025 | 7,3 | 66 | 56,5 | > 24196 |
| 26/07/2018 | 0,052 | < 0,005 | 5,8 | 0,066 | 0,72 | 0,126354 | 8,7 | 50 | 43,4 | > 24196 |
| 18/10/2018 | n.a, | < 0,005 | 20 | 0,1882 | 0,65 | 0,1257 | 4 | 62 | 33,7 | > 24196 |
| LMP | 0,1 mg/L | 0,01 mg/L | 5 mg/L | 0,3 mg/L | 0,1 mg/L | 0,1 mg/L | 5 mg/L | 100 mg/L | 100 UNT | 1000 NMP/100 ml |

Legenda: DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
*E. Coli – Escherichia Coli*
LMP - Limite Máximo Permitido
OD - Oxigênio dissolvido
SST - Sólidos em suspensão totais
n.a. - não analisado.

Nota: LMP de acordo com a DN COPAM-CERH nº 01 de 2008 para corpos de água classe 2. Em destaque, em vermelho, os valores não conformes

Fonte: A Autora, 2019

Apesar de o PDRH do Rio das Velhas informar que um dos principais fatores de pressão antrópica no trecho à montande da estação BV160 é o lançamento de efluentes industriais, devido a existência de industrias de curtume, têxteis, de bebidas e de laticínios, não foi identificado aumento do valor de algum parâmetro específico dos efluentes provenientes dessas industrias, onde todos permaneceram abaixo dos limites máximos permitidos.

A outra fonte de contaminação prevista pelo PDRH é o lançamento de esgotos domésticos dos municípios de Ribeirão das Neves e de Pedro Leopoldo. Esses lançamentos podem ser evidenciados pelas variáveis com valores não conformes: DBO, fósforo total, OD e *E. Coli*.

O chumbo nessa estação, na amostragem de janeiro de 2016, ultrapassou em cerca de 40% o limite máximo permitido, valor que pode ser considerado como uma contaminação média. Assim como na estação anterior, deve-se levar em conta os fatores naturais (lixiviação do solo e sedimentos em período chuvoso), além da probabilidade de ocorrência de contaminação por atividades antrópicas.

Assim como em todas as demais estações, foram observados valores relativamente altos de manganês e alumínio dissolvido, superiores ao LMP e do ferro dissolvido, esse último no mês de janeiro de 2016. Como nas outras estações, pode-se atribuir esses valores relativamente altos às características naturais da região.

### 4.1.7 Estação SC17

A estação SC17 está localizada no Ribeirão da Mata no município de Vespasiano e apresentou classificação mediana para ambos os períodos de análise além de um pequeno retrocesso nas notas obtidos pelo índice entre os períocdos estudados.

Para fins de enquadramento dos corpos de água, o trecho pertencente a essa estação de amostragem é previsto como classe 2. A Tabela 10 apresenta os resultados das amostragens não conformes para essa estação:

Tabela 10 – Resultado das variáveis que tiveram algum valor superior aos limites máximos permitidos pela Resolução COPAM-CERH nº 01 de 2008 nos anos de 2016 a 2018 na estação SC17

| Data de Amostragem | Alumínio dissolvido | Chumbo total | Cor verdadeira | DBO | Fósforo total | Manganês total | OD | SST | Turbidez | E. Coli |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 22/01/2016 | 0,132 | 0,0113 | 40 | 5,6 | 0,21 | 0,164 | 6,3 | 298 | 170 | 22818 |
| 19/04/2016 | n.a. | < 0,005 | 54 | 5,3 | 0,69 | | 4,1 | 6 | 8,89 | 5833 |
| 20/07/2016 | 0,100 | < 0,005 | 26 | 4,6 | 0,89 | 0,202 | 2,9 | 48 | 6,80 | 10462,4 |
| 21/10/2016 | n.a. | < 0,005 | 122 | 5,3 | 0,85 | | 2,9 | 52 | 6,19 | 3130,1 |
| 19/01/2017 | 0,100 | < 0,005 | 18 | 4,3 | 0,19 | 0,12 | 5,2 | 40 | 39,6 | 14136,1 |
| 20/07/2017 | 0,091 | < 0,005 | 26 | 5,4 | 0,15 | 0,125 | 4,5 | 20 | 15,2 | 14136,1 |
| 18/10/2017 | n.a. | < 0,005 | 34 | 5,5 | 0,74 | | 2,8 | 10 | 12,6 | > 24196 |
| 18/01/2018 | 0,062 | < 0,005 | 23 | 6,8 | 0,79 | 0,229 | 5,1 | 32 | 74,8 | 24196 |
| 25/04/2018 | n.a. | < 0,005 | 20 | 5,3 | 0,41 | | 4,9 | 40 | 28,0 | 12996,5 |
| 27/07/2018 | 0,124 | < 0,005 | 31 | 12 | 0,57 | 0,169 | 5,3 | 40 | 72,7 | > 24196 |
| 18/10/2018 | n.a. | < 0,005 | 53 | 8,8 | 0,38 | | 3,9 | 30 | 42,7 | 24195,7 |
| LMP | 0,1 mg/L | 0,01 mg/L | 75 Pt/L | 5 mg/L | 0,1 mg/L | 0,1 mg/L | 5 mg/L | 100 mg/L | 100 UNT | 1000 NMP/100 ml |

Legenda: DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
*E. Coli – Escherichia Coli*
LMP - Limite Máximo Permitido
OD - Oxigênio dissolvido
SST - Sólidos em suspensão totais
n.a. - não analisado

Nota: LMP de acordo com a DN COPAM-CERH nº 01 de 2008 para corpos de água classe 2. Em destaque, em vermelho, os valores não conformes

Fonte: A Autora, 2019

Esse ponto de amostragem possui como fatores de pressão, previstos no PDRH do Rio das Velhas, o lançamento de esgotos domésticos do município de Vespasiano e dos municípios de Ribeirão das Neves e de Pedro Leopoldo (já detectados pelas duas estações anteriores).

Assim como todas as estações de monitoramento, o alumínio dissolvido e o manganês apresentaramn valores acima dos LMPs podendo representar uma ocorrência natural.

O chumbo total, na amostragem de janeiro de 2016, continou acima dos limites desde a estação SC21. As mesmas observações para as estações anteriores podem ser aplicadas a essa ocorrência na estação SC17. Há que se considerar que essa pode também apresentar o chumbo total da estação anterior visto essa estar localizada à jusante das demais que apresentaram contaminações por chumbo.

O lançamento de esgotos domésticos no Ribeirão da Mata pode ser evidenciado pela frequência e amplitude dos valores dos parâmetros relacionados a esse tipo de contaminação: DBO, fósforo total, OD e *E. Coli*.

Os altos valores de turbidez e de SST no mês de janeiro de 2016, assim como nas demais estações de coleta, podem estar relacionados ao período chuvoso do ano.

### 4.1.8 Estação BV130

A estação BV130 fica localizada no Ribeirão da Mata. É a última estação de amostragem dessa bacia hidrográfica e fica próxima da sua foz no Rio das Velhas. Classificada como classe 2 no enquadramento, essa estação apresentou resultados de qualidade marginal em 2016 e mediana em 2017/2018 e, portanto, evidenciando uma melhoria na qualidade das águas.

A Tabela 11 contém os parâmetros que se apresentaram acima dos limites permitidos para essa estação:

Tabela 11 – Resultado das variáveis que tiveram algum valor superior aos limites máximos permitidos pela Resolução COPAM-CERH nº 01 de 2008 nos anos de 2016 a 2018 na estação BV130

| Data de Amostragem | Alumínio dissolvido | Chumbo total | DBO | Ferro dissolvido | Fósforo total | Manganês total | OD | SST | Turbidez | *E. Coli* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 21/01/2016 | 0,412 | 0,0128 | 4,2 | 0,365 | 0,27 | 1,451 | 6,1 | 337 | 244 | > 24196 |
| 14/04/2016 | n.a. | < 0,005 | 5,0 | 0,163 | 0,46 | 0,167 | 5,2 | 2 | 8,00 | 32554 |
| 14/07/2016 | 0,100 | < 0,005 | 4,2 | 0,0943 | 0,32 | 0,174 | 4,9 | 88 | 8,63 | 10462,4 |
| 27/10/2016 | n.a. | < 0,005 | 2,0 | 0,0878 | 0,27 | 0,0976 | 5,3 | 16 | 4,92 | 14136,1 |
| 19/01/2017 | 0,100 | < 0,005 | 3,9 | 0,0344 | 0,17 | 0,0832 | 5,0 | 72 | 46,8 | 8164,1 |
| 20/07/2017 | 0,065 | < 0,005 | 5,6 | 0,0979 | 0,23 | 0,188 | 5,6 | 40 | 11,1 | 9208,4 |
| 16/10/2017 | n.a. | < 0,005 | 5,8 | 0,084 | 0,83 | 0,200 | 4,9 | 28 | 9,14 | > 24196 |
| 18/01/2018 | 0,124 | < 0,005 | 6,9 | 0,1373 | 0,1 | 0,0952 | 5,1 | 78 | 54,2 | > 24196 |
| 19/04/2018 | n.a. | < 0,005 | 5,0 | 0,0428 | 0,29 | 0,0899 | 6,1 | 28 | 20,8 | 17328,9 |
| 26/07/2018 | 0,053759 | < 0,005 | 9,6 | 0,057 | 0,37 | 0,130 | 5,5 | 80 | 47,7 | > 24196 |
| 19/10/2018 | n.a. | 0,00859 | 14 | 0,0353 | 0,04 | 0,307 | 4,0 | 386 | 308 | > 24196 |
| LMP | 0,1 mg/L | 0,01 mg/L | 5 mg/L | 0,3 mg/L | 0,1 mg/L | 0,1 mg/L | 5 mg/L | 100 mg/L | 100 UNT | 1000 NMP/100 ml |

Legenda: DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
*E. Coli – Escherichia Coli*
LMP - Limite Máximo Permitido
OD - Oxigênio dissolvido
SST - Sólidos em suspensão totais
n.a. - não analisado

Nota: LMP de acordo com a DN COPAM-CERH nº 01 de 2008 para corpos de água classe 2. Em destaque, em vermelho, os valores não conformes

Fonte: A Autora, 2019

A estação de amostragem BV130 apresenta como fatores de pressão, apontados pelo PDRH, os esgotos domésticos já previstos pelas estações de amostragem anteriores além de efluentes industriais provenientes de indústrias tais como de laticínios e de abate de animais.

Em conformidade com os fatores de pressão dessa estação, bem como com o histórico das estações anteriores, os parâmetros DBO, fósforo total, OD e *E. Coli* apresentaram valores fora dos limites máximos permitidos.

O chumbo total, na amsotragem de janeiro de 2016, acima do LMP, também pode ser proveniente das estações anteriores visto que manteve-se na média de 28% acima do limite permitido.

A turbidez e os SST apresentaram valores acima dos limites previstos tanto nos meses de janeiro de 2016 quanto de outubro de 2018, ambos considerados períodos chuvosos.

O alumínio dissolvido, ferro dissolvido e manganês total tiveram valores acima dos limites, evidenciando uma carga acumulada desses parâmetros já proveniente das estações anteriores e também indicando a possibilidade de ocorrência natural.

## 4.2 Análise Comparativa entre os Índices IQA-NSF, CT e IQA-CCME

### 4.2.1 Comparação entre os Índices IQA-NSF e IQA-CCME

Para comparação com os resultados do IQA-NSF, calculado no âmbito do Programa Águas de Minas, o IQA-CCME foi calculado utilizando-se os nove parâmetros do IQA-NSF.

As planilhas contendo os cálculos do IQA-CCME para os parâmetros do IQA-NSF estão apresentadas no Apêndice B.

Os resultados desse exercício estão compilados no Tabela 12, a seguir:

Tabela 12 – Comparação entre os resultados do cálculo do IQA-CCME e do IQA-NSF, utilizando-se as variáveis

| Descrição | Estação | Período de Amostragem | IQA-CCME Valor | IQA-CCME Categoria | IQA-NSF Valor | IQA-NSF Categoria |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ribeirão da Mata a montante da ETE Matozinhos | SC22 | 2016 | 62,44 | Marginal | 58,70 | Médio |
| | | 2017/2018 | 58,34 | Marginal | 55,34 | Médio |
| Ribeirão da Mata a jusante da ETE Matozinhos | SC23 | 2016 | 35,62 | Ruim | 38,80 | Ruim |
| | | 2017/2018 | 43,09 | Ruim | 41,62 | Ruim |
| Ribeirão das Areias a montante do aterro sanitário de Ribeirão das Neves | SC12 | 2016 | 80,75 | Boa | 68,40 | Médio |
| | | 2017/2018 | 79,89 | Mediana | 66,98 | Médio |
| Ribeirão das Areias a jusante do aterro sanitário de Ribeirão das Neves | SC13 | 2016 | 42,92 | Ruim | 44,40 | Ruim |
| | | 2017/2018 | 43,48 | Ruim | 45,50 | Ruim |
| Ribeirão das Neves próximo de sua foz no Ribeirão da Mata | BV160 | 2016 | 36,32 | Ruim | 42,00 | Ruim |
| | | 2017/2018 | 39,05 | Ruim | 42,92 | Ruim |
| Ribeirão da Mata a jusante da confluência com Ribeirão das Neves | SC21 | 2016 | 37,64 | Ruim | 46,90 | Ruim |
| | | 2017/2018 | 44,79 | Ruim | 48,68 | Ruim |
| Ribeirão da Mata a montante da ETE Vespasiano | SC17 | 2016 | 43,00 | Ruim | 40,20 | Ruim |
| | | 2017/2018 | 44,81 | Ruim | 42,04 | Ruim |
| Ribeirão da Mata próximo de sua foz no Rio das Velhas | BV130 | 2016 | 44,49 | Ruim | 44,90 | Ruim |
| | | 2017/2018 | 38,94 | Ruim | 46,28 | Ruim |

do último índice

NOTA: Resultados calculados com os parâmetros do IQA NSF, que tem padrões estabelecidos pela legislação.
Fonte: A Autora, 2019

Os resultados do IQA-CCME para o Ribeirão da Mata classificaram a água em “Marginal”, “Boa”, “Mediana” e “Ruim”, a depender da estação e do período considerado, enquanto os cálculos do IQA-NSF apresentou as classificações “Ruim” e “Médio”.

Ambos os índices possuem cinco tipos de classificação da qualidade das águas e são calculados de forma que, quanto menores os resultados dos cálculos, piores são as condições das águas e, consequentemente, resultados maiores apontam águas de melhor qualidade. No entanto, há diferenças entre as faixas dos valores classificatórios e a denominação das categorias.

Como é possível verificar, apesar de haver valores coincidentes entre categorias de qualidade das águas dos dois índices essas, não são totalmente equivalentes para nenhuma das situações.

Dessa forma, a análise dos valores obtidos por meio dos cálculos de ambos os índices permite uma melhor comparação entre os mesmos no que diz respeito as restrições entre um e outro.

Cabe ressaltar que, para o cálculo do IQA-CCME é utilizada a legislação vigente que estabelece os padrões de qualidade que se deseja alcançar de acordo com cada objetivo do

cálculo, nesse caso para classificar as águas para o abastecimento público. Já para o IQA-NSF os resultados são baseados nos pesos estipulados para cada parâmetro e nos valores de qualidade obtidos por meio de gráficos já fixados para esse índice. Daí justifica-se as diferenças, não somente entre as classificações de ambos os índices como também entre os resultados dos cálculos mesmo que os parâmetros utilizados foram os mesmos.

Sabe-se que o IQA-CCME leva em conta: a quantidade de vezes em que uma variável não atendeu aos limites previstos pela legislação, a quantidade de testes de forma geral fora dos limites previstos e a quantidade pela qual os testes não alcançaram esses mesmos valores máximos ou mínimos estabelecidos.

As estações SC22, SC12 e SC17 apresentaram nos dois períodos de análise (2016 e 2017/2018) notas classificatórias do IQA-CCME mais altas que aquelas do IQA-NSF para as mesmas estações e períodos, o que ocorreu também com a estação SC23 no período de 2017/2018. Todas as demais apresentaram notas de IQA-CCME mais baixas que do IQA-NSF.

De modo geral o IQA-NSF apresentou-se mais restritivo visto que das 16 notas obtidas no estudo (duas para cada estação de monitoramento) 9 delas apresentaram valores mais baixos quando comparados com os valores correspondentes aos resultados do IQA CCME. No entanto, classificações menos favorecidas do IQA-NSF, apenas para a estação SC12 em 2016.

