



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

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

Hernane Teixeira da Silva

**Avaliação da evolução da qualidade da água superficial na bacia do Rio
Pomba, MG, utilizando o índice IQA-CCME**

Rio de Janeiro

2021

Hernane Teixeira da Silva

Avaliação da evolução da qualidade da água superficial na bacia do Rio Pomba, MG, utilizando o índice 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: Metodologias para Implementação dos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Friedrich Wilhelm Herms

Rio de Janeiro

2021

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

S586a Silva, Hernane Teixeira da.
Avaliação da evolução da qualidade da água superficial na bacia do Rio Pomba,
MG, utilizando o índice IQA-CCME / Vera Lucia Teixeira. – 2021.
141 f.: il.

Orientador: Friedrich Wilhelm Herms.
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Centro de
Tecnologia e Ciências.

1. Recursos hídricos – Administração – Brasil, Sudeste – Teses. 2.
Abastecimento de água – Monitoramento – Brasil, Sudeste – Teses. 3. Bacias
hidrográficas – Administração – Rio Pomba, Bacia do (MG) – Teses. 4. Uso e
Ocupação do Solo – Minas Gerais, Sudeste – Teses. I. Herms, Friedrich Wilhelm.
II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia e Ciências. III.
Título.

CDU 556.18(815)

Bibliotecária responsável: Fernanda Lobo / CRB-7: 5265

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

Assinatura

Data

Hernane Teixeira da Silva

Avaliação da evolução da qualidade da água superficial na bacia do Rio Pomba, MG, utilizando o índice 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: Metodologias para Implementação dos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos.

Aprovada em 17 de outubro de 2021.

Orientador: Prof. Dr. Friedrich Wilhelm Herms

Faculdade de Oceanografia – UERJ

Banca Examinadora:

Prof.^a Dra. Marília Carvalho de Melo

Secretaria de Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais

Prof.^a Dra. Cassia de Oliveira Farias

Faculdade de Oceanografia – UERJ

Rio de Janeiro

2021

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a minha família e principalmente aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai Antônio Teixeira da Silva e minha mãe Aneide Soares Pereira da Silva.

Aos meus irmãos Patrícia Pereira da Silva e Rule Gler Teixeira da Silva e minha namorada Franciany Barbosa Martins.

A todos os professores que fizeram parte da minha trajetória de estudos desde o início no ensino fundamental até os dias de hoje.

Aos professores do ProfÁgua/UERJ que me deram muita força e sempre acreditaram na minha trajetória.

Aos colegas 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).

Aos colegas de outras instituições ligadas ao ProfÁgua em especial a Debora Camargo Strada pela amizade e parceria nos trabalhos.

Aos meus amigos de Vila Isabel, Elias Adriano dos Santos e Jardel Souza de Azevedo.

Um agradecimento mais que especial ao Coordenador do Curso ProfÁgua/UERJ, e meu orientador Prof. Dr. Friedrich Wilhelm Herms, que soube lidar com minhas limitações e me proporcionou a conclusão do mestrado.

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 vez que 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 N°. 2717/2015.

RESUMO

SILVA, Hernane Teixeira da. **Avaliação da evolução da qualidade da água superficial na bacia do Rio Pomba, MG, utilizando o índice IQA-CCME**. 2021.141 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, 2021.