Cabe salientar que, para a aplicação do IQA-CCME a legislação utilizada não se trata de regulamento específico para o abastecimento público e, sim, da classificação para os usos das águas, dentre os quais, estão o abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado (para as estações SC22 e SC23) e após tratamento convencional (para as demais estações).

Destaca-se que, mesmo com os limites mais restritivos, previstos pela DN COPAM-CERH nº 01 de 2008 para as estações SC22 e SC23, devido a essas ser classificadas como águas classe 1, o IQA-CCME apresentou uma maior nota para classificação. Cabe ressaltar que, para ambas as estações e para ambos os índices, as categorias de classificação permaneceram equivalentes no sentido que, para os dois casos, essas estações encontram-se um nível somente acima das piores condições de qualidade das águas.

No caso da estação SC23 a menor nota apresentada no período de 2017/2018 para o IQA-NSF, quando comparado com o IQA-CCME, se deu em função do parâmetro *E. Coli*, que se apresentou em alta concentração, quando comparado com todas as demais estações. Essa variável é uma das mais relevantes para o cálculo do IQA-NSF pois possui peso igual a 0,15, sendo o segundo maior peso das variáveis do IQA-NSF ficando abaixo somente do oxigênio dissolvido, que pode ser considerado o parâmetro de maior relevância no cálculo do IQA-NSF.

A estação SC12 apresentou a maior diferença entre os resultados obtidos pelos dois índices impactando consequentemente em suas respectivas categorias. Para o IQA-CCME foi classificado como água boa (período de 2016) e mediana (período de 2017/2018). Para o IQA NSF as águas foram classificadas como média nos dois períodos.

A diferença entre as notas pode ser justificada pelo fato que, de todas as estações de monitoramento, essa foi a única que apresentou o parâmetro fósforo dentro dos limites previstos pela legislação. Como o IQA-CCME leva em conta não somente a concentração do poluente como também as ocorrências em que esse atendeu aos limites previstos essa estação apresentou valores mais elevados em relação às demais.

O maior valor do IQA-CCME em relação ao IQA-NSF na estação SC17 pode ser verificada nos resultados de amostragem. Essa estação de monitoramento foi a que apresentou um maior número de parâmetros que atenderam aos limites previstos pela legislação. Os parâmetros conformes foram nitrato, SST e pH. Dessas variáveis, as duas últimas possuem os menores pesos no cálculo do IQA NSF.

Por fim, a estação SC22 não apresentou particularidades em determinados parâmetros que pudessem justificar melhores resultados sobre o IQA-NSF no que diz respeito ao atendimento à legislação conforme ocorreu com as demais. Visto a pequena diferença de valores entre ambos os índices pode-se inferir que são devido à faixa de classificação do IQA-CCME ser mais restritiva.

### 4.2.2 Comparação entre os Índices CT e IQA-CCME

Para comparação com os resultados do CT, calculado no âmbito do Programa Águas de Minas, o IQA-CCME foi calculado utilizando-se os mesmos parâmetros do CT (Tabela 13).

No Apêndice C estão apresentados os cálculos do IQA-CCME aos parâmetros do índice CT.

Tabela 13 – Comparação entre os resultados do IQA-CCME e do CT

| Descrição | Estação | Período de Amostragem | IQA-CCME | | CT | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Valor | Categoria | Substância | Categoria |
| Ribeirão da Mata a montante da ETE Matozinhos | SC22 | 2016 | 92,72 | Boa | Sem especificação | Baixa |
| | | 2017/2018 | 92,84 | Boa | Sem especificação | Baixa |
| Ribeirão da Mata a jusante da ETE Matozinhos | SC23 | 2016 | 92,72 | Boa | Nitrogênio amoniacal total | Alta |
| | | 2017/2018 | 84,73 | Boa | Zinco total, nitrogênio amoniacal total | Alta |
| Ribeirão das Areias a montante do aterro sanitário de Ribeirão das Neves | SC12 | 2016 | 92,72 | Boa | Sem especificação | Baixa |
| | | 2017/2018 | 88,93 | Boa | Sem especificação | Baixa |
| Ribeirão das Areias a jusante do aterro sanitário de Ribeirão das Neves | SC13 | 2016 | 89,41 | Boa | Nitrogênio amoniacal total | Alta |
| | | 2017/2018 | 85,21 | Boa | Cobre dissolvido, nitrogênio amoniacal total | Alta |
| Ribeirão das Neves próximo de sua foz no Ribeirão da Mata | BV160 | 2016 | 78,47 | Mediana | Chumbo total, nitrogênio amoniacal total | Alta |
| | | 2017/2018 | 80,21 | Boa | Nitrogênio amoniacal total | Alta |
| Ribeirão da Mata a jusante da confluência com Ribeirão das Neves | SC21 | 2016 | 80,08 | Boa | Chumbo total, nitrogênio amoniacal total | Alta |
| | | 2017/2018 | 85,08 | Boa | Nitrogênio amoniacal total | Alta |
| Ribeirão da Mata a montante da ETE Vespasiano | SC17 | 2016 | 84,85 | Boa | Chumbo Total, nitrogênio amoniacal total | Alta |
| | | 2017/2018 | 88,03 | Boa | Nitrogênio Amoniacal Total | Alta |
| Ribeirão da Mata próximo de sua foz no Rio das Velhas | BV130 | 2016 | 78,81 | Mediana | Nitrogênio amoniacal total, chumbo total | Alta |
| | | 2017/2018 | 81,83 | Boa | Nitrogênio amoniacal total | Alta |

Fonte: A Autora, 2019.

Pelos mesmos motivos de exclusão do parâmetro mercúrio para o cálculo do IQA-CCME na avaliação da qualidade das águas do Ribeirão da Mata, essa variável foi excluída também dos cálculos para obtenção dos valores do índice IQA-CCME aplicados aos parâmetros do CT.

Para as estações em que a contaminação por tóxicos é considerada baixa, o IGAM não discrimina qual foi a substância contaminante causadora dessa classificação, como ocorreu nas estações SC22 e SC12, nos dois períodos analisados.

Cabe ressaltar que o parâmetro cianeto apresentou duas ocorrências acima do LMP em contaminações consideradas média (40 % do limite excedido) e alta (200 % do limite excedido). Mesmo assim esse parâmetro não foi apontado nos resultados do índice CT assim como as demais substâncias cujas contaminações foram consideradas média e alta.

O IQA-CCME assim como o CT considera para cada parâmetro os valores mínimos e/ou máximos permitidos pela legislação a qual foi aplicado. No presente estudo foi utilizada a mesma legislação.

Os valores obtidos por meio do cálculo do IQA-CCME classificaram a maioria das estações de amostragem na classe boa sendo indicadas como medianas somente as estações BV160 e BV130, ambas no período de 2016.

O índice CT classificou como baixa contaminação somente as estações SC12 e SC22. Todas as demais, para esse índice foram consideradas estações de alta contaminação por tóxicos.

Dessa forma, pode-se verificar que mesmo nas estações em que a água está classificada como boa para o IQA-CCME, para o CT foram consideradas de alta contaminação. Isso ocorreu nas estações SC23, SC13, SC21 e SC17 em ambos os períodos de análise e nas estações BV160 e BV130 no período de 2017/2018.

O índice de CT considera baixas contaminações as ocorrências que excedam em até 20% o limite da legislação para a classe do corpo d'água e as altas contaminações valores excedidos acima de 100%. Entre as contaminações baixa e alta tem ainda a contaminação média para os casos de contaminações que excedam entre 20 e 100 os limites.

Esse índice não leva em conta os demais parâmetros aplicáveis a seu cálculo para classificar as águas, bastando somente a ocorrência de uma substância e o percentual excedido para obter a classificação.

Já para o calculo do IQA-CCME foram levados em conta todos os parâmetros aplicáveis ao índice CT, bem como os percentuais correspondentes ao alcance, à frequência e à amplitude. Dessa forma, o número de amostragens não conformes, o número de testes falhos e a quantidade de variáveis interferem nos resultados desse índice. Ao passo que o índice CT considera apenas o quanto as substâncias acima do LMP excederam esses limites – que corresponderia somente ao fator amplitude do IQA-CCME.

No entanto, há diferenças ainda na forma como ambos calculam o quanto essas substâncias execederam. No caso do CT, os resultados são obtidos por meio da porcentagem pela qual foram excedidos nas faixas que variam em até contaminações acima de 100%.

Para o IQA-CCME os valores que representam o quanto uma substância ultrapassou aos limites da legislação é obtido pelo quociente da divisão entre valor excedido e o valor padrão subtraído por 1. Transformando-os em fatores que serão somados nos casos em que mais de uma substância tenha ultrapassado os limites previstos.

Essas considerações e os resultados das amostragens podem justificar as diferenças de classificação entre os índices visto que das 12 variáveis aplicáveis ao CT e calculadas para o IQA-CCME, somente 5 delas apresentaram resultados acima dos limites máximos permitidos: chumbo, cianeto, cobre, nitrogênio amoniacal e zinco, cponsiderando-se todas as amostragens e estações de coleta.

A análise dos resultados dos fatores calculados pelo IQA-CCME (alcance, frequência e amplitude) retratam os baixos percentuais de ocorrência de substâncias tóxicas. O fator frequência manteve-se a uma média de 13%, o fator alcance a uma média de 26% e a amplitude a uma média de 9%.

As diferenças verificadas na aplicação dos índices demonstram que o IQA-CCME é mais abrangente, uma vez que leva em consideração todos os parâmetros em conjunto, fornecendo assim uma informação global da contaminação. Esse fato pode justificar a ocorrência de classificações de qualidade das águas menos restritivas.

O índice CT é mais detalhado visto que, a partir de uma substância acima do LMP e a depender do quanto essa substância ultrapassou os limites, classifica os corpos de águas em seus níveis de toxicidade. Essa metodologia possibilita resultados mais reais em termos de contaminação visto que apenas uma substância contaminante é suficiente para prejudicar o ambiente aquático.

Não foi possível realizar a análise comparativa entre o IQA-CCME e o IET, outro índice de qualidade das águas utilizado pelo IGAM. O IET considera somente duas variáveis e o IQA-CCME recomenda a aplicação com pelo menos 4 parâmetros para a realização dos cálculos.

## 4.3 Análise Crítica dos índices de qualidade das águas adotados pelo IGAM e o IQA-CCME

Acerca da finalidade de aplicação do IQA, CETESB (2017, p.2) aponta que “este índice foi desenvolvido para avaliar a qualidade das águas, tendo como determinante principal a sua

utilização para o abastecimento público, considerando os aspectos relativos ao tratamento dessas águas.”

ANA (2013) ilustra esse fato, ao apontar que, uma classificação de IQA ruim indica uma má qualidade das águas para abastecimento, no entanto, essa mesma água pode ser utilizada para fins menos restritivos tais como a navegação ou a geração de energia.

Há ainda de se considerar que, mesmo levando em conta apenas a finalidade de abastecimento público, o IQA-NSF não analisa alguns parâmetros importantes para esse uso, tais como os compostos orgânicos com potencial mutagênico e substâncias que afetam as propriedades organolépticas da água, o potencial de formação de trihalometanos e o número de células de cianobactérias (CETESB, 2018; ANA, 2013).

Por conseguinte, ao analisar os nove parâmetros de qualidade que fazem parte do cálculo do IQA-NSF, pode-se verificar que, esses indicam somente contaminações dos corpos d’água em decorrência de matéria orgânica, fruto de lançamentos principalmente de esgotos domésticos (IGAM, 2018; CETESB, 2017; ANA, 2013). Outros possíveis contaminantes, em especial os de origem industrial, não são contamplados pelo IQA, e que poderiam também afetar a qualidade das águas para o abastecimento público – finalidade pela qual é utilizado o IQA-NSF.

Assim sendo, pode-se inferir que esse índice não abrange todos os tipos de substâncias que podem modificar a condições das águas e que são importantes até mesmo para a finalidade pela qual o índice foi proposto que é o abastecimento público.

Diante do exposto, é sugerido o uso de outros índices que o complementem de acordo com o objetivo que se deseja alcançar utilizando os índices. Conforme já mencionado, o IQA-NSF deve ser exclusivamente utilizado para avaliar as condições da qualidade das águas para fins de abastecimento público outras avaliações devem ser apresentadas por meio de outros índices.

No que diz respeito ao índice de contaminação por tóxicos (CT) - também utilizado pelo IGAM no Projeto Águas de Minas em conjunto com outros índices e indicadores - foi possível verificar que esse índice não considera algumas substâncias consideradas tóxicas e que são previstas pela legislação utilizada como referência para seus cálculos. O quadro 19 apresenta essas variáveis:

Quadro 19 – Parâmetros tóxicos não considerados pelo índice CT

| **Parâmetros** | **Limite Máximo Permitido** |
|---|---|
| 1,2-Dicloroetano | 0,01 mg/L |
| Aldrin + Dieldrin | 0,03 µg/L |
| Alumínio dissolvido | 0,2 mg/L Al |
| Benzeno | 0,005 mg/L |
| Berílio total | 0,1 mg/L Be |
| Clordano (cis + trans) | 0,3 µg/L |
| Cobalto total | 0,2 mg/L Co |
| DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD) | 1,0 µg/L |
| Endossulfan (a + b + sulfato) | 0,22 µg/L |
| Endrin | 0,2 µg/L |
| Glifosato | 280 µg/L |
| Heptacloro epóxido + Heptacloro | 0,03 µg/L |
| Manganês total | 0,5 mg/L Mn |
| Níquel total | 0,025 mg/L Ni |
| PCBs - Bifenilas policloradas | 0,001 µg/L |
| Pentaclorofenol | 0,009 mg/L |
| Selênio total | 0,05 mg/L Se |
| Tetracloreto de carbono | 0,003 mg/L |
| Tetracloroeteno | 0,01 mg/L |
| Toxafeno | 0,21 µg/L |
| Vanádio total | 0,1 mg/L V |

NOTA: Limites Máximos Permitidos de acordo com a DN COPAM nº 01 de 2008
Parâmetros considerados tóxicos de acordo com as Fichas de Informação Toxicológica da CETESB
Fonte: A Autora, 2019

Das substâncias apresentados no Quadro 19, o alumínio dissolvido, o manganês e o níquel total são contemplados pelo monitoramento do Programa Águas de Minas. Portanto, o órgão gestor possui os resultados de análise desses.

Como pode ser verificado no Apêndice I as substâncias alumínio dissolvido e manganês apresentaram alta frequência de eventos em que os limites máximos permitidos não foram atendidos na bacia hidrográfica do Ribeirão da Mata.

Diante da existência de dados de amostragens, de limites previstos pela legislação e da ocorrência das substâncias presentes no meio, recomenda-se a inclusão de pelo menos, os parâmetros alumínio dissolvido e mangânes nos cálculos do índice CT ou, caso se opte pela sua não inclusão, fazer uma observação em relação a isso. A bacia de drenagem do Ribeirão da Mata possui rochas ricas em diversos metais e o alumínio e o cobre podem ter origem natural nesse corpo hídrico.

Acerca do IET, ANA (2012) expõe que nem sempre os resultados dos cálculos desse índice por meio das variáveis $IET_{CL}$ e $IET_{PT}$, demonstram a real degradação da qualidade da água causada pelo processo de eutrofização, uma vez que esse processo depende de outras variáveis, tais como temperatura e turbidez.

CETESB (2013) observa que os resultados do IET podem variar ao longo do ano em virtude da sazonalidade dos processos ambientais já que esses têm influência sobre o grau de eutrofização e de produção primária, representada pela concentração de clorofila a, de um corpo hídrico. Esse mesmo trabalho exemplifica que, no Brasil, no início da primavera, com o aumento da temperatura da água, maior disponibilidade de nutrientes e condições propícias de penetração de luz na coluna d´água, é comum se observar valores mais elevados de IET.

Apesar das recomendações e exposições das limitações dos índices IQA-NSF, CT e IET, pode-se considerar que os três índices se complementam para a finalidade de transmissão das informações à sociedade. Há ainda de se considerar que o IGAM utiliza também outro índice e indicadores biológicos em estações de amostragens consideradas prioritárias, o que pode complementar ainda mais essas informações.

Dentre os índices utilizados para informar sobre a qualidade das águas, o IQA-CCME é considerado um dos mais flexíveis pela possibilidade de escolha dos parâmetros que serão analisados de acordo com o objetivo do monitoramento e com as possíveis contaminações ocorridas devido ao uso do solo e da água, no curso d'água avaliado. Os outros índices, limitados pela rigidez quanto ao número e tipo de parâmetros, podem ser substituídos pelo IQA-CCME, que compila o resultado de vários parâmetros em um único número (KHAN et al., 2003; KHAN et al. 2005; LUMB et al., 2006).