Nas últimas décadas o Brasil vem sofrendo constantemente com problemas de abastecimento de água tanto em relação à quantidade como em qualidade adequadas, principalmente nos grandes centros urbanos. Nesse sentido o monitoramento do recurso hídrico se torna real e necessário, com o propósito de entender as relações que envolvem a água e o uso e ocupação do solo de uma bacia, possibilitando propor melhoria da qualidade da água de um rio ou bacia. Esse trabalho se utiliza de um índice de qualidade de água desenvolvido no Canadá, o IQA-CCME para avaliar a evolução da qualidade da água superficial na bacia do Rio Pomba, no estado de Minas Gerais. A justificativa para esse trabalho se dá pela relação dos múltiplos usos da água da bacia, principalmente o uso para abastecimento público. Nesse trabalho foram utilizados dados de monitoramento do Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM e da Companhia de Saneamento do Estado de Minas Gerais – COPASA, entre os anos de 1998 e 2019. Os dados utilizados tiveram três tratamentos diferentes: Cálculo do IQA por ponto para cada ano de monitoramento, Cálculo do IQA da bacia por ano de monitoramento, Cálculo do IQA por subtrecho acumulado da bacia. Também foi avaliado a relação IQA com os dados de vazão no dia da coleta. Os três modelos demonstraram que a sub-bacia Rio Novo contribuiu para uma melhora da qualidade da água na calha principal e a sub-bacia Xopotó foi o principal contribuinte de piora da qualidade da água. Os dados ainda apresentaram uma relação de piora no IQA quando em picos de grandes vazões. Também ficou evidenciado que o modelo de uso e ocupação do solo ao longo do tempo na bacia teve influência direta na qualidade da água, principalmente em áreas urbanas com o despejo de esgoto doméstico sem tratamento nos rios. A qualidade da água se manteve em equilíbrio, nenhum formato de investigação demonstrou tendência de piora ou melhora da qualidade da água ao longo do tempo estudado. Contudo o IQA se apresentou como uma ferramenta eficaz de metodologia simples, sendo sua principal vantagem a possibilidade de incorporação de parâmetros ao índice, entretanto apresentou alta sensibilidade no cálculo do IQA com as grandes oscilações na incidência ou pela ausência do parâmetro coliformes.

Palavras-chave: Uso e Ocupação do Solo. Monitoramento. Sub-bacias, Xopotó e Rio Novo.

ABSTRACT

SILVA, Hernane Teixeira da. **Evaluation of the evolution of surface water quality in the Pomba River basin, MG, using the WQI-CCME index.** 2021.141 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, 2021.

In recent decades, Brazil has been constantly suffering from water supply problems, both in terms of adequate quantity and quality, especially in large urban centers. In this sense, the monitoring of water resources becomes real and necessary, in order to understand the relationships involving water and the use and occupation of the soil in a basin, making it possible to propose improvement in the quality of water in a river or basin. This work uses a water quality index developed in Canada, the WQI-CCME, to assess the evolution of surface water quality in the Pomba River basin, in the state of Minas Gerais. The justification for this work is given by the relation of multiple uses of water in the basin, mainly the use for public supply. In this work, monitoring data from the Minas Gerais Water Management Institute - IGAM and the Minas Gerais State Sanitation Company - COPASA were used, between the years 1998 and 2019. The data used had three different treatments: Calculation of the WQI per point for each year of monitoring, Calculation of the WQI of the basin per year of monitoring, Calculation of the WQI per accumulated subsection of the basin. The WQI relationship with the flow data on the day of collection was also evaluated. The three models demonstrated that the Rio Novo sub-basin contributed to an improvement in water quality in the main channel and the Xopotó sub-basin was the main contributor to the worsening of water quality. The data also showed a relationship of worsening in the WQI when at peaks of large flows. It was also evidenced that the model of land use and occupation over time in the basin had a direct influence on water quality, especially in urban areas with the discharge of untreated domestic sewage into rivers. The water quality was kept in balance, no investigation format showed a trend of worsening or improvement in water quality over the time studied. However, the WQI presented itself as an effective tool with a simple methodology, its main advantage being the possibility of incorporating parameters into the index, however it presented high sensitivity in the calculation of the WQI with large oscillations in the incidence or absence of the coliform parameter.