Trabalhos realizados no Brasil com o IQA-CCME analisaram a sua aplicação utilizando parâmetros e limites previstos pela legislação vigente e/ou comparando-o ao uso de outros índices.

Marques et al. (2007) realizaram uma comparação entre o IQA-CCME e o índice IQA-CETESB. Para aplicação do IQA-CCME com a mesma finalidade a qual se aplica o IQA-CETESB (abastecimento público) foram utilizados os parâmetros da Portaria nº 518 de 2004 do Ministério da Saúde (MS) (posteriormente revogada pela Portaria MS nº 2.914 de 2011). A conclusão desses autores foi que o IQA-CCME pode atender as necessidades de avaliação da de monitoramento das águas destinadas ao consumo humano.

A única limitação desse índice pode-se considerar a recomendação acerca da quantidade de dados existentes. É recomendado um mínimo de quatro variáveis e de quatro testes para o cálculo desse índice (CCME, 2001a).

Para a finalidade a qual o IQA-CCME foi aplicado ao presente estudo de caso – verificação da condição das águas perante seu enquadramento - foi verificado que esse índice atende as expectativas e demonstra de forma resumida à sociedade e tomadores de decisão o cenário de qualidade das águas. No entanto, sua aplicação, por não ser simples e envolver cálculos, deve ser realizada por pessoal capacitado e preparado. Além disso, faz-se necessário entender das condições do curso d´água e definir bem a finalidade a qual se deseja aplicá-lo para uma seleção correta de parâmetros.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação à bacia hidrográfica do Ribeirão da Mata, verificou-se que a agricultura predomina como principal atividade de uso e ocupação do solo na região e posteriormente tem-se a ocupação por áreas urbanas, tais como residências e indústriais. Cabe destacar também a área preservada por vegetação arbórea e arbustiva em especial nas unidades de conservação existentes na região, visto sua importância arqueológica e paleontológica.

Na avaliação da qualidade das águas no Ribeirão da Mata foi observado um maior número de ocorrências de contaminações provenientes de esgotos domésticos, prevalecendo essa sobre as demais potenciais fontes de contaminações originadas da mineração, atividades industriais e agropecuária. Essa afirmação foi possível verificar diante da prevalência de substâncias orgânicas indicadoras da presença de esgotos domésticos em todas as estações de amostragem enquanto das substâncias tóxicas houveram casos esporádicos.

De maneira geral, a qualidade das águas do Ribeirão da Mata, para fins de metas de uso de acordo com o enquadramento vigente, encontra-se em situações médias (faixas mediana, marginal e boa) não apresentando nenhum trecho na pior nem na melhor situação e, sim, nas situações intermediárias com poucos casos de retroscessos na qualidade das águas. Em sua maioria, do período de 2016 para 2017/2018 houveram melhorias nos resultados do IQA-CCME, mesmo que pequenas.

Sugere-se um aprofundamento no diagnóstico de uso e ocupação do solo desse ribeirão com a finalidade de identificar os fatores causadores da piora no índice nas estações e para investigação de potenciais fontes de contaminação industrial visto a presença de substâncias contaminantes cuja fonte não foi identificada.

A aplicabilidade do IQA-CCME para a finalidade a qual se propôs o estudo foi considerada satisfatória e pode ser recomendada para verificar se o curso d’água está ou não atendendo seus usos propostos e o quão pode estar distante dessa realidade. Para tanto, recomenda-se o uso do IQA-CCME para relatórios a serem disponibilizados à sociedade e Planos Diretores de Recursos Hídricos como forma de simplificar tais documentos trazendo informações sobre as condições das águas por meio de uma simples classificação.

Sobre o monitoramento da qualidade das águas realizado pelo IGAM foi verificado que o órgão possui uma rede ampla de estações de amostragem e um número bastante significativo de variáveis analisadas. Sugere-se como melhoria um alinhamento entre os parâmetros

analisados pelo Programa Águas de Minas e a DN COPAM-CERH nº 01 de 2008, visto que essa é a principal legislação estadual que trata da qualidade das águas.

Sobre a disponibilização de dados à sociedade pode-se destacar a facilidade de acesso e a variedade de informações fornecidas pelo IGAM, possibilitando a realização de pesquisas científicas e usos dos dados para acompanhamento dos interessados e tomada de decisões pelos comitês de bacia, por exemplo.

Ao longo do curso mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hidricos foi acompanhada a atuação do Sub-Comitê de Bacia Hidrográfica do Ribeirão da Mata e pôde ser observado que a maior parte dos conselheiros, mesmo que envolvidos com a gestão de recursos hídricos, desconhece o monitoramento da qualidade das águas realizado pelo IGAM. Recomenda-se assim uma capacitação e/ou divulgação do Programa Águas de Minas aos comitês de bacia hidrográfica do estado de Minas Gerais.

O IGAM utiliza outro índice de qualidade das águas e indicadores que não foram abordados aqui na presente dissertação, uma vez que não foi possível compará-los ao IQA-CCME, visto que os mesmos não são aplicados na área de estudo e sua finalidade e formas de cálculo e apresentação são por meio de métodos diferentes daqueles em que foi possível a comparação com o IQA-CCME.

Cabe ressaltar que o IGAM utiliza o termo “indicadores” para tratar todos as formas de apresentação da qualidade das águas por meio dos parâmetros verificados. No entanto, para fins desse estudo tornou-se importante conceituar os termos índices e indicadores e tratar essas informações de formas diferenciadas a fim de justificar as ferramentas estudadas e avaliadas.

A análise de cada estação de amostragem, não somente pelos resultados dos índices, como também pelos parâmetros, permitiu verificar que os índices retratam um cenário geral da qualidade das águas. No entanto, análises mais aprofundadas são necessárias para verificar as fontes de contaminação para um público direcionado à resolução dos conflitos de qualidade das águas.

# REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS, 179., 2005. Brasília. *Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil*. Disponível em: < http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/PANORAMA_DA_QUALIDADE_DAS_AGUAS.pdf>. Acesso em: 04 fev. 2019

_____. 2017. *Conjuntura de Recursos Hídricos Brasil 2017*. Brasília: Agência Nacional das Águas. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-deconteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conj2017_rel-1.pdf>. Acesso em 15 mai. 2019.

_____. (2013a) *Conjuntura de Recursos Hídricos Brasil 2013*. Brasília: Agência Nacional das Águas. Disponível em: http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/PDFs%20agregados/ANA_Conjuntura_Recursos_Hidricos_Brasil_capitulos_.pdf. Acesso em 16 mai. 2019.

_____. (2013b) *Resolução nº 903, de 22 de julho de 2013*. Cria a Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais – RNQA e estabelece suas diretrizes. Brasília.

_____. (2016) *Resolução nº 643, de 27 de julho de 2016*. Altera o Programa de Estímulo de Dados de Qualidade de Água – QUALIÁGUA e dá outras providências. Brasília.

_____. (2019*) Resposta à Comunicação Interna nº 406/2019/COR* (Documento 02500.056657/2019-34). Brasília, 2019.

ALMEIDA, G.S. *Avaliação da Aplicação do IQA-CCME na divulgação da qualidade de água de bacias hidrográficas*. Estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Joanes. 2014. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

BRASIL. (1997) *Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997*. Institui a Política Nacional de Recursos Hídrico, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta a inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei n°8001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em 20 abr. 2019.

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. Canada, 2001a. 13 f. Disponível em: <http://www.ccme.ca/assets/pdf/wqi_techrprtfctsht_e.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2019.

___. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, User's Manual. Canada, 2001b. 5 f. Disponível em: <http://www.ccme.ca/assets/pdf/wqi_techrprtfctsht_e.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2019.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2013). Q*ualidade das águas superficiais no estado de São Paulo de 2013*. CETESB,São Paulo,310 p. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes.asp>.Acesso em: 12 fev. 2019;

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2017) *Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo -2018*. Disponível em:< https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2019/07/Resumo-Executivo-Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-das-%C3%81guas-Interiores-no-Estado-de-S%C3%A3o-Paulo-2018.pdf>. Acesso em 01 mai. 2019

COBRAPE. *Relatório Final de Arranjo da Rede Nacional de Qualidade das Águas*. Brasília, Distrito Federal, 2012. 231 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. (2018) *Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo -2018*. Disponível em:< https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2019/07/Resumo-Executivo-Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-das-%C3%81guas-Interiores-no-Estado-de-S%C3%A3o-Paulo-2018.pdf>. Acesso em 01 mai. 2019

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL, CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Deliberação Normativa Conjunta nº 01 de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado de Minas Gerais,* Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 13 mai. 2008. Seção 1. p. 113. Disponível em: <http://www.iof.mg.gov.br>. Acesso em: 16 out.2018

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. (2017) *Qualidade das Águas dos Reservatórios do Paraná.* Disponível em: < http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Qualidade_das_aguas/Relatoriofinal.pdf>. Acesso em: 21 maio 2019

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). *Relatório de Gestão e Situação dos Recursos Hídricos em Minas Gerais*. 2. ed. Belo Horizonte, 2014.

_____. (2016) *Avaliação da Qualidade das Águas Superficiais em 2016*.

_____. (2017) *Avaliação da Qualidade das Águas Superficiais em 2017*.

_____. (2018) *Avaliação da Qualidade das Águas Superficiais em 2018*.

LAVARINI, C.; MAGALHÃES JR, A. P. Cabeceiras de drenagem do Ribeirão da Mata (MG) e suas relações com as superfícies de aplanamento de King (1956). *Revista Geonorte*, Coroado, v. 2, n. 4,p. 250-260, 2012.

NUNES, Ana Cláudia; GARCIA, Mariana. Ribeirão da Mata: diversidade de terras e riquezas. *Jornal Manuelzão*. 15 Out. 2006. Disponível em: <https://sites.google.com/site/ribeiraodamata/home/revista-ribeirao-da-mata>. Acesso em: 16 out. 2014.

PORTAL INFOHIDRO. *Informações sobre Recursos Hídricos*. Disponível em: < http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/sem-categoria/319-indice-de-qualidade-das-aguas-iqa> Acesso em: 12 dez. 2019.

RIBEIRO, E. V.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P.; HORN, A. H.; TRINDADE, W. M. Metais pesados e qualidade da água do Rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora - MG: índice de contaminação. *Geonomos*, Belo Horizonte, v. 20, n. 1, p. 49-63, 2012.

SANTOS, N. A. P; MAILLARD, P. Uso do Sensoriamento Remoto e de um Sistema de Informação Geográfica na Modelagem da Poluição Difusa na Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas**.** In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Goiânia, *Anais*, 2011.

SPERLING, V. M. *Estudos e modelagem da qualidade da água de rios*. Belo Horizonte, 2007. UFMG, 588 p. V 7.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE DO AMAZONAS. (2018) *Plano diretor de Recursos Hídricos*: Versão Preliminar. Disponível em: < http://meioambiente.am.gov.br/plano-estadual-de-recursos-hidricos/>. Acesso em 21 mai. 2019.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO PARANÁ. (2010). *Plano Estadual de Recursos Hídricos do Paraná*: Resumo Executivo. Disponível em: http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/PLERH/resumo_executivo_PLERH.pdf. Acesso em 25 mai. 2019.

SPERLING, V. M. Marcos; *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.

SOUZA, R. G. *Monitoramento da Qualidade das Águas* [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <anapaula@ambientesustentavelconsultoria.com> em 23 mai. 2019

TORRES, I. F. A.; REIS, L. P. G.; COSTA, T. A.; RODRIGUES, L. S.; SOTO-BLANCO, B.; MELO, M. M. *Avaliação química da qualidade da água do Ribeirão da Mata (MG*).

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631p

UNITED NATIONS. *Agenda 21*. Rio de Janeiro, Brasil: United Nations Conference on Environment & Development, 1992. 338 p.

**APÊNDICE A –** Resultados do Cálculo do IQA-CCME para Avaliação da Qualidade das Águas do Ribeirão da Mata

| Estação | Descrição | Data de Amostragem | Hora de Amostragem | Condição do tempo | nº de campanhas | n° total de parâmetros por campanha | nº total de variáveis | nº de variáveis não conformes | nº total de testes | nº de testes não conformes por campanha | nº de testes falhos | Σ discrepâncias | NSE | Alcance % (F1) | Frequência % (F2) | Amplitude % (F3) | IQA CCME | Categoria |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BV130 | Ribeirão da Mata próximo de sua foz no Rio das Velhas | 21/01/2016 | 14:00 | Nublado | 4 | 29 | 29 | 10 | 100 | 8 | 20 | 45,83 | 1,18 | 34,48 | 20 | 54 | 61,22 | MARGINAL |
| | | 14/04/2016 | 13:30 | Bom | | 21 | | | | 4 | | 37,72 | | | | | | |
| | | 14/07/2016 | 14:00 | Bom | | 29 | | | | 5 | | 16,77 | | | | | | |
| | | 27/10/2016 | 13:40 | Bom | | 21 | | | | 3 | | 17,37 | | | | | | |
| | | 19/01/2017 | 14:00 | Bom | 7 | 29 | 29 | 9 | 179 | 2 | 30 | 6,86 | 0,94 | 31,03 | 16,76 | 48 | 65,39 | MEDIANA |
| | | 20/07/2017 | 14:50 | Bom | | 29 | | | | 5 | | 16,66 | | | | | | |
| | | 16/10/2017 | 12:50 | Bom | | 21 | | | | 6 | | 37,58 | | | | | | |
| | | 18/01/2018 | 14:30 | Bom | | 29 | | | | 4 | | 25,58 | | | | | | |
| | | 19/04/2018 | 13:30 | Bom | | 21 | | | | 2 | | 17,23 | | | | | | |
| | | 26/07/2018 | 14:50 | Bom | | 29 | | | | 5 | | 33,17 | | | | | | |
| | | 19/10/2018 | 14:10 | Nublado | | 21 | | | | 6 | | 31,26 | | | | | | |
| BV160 | Ribeirão das Neves próximo de sua foz no Ribeirão da Mata | 21/01/2016 | 11:40 | Nublado | 4 | 29 | 29 | 11 | 102 | 8 | 20 | 43,57 | 1,49 | 37,93 | 19,61 | 60 | 57,54 | MARGINAL |
| | | 14/04/2016 | 11:30 | Bom | | 22 | | | | 3 | | 40,76 | | | | | | |
| | | 14/07/2016 | 11:50 | Bom | | 29 | | | | 5 | | 36,61 | | | | | | |
| | | 27/10/2016 | 11:40 | Bom | | 22 | | | | 4 | | 31,21 | | | | | | |
| | | 19/01/2017 | 12:30 | Bom | 7 | 29 | 29 | 8 | 182 | 3 | 34 | 23,90 | 1,15 | 27,59 | 18,68 | 54 | 63,57 | MARGINAL |
| | | 20/07/2017 | 12:00 | Bom | | 29 | | | | 5 | | 25,22 | | | | | | |
| | | 16/10/2017 | 11:20 | Bom | | 22 | | | | 5 | | 36,60 | | | | | | |
| | | 18/01/2018 | 12:10 | Bom | | 29 | | | | 7 | | 29,22 | | | | | | |
| | | 19/04/2018 | 11:30 | Bom | | 22 | | | | 4 | | 25,76 | | | | | | |
| | | 26/07/2018 | 12:00 | Bom | | 29 | | | | 5 | | 38,22 | | | | | | |
| | | 18/10/2018 | 13:10 | Chuvoso | | 22 | | | | 5 | | 31,20 | | | | | | |
| SC12 | Ribeirão das Areias a montante do aterro sanitário de Ribeirão das Neves | 21/01/2016 | 14:50 | Nublado | 4 | 29 | 29 | 4 | 100 | 3 | 7 | 6,52 | 0,09 | 13,79 | 7 | 8 | 89,89 | BOA |
| | | 18/04/2016 | 14:00 | Bom | | 21 | | | | 0 | | -1,00 | | | | | | |
| | | 19/07/2016 | 13:30 | Bom | | 29 | | | | 2 | | 1,43 | | | | | | |
| | | 20/10/2016 | 13:45 | Bom | | 21 | | | | 2 | | 2,01 | | | | | | |
| | | 18/01/2017 | 13:30 | Bom | 7 | 29 | 29 | 6 | 179 | 2 | 10 | 2,38 | 0,04 | 20,69 | 5,59 | 4 | 87,44 | BOA |
| | | 19/07/2017 | 14:00 | Bom | | 29 | | | | 2 | | 3,36 | | | | | | |
| | | 17/10/2017 | 13:30 | Bom | | 21 | | | | 1 | | -0,57 | | | | | | |
| | | 16/01/2018 | 13:15 | Bom | | 29 | | | | 1 | | -0,41 | | | | | | |
| | | 24/04/2018 | 12:30 | Nublado | | 21 | | | | 2 | | 3,59 | | | | | | |
| | | 26/07/2018 | 13:15 | Bom | | 29 | | | | 1 | | -0,69 | | | | | | |
| | | 17/10/2018 | 13:20 | Nublado | | 21 | | | | 1 | | -0,80 | | | | | | |

| Estação | Descrição | Data de Amostragem | Hora de Amostragem | Condição do tempo | nº de campanhas | n° total de parâmetros por campanha | nº total de variáveis | nº de variáveis não conformes | nº total de testes | nº de testes não conformes por campanha | nº de testes falhos | Σ discrepâncias | NSE | Alcance % (F1) | Frequência % (F2) | Amplitude (F3) | IQA CCME | Categoria |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SC13 | Ribeirão das Areias a jusante do aterro sanitário de Ribeirão das Neves | 21/01/2016 | 15:15 | Nublado | 4 | 29 | 29 | 8 | 100 | 6 | 19 | 32,01 | 1,36 | 27,59 | 19 | 58 | 61,49 | MARGINAL |
| | | 18/04/2016 | 14:30 | Bom | | 21 | | | | 3 | | 47,09 | | | | | | |
| | | 19/07/2016 | 13:50 | Bom | | 29 | | | | 5 | | 28,58 | | | | | | |
| | | 20/10/2016 | 14:10 | Bom | | 21 | | | | 5 | | 28,66 | | | | | | |
| | | 18/01/2017 | 14:00 | Bom | 7 | 29 | 29 | 9 | 179 | 5 | 31 | 15,10 | 0,86 | 31,03 | 17,32 | 46 | 66,379 | MEDIANA |
| | | 19/07/2017 | 14:35 | Bom | | 29 | | | | 6 | | 23,53 | | | | | | |
| | | 17/10/2017 | 14:10 | Bom | | 21 | | | | 3 | | 11,03 | | | | | | |
| | | 16/01/2018 | 14:00 | Bom | | 29 | | | | 4 | | 19,98 | | | | | | |
| | | 24/04/2018 | 13:10 | Nublado | | 21 | | | | 4 | | 24,75 | | | | | | |
| | | 26/07/2018 | 13:45 | Bom | | 29 | | | | 5 | | 30,23 | | | | | | |
| | | 17/10/2018 | 13:45 | Nublado | | 21 | | | | 4 | | 28,74 | | | | | | |
| SC17 | Ribeirão da Mata a montante da ETE Vespasiano | 22/01/2016 | 10:10 | Nublado | 4 | 29 | 29 | 10 | 100 | 8 | 20 | 25,81 | 0,63 | 34,48 | 20 | 39 | 67,90 | MEDIANA |
| | | 19/04/2016 | 10:10 | Bom | | 21 | | | | 4 | | 10,01 | | | | | | |
| | | 20/07/2016 | 09:00 | Bom | | 29 | | | | 4 | | 18,11 | | | | | | |
| | | 21/10/2016 | 09:30 | Bom | | 21 | | | | 4 | | 9,41 | | | | | | |
| | | 19/01/2017 | 09:30 | Bom | 7 | 29 | 29 | 7 | 179 | 3 | 30 | 13,24 | 0,92 | 24,14 | 16,76 | 48 | 67,48 | MEDIANA |
| | | 20/07/2017 | 09:40 | Bom | | 29 | | | | 6 | | 20,63 | | | | | | |
| | | 18/10/2017 | 09:35 | Bom | | 21 | | | | 4 | | 30,48 | | | | | | |
| | | 18/01/2018 | 09:45 | Bom | | 29 | | | | 4 | | 31,75 | | | | | | |
| | | 25/04/2018 | 09:20 | Bom | | 21 | | | | 4 | | 14,18 | | | | | | |
| | | 27/07/2018 | 09:30 | Bom | | 29 | | | | 5 | | 29,23 | | | | | | |
| | | 18/10/2018 | 09:40 | Bom | | 21 | | | | 4 | | 26,04 | | | | | | |
| SC21 | Ribeirão da Mata a jusante da confluência com Ribeirão das Neves | 21/01/2016 | 12:10 | Nublado | 4 | 29 | 29 | 10 | 100 | 8 | 19 | 51,13 | 1,14 | 34,48 | 19 | 53 | 61,80 | MARGINAL |
| | | 14/04/2016 | 12:00 | Bom | | 21 | | | | 4 | | 21,61 | | | | | | |
| | | 14/07/2016 | 12:20 | Bom | | 29 | | | | 4 | | 26,59 | | | | | | |
| | | 27/10/2016 | 12:10 | Bom | | 21 | | | | 3 | | 14,19 | | | | | | |
| | | 19/01/2017 | 13:00 | Bom | 7 | 29 | 29 | 7 | 179 | 2 | 24 | 23,20 | 0,89 | 24,14 | 13,41 | 47 | 68,53 | MEDIANA |
| | | 20/07/2017 | 13:00 | Bom | | 29 | | | | 3 | | 17,38 | | | | | | |
| | | 16/10/2017 | 12:00 | Bom | | 21 | | | | 3 | | 14,57 | | | | | | |
| | | 18/01/2018 | 12:40 | Bom | | 29 | | | | 4 | | 25,48 | | | | | | |
| | | 19/04/2018 | 12:20 | Bom | | 21 | | | | 4 | | 24,29 | | | | | | |
| | | 26/07/2018 | 13:10 | Bom | | 29 | | | | 4 | | 27,76 | | | | | | |
| | | 18/10/2018 | 13:30 | Chuvoso | | 21 | | | | 4 | | 26,00 | | | | | | |

| Estação | Descrição | Data de Amostragem | Hora de Amostragem | Condição do tempo | nº de campanhas | n° total de parâmetros por campanha | nº total de variáveis | nº de variáveis não conformes | nº total de testes | nº de testes não conformes por campanha | nº de testes falhos | Σ discrepâncias | NSE | Alcance % (F1) | Frequência % (F2) | Amplitude % (F3) | IQA CCME | Categoria |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SC22 | Ribeirão da Mata a montante da ETE Matozinhos | 21/01/2016 | 09:50 | Nublado | 4 | 29 | 29 | 8 | 100 | 7 | 10 | 10,86 | 0,113545 | 27,59 | 10 | 10 | 82,06 | BOA |
| | | 14/04/2016 | 09:30 | Bom | | 21 | | | | 1 | | -0,77 | | | | | | |
| | | 14/07/2016 | 09:50 | Bom | | 29 | | | | 1 | | 0,76 | | | | | | |
| | | 27/10/2016 | 09:30 | Bom | | 21 | | | | 1 | | 0,50 | | | | | | |
| | | 19/01/2017 | 10:20 | Bom | 7 | 29 | 29 | 7 | 179 | 2 | 14 | -0,69 | 0,404431535 | 24,14 | 7,82 | 29 | 77,84 | MEDIANA |
| | | 20/07/2017 | 09:30 | Bom | | 29 | | | | 0 | | -1,00 | | | | | | |
| | | 16/10/2017 | 09:20 | Bom | | 21 | | | | 3 | | 28,23 | | | | | | |
| | | 18/01/2018 | 10:00 | Bom | | 29 | | | | 5 | | 35,70 | | | | | | |
| | | 19/04/2018 | 09:20 | Bom | | 21 | | | | 1 | | 1,26 | | | | | | |
| | | 26/07/2018 | 09:30 | Bom | | 29 | | | | 1 | | 9,20 | | | | | | |
| | | 18/10/2018 | 10:10 | Nublado | | 21 | | | | 2 | | -0,29 | | | | | | |
| SC23 | Ribeirão da Mata a jusante da ETE Matozinhos | 21/01/2016 | 10:30 | Nublado | 4 | 29 | 29 | 8 | 100 | 5 | 16 | 7,74 | 3,125873076 | 27,59 | 16 | 76 | 52,54 | MARGINAL |
| | | 14/04/2016 | 10:00 | Bom | | 21 | | | | 3 | | 244,12 | | | | | | |
| | | 14/07/2016 | 10:20 | Bom | | 29 | | | | 4 | | 25,86 | | | | | | |
| | | 27/10/2016 | 10:20 | Bom | | 21 | | | | 4 | | 34,87 | | | | | | |
| | | 19/01/2017 | 11:00 | Bom | 7 | 29 | 29 | 8 | 179 | 3 | 28 | 24,46 | 1,099076833 | 27,59 | 15,64 | 52 | 64,66 | MARGINAL |
| | | 20/07/2017 | 10:40 | Bom | | 29 | | | | 5 | | 34,20 | | | | | | |
| | | 16/10/2017 | 10:05 | Bom | | 21 | | | | 4 | | 28,25 | | | | | | |
| | | 18/01/2018 | 10:45 | Bom | | 29 | | | | 5 | | 26,93 | | | | | | |
| | | 19/04/2018 | 10:00 | Bom | | 21 | | | | 3 | | 24,42 | | | | | | |
| | | 26/07/2018 | 10:20 | Bom | | 29 | | | | 4 | | 32,10 | | | | | | |
| | | 18/10/2018 | 11:15 | Nublado | | 21 | | | | 4 | | 26,38 | | | | | | |

**APÊNDICE B –** Resultados do cálculo do IQA-CCME aplicados aos parâmetros do IQA-NSF

| Estação | Descrição | Data de Amostragem | Hora de Amostragem | Condição de tempo | nº de campanhas | n° total de parâmetros por campanha | nº total de variáveis | nº de variáveis não conformes | nº total de testes | nº de testes não conformes por campanha | nº de testes falhos | Σ discrepâncias | NSE | Alcance % (F1) | Frequência % (F2) | Amplitude (F3) | IQA CCME | Categoria |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BV130 | Ribeirão da Mata próximo de sua foz no Rio das Velhas | 21/01/2016 | 14:00 | Nublado | 4 | 9 | 9 | 5 | 36 | 4 | 12 | 26,56 | 2,45 | 55,56 | 33,33 | 71 | 44,49 | RUIM |
| | | 14/04/2016 | 13:30 | Bom | | 9 | | | | 3 | | 35,19 | | | | | | |
| | | 14/07/2016 | 14:00 | Bom | | 9 | | | | 2 | | 11,66 | | | | | | |
| | | 27/10/2016 | 13:40 | Bom | | 9 | | | | 3 | | 14,90 | | | | | | |
| | | 19/01/2017 | 14:00 | Bom | 7 | 9 | 9 | 6 | 56 | 2 | 22 | 7,95 | 2,58 | 66,67 | 39,29 | 72 | 38,94 | RUIM |
| | | 20/07/2017 | 14:50 | Bom | | 9 | | | | 4 | | 9,75 | | | | | | |
| | | 16/10/2017 | 12:50 | Bom | | 9 | | | | 3 | | 30,66 | | | | | | |
| | | 18/01/2018 | 14:30 | Bom | | 9 | | | | 3 | | 23,61 | | | | | | |
| | | 19/04/2018 | 13:30 | Bom | | 9 | | | | 3 | | 18,50 | | | | | | |
| | | 26/07/2018 | 14:50 | Bom | | 9 | | | | 4 | | 26,93 | | | | | | |
| | | 19/10/2018 | 14:10 | Nublado | | 9 | | | | 3 | | 27,16 | | | | | | |
| BV160 | Ribeirão das Neves próximo de sua foz no Ribeirão da Mata | 21/01/2016 | 11:40 | Nublado | 4 | 9 | 9 | 6 | 36 | 4 | 14 | 37,55 | 3,71 | 66,67 | 38,89 | 79 | 36,32 | RUIM |
| | | 14/04/2016 | 11:30 | Bom | | 9 | | | | 4 | | 40,90 | | | | | | |
| | | 14/07/2016 | 11:50 | Bom | | 9 | | | | 4 | | 28,98 | | | | | | |
| | | 27/10/2016 | 11:40 | Bom | | 9 | | | | 2 | | 26,30 | | | | | | |
| | | 19/01/2017 | 12:30 | Bom | 7 | 9 | 9 | 5 | 56 | 4 | 26 | 25,12 | 3,32 | 55,56 | 46,43 | 77 | 39,05 | RUIM |
| | | 20/07/2017 | 12:00 | Bom | | 9 | | | | 4 | | 17,03 | | | | | | |
| | | 16/10/2017 | 11:20 | Bom | | 9 | | | | 3 | | 29,32 | | | | | | |
| | | 18/01/2018 | 12:10 | Bom | | 9 | | | | 4 | | 25,92 | | | | | | |
| | | 19/04/2018 | 11:30 | Bom | | 9 | | | | 4 | | 26,22 | | | | | | |
| | | 26/07/2018 | 12:00 | Bom | | 9 | | | | 4 | | 30,30 | | | | | | |
| | | 18/10/2018 | 13:10 | Chuvoso | | 9 | | | | 3 | | 31,74 | | | | | | |
| SC12 | Ribeirão das Areias a montante do aterro sanitário de Ribeirão das Neves | 21/01/2016 | 14:50 | Nublado | 4 | 9 | 9 | 2 | 36 | 2 | 7 | 2,88 | 0,18 | 22,22 | 19,44 | 15 | 80,75 | BOA |
| | | 18/04/2016 | 14:00 | Bom | | 9 | | | | 1 | | 0,42 | | | | | | |
| | | 19/07/2016 | 13:30 | Bom | | 9 | | | | 2 | | 2,69 | | | | | | |
| | | 20/10/2016 | 13:45 | Bom | | 9 | | | | 2 | | 0,60 | | | | | | |
| | | 18/01/2017 | 13:30 | Bom | 7 | 9 | 9 | 2 | 56 | 2 | 11 | 2,85 | 0,22 | 22,22 | 19,64 | 18 | 79,89 | MEDIANA |
| | | 19/07/2017 | 14:00 | Bom | | 9 | | | | 2 | | 2,04 | | | | | | |
| | | 17/10/2017 | 13:30 | Bom | | 9 | | | | 1 | | 0,61 | | | | | | |
| | | 16/01/2018 | 13:15 | Bom | | 9 | | | | 1 | | 0,67 | | | | | | |
| | | 24/04/2018 | 12:30 | Nublado | | 9 | | | | 2 | | 4,75 | | | | | | |
| | | 26/07/2018 | 13:15 | Bom | | 9 | | | | 2 | | 1,11 | | | | | | |
| | | 17/10/2018 | 13:20 | Nublado | | 9 | | | | 1 | | 0,48 | | | | | | |