Keywords: Land Use and Occupation. Monitoring. Sub-basins, Xopotó and Rio Novo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Inter-relação dos instrumentos da política nacional de recursos hídricos	14
Figura 2 –	Linha do tempo sobre as principais legislações referente a água	31
Figura 3 –	Representação geométrica do índice de qualidade da água IQA-CCME.	39
Figura 4 –	Bacia hidrográfica do rio Pomba	44
Figura 5 –	Bacia hidrográfica do rio Pomba com altimetria e principais afluentes ..	46
Figura 6 –	Perfil topográfico da calha principal e pontos de monitoramento	47
Figura 7 –	Mapa geomorfológico da bacia hidrográfica do rio Pomba	51
Figura 8 –	Mapa de vulnerabilidade a erosão na área da bacia hidrográfica do rio Pomba	55
Figura 9 –	Mapa de declividade na área da bacia hidrográfica do rio Pomba	56
Figura 10 –	Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pomba	60
Figura 11 –	Bases meteorológicas do INMET na bacia hidrográfica do rio Pomba ..	62
Figura 12 –	Temperaturas médias mensais para série histórica de 1981 a 2010	63
Figura 13 –	Média de precipitação mensal para série histórica de 1981 a 2010	64
Figura 14 –	Isoietas de dados históricos (1977 a 2006) de precipitação para a bacia hidrográfica do rio Pomba	64
Figura 15 –	Postos fluviométricos	68
Figura 16 –	Panorama do atendimento ao esgoto nos municípios da bacia hidrográfica do rio Pomba	70
Figura 17 –	Fluxograma da metodologia	74
Figura 18 –	Representação dos pontos de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Pomba no modelo Sanders	77
Figura 19 –	Representação definitiva dos pontos de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Pomba	78
Figura 20 –	Pontos de monitoramento na bacia hidrográfica do rio pomba e sub-bacias Xopotó e Rio Novo	81
Figura 21 –	Dados com tempo de medição dos pontos de monitoramento	84
Figura 22 –	Modelo de formatação condicional aplicado ao alumínio	89
Figura 23 –	Distribuição dos pontos de vazão e amostragem concatenados	92
Figura 24 –	Dados brutos com planilha simplificada	93

Figura 25 –	Dados de parâmetros com planilha simplificada	93
Figura 26 –	Modelo dos dados para cálculo IQA individual	94
Figura 27 –	Planilha simplificada com dados monitorados para o ano de 1998	95
Figura 28 –	Planilha simplificada dados agregados para o ano de 1999	95
Figura 29 –	Planilha simplificada do modelo do ponto AC1	96
Figura 30 –	Planilha simplificada com separação dos dados por cada ano no ponto AC1	97
Figura 31 –	Planilha simplificada da junção dos pontos CP1 e CP2	97
Figura 32 –	Planilha simplificada com dados dos pontos CP1, CP2 e CP3	97
Figura 33 –	Diagrama unifilar da calha principal da bacia hidrográfica do rio Pomba	100
Figura 34 –	Dados de IQA comparando os anos de monitoramento	101
Figura 35 –	IQA por ponto de monitoramento da região do Alto Rio Pomba	103
Figura 36 –	Vazão V1 e IQA do ponto CP2 no dia da coleta dos dados	103
Figura 37 –	IQA por ponto de monitoramento da região do Médio Pomba	104
Figura 38 –	Vazão V3 e IQA do ponto CP6 no dia da coleta dos dados	105
Figura 39 –	IQA por ponto de monitoramento da região do Baixo Pomba	106
Figura 40 –	Vazão V5 e IQA do ponto CP8 no dia da coleta dos dados	106
Figura 41 –	IQA por ponto de monitoramento da região da sub-bacia Xopotó	108
Figura 42 –	Vazão V6 e IQA do ponto SB14 no dia da coleta dos dados	108
Figura 43 –	IQA por ponto de monitoramento da região da sub-bacia Rio Novo	109
Figura 44 –	Vazão V7 e IQA do ponto SB23 no dia da coleta dos dados	110
Figura 45 –	IQA de toda bacia com dados agregados por ano de monitoramento	111
Figura 46 –	IQA geral da bacia hidrográfica sem interferência das sub-bacias	112
Figura 47 –	IQA considerando a interferência da sub-bacia Rio Novo	113
Figura 48 –	IQA comparativo SB21 e SB23	114
Figura 49 –	IQA considerando a interferência da sub-bacia Xopotó	115
Figura 50 –	Comparativo entre a calha principal e sub-bacias	118
Figura 51 –	IQA Dados Agregados Pela Junção de Pontos de Monitoramento	119
Figura 52 –	Vazão média ano referente ao dia de coleta da amostragem	120
Figura 53 –	Relação IQA e Vazão	120
Figura 54 –	Parâmetros em desconformidade por regiões da bacia hidrográfica do rio Pomba	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Comparação entre a classificação dos valores do IQA-NSF adaptado pelo IGAM e CETESB	37
Tabela 2 –	Categorização da qualidade da água pelo IQA-CCME	42
Tabela 3 –	Municípios que fazem parte da bacia hidrográfica do rio Pomba	45
Tabela 4 –	PCHs da bacia hidrográfica do rio Pomba	47
Tabela 5 –	População total dos municípios segundo o IBGE 2010	49
Tabela 6 –	Valores quantitativos de minerais das superfícies da bacia do rio Pomba	50
Tabela 7 –	Classificação dos solos na área da bacia do rio Pomba	53
Tabela 8 –	Quantitativos de cobertura vegetal e uso do solo na bacia hidrográfica do rio Pomba	57
Tabela 9 –	Postos de medição e vazões específicas	67
Tabela 10 –	Demonstrativo de atendimento do serviço de água na bacia hidrográfica do rio Pomba	71
Tabela 11 –	Definição dos pontos de monitoramento e classificação	78
Tabela 12 –	Descrição dos pontos de monitoramento e coordenadas geográficas	80
Tabela 13 –	Pontos de amostragem com dados gerais	83
Tabela 14 –	Parâmetros selecionados e suas possíveis origens	87
Tabela 15 –	Apresentação dos limites utilizados neste estudo para cada parâmetro .	91
Tabela 16 –	Pontos de medição de vazão	92
Tabela 17 –	Formato de agregação de dados	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al	Alumínio
ANA	Agência Nacional de Águas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APP	Área de Preservação Permanente
ARL	Área de Reserva Legal
ATA	Agentes Tensoativos
BMWP	<i>Biological Monitoring Working Party Score System</i>
CCME	<i>Canadian Council of Ministers of the Environment</i>
CEIVAP	Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba Do Sul
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
COPASA	Companhia de Saneamento do Estado de Minas Gerais
COMPE	Comitê da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Pomba e Muriaé
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CT	Contaminação por Tóxicos
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DRH-MG	Departamento de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
Fe	Ferro
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
IAP	Índice de Qualidade de Água Bruta para fins de Abastecimento Público
IB	Índice de Balneabilidade
IEF	Instituto Estadual de Florestas
IET	Índice de Estado Trófico
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão da Água
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
IQA	Índice de Qualidade de Água

ISTO	Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas
IVA	Índice para Preservação da Vida Aquática
Mn	Manganês
MS	Ministério da Saúde
NH ₃	Nitrogênio Amoniacal
NO ₂	Nitrito
NO ₃	Nitrato
NSF	<i>National Sanitation Foundation</i>
NTU	Unidade Nefelométrica de Turbidez
OD	Oxigênio Dissolvido
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
pH	Potencial Hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
PERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos
PMMG	Polícia do Estado de Minas Gerais
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNQA	Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas
PNRH	Plano Nacional de Recursos hídricos
PT	Fósforo
RDC	Resolução Diretoria Colegiada
RMBH	Região Metropolitana de Belo Horizonte
RNQA	Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade das Águas
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SEGRH	Sistema Estadual de Recursos Hídricos
SEMAD	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SINGRH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SISEMA	Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Saneamento
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	14
1	OBJETIVOS	18
1.1	Geral	18
1.2	Específicos	18
2	JUSTIFICATIVA	19
3	REVISÃO DE LITERATURA	22
3.1	Legislações Aplicáveis na Área de Estudo	22
3.1.1	<u>Leis Federais</u>	22
3.1.2	<u>Leis Estaduais</u>	28
3.2	Qualidade da Água	31
3.3	Índices de Qualidade de Água	35
3.3.1	<u>IQA-NSF</u>	36
3.3.2	<u>IQA-CCME</u>	38
4	ÁREA DE ESTUDO	43
4.1	Localização Geográfica	43
4.2	População	48
4.3	Recursos Minerais	49
4.4	Geomorfologia	50
4.5	Solos	52
4.6	Processos Erosivos	53
4.7	Uso e Ocupação do Solo	57
4.8	Aspectos Climatológicos	61
4.8.1	<u>Clima</u>	61
4.8.2	<u>Temperatura</u>	62
4.8.3	<u>Precipitação</u>	63
4.9	Vazões	65
4.10	Saneamento Básico	68
4.10.1	<u>Esgotamento Sanitário</u>	69
4.10.2	<u>Abastecimento de Água</u>	70
4.10.3	<u>Resíduos Sólidos</u>	72