| Estação | Descrição | Data de Amostragem | Hora de Amostragem | Condição de tempo | nº de campanhas | n° total de parâmetros por campanha | nº total de variáveis | nº de variáveis não conformes | nº total de testes | nº de testes não conformes por campanha | nº de testes falhos | Σ discrepâncias | NSE | Alcance % (F1) | Frequência % (F2) | Amplitude (F3) | IQA CCME | Categoria |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SC13 | Ribeirão das Areias a jusante do aterro sanitário de Ribeirão das Neves | 21/01/2016 | 15:15 | Nublado | 4 | 9 | 9 | 4 | 36 | 4 | 14 | 33,12 | 3,82 | 44,44 | 38,89 | 79 | 42,92 | RUIM |
| | | 18/04/2016 | 14:30 | Bom | 7 | 9 | 9 | 4 | 56 | 3 | 27 | 47,68 | 2,66 | 44,44 | 48,21 | 73 | 43,48 | RUIM |
| | | 19/07/2016 | 13:50 | Bom | | 9 | | | | 4 | | 27,84 | | | | | | |
| | | 20/10/2016 | 14:10 | Bom | | 9 | | | | 3 | | 29,18 | | | | | | |
| | | 18/01/2017 | 14:00 | Bom | | 9 | | | | 4 | | 13,30 | | | | | | |
| | | 19/07/2017 | 14:35 | Bom | | 9 | | | | 3 | | 20,23 | | | | | | |
| | | 17/10/2017 | 14:10 | Bom | | 9 | | | | 4 | | 12,26 | | | | | | |
| | | 16/01/2018 | 14:00 | Bom | | 9 | | | | 4 | | 19,37 | | | | | | |
| | | 24/04/2018 | 13:10 | Nublado | | 9 | | | | 4 | | 25,98 | | | | | | |
| | | 26/07/2018 | 13:45 | Bom | | 9 | | | | 4 | | 29,22 | | | | | | |
| | | 17/10/2018 | 13:45 | Nublado | | 9 | | | | 4 | | 28,69 | | | | | | |
| SC17 | Ribeirão da Mata a montante da ETE Vespasiano | 22/01/2016 | 10:10 | Nublado | 4 | 9 | 9 | 6 | 36 | 5 | 13 | 24,06 | 1,72 | 66,67 | 36,11 | 63 | 43,00 | RUIM |
| | | 19/04/2016 | 10:10 | Bom | | 9 | | | | 3 | | 10,79 | | | | | | |
| | | 20/07/2016 | 09:00 | Bom | | 9 | | | | 2 | | 17,36 | | | | | | |
| | | 21/10/2016 | 09:30 | Bom | | 9 | | | | 3 | | 9,69 | | | | | | |
| | | 19/01/2017 | 09:30 | Bom | 7 | 9 | 9 | 4 | 56 | 3 | 23 | 14,08 | 2,84 | 44,44 | 41,07 | 74 | 44,81 | RUIM |
| | | 20/07/2017 | 09:40 | Bom | | 9 | | | | 3 | | 13,72 | | | | | | |
| | | 18/10/2017 | 09:35 | Bom | | 9 | | | | 3 | | 29,70 | | | | | | |
| | | 18/01/2018 | 09:45 | Bom | | 9 | | | | 4 | | 30,49 | | | | | | |
| | | 25/04/2018 | 09:20 | Bom | | 9 | | | | 3 | | 15,20 | | | | | | |
| | | 27/07/2018 | 09:30 | Bom | | 9 | | | | 4 | | 29,37 | | | | | | |
| | | 18/10/2018 | 09:40 | Bom | | 9 | | | | 3 | | 26,76 | | | | | | |
| SC21 | Ribeirão da Mata a jusante da confluência com Ribeirão das Neves | 21/01/2016 | 12:10 | Nublado | 4 | 9 | 9 | 6 | 36 | 5 | 15 | 47,74 | 2,86 | 66,67 | 41,67 | 74 | 37,64 | RUIM |
| | | 14/04/2016 | 12:00 | Bom | | 9 | | | | 4 | | 19,98 | | | | | | |
| | | 14/07/2016 | 12:20 | Bom | | 9 | | | | 3 | | 23,56 | | | | | | |
| | | 27/10/2016 | 12:10 | Bom | | 9 | | | | 3 | | 11,54 | | | | | | |
| | | 19/01/2017 | 13:00 | Bom | 7 | 9 | 9 | 4 | 56 | 3 | 24 | 24,44 | 2,71 | 44,44 | 42,86 | 73 | 44,79 | RUIM |
| | | 20/07/2017 | 13:00 | Bom | | 9 | | | | 4 | | 17,86 | | | | | | |
| | | 16/10/2017 | 12:00 | Bom | | 9 | | | | 3 | | 9,53 | | | | | | |
| | | 18/01/2018 | 12:40 | Bom | | 9 | | | | 3 | | 24,51 | | | | | | |
| | | 19/04/2018 | 12:20 | Bom | | 9 | | | | 4 | | 24,14 | | | | | | |
| | | 26/07/2018 | 13:10 | Bom | | 9 | | | | 4 | | 24,06 | | | | | | |
| | | 18/10/2018 | 13:30 | Chuvoso | | 9 | | | | 3 | | 26,99 | | | | | | |

| Estação | Descrição | Data de Amostragem | Hora de Amostragem | Condição de tempo | nº de campanhas | n° total de parâmetros por campanha | nº total de variáveis | nº de variáveis não conformes | nº total de testes | nº de testes não conformes por campanha | nº de testes falhos | Σ discrepâncias | NSE | Alcance % (F1) | Frequência % (F2) | Amplitude (F3) | IQA CCME | Categoria |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SC22 | Ribeirão da Mata a montante da ETE Matozinhos | 21/01/2016 | 09:50 | Nublado | 4 | 9 | 9 | 5 | 36 | 4 | 8 | 9,62 | 0,34 | 55,56 | 22,22 | 26 | 62,44 | MARGINAL |
| | | 14/04/2016 | 09:30 | Bom | | 9 | | | | 2 | | 0,63 | | | | | | |
| | | 14/07/2016 | 09:50 | Bom | | 9 | | | | 2 | | 2,08 | | | | | | |
| | | 27/10/2016 | 09:30 | Bom | | 9 | | | | 0 | | 0,00 | | | | | | |
| | | 19/01/2017 | 10:20 | Bom | 7 | 9 | 9 | 4 | 56 | 2 | 12 | 0,37 | 1,11 | 44,44 | 21,43 | 53 | 58,34 | MARGINAL |
| | | 20/07/2017 | 09:30 | Bom | | 9 | | | | 1 | | 0,30 | | | | | | |
| | | 16/10/2017 | 09:20 | Bom | | 9 | | | | 1 | | 23,20 | | | | | | |
| | | 18/01/2018 | 10:00 | Bom | | 9 | | | | 3 | | 24,22 | | | | | | |
| | | 19/04/2018 | 09:20 | Bom | | 9 | | | | 2 | | 2,78 | | | | | | |
| | | 26/07/2018 | 09:30 | Bom | | 9 | | | | 2 | | 10,90 | | | | | | |
| | | 18/10/2018 | 10:10 | Nublado | | 9 | | | | 1 | | 0,52 | | | | | | |
| SC23 | Ribeirão da Mata a jusante da ETE Matozinhos | 21/01/2016 | 10:30 | Nublado | 4 | 9 | 9 | 5 | 36 | 3 | 13 | 8,01 | 8,70 | 55,55 | 36,11 | 90 | 35,62 | RUIM |
| | | 14/04/2016 | 10:00 | Bom | | 9 | | | | 4 | | 245,16 | | | | | | |
| | | 14/07/2016 | 10:20 | Bom | | 9 | | | | 3 | | 26,80 | | | | | | |
| | | 27/10/2016 | 10:20 | Bom | | 9 | | | | 3 | | 33,11 | | | | | | |
| | | 19/01/2017 | 11:00 | Bom | 7 | 9 | 9 | 4 | 56 | 4 | 23 | 25,48 | 3,51 | 44,441 | 41,071 | 78 | 43,09 | RUIM |
| | | 20/07/2017 | 10:40 | Bom | | 9 | | | | 3 | | 32,27 | | | | | | |
| | | 16/10/2017 | 10:05 | Bom | | 9 | | | | 3 | | 27,90 | | | | | | |
| | | 18/01/2018 | 10:45 | Bom | | 9 | | | | 2 | | 25,10 | | | | | | |
| | | 19/04/2018 | 10:00 | Bom | | 9 | | | | 4 | | 25,76 | | | | | | |
| | | 26/07/2018 | 10:20 | Bom | | 9 | | | | 4 | | 32,83 | | | | | | |
| | | 18/10/2018 | 11:15 | Nublado | | 9 | | | | 3 | | 27,00 | | | | | | |

**APÊNDICE C –** Resultados do cálculo do IQA-CCME aplicados aos parâmetros do CT

| Estação | Descrição | Data de Amostragem | Hora de Amostragem | Condição de tempo | nº de campanhas | n° total de parâmetros por campanha | nº total de variáveis | nº de variáveis não conformes | nº total de testes | nº de testes não conformes por campanha | nº de testes falhos | Σ discrepâncias | NSE | Alcance % (F1) | Frequência % (F2) | Amplitude% (F3) | IQA CCME | Categoria |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BV130 | Ribeirão da Mata próximo de sua foz no Rio das Velhas | 21/01/2016 | 14:00 | Nublado | 4 | 12 | 13 | 3 | 38 | 2 | 8 | 0,28 | 0,24 | 23,08 | 21,05 | 19 | 78,81 | MEDIANA |
| BV130 | | 14/04/2016 | 13:30 | Bom | | 7 | | | | 2 | | 1,90 | | | | | | |
| BV130 | | 14/07/2016 | 14:00 | Bom | | 12 | | | | 2 | | 4,35 | | | | | | |
| BV130 | | 27/10/2016 | 13:40 | Bom | | 7 | | | | 2 | | 2,53 | | | | | | |
| BV130 | | 19/01/2017 | 14:00 | Bom | 7 | 12 | 13 | 2 | 69 | 1 | 11 | 0,00 | 0,29 | 15,38 | 15,94 | 22 | 81,83 | BOA |
| BV130 | | 20/07/2017 | 14:50 | Bom | | 12 | | | | 2 | | 6,15 | | | | | | |
| BV130 | | 16/10/2017 | 12:50 | Bom | | 7 | | | | 2 | | 5,90 | | | | | | |
| BV130 | | 18/01/2018 | 14:30 | Bom | | 12 | | | | 2 | | 1,77 | | | | | | |
| BV130 | | 19/04/2018 | 13:30 | Bom | | 7 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| BV130 | | 26/07/2018 | 14:50 | Bom | | 12 | | | | 2 | | 6,05 | | | | | | |
| BV130 | | 19/10/2018 | 14:10 | Nublado | | 7 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| BV160 | Ribeirão das Neves próximo de sua foz no Ribeirão da Mata | 21/01/2016 | 11:40 | Nublado | 4 | 12 | 13 | 3 | 40 | 2 | 7 | 0,43 | 0,31 | 23,08 | 17,5 | 23 | 78,47 | MEDIANA |
| BV160 | | 14/04/2016 | 11:30 | Bom | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| BV160 | | 14/07/2016 | 11:50 | Bom | | 12 | | | | 2 | | 7,45 | | | | | | |
| BV160 | | 27/10/2016 | 11:40 | Bom | | 8 | | | | 2 | | 4,40 | | | | | | |
| BV160 | | 19/01/2017 | 12:30 | Bom | 7 | 12 | 13 | 2 | 72 | 1 | 11 | 0,00 | 0,36 | 15,38 | 15,28 | 27 | 80,21 | BOA |
| BV160 | | 20/07/2017 | 12:00 | Bom | | 12 | | | | 2 | | 8,05 | | | | | | |
| BV160 | | 16/10/2017 | 11:20 | Bom | | 8 | | | | 2 | | 7,20 | | | | | | |
| BV160 | | 18/01/2018 | 12:10 | Bom | | 12 | | | | 2 | | 2,37 | | | | | | |
| BV160 | | 19/04/2018 | 11:30 | Bom | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| BV160 | | 26/07/2018 | 12:00 | Bom | | 12 | | | | 2 | | 8,40 | | | | | | |
| BV160 | | 18/10/2018 | 13:10 | Chuvoso | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC12 | Ribeirão das Areias a montante do aterro sanitário de Ribeirão das Neves | 21/01/2016 | 14:50 | Nublado | 4 | 12 | 13 | 1 | 40 | 1 | 4 | 0,00 | 0 | 7,69 | 10 | 0 | 92,72 | BOA |
| SC12 | | 18/04/2016 | 14:00 | Bom | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC12 | | 19/07/2016 | 13:30 | Bom | | 12 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC12 | | 20/10/2016 | 13:45 | Bom | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC12 | | 18/01/2017 | 13:30 | Bom | 7 | 12 | 13 | 2 | 72 | 1 | 8 | 0,00 | 0,03 | 15,38 | 11,11 | 3 | 88,93 | BOA |
| SC12 | | 19/07/2017 | 14:00 | Bom | | 12 | | | | 2 | | 2,00 | | | | | | |
| SC12 | | 17/10/2017 | 13:30 | Bom | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC12 | | 16/01/2018 | 13:15 | Bom | | 12 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC12 | | 24/04/2018 | 12:30 | Nublado | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC12 | | 26/07/2018 | 13:15 | Bom | | 12 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC12 | | 17/10/2018 | 13:20 | Nublado | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |

| Estação | Descrição | Data de Amostragem | Hora de Amostragem | Condição de tempo | nº de campanhas | n° total de parâmetros por campanha | nº total de variáveis | nº de variáveis não conformes | nº total de testes | nº de testes não conformes por campanha | nº de testes falhos | Σ discrepâncias | NSE | Alcance % (F1) | Frequência % (F2) | Amplitude (F3) | IQA CCME | Categoria |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SC13 | Ribeirão das Areias a jusante do aterro sanitário de Ribeirão das Neves | 21/01/2016 | 15:15 | Nublado | 4 | 12 | 13 | 2 | 40 | 1 | 4 | 0,00 | 0 | 15,38 | 10 | 0 | 89,41 | BOA |
| SC13 | | 18/04/2016 | 14:30 | Bom | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC13 | | 19/07/2016 | 13:50 | Bom | | 12 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC13 | | 20/10/2016 | 14:10 | Bom | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC13 | | 18/01/2017 | 14:00 | Bom | 7 | 12 | 13 | 3 | 72 | 1 | 8 | 0,00 | 0,00 | 23,08 | 11,11 | 0 | 85,21 | BOA |
| SC13 | | 19/07/2017 | 14:35 | Bom | | 12 | | | | 2 | | 0,34 | | | | | | |
| SC13 | | 17/10/2017 | 14:10 | Bom | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC13 | | 16/01/2018 | 14:00 | Bom | | 12 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC13 | | 24/04/2018 | 13:10 | Nublado | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC13 | | 26/07/2018 | 13:45 | Bom | | 12 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC13 | | 17/10/2018 | 13:45 | Nublado | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC17 | Ribeirão da Mata a montante da ETE Vespasiano | 22/01/2016 | 10:10 | Nublado | 4 | 12 | 13 | 3 | 40 | 2 | 5 | 0,13 | 0,00 | 23,08 | 12,5 | 0 | 84,85 | BOA |
| SC17 | | 19/04/2016 | 10:10 | Bom | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC17 | | 20/07/2016 | 09:00 | Bom | | 12 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC17 | | 21/10/2016 | 09:30 | Bom | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC17 | | 19/01/2017 | 09:30 | Bom | 7 | 12 | 13 | 2 | 72 | 1 | 8 | 0,00 | 0,09 | 15,38 | 11,11 | 8 | 88,03 | BOA |
| SC17 | | 20/07/2017 | 09:40 | Bom | | 12 | | | | 2 | | 6,55 | | | | | | |
| SC17 | | 18/10/2017 | 09:35 | Bom | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC17 | | 18/01/2018 | 09:45 | Bom | | 12 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC17 | | 25/04/2018 | 09:20 | Bom | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC17 | | 27/07/2018 | 09:30 | Bom | | 12 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC17 | | 18/10/2018 | 09:40 | Bom | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC21 | Ribeirão da Mata a jusante da confluência com Ribeirão das Neves | 21/01/2016 | 12:10 | Nublado | 4 | 12 | 13 | 3 | 40 | 2 | 8 | 0,12 | 0,19 | 23,07 | 20 | 16 | 80,08 | BOA |
| SC21 | | 14/04/2016 | 12:00 | Bom | | 8 | | | | 2 | | 1,89 | | | | | | |
| SC21 | | 14/07/2016 | 12:20 | Bom | | 12 | | | | 2 | | 2,92 | | | | | | |
| SC21 | | 27/10/2016 | 12:10 | Bom | | 8 | | | | 2 | | 2,73 | | | | | | |
| SC21 | | 19/01/2017 | 13:00 | Bom | 7 | 12 | 13 | 2 | 72 | 1 | 11 | 0,00 | 0,16 | 15,38 | 15,28 | 14 | 85,08 | BOA |
| SC21 | | 20/07/2017 | 13:00 | Bom | | 12 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC21 | | 16/10/2017 | 12:00 | Bom | | 8 | | | | 2 | | 5,40 | | | | | | |
| SC21 | | 18/01/2018 | 12:40 | Bom | | 12 | | | | 2 | | 1,17 | | | | | | |
| SC21 | | 19/04/2018 | 12:20 | Bom | | 8 | | | | 2 | | 0,65 | | | | | | |
| SC21 | | 26/07/2018 | 13:10 | Bom | | 12 | | | | 2 | | 4,58 | | | | | | |
| SC21 | | 18/10/2018 | 13:30 | Chuvoso | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |

| Estação | Descrição | Data de Amostragem | Hora de Amostragem | Condição de tempo | nº de campanhas | n° total de parâmetros por campanha | nº total de variáveis | nº de variáveis não conformes | nº total de testes | nº de testes não conformes por campanha | nº de testes falhos | Σ discrepâncias | NSE | Alcance % (F1) | Frequência % (F2) | Amplitude (F3) | IQA CCME | Categoria |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SC22 | Ribeirão da Mata a montante da ETE Matozinhos | 21/01/2016 | 09:50 | Nublado | 4 | 12 | 13 | 1 | 40 | 1 | 4 | 0,00 | 0 | 7,69 | 10 | 0 | 92,72 | BOA |
| SC22 | | 14/04/2016 | 09:30 | Bom | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC22 | | 14/07/2016 | 09:50 | Bom | | 12 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC22 | | 27/10/2016 | 09:30 | Bom | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC22 | | 19/01/2017 | 10:20 | Bom | 7 | 12 | 13 | 1 | 72 | 1 | 7 | 0,00 | 0 | 7,69 | 9,72 | 0 | 92,84 | BOA |
| SC22 | | 20/07/2017 | 09:30 | Bom | | 12 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC22 | | 16/10/2017 | 09:20 | Bom | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC22 | | 18/01/2018 | 10:00 | Bom | | 12 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC22 | | 19/04/2018 | 09:20 | Bom | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC22 | | 26/07/2018 | 09:30 | Bom | | 12 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC22 | | 18/10/2018 | 10:10 | Nublado | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC23 | Ribeirão da Mata a jusante da ETE Matozinhos | 21/01/2016 | 10:30 | Nublado | 4 | 12 | 13 | 1 | 40 | 1 | 4 | 0,00 | 0 | 7,69 | 10 | 0 | 92,72 | BOA |
| SC23 | | 14/04/2016 | 10:00 | Bom | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC23 | | 14/07/2016 | 10:20 | Bom | | 12 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC23 | | 27/10/2016 | 10:20 | Bom | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC23 | | 19/01/2017 | 11:00 | Bom | 7 | 12 | 13 | 3 | 72 | 1 | 9 | 0,00 | 0,03 | 23,08 | 12,5 | 3 | 84,73 | BOA |
| SC23 | | 20/07/2017 | 10:40 | Bom | | 12 | | | | 2 | | 1,83 | | | | | | |
| SC23 | | 16/10/2017 | 10:05 | Bom | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC23 | | 18/01/2018 | 10:45 | Bom | | 12 | | | | 1 | | 0,24 | | | | | | |
| SC23 | | 19/04/2018 | 10:00 | Bom | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |
| SC23 | | 26/07/2018 | 10:20 | Bom | | 12 | | | | 2 | | 0,40 | | | | | | |
| SC23 | | 18/10/2018 | 11:15 | Nublado | | 8 | | | | 1 | | 0,00 | | | | | | |

**APÊNDICE D –** Panorama do Monitoramento da Qualidade das Águas no Brasil (Artigo Científico)

Artigo submetido à Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental em 29 de Agosto de 2019.