4.10.4	<u>Drenagem Urbana</u>	72
4.11	Fontes de Poluição	72
5	MATERIAL E MÉTODOS	74
5.1	Definição dos Pontos de Monitoramento	75
5.2	Obtenção dos Dados de Qualidade de Água	82
5.3	Definição dos Parâmetros	84
5.4	Verificação da Consistência dos Dados	88
5.5	Definição dos Limites de Referência	90
5.6	Obtenção de Dados de Vazão	91
5.7	Preparação das Planilhas Para o Cálculo do IQA	93
5.8	Cálculo do IQA	98
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	99
	CONCLUSÃO	125
	REFERÊNCIAS	128

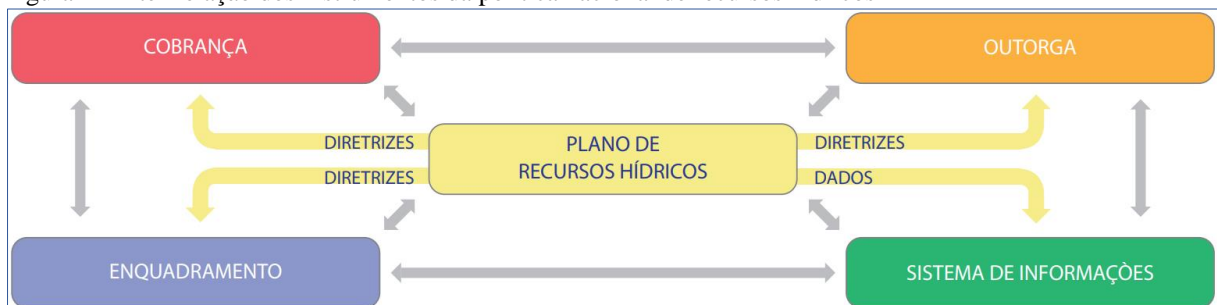
INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos países mais ricos em quantidade de água doce no mundo, e nas últimas duas décadas vêm ganhando destaque, no cenário internacional muito em função do modelo de gestão das águas que vem sendo aplicado. Embora possua em torno de 12% da água doce do planeta as cidades brasileiras vem sofrendo constantemente com problemas de abastecimento de água tanto em relação à quantidade como em qualidade adequada, principalmente nos grandes centros urbanos, o que gerou uma necessidade do estabelecimento de um processo de gestão dos recursos hídricos brasileiros.

Nesse contexto foi criada a Lei 9.433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SINGREH, regulamentando o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal que estabeleceu como competência da União a tarefa de instituir o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de outorga de direitos de seu uso (Brasil, 1997).

Todo esse processo foi uma grande conquista para o gerenciamento adequado da água, pois essa lei dispõe sobre a gestão destes recursos e define os seus instrumentos, que são: plano de recursos hídricos; enquadramento dos corpos de água em classes; outorgas dos direitos de uso de recursos hídrico; cobrança pelo uso de recursos hídricos e o sistema de informação de recurso hídrico (Figura 1).

Figura 1 - Inter-relação dos instrumentos da política nacional de recursos hídricos



Fonte: ANA, 2013a.

O enquadramento dos corpos de água em classes segundo os usos preponderantes é um dos instrumentos da PNRH, que trata da qualidade das águas, onde no seu processo de construção devem ser estabelecidas metas de qualidade da água que devem ser alcançadas ou mantidas em um corpo hídrico, ou em um trecho deste, ao longo do tempo.

A legislação ambiental responsável pela classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento no Brasil é a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 (CONAMA, 2005), do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, onde os objetivos de qualidade e os padrões ambientais são definidos para cada classe de uso da água (AMARO, 2009). Também para o aspecto de qualidade de águas podemos relacionar a Resolução CONAMA N° 430 (CONAMA, 2011) que estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes nos corpos d'água (BRASIL, 2011b).

No Estado de Minas Gerais foi através da Lei nº 11.504/1994 (Minas Gerais, 1994) que foi instituída a política de gerenciamento de recursos hídricos no estado, e foi promulgada quase três anos antes da Lei Federal N° 9.433/1997. Posteriormente esta lei foi revogada para atender todos os novos princípios da lei federal, sendo assim substituída pela Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999 (Minas Gerais, 1999).

No sentido de um melhor gerenciamento dos recursos hídricos, o monitoramento passa a ser uma excelente ferramenta da gestão, pois tem a capacidade de, a partir do acompanhamento dos dados fornecidos determinar de forma investigativa a realidade da qualidade da água de cada corpo hídrico. Ainda segundo Cunha & Calijuri (2010), fazer monitoramento é ter a percepção de sensibilidade do sistema aquático, permitindo conhecer o comportamento das águas ao longo do tempo, de modo a propor um minucioso diagnóstico da bacia hidrográfica, reconhecendo e propondo melhorias para os diversos impactos sofridos, seja de origem natural ou antrópica.

A importância do monitoramento se torna real e necessária, com o propósito de entender as relações que envolvem a água e o uso e ocupação do solo da bacia, possibilitando assim fazer uma gestão intuitiva, propondo intervenções que assegurem que as gerações atuais e futuras tenham água com padrões de disponibilidade e qualidade adequada aos respectivos usos, conforme Lei N° 9433/1997 (BRASIL, 1997).

Para o diagnóstico da qualidade da água são utilizados indicadores físicos, químicos e biológicos, pretendendo-se a partir do conhecimento e da divulgação desses dados, sensibilizar a população em geral, e as autoridades, fomentando políticas públicas de recuperação e preservação dos recursos hídricos (CETESB, 2019a).

A maioria dos relatórios de qualidade de água são extensos com uma variedade de dados de forma detalhada, utilizando séries de longos períodos de medições e modelos matemáticos complexos.

Todos os dados gerados em um sistema de monitoramento vêm com diversas informações que ficam dispersas e tediosas, pois não são apresentadas de forma objetiva e que

possa propiciar uma avaliação mais precisa e indicar ações práticas para melhoria da qualidade água, em muitas das vezes não se consegue descrever a qualidade da água e suas tendências.

Sendo assim a aplicação de um Índice de Qualidade de Água - IQA tem como principal finalidade descrever de forma simples esse conjunto de indicadores oriundos dos monitoramentos em uma forma mais acessível, transcrevendo essa visão sistemática em um modelo de fácil entendimento pelos gestores deste recurso e também pela população em geral (WEINBERG, 2013).

Atualmente tem se utilizado uma variedade de índices para as mais diversas finalidades, sendo alguns com maior utilização que outros a depender do uso específico do corpo hídrico em estudo. O índice mais comum aqui no Brasil o IQA da *National Sanitation Foundation* - NSF, adaptado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, bastante utilizado pelos principais órgãos gestores estaduais para o monitoramento da qualidade de água. Também muito utilizado pelas companhias de saneamento o Índice de Estado Trófico - IET e o Índice de Qualidade de Água Bruta para fins de Abastecimento Público - IAP (ALMEIDA, 2014).

Embora o IQA-CETESB seja o mais popular, ele apresenta algumas limitações, como por exemplo, não incorporar vários parâmetros importantes para o abastecimento público, tais como substâncias tóxicas, a exemplo de metais pesados, pesticidas, compostos orgânicos com potencial mutagênico, e substâncias que interferem nas propriedades organolépticas da água, número de células de cianobactérias e o potencial de formação de trihalometanos das águas de um manancial (ANA, 2012a).

Considerando as limitações da metodologia de IQA-CETESB, e buscando identificar um conjunto maior de poluentes presentes na água a CETESB a partir de 2002 passou a utilizar índices específicos para cada uso do recurso hídrico: IAP - Índice de Qualidade de Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público o IVA - Índice de Preservação da Vida Aquática e o Índice de Balneabilidade - IB (CETESB, 2019b).

Pode-se considerar que a maior falha é não promover uma comparação com os padrões exigidos para cada classe de água estabelecida pelo CONAMA N° 357, e a dependência de se ter todos os indicadores propostos na metodologia para poder ser calculado corretamente o índice.

Assim como a CETESB outros órgãos, entre eles o IGAM, também passaram a utilizar índices específicos para cada uso do recurso hídrico, como o índice Contaminação por Tóxicos – CT, Índice de Estado Trófico – IET, Densidade de Cianobactérias, Ensaio

Ecotoxicológicos e índice biótico *Biological Monitoring Working Party Score System* “BMWP”.