## RESUMO

Monitorar a qualidade das águas é essencial para que a atual e as futuras gerações possam ter acesso à água em padrões e quantidades adequados aos respectivos usos. Os dados de monitoramento são utilizados principalmente na execução dos instrumentos de gestão de recursos hídricos. Dessa forma, a sociedade deve ter acesso a essas informações que devem ser sucintas e de fácil entendimento visto a gestão participativa dos recursos hídricos que requer a atuação de distintos públicos e não somente de técnicos no assunto. O presente artigo demonstra o panorama do monitoramento da qualidade das águas no Brasil. Para isso, foi realizada uma avaliação do estado atual do monitoramento da qualidade das águas interiores superficiais, o uso de índices de qualidade das águas e a divulgação de informações à sociedade em cada Unidade da Federação. Para a realização da pesquisa foram obtidos dados do Programa Nacional de Qualidade das Águas através de relatórios, resoluções e canais de comunicação da Agência Nacional das Águas. Em paralelo, foram consultadas as informações disponibilizadas pelos órgãos gestores de recursos hídricos de cada Unidade da Federação. Como resultado foi observada a heterogeneidade entre os estados e o distrito federal nos aspectos quantidade de estações de monitoramento, variedade dos parâmetros analisados e meios de comunicação com a sociedade. Os estados de Minas Gerais e São Paulo se destacaram em todos os aspectos da pesquisa.

**Palavras-chave:** qualidade das águas; monitoramento; unidades da federação; informações; público.

## ABSTRACT

Monitoring water quality is essential for current and future generations in order to have access to water of adequate standards and quantities for their use. Monitoring data is mainly used in the implementation of hydro resources management instruments. Thus, society should have

access to this information that should be succinct and easy to understand, given that the participatory management of water resources requires the performance of different audiences and not only technicians of the subject. This paper demonstrates the overview of water quality monitoring in Brazil. To this end, an assessment was made of the current status of surface inland water quality monitoring, the use of water quality indices and the dissemination of information to society in each Federation Unit. For the purpose of this research, data from the National Water Quality Program were obtained through reports, resolutions and communication channels of the National Water Agency. In parallel, information made available by the water resources management bodies of each Federation Unit was consulted. As a result, the heterogeneity between the states and the federal district was observed in the number of monitoring stations, variety of parameters analyzed and means of communication with society. The states of Minas Gerais and São Paulo stood out in all aspects of the research.
**Keywords:** watrer quality; monitoring; federation units; information; public.

## INTRODUÇÃO

A importância de avaliar a qualidade das águas está fundamentada pela Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecida pela Lei Federal nº 9.433 de 1997, que determina como um dos seus objetivos assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água em padrões adequados aos respectivos usos (BRASIL, 1997).

Ambas as parcelas de água que contribuem para a vazão dos rios – superficial e subterrânea - devem ser monitoradas para que se determine a quantidade de recursos hídricos e verifique suas condições (ANA, 2017).

Dessa forma, para avaliar as condições das águas em rios e reservatórios são determinados concentrações e níveis de parâmetros biológicos, físico-químicos e químicos. Essas variáveis podem ser utilizadas como indicadores da qualidade das águas no monitoramento e também no enquadramento em classes dos corpos hídricos (ANA, 2017).

Usualmente os dados de monitoramento ambiental são utilizados para a produção de relatórios que descrevem tendências e a conformidade com normas e legislações, ou quaisquer outros objetivos que se deseja alcançar. No entanto, apesar da riqueza em dados e informações apresentada nos relatórios, os receptores, em muitos casos, não possuem a capacidade de

interpretá-los e compreendê-los em sua totalidade. Diante disso, o público em geral necessita de informações mais sucintas sobre o estado geral de um sistema (CCME, 2001).

Uma possível solução para esse tipo de adversidade é o emprego de índices que combinam as variáveis monitoradas e fornecem a informação sobre a qualidade da água em relação a um estado desejável. Na gestão de recursos hídricos é uma ferramenta útil para descrever, em uma linguagem simples, o estado da água e da vida aquática e ainda classificar a qualidade das águas para os mais variados usos (CCME, 2001).

Assim, os índices de qualidade das águas tornam-se uma ferramenta de comunicação para fazer cumprir a Política Nacional de Recursos Hídricos no que diz respeito ao Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). O SNIRH possui como um dos seus princípios básicos o acesso a informações sobre recursos hídricos a toda a sociedade (BRASIL, 1997).

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o estado atual do monitoramento da qualidade das águas interiores superficiais, o uso de índices de qualidade das águas e a divulgação de informações à sociedade, no Brasil, em cada Unidade da Federação (UF).

## METODOLOGIA

Para a realização desse estudo inicialmente foi feito um levantamento sobre a atuação da ANA no monitoramento da qualidade das águas em cada UF, tendo em vista a existência do Programa Nacional de Qualidade das Águas (PNQA).

Nesse levantamento foram verificados os parâmetros, frequências, existência ou não de pontos de monitoramento, bem como o uso dos índices de qualidade das águas. Os dados básicos e iniciais foram obtidos por meio do Portal Nacional de Qualidade das Águas.

As informações mais detalhadas sobre a atuação da ANA foram encontradas nas resoluções relacionadas ao PNQA. Por meio da Comunicação Interna nº 189/2019/SGH da ANA foi possível obter os dados sobre o status em que se encontra o programa em cada estado e no Distrito Federal.

Posteriormente, foi feito um levantamento sobre o monitoramento da qualidade das águas realizado pelos órgãos estaduais gestores de recursos hídricos, em cada estado brasileiro e no Distrito Federal. Para a identificação desses órgãos e dos seus respectivos endereços

eletrônicos foi utilizada a Lista de Órgãos Gestores Estaduais disponível no endereço eletrônico da ANA.

As páginas específicas sobre o monitoramento da qualidade das águas e os planos gestores de recursos hídricos de cada órgão gestor foram consultadas por meio dos sítios eletrônicos, quando disponíveis.

Nos casos em que as informações procuradas não estavam disponíveis e existiam canais de comunicação listados nos endereços eletrônicos dos órgãos estaduais gestores de recursos hídricos, foram encaminhadas as perguntas sobre as informações que se desejavam encontrar através desses canais.

Em paralelo a esse levantamento, foi encaminhado um questionário, via e-mail, direcionado aos responsáveis pelo monitoramento da qualidade das águas em cada UF. A lista desses contatos foi obtida por meio de solicitação ao canal de comunicação da ANA, encaminhada em 14/05/2019, e respondida pelo serviço de informações ao cidadão no dia 22/05/2019.

As informações solicitadas através dos portais dos órgãos gestores e das pesquisas realizadas via e-mail eram: a existência ou não de um programa estadual de monitoramento da qualidade das águas, independente da RNQA, se utilizavam Índices de Qualidade das Águas e, no caso da existência de monitoramento, quais parâmetros e frequências eram monitorados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Agência Nacional das Águas e o Monitoramento da Qualidade das Águas Interiores nas Unidades da Federação

Atualmente a ANA gerencia diretamente 4.663 estações de monitoramento, dessas, 2.722 são estações pluviométricas, 1.646 são pontos de medição de descarga líquida, 480 realizam as medições de descarga sólida e, por fim, em 1.652 estações é realizado o monitoramento de qualidade das águas (ANA, 2017).

Além da RNQA monitorada pela ANA, existem ainda redes de monitoramento estaduais criadas para a detecção de tendências em pontos considerados estratégicos e/ou com problemas de qualidade. Estima-se que, em 2015, havia mais de 2700 pontos de monitoramento de

qualidade da água em operação em 17 UFs. Essas estações operam de forma independente com frequências de coleta e parâmetros próprios (ANA, 2017).

Ainda de acordo com ANA (2017), apesar da grande diversidade de dados há ainda uma insuficiência de informações no país. Existem estados que não realizam quaisquer tipos de monitoramento da qualidade das águas. Nos estados onde há monitoramento próprio existem deficiências quanto à representatividade temporal e espacial. Em nível nacional ocorre também uma falta de uniformidade entre as UFs em termos de capacidade operacional, divulgação e disponibilização de resultados.

Buscando a solução para essas lacunas de informação e a necessidade de proporcionar à sociedade um adequado conhecimento sobre a qualidade das águas, a ANA tem realizado algumas ações. Uma delas foi criar o PNQA (ANA, 2017).

Esse programa foi formalizado em 14 de abril de 2008 por meio da 279ª Reunião da Diretoria Colegiada da ANA e é composto pelas seguintes componentes: A. Rede Nacional de Monitoramento, B. padronização de procedimentos e parâmetros, C. laboratórios de capacitação e avaliação da qualidade das águas (ANA, 2013a).

Tendo em vista a componente A desse programa, a Rede Nacional de Monitoramento, em 2013, foi criada a Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais (RNQA) com a finalidade de analisar a tendência de evolução da qualidade das águas, avaliar se a atual condição das águas atende aos usos estabelecidos pelo enquadramento dos corpos d'água, identificar áreas críticas com relação à poluição hídrica, aferir a efetividade da gestão sobre as ações de recuperação da qualidade das águas e, por fim, apoiar as ações de planejamento, outorga, licenciamento e fiscalização (ANA, 2017).

Por meio da Resolução nº 903 de 22 de julho de 2013, a ANA cria a RNQA em articulação com a Rede Hidrometeorológica Nacional e com o Sistema Nacional de Recursos Hídricos atendendo, assim, a uma de suas diretrizes de ação no que diz respeito à gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de qualidade e quantidade (ANA, 2013b).

A RNQA abrange os corpos d'água superficiais de domínio estadual e da União. Seus pontos de monitoramento são distribuídos em todas as 12 regiões hidrográficas brasileiras conforme critérios pré-definidos e padronizados pelo programa (ANA, 2013b).

Visando a utilização da infraestrutura nos locais onde já existiam redes de monitoramento nas UFs, um dos critérios da RNQA foi, sempre que possível, coincidir seus pontos de monitoramento com os pontos dos programas locais e ainda com a Rede Hidrometeorológica gerenciada pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2013b).

O quadro 1 apresenta os parâmetros mínimos, estabelecidos pela RNQA, para o monitoramento da qualidade das águas:

Quadro 1 – Parâmetros mínimos para o monitoramento da qualidade das águas - RNQA

| **Categoria** | **Parâmetro** |
|---|---|
| Físico-químico | Condutividade elétrica (µS/cm) |
| | Temperatura da Água (°C) |
| | Temperatura do Ar (°C) |
| | Turbidez (UNT) |
| | Oxigênio dissolvido (mg/L de $O_2$) |
| | pH |
| | Sólidos totais dissolvidos (mg/L) |
| | Sólidos em suspensão (mg/L) |
| | Alcalinidade Total (mg/L de $CaCO_3$) |
| | Cloreto total (µg/L de Cl) |
| | Transparência da água |
| | Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5d, 20°C, mg/L de $O_2$) |
| | Demanda Química de Oxigênio (mg/L de $O_2$) |
| | Carbono Orgânico Total (mg/L como C) |
| Microbiológico | Coliformes Termotolerantes (nº de CT/100 mL) |
| Biológico | Clorofila a (µg/L) |
| | Fitoplâncton - qualitativo |
| | Fitoplâncton – quantitavo (nº de células/mL) |
| Nutrientes | Fósforo solúvel reativo |
| | Fósforo total (mg/L de P) |
| | Nitrato (µg/L de N) |
| | Nitrogênio Amoniacal (mg/L de N) |
| | Nitrogênio total (mg/L de N) |

Nota: O parâmetro transparência da água é incluído apenas no monitoramento de ambientes lênticos e o parâmetro cloreto é analisado apenas em águas salobras ou salinas.

Fonte: ANA (2013b)

As análises desses parâmetros podem ser realizadas em laboratórios do próprio operador ou de terceiros conveniados ou contratados. Todos os laboratórios deverão atender às exigências de controle de qualidade analítica necessárias para a confiabilidade dos resultados obtidos (ANA, 2013b).

As frequências de coleta estão definidas por região de monitoramento no Relatório de Arranjo da RNQA conforme o quadro 2:

Quadro 2 – Frequências de amostragem nas UFs por região de monitoramento – RNQA.

| **Região** | **Estado** | **Frequência** |
|---|---|---|
| Região 1 – Região Amazônica | Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia e Roraima. | Semestral |
| Região 2 – Regiões Hidrográficas do Atlântico Nordeste, Ocidental, Parnaíba, Paraguai e Tocantins-Araguia | Goiás, Maranhão, Mato Grosso do Sul, Piauí e Tocantins. | Trimestral |
| Região 3 – Regiões Hidrográficas do Atlântico Leste, Atlântico Sudeste, Atlântico Sul, Paraná, São Francisco e Uruguai | Alagoas, Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Sergipe, São Paulo e Distrito Federal | Trimestral |
| Região 4 - Regiões Hidrográficas do Atlântico Nordeste Oriental | Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte | Trimestral |

Fonte: COBRAPE, 2012

Sobre a implementação da rede de monitoramento foi estabelecido que a ANA é a responsável por prestar apoio técnico e financeiro às UFs na implantação, ampliação e adequação de suas redes aos critérios da RNQA. O início de operação de um ponto de monitoramento não fica condicionado à totalidade dos parâmetros mínimos nem à medida de vazão, sendo possível que ocorra uma gradual evolução da capacidade operacional da UF em relação ao monitoramento da qualidade das suas águas (ANA, 2013b).

A adesão das UFs à RNQA é voluntária e ocorre através da celebração de Acordo de Cooperação Técnica com a ANA, por intermédio dos órgãos estaduais responsáveis pela gestão dos recursos hídricos. Para as UFs que não aderirem, a ANA é responsável por operar os pontos de monitoramento (ANA, 2013b).

Para promover a implementação da RNQA, em julho de 2014 a ANA lançou o Qualiágua – Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade das Águas. O objetivo desse programa é garantir a sustentabilidade financeira da operação da RNQA nas UFs por meio da premiação por metas alcançadas de pontos e parâmetros monitorados, padronizados em escala nacional. Por meio do Qualiágua a ANA premia os estados por atingir metas relacionadas ao monitoramento e à divulgação de dados de acordo com as premissas previstas pela Resolução ANA nº 903 de 2013 (ANA, 2016).

Em 2017 todas as UFs, com exceção do Piauí, já haviam aderido ao Qualiágua. A assinatura dos acordos de cooperação técnica, etapa posterior à adesão ao programa, foram sendo realizadas gradativamente a partir desse mesmo ano. Das 26 UFs cujo acordo está

estabelecido, 22 já se encontram com operação iniciada e somente 03 delas (Rio de Janeiro, Amapá e Amazonas) ainda não iniciaram a operação (ANA, 2019).

O quadro 12 apresenta o atual status da implementação da RNQA em cada estado e no Distrito Federal.

Até dezembro de 2018, já havia sido iniciada a operação nos estados do Acre, Alagoas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Paraíba, Paraná, Pernambuco, Rio Grande do Sul, Rio Grande do Norte, Rondônia, Roraima, São Paulo, Santa Catarina, Sergipe e Tocantins.

Os estados de Goiás e Santa Catarina iniciaram a operação da RNQA, no entanto no período da pesquisa, não foi possível verificar os dados de monitoramento no portal de qualidade das águas da ANA, uma vez que essas unidades ainda não haviam os encaminhado.

Os estados Amapá, Amazonas, Distrito Federal e Rio de Janeiro, apesar de já terem aderido a RNQA, ainda não iniciaram as operações, ora por falta de assinatura dos contratos, ora por falta de definição de metas (Quadro 3). Não foram encontradas informações sobre a previsão de início de operação das redes pertencentes a esses estados. O estado do Piauí foi o único que não aderiu ao programa (ANA, 2019).

Quadro 3 – Estágio atual da implementação da RNQA nas UFs e frequência de monitoramento

| UF | Órgão responsável | Status | Estações em operação | Meta (nº de estações) | Frequência |
|---|---|---|---|---|---|
| Acre | SEMA | Operação iniciada | 17 | 17 | Semestral |
| Alagoas | SEMARH | Operação iniciada | Sem dados disponíveis | 35 | Trimestral |
| Amapá | SEMA | Cooperação técnica assinada. Sem definição de metas. | 0 | 17 | Semestral |
| Amazonas | SEMA | Apto porém sem contrato assinado | 0 | 103 | Semestral |
| Bahia | INEMA | Operação iniciada | 300 | 552 | Trimestral |
| Ceará | COGERH | Operação iniciada | 138 | 138 | Trimestral |
| Ceará | SEMACE | Operação iniciada | 49 | 49 | Trimestral |
| Distrito Federal | ADASA | Apto porémsem contrato assinado | 0 | 15 | Trimestral |
| Espírito Santo | IEMA | Operação iniciada | 31 | 47 | Trimestral |
| Goiás | SEMAD | Operação iniciada | Sem dados disponíveis | 247 | Trimestral |
| Maranhão | SEMA | Operação iniciada | 77 | 254 | Trimestral |
| Mato Grosso | SEMA | Operação iniciada | 97 | 213 | Semestral |
| Mato Grosso do Sul | IMASUL | Operação iniciada | 150 | 258 | Trimestral |
| Minas Gerais | IGAM | Operação iniciada | 506 | 602 | Trimestral |
| Pará | SEMAS | Operação iniciada | 82 | 273 | Semestral |
| Paraíba | AESA | Operação iniciada | 70 | 70 | Trimestral |
| Paraná | IAP | Operação iniciada | 170 | 208 | Trimestral |
| Pernambuco | CPRH | Operação iniciada | 95 | 113 | Trimestral |
| Piauí | SEMAR | Não aderiu ao programa | 0 | 199 | Trimestral |
| Rio de Janeiro | INEA | Apto. Sem contrato. | 0 | 108 | Trimestral |
| Rio Grande do Norte | IDEMA | Operação iniciada | 63 | 74 | Trimestral |
| Rio Grande do Sul | FEPAM | Operação iniciada | 140 | 279 | Trimestral |
| Rondônia | SEDAM | Operação iniciada | 26 | 31 | Semestral |
| Roraima | FEMARH | Operação iniciada | 23 | 23 | Semestral |
| Santa Catarina | SDS | Operação iniciada. Sem dados, início dez/2018 | Sem dados disponíveis | 99 | Trimestral |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| São Paulo | CETESB | Operação iniciada | 230 | 251 | Trimestral |
| Sergipe | SEMARH | Operação iniciada | 32 | 32 | Trimestral |
| Tocantins | NATURATINS | Operação iniciada | 50 | 156 | Trimestral |

Legenda: SEMA - Secretaria de Estado de Meio Ambiente; SEMARH - Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos; INEMA - Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos; COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos; SEMACE - Superintendência Estadual do Meio Ambiente; ADASA - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal; IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos; SEMAD - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável; IMASUL - Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul; IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas; SEMAS - Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade; AESA - Agencia Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba; IAP - Instituto Ambiental do Paraná; CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente; SEMAR - Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais; INEA - Instituto Estadual do Ambiente; IDEMA - Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Norte; FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler; SEDAM - Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental; FEMARH - Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos; SDS - Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável; CETESB - Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental; SEMARH - Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos; NATURATINS - Instituto Natureza do Tocantins.
Fonte: ANA, 2019

**Monitoramento da Qualidade das Águas nas Unidades da Federação**

A Resolução ANA nº 643 de 2016, que altera o programa Qualiágua, classifica as UFs em três grupos de acordo com a situação em que se encontravam as estações de monitoramento estaduais e do Distrito Federal quando da definição das metas do programa.

Dessa forma, os estados que já possuíam monitoramento da qualidade das águas antes da implementação da RNQA e que atualmente monitoram parâmetros e frequências além da rede nacional são: Ceará, Distrito Federal, Minas Gerais, São Paulo, Bahia, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Paraíba, Paraná, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul e Sergipe (ANA, 2016).

Desses, os estados de Minas Gerais, São Paulo, Ceará e Distrito Federal apresentaram, para fins de implementação da RNQA, imediata possibilidade de expansão das redes de monitoramento para atendimento às metas do programa nacional, ou seja, as estações de monitoramento existentes não necessitam de melhorias em suas estruturas. Dessa forma, para fins de definição de metas do programa Qualiágua, esses estados são classificados como grupo 1 (ANA, 2016).

Os demais estados com monitoramento - Bahia, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Paraíba, Paraná, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul e Sergipe – necessitam de melhorias nas estruturas existentes, especialmente no que se refere à capacitação e aprimoramento da infraestrutura laboratorial. Para tanto, foram classificados como grupo 2 (ANA, 2016).

No grupo 3 foram colocados os estados em que o monitoramento era inexistente ou não estava consolidado até adesão ao PNQA: Acre, Alagoas, Amapá, Amazonas, Manaus, Pará, Piauí, Roraima, Rondônia, Santa Catarina, Sergipe e Tocantins. Esses estados não possuem rede de monitoramento estadual independente da rede implementada pela ANA (ANA, 2016). O estado do Piauí, além de não possuir monitoramento estadual também não aderiu a rede nacional.

O quadro 4 apresenta os dados de monitoramento das redes estaduais já existentes e independentes da RNQA e deixa clara a maiorcapacidade de monitoramento dos estados do grupo 4.

Quadro 4 – Monitoramento da qualidade das águas realizado pelos estados além da RNQA

| **UF** | **Nº de estações** | **Parâmetros além da RNQA** | **Frequência** |
|---|---|---|---|
| Bahia | 315 | σ, Sal, ST. | Trimestral |
| Ceará | 155 | Cci, I, NL, | Trimestral |
| Ceará | 93 | Ac ($HCO_3$, $CO_3$ e $OH^-$), σ, Cor, $NO_2$, $PO_4^{3-}$, Sal, SSH, STD, T, Tamb | Trimestral |
| Distrito Federal | 57 | Nv | Diário |
| Espírito Santo | 82 | AS, $NO_2$, N, $PO_4^{3-}$, Sal, ST | Trimestral |
| Goiás | 159 | ST, $NO_2$, NO, $PO_4^{3}$, *E. Coli*. | Trimestral |
| Mato Grosso | 81 | σ, CTt, *E. Coli*, ST. | Bimestral |
| Mato Grosso do Sul | 165 | Ac, $HCO_3$, Bo, σ, Cte, Na, Ni total, NO, Pb, $SO_4$, Zn, Al, As, AS, Ba, T, Ca, Cci, Cd total, $CN_i$, Cor, Cr total, CTt, Cu dissolvido, DT, D (Ca e Mg), E. coli, Fe dissolvido, Nti, Fft, FnT, Hg total, K, Mg total, Mn total, OG, ST, STD | Trimestral |
| Minas Gerais | 600 | Al dissolvido, AS, As total, Ba total, Bo total, Ca, Cci, Cd total, Ci livre, Cor, Cr total, CTe, Cu dissolvido, D (Ca, Mg) D total, E. coli, Fe dissolvido, Fft, | Trimestral |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | $C_6H_6O$totais, Hg total, K, Mg total, Mn total, Na, Ni Total, NO, $NO_2$, OG, Pb total, Se, $SO_4$, Tu, Zn Total, Ac, $HCO_3$. | |
| Paraíba | 201 | Cls, Fe dissolvido, P total e N Total, Sal, ST, Cor | Trimestral |
| Paraná | 76 | E. coli, Tx. Daphnia | Trimestral |
| Pernambuco | 138 | CCi, Cd total, Cor, Cr total, Efeito Tx, Hg total, Mn total, Ni total, $NO_2$, Pb total, Tu, Zn total, Sal | Trimestral |
| Rio de Janeiro | 321 | DBO, N, Nt, P total, pH, STD, T, Tamb, Cte, Tu, OD | Anual, semestral, trimestral e mensal. |
| Rio Grande do Sul | 84 | Al, AS, Cd, Cls, σ, Cr Total, Cte, Cu, DBO, DQO, Fe, $C_6H_6O$, Hg, K, Mn, N amoniacal, N Kjeldahll, Na, Ni, NO, $NO_3$, $NO_2$, Otf, P total, Pb, pH, ST, T, Tamb, Tr, Tu, Z, Zn, OD | Mensal e trimestral |
| São Paulo | 461 | Al dissolvido, Al total, AS, Ba Total, Ca, Cd total, CO dissolvido, Cr total, Cu dissolvido, Cu total, D, E. coli, Ecotoxicologia com *Ceriodaphnia dúbia*, Fe dissolvido, Fe total, Fft, F, Hg total, K, Mg, Mn total, N Kjeldahl, Na, Ni total, $NO_2$, Pb Total, $SO_4$, Zn total, ST | Trimestral |
| Sergipe | 81 | Ac, Ag, Ba, $HCO_3$, Br, Ca, $CO_3$, Cd, Cla, Cls, □, Cor, COT, Cr, CTe, Cu, DBO, D total, Fe, $PO_4^{3}$, Hg, K, K total, MF, Mg, Mn, N amoniacal, N total, Na, Ni, $NO_3$, $NO_2$, OD, OG, Pb,pH, STD, $SO_4$, Tamb, Tr, Tu, Z, Zn, F, ST, T | Trimestral |

Nota: Foram excluídos os parâmetros monitorados pela RNQA daqueles estados em que todas as estações de monitoramento são abrangidas por essa rede.

Legenda:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Alc | Alcalinidade | Cu | Cobre | Fft | Feoftina |
| Al | Alumínio | DBO | Demanda Bioquímica de Oxigênio | $NO_2^-$ | Nitrito |
| As | Arsênio | DT | Dureza Total | NL | Nutriente Limitante |
| Ag | Prata | D | Dureza | Nv | Nível d'água |
| AS | Agente Surfactante | E. Coli | Escherichia Coli | OD | Oxigênio Dissolvido |
| Ba | Bário | Fe | Ferro | OG | Óleos e Graxas |
| $HCO_3^-$ | Bicarbonato | $PO_4^{3-}$ | Fosfato | Pb | Chumbo |
| Bo | Boro | $F^-$ | Fluoreto | pH | Potencial Hidrogeniônico |
| Ca | Cálcio | $C_6H_6O$ | Fenóis | PT | Fósforo Total |
| $CO_3^=$ | Carbonato | $OH^-$ | Hidróxidos | Sal | Salinidade |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| CCi | Contagem de Cianobactérias | Hg | Mercúrio | SSH | Substâncias Solúveis em Hexano |
| Cd | Cádmio | I | Intensidade de plantas aquáticas | ST | Sólidos Totais |
| $CN^-$ | Cianeto | K | Potássio | STD | Sólidos Totais Dissolvidos |
| Cla | Clorofila a | MF | Materiais Flutuantes | $SO_4^=$ | Sulfato |
| $Cl^-$ | Cloretos | Mg | Magnésio | T | Temperatura |
| $CN^-L$ | Cianeto Livre | Mn | Manganês | Tamb | Temperatura Ambiente |
| $\sigma$ | Condutividade | Na | Sódio | Tr | Transparência |
| Cor | Cor | $NH_4^+$ | Nitrogênio Amoniacal | Tu | Turbidez |
| CO | Carbono orgânico | Ni | Níquel | Tx | Toxicidade |
| Cr | Cromo | NO | Nitrogênio Orgânico | Zn | Zinco |
| CTe | Coliformes Termotolerantes | N | Nitrogênio | z | Profundidade |
| CTt | Coliformes Totais | $NO_3^-$ | Nitrato | | |

Fonte: A Autora, 2019

O quadro 4 não apresenta os dados relativos aos estados que não possuem redes de monitoramento além da RNQA (grupo 3): Acre, Alagoas, Amapá, Amazonas, Manaus, Pará, Roraima, Rondônia, Santa Catarina e Tocantins visto sua finalidade em apresentar o monitoramento realizado independentemente da RNQA.

Cabe destacar que Sergipe, para a RNQA, está classificado como grupo 3, no entanto, atualmente o estado opera uma rede de monitoramento com 81 pontos no total, desses, 32 são coincidentes com a RNQA e os demais fazem parte somente da rede estadual de monitoramento. Além disso, há parâmetros específicos monitorados além daqueles previstos pela rede nacional (SOUZA, 2019).

Já o estado do Rio Grande do Norte foi classificado, para metas da RNQA, como um dos estados que já possuía rede de monitoramento da qualidade das águas, porém, as informações verificadas foram que o estado realizou no período de 2008 a 2016 o monitoramento por meio do Programa Água Azul. No entanto, esse programa não está mais em execução e o único monitoramento atualmente realizado é por meio da RNQA.

O estado do Rio de Janeiro ainda não iniciou a operação da RNQA, portanto, apesar dos parâmetros monitorados serem todos pertencentes ao escopo dessa rede, o estado os monitora de forma independente.

Para o estado do Paraná cabe destacar a subdivisão das áreas monitoradas em 5 grupos de acordo com as características de uso e ocupação do solo: áreas de mananciais, de ocupação urbana, industriais, de mineração e agrícolas. Para cada um desses grupos adotou-se parâmetros

e frequências variadas de monitoramento, de acordo com a necessidade da região, reduzindo assim os custos com coletas e análises que não influenciam determinada região (SEMA, 2010).

O estado de Minas Gerais é o que apresenta maior quantidade de parâmetros monitorados e de estações de monitoramento. Esse fato pode ser explicado pelo entendimento do estado sobre a importância do monitoramento da qualidade das águas como uma ferramenta essencial na busca da conservação, recuperação e uso racional dos recursos hídricos, assim como para a redução de conflitos (IGAM, 2017).

De maneira geral, a região sudeste pode ser considerada a mais avançada em termos de estrutura, no que se refere à quantidade de estações de monitoramento. Além do destaque para o estado de Minas Gerais, os estados de São Paulo e Rio de Janeiro são os que apresentam maior quantidade de estações de monitoramento.

Já no norte do país pode-se verificar o oposto à região sudeste visto que nenhum dos estados possui monitoramento implementado além da RNQA. Esse fato pode ser evidenciado também pela classificação de grupos no diagnóstico e definição das metas do programa Qualiágua. Todos os estados da região norte pertencem ao grupo 3, ou seja, estados em que o monitoramento da qualidade das áreas era inexistente antes da implementação da RNQA.

Foi observada a análise de parâmetros específicos em determinadas regiões em função das características naturais das suas águas, como é o caso de análises de dureza da água nos estados de Minas Gerais, Sergipe e Mato Grosso do Sul que apresentam áreas cársticas. O fato pode ser exemplificado também pela análise de salinidade em estados localizados nas regiões costeiras e com aquíferos salinizados: Espírito Santo, Bahia e Pernambuco.

Cabe destacar a heterogeneidade em termos de parâmetros e quantidade de estações de monitoramento, indo ao encontro às dificuldades expostas pela ANA ao mencionar que não há padrão entre os monitoramentos realizados nas UFs, evidenciando uma lacuna de informações acerca dos dados de qualidade das águas existentes no país. Esse fato foi o motivador para a criação da RNQA (ANA, 2017).

Apesar da heterogeneidade dos parâmetros monitorados e da quantidade de estações entre as UFs brasileiras, foi verificado que a maior parte delas adota uma frequência trimestral de monitoramento, à exceção somente do Distrito Federal e do estado do Mato Grosso, cujas frequências são, respectivamente, diária e bimestral. O monitoramento do Distrito Federal, apresentado no quadro 03, diz respeito somente ao parâmetro nível d’água, que tem frequência diária de coleta de dados.

Os estados do Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul, apesar de adotarem frequências variadas de coleta, também realizam amostragens trimestrais em algumas estações de monitoramento.

O estado do Acre, apesar de não monitorar atualmente nenhum parâmetro, realizou estudos específicos em 42 pontos de amostragem nos meses de agosto e dezembro do ano de 2009 para a etapa de diagnóstico do Plano Estadual de Recursos Hídricos, atualmente em vigência.

No estado do Amapá a companhia de saneamento e os serviços autônomos de água e esgoto realizam monitoramentos específicos para fins de abastecimento público em 38 pontos de monitoramento. São analisados os parâmetros pH, cor e turbidez.

**Usos de Índices de Qualidade das Águas e Disponibilização de dados à Sociedade**

O quadro 05 apresenta os usos dos índices de qualidade das águas e a disponibilização de dados à sociedade nas UFs que possuem monitoramento de Qualidade das Águas.

Quadro 05 – Uso dos índices de qualidade das águas e disponibilização de dados à sociedade

| UF | Índice utilizado | Disponibilização de dados à sociedade e fonte |
|---|---|---|
| Acre | IQA CETESB | Sim. Plano Estadual de Recursos Hídricos. |
| Alagoas | Não utiliza. | Sem evidência |
| Amapá | Não utiliza. | Sem evidência |
| Amazonas | IPO | Sim. Plano Estadual de Recursos Hídricos. |
| Bahia | IQA CETESB e IET | Sim. Portal de Informações sobre Recursos Hídricos. |
| Ceará | IET e IQAR | Sim. Portal de Informações sobre Recursos Hídricos. |
| Distrito Federal | Não utiliza. | Sim. Portal de Informações sobre Recursos Hídricos. |
| Espírito Santo | IQA CETESB | Sim. Plano Estadual de Recursos Hídricos |
| Goiás | IQA CETESB | Sim. Relatórios de Monitoramento no site do órgão gestor de recursos hídricos. Dados desatualizados. |
| Maranhão | Não utiliza. | Sem evidência |
| Mato Grosso | IQA CETESB | Sim. Relatórios de Monitoramento no site do órgão gestor de recursos hídricos. |
| Mato Grosso do Sul | IQA CETESB | Sim. Relatórios de Monitoramento no site do órgão gestor de recursos hídricos. |

| | | |
|---|---|---|
| Minas Gerais | IQA-NSF, IET, CT, BMWP. | Sim. Portal de Informações sobre Recursos Hídricos. |
| Pará | Não utiliza. | Não há disponibilização de dados à sociedade |
| Paraíba | IQA CETESB | Sim. Portal de Informações sobre Recursos Hídricos. |
| Paraná | IQA CETESB, IQAR e IET | Sim. Relatórios de Monitoramento no site do órgão gestor de recursos hídricos (dados desatualizados). |
| Pernambuco | Não utiliza. | Sim. Relatórios de Monitoramento no site do órgão gestor de recursos hídricos. |
| Rio de Janeiro | IQA-NSF | Sim. Relatórios de Monitoramento no site do órgão gestor de recursos hídricos.. |
| Rio Grande do Norte | Não utiliza. | Sim. Portal de Informações sobre Recursos Hídricos. |
| Rio Grande do Sul | Não utiliza. | Sem evidência |
| Rondônia | Não utiliza. | Sem evidência |
| Roraima | Não utiliza. | Sem evidência |
| Santa Catarina | Não utiliza. | Sim. Relatórios de Monitoramento no site do órgão gestor de recursos hídricos. |
| São Paulo | IQA CETESB, IVA, IAP, ICF e IET, ICZ, ICF, ICB, IB, CQS | Sim. Relatórios de Monitoramento no site do órgão gestor de recursos hídricos. |
| Sergipe | IQA CETESB e IET | Sim. Plano Estadual de Recursos Hídricos. |
| Tocantins | Não utiliza. | Sem evidência |

Legenda:IQA NSF – Índice de Qualidade das Águas da National Sanitation Foudation; IQA CETESB – Índice de Qualidade das Águas da National Sanitation Foundation adaptado pela CETESB; IPO – Índice de Poluição Orgânica; IET – Índice de Estado Trófico; EE – Ensaios Ecotóxicológicos; DC Densidade de Cianobactérias; IQAR – Índice de Qualidade das Águas para Reservatórios; CT – Contaminação por Tóxicos; BMWP - Biological Monitoring Working Party Score System; IVA – Índice de Proteção da Vida Aquática; IAP - Índice de Qualidade das Águas Brutas para fins de Abastecimento Público; ICZ – Índice da Comunidade Zooplanctônica; ICF - Índice da Comunidade Fitoplanctônica, ICB- Índice da Comunidade Bentônica; IB – Índice de Balneabilidade; CQS – Critério de Avaliação da Qualidade de Sedimentos.
Fonte: A Autora, 2019

Das 27 unidades da federação, 14 delas apresentam a avaliação da qualidade das águas por meio de índices: Acre, Amazonas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraíba, Paraná, Rio de Janeiro, São Paulo e Sergipe. Dessas, 13

utilizam o IQA seja na versão original (IQA-NSF), seja na versão adaptada pela CETESB (IQA-CETESB). Apenas o estado do Amazonas utiliza um outro índice, mas não o IQA. O segundo índice mais utilizado no Brasil, o IET, é adotado por 6 estados: Bahia, Ceará, Minas Gerais, Paraná, São Paulo e Sergipe.

Alguns estados criaram seus próprios índices conforme suas necessidades para avaliar e apresentar os dados de monitoramento. Assim, o estado do Paraná criou o IQAR, uma adaptação do IQA, com parâmetros, pesos e classificações adaptados com o objetivo de diferenciar o grau de degradação da qualidade das águas dos reservatórios (IAP, 2017). Esse índice é utilizado também no estado do Ceará.

No Amazonas o Plano Diretor de Recursos Hídricos utiliza o IPO. Essa metodologia foi desenvolvida pela ANA e que serve para avaliar a capacidade de assimilação de carga orgânica do curso d'água (SEMA, 2018).

O estado de Minas Gerais também utiliza outros índices incomuns aos demais utilizados em outros estados (IQA e IET). Trata-se dos índices CT e BMWP.

O CT classifica as águas em contaminação baixa, média ou alta de acordo com os níveis de concentração de determinados parâmetros considerados tóxicos. O BMWP reflete a qualidade ecológica da água por meio dos limites de tolerância à poluição orgânica das famílias de macroinvertebrados bentônicos.

Além do uso de índices, o IGAM apresenta também á sociedade, em seus relatórios de monitoramento os indicadores biológicos Ensaios Ecotoxicológicos e Densidade de Cianobactérias, o Panorama da Qualidade das Águas e a Análise de Conformidade à Legislação (IGAM, 2017).

Já o estado de São Paulo, que também utiliza os índices IQA-CETESB e IET, adota outros índices além desses: IAP, IVA, ICF, ICB, ICZ, IB e CQS. O IAP verifica as condições das águas dos rios e reservatórios para fins de abastecimento público. O IVA avalia a qualidade das águas para fins de proteção da fauna e flora juntamente com os índices ICZ, ICF e ICB. O IB avalia a qualidade das águas para fins de recreação de contato primário em praias interiores. Por fim, o CQS que classifica o sedimento em categorias de acordo com a contaminação química, comunidade bentônica e toxicidade (CETESB, 2018).

Sobre a disponibilização de dados à sociedade, foi observado que há portais específicos para apresentar os dados de monitoramento da qualidade das águas apenas nos estados do Ceará, Bahia, Minas Gerais e Paraíba. Cabe ressaltar que, com exceção do estado da Paraíba, todos esses podem ser considerados avançados no panorama brasileiro em termos de monitoramento da qualidade das águas, pois, além de possuírem o monitoramento encontram-

se com redes de monitoramento que se apresentam aptas e em pleno funcionamento sem a necessidade de melhorias.

Somente nos estados da Bahia e Distrito Federal foi verificada a existência de um sistema estadual de monitoramento da qualidade das águas. Cabe ressaltar que, no sistema de informações do Distrito Federal não há dados de monitoramento de outros parâmetros além do nível d'água para as águas superficiais.

Os Planos Estaduais de Recursos Hídricos foram os principais meios de divulgação da qualidade das águas sendo apresentados pela maior parte dos estados e pelo Distrito Federal. Em alguns estados era a única fonte dessas informações como é o caso dos estados Amazonas, Acre, Espírito Santo e Sergipe.

Outro meio adotado de informação sobre a qualidade das águas para a sociedade foi o próprio site do órgão gestor e, em muitos casos, esses sites apresentavam disponíveis para download os boletins e relatórios periódicos de monitoramento.

Os estados de São Paulo e Minas Gerais destacaram-se por apresentarem mais de um meio de informação sobre a condição de suas águas e também pela facilidade para encontrar as informações.

Ressalta-se que, o estado do Paraná, apesar de possuir monitoramento da qualidade das águas, além da rede RNQA, apresenta, no endereço eletrônico do órgão, relatórios de monitoramento apenas até o ano de 2017.

Sobre o retorno via e-mail referente aos dados de monitoramento da qualidade das águas para a realização dessa pesquisa, foram encaminhados e-mails a todas as UFs, com retorno somente de 10 estados: Paraná, Espírito Santo, Mato Grosso do Sul, Acre, Sergipe, Santa Catarina, Rondônia, Tocantins, São Paulo e Rio Grande do Norte.

No âmbito federal estão disponíveis os dados relativos ao monitoramento da qualidade das águas por meio do site do SNIRH e do Portal de Qualidade das Águas.

O SNIRH apresenta o mapa interativo e os metadados da RNQA. O Portal da Qualidade das Águas disponibiliza informações sobre o Programa Nacional de Monitoramento da Qualidade das Águas e link para acesso a um sistema de busca das estações de amostragem do programa.

Ressalta-se que, não foi possível consultar os resultados das amostragens das estações de monitoramento que foram testadas em nenhum dos meios de acesso (mapa interativo, metadados e sistema de busca das estações de monitoramento). Esse fator contradiz o que foi preconizado no artigo 26 da Resolução ANA nº 903 de 2013 ao estabelecer que os dados

produzidos pela RNQA deverão ser armazenados no Banco de Dados Nacional de Qualidade de Água.

## CONCLUSÕES

A pesquisa mostra a heterogeneidade de número de estações de amostragem nos monitoramentos da RNQA nas UFs. O mesmo ocorre nos monitoramentos estaduais, além da grande diversidade e quantidade de parâmetros avaliados. Em grande parte esse quadro reflete o próprio contraste que ocorre no país entre as UFs, tanto no que se refere às condições naturais e espaços territoriais, quanto ao aparelhamento dos órgãos gestores do meio ambiente.

A partir dos resultados desse trabalho, fica evidente também as grandes diferenças entre as UFs brasileiras no que se refere à transparência e à disponibilização dos dados de monitoramento para o público em geral. O uso de índices em apenas 14 das UFs, do total de 27, reflete essa questão e traz como consequência o desconhecimento da população em geral no que diz respeito à qualidade das águas do seu estado.

A região norte apresentou o maior número de estados sem análises e monitoramento das suas águas. Na região sudeste, os estados de Minas Gerais e São Paulo, se destacaram positivamente em todos os aspectos da pesquisa: diversidade de parâmetros monitorados, efetiva distribuição das estações de monitoramento, uso de diferentes tipos de índices de qualidade das águas e facilidade de acesso aos dados.

No estado do Paraná as avaliações da qualidade das águas apresentaram-se funcionais, uma vez que o órgão gestor seleciona os parâmetros que serão analisados conforme os seus usos na localidade em que a estação de monitoramento pertence, podendo, assim, reduzir os prazos e custos ao evitar análises de variáveis consideradas irrelevantes aos usos da água naquele local, o que não ocorre nos demais estados. No entanto esse procedimento não permite a avaliação do estado geral da qualidade das águas, uma vez que o monitoramento se baseia somente no uso do recurso. Ainda Não foi possível acessar os dados atualizados de monitoramento desse estado visto que os últimos relatórios disponíveis são do ano de 2017.

Observou-se que, após o lançamento da RNQA pela ANA houve avanços significativos na quantidade e na ordenação de estações de amostragens distribuídas em todo o país visto que alguns estados, que antes não possuíam nenhuma informação sobre a qualidade das suas águas, passaram a realizar as avaliações, com exceção do estado do Piauí, que ainda não aderiu ao programa.

Pode-se inferir também que a RNQA é um programa de melhoria contínua dos monitoramentos realizados antes da sua implementação e ainda de instalação de estações de amostragem nas UFs não monitoradas a fim de se obter dados da maior parte das regiões hidrográficas brasileiras.

Em contrapartida, os parâmetros do programa não são capazes de detectar todos os potencias tipos de contaminação aos quais as estações de amostragem podem estar expostas. Dessa forma, sugere-se como melhoria para o programa RNQA que possam ser realizadas avaliações sobre os usos dos recursos hídricos e dos potenciais contaminantes em cada estação de amostragem e então sugeridos os parâmetros que possam fornecer avaliações mais reais e efetivas.

Acerca do uso dos índices de qualidade das águas cabe destacar que o IQA-NSF adaptado pela CETESB é o índice mais utilizado em todo o país visto as preocupações com a qualidade das águas para o abastecimento público. No âmbito nacional, esse é o índice utilizado pela ANA para avaliar as condições de qualidade das águas.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. (2017) *Conjuntura de Recursos Hídricos Brasil 2017*. Brasília: Agência Nacional das Águas. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-deconteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conj2017_rel-1.pdf>. Acesso em 15 mai. 2019.

___. (2013a) *Conjuntura de Recursos Hídricos Brasil 2013.* Brasília: Agência Nacional das Águas. Disponível em: http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/PDFs%20agregados/ANA_Conjuntura_Recursos_Hidricos_Brasil_capitulos_.pdf. Acesso em 16 mai. 2019.

___. (2013b) Resolução nº 903, de 22 de julho de 2013. Cria a Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais – RNQA e estabelece suas diretrizes. Brasília.

___. (2016) Resolução nº 643, de 27 de julho de 2016. Altera o Programa de Estímulo de Dados de Qualidade de Água – QUALIÁGUA e dá outras providências. Brasília.

___. (2019) Resposta à Comunicação Interna nº 406/2019/COR (Documento 02500.056657/2019-34). Brasília, 2019.

BRASIL. (1997) Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídrico, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta a inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei n°8001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. *Diário*

*Oficial da União*. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em 20 abr. 2019.

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***.** Canada, 2001a. 13 f. Disponível em: <http://www.ccme.ca/assets/pdf/wqi_techrprtfctsht_e.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2012a.

COBRAPE. **Relatório Final de Arranjo da Rede Nacional de Qualidade das Águas. Brasília,** Distrito Federal, 2012. 231 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. (2018) *Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo -2018. Disponível em:< https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2019/07/Resumo-Executivo-Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-das-%C3%81guas-Interiores-no-Estado-de-S%C3%A3o-Paulo-2018.pdf>. Acesso em 01 mai. 2019*

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. (2017) *Qualidade das Águas dos Reservatórios do Paraná*. Disponível em: < http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Qualidade_das_aguas/Relatoriofinal.pdf>. Acesso em 21 mai. 2019

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. (2017) Avaliação da Qualidade das Águas Superficiais em 2017.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE DO AMAZONAS. (2018) *Plano diretor de Recursos Hídricos: Versão Preliminar.* Disponível em: < http://meioambiente.am.gov.br/plano-estadual-de-recursos-hidricos/>. Acesso em 21 mai. 2019.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO PARANÁ. (2010). Plano Estadual de Recursos Hídricos do Paraná: Resumo Executivo. Disponível em: http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/PLERH/resumo_executivo_PLERH.pdf. Acesso em 25 mai. 2019.

SOUZA, R. G. **Monitoramento da Qualidade das Águas** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <anapaula@ambientesustentavelconsultoria.com> em 23 mai. 2019