Nesse sentido, buscando uma forma de consolidar os resultados do monitoramento da qualidade das águas, comparando os indicadores com os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 357, ficar independente das falhas de análises e coletas, este trabalho utilizou o IQA desenvolvido pelo *Canadian Council of Ministers of the Environment - CCME*, tendo em vista sua capacidade de incorporar a totalidade dos resultados de cada parâmetro analisado, a possibilidade de se trabalhar com vários pontos de coleta agregados, e também sua maior flexibilidade, devido ao fato de não se exigir um conjunto rígido de parâmetros para serem analisados (CCME, 2001). Uma hipótese para esta pesquisa é que o IQA-CCME pode ser uma ferramenta bastante eficaz para agregar todos os parâmetros escolhidos para avaliar a condição de qualidade estabelecida por classes de enquadramento de acordo com a Resolução CONAMA N° 357/2005 de uma determinada bacia hidrográfica.

1 OBJETIVOS

1.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Rio Pomba aplicando o IQA-CCME, gerando uma informação da situação do corpo hídrico em uma escala temporal.

1.2 Objetivos Específicos

Consolidar os dados de monitoramento já existentes para a bacia do Rio Pomba; utilizar os dados para calcular o IQA na calha principal e nas sub-bacias e avaliar os resultados obtidos frente às características de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica.

2 JUSTIFICATIVA

A bacia do rio Pomba apresenta uma área de drenagem de 8.616 km², com uma topografia acidentada, com vales estreitos e úmidos e relevo variando de fortemente ondulado a montanhoso. Possui um uso e ocupação do solo relativamente uniforme, onde vivem uma população de aproximadamente 775.143 mil habitantes (IBGE 2010). Na calha central os principais afluentes da margem direita são os rios: Formoso, Novo e Pardo, e na margem esquerda são os rios: Paraopeba, Xopotó e Cágado (CEIVAP, 2006).

A característica mais marcante dessa bacia hidrográfica, em relação a sua qualidade de água, diz respeito à falta de tratamento dos esgotos domésticos, resultando quase que na sua totalidade no lançamento dos efluentes diretamente nos cursos d'água (GUEDES, 2009).

Outro fato bastante relevante a considerar é a degradação da cobertura vegetal, fruto do desmatamento, e que vem proporcionando forte erosão do solo, conseqüentemente implicando no carreamento de uma porção bem relevante de sedimentos para as calhas dos cursos d'água, que promove a diminuição da qualidade de água dos mananciais da região. Algumas áreas, como na sub-bacia do ribeirão Ubá, que abastece precariamente a cidade de Ubá, em períodos de estiagem vem sofrendo significativa escassez de água e conseqüentemente uma forte queda da qualidade (SILVA, 2014).

Pode-se considerar a bacia hidrográfica do rio Pomba de grande importância econômica e social, tendo em vista que está localizada em uma região de alta concentração populacional onde as maiores cidades, como Cataguases, Ubá e Leopoldina, atingem, a densidade populacional na faixa de 50,0 a 100 hab/km², as demais cidades com densidades menos expressivas, de modo geral em torno de 75,9 hab/km² (IBGE, 2021). Dentre os municípios da bacia, do ponto de vista econômico, destacam-se dois, onde se concentram as maiores arrecadações financeiras, sendo o Produto Interno Bruto - PIB municipal de Cataguases com R\$ 1.208.055,00 e com renda média de R\$ 17.330,9 hab/ano, e Ubá com R\$ 2.126.113,00 e renda média de R\$ 20.943,0 hab/ano (IBGE, 2021).

O aproveitamento hídrico da bacia são os mais variados, sendo o principal uso destinado para o abastecimento público da população, no entanto, apresenta uma série de impactos, em especial o lançamento de esgoto doméstico in natura (CEIVAP, 2006).

As pequenas centrais hidrelétricas - PCHs são outro ponto de destaque na área da bacia, com um total de 10 (dez) PCHs, distribuídas nas regiões com maior potencial de

geração de energia, sendo 6 (seis) na calha principal, 3 (três) na sub-bacia Rio Novo e uma na sub-bacia Xopotó.

Devido ao atual quadro de degradação da bacia, faz-se necessário avaliar e compreender esses processos, e dessa forma espera-se desenhar um modelo de análise que demonstre o comportamento da bacia ao longo do tempo em relação à condição hídrica, permitindo medidas a serem tomadas pelos gestores e reguladores do uso da água, a fim de identificar os principais elementos responsáveis pela alteração de sua qualidade. Assim, torna-se possível maximizar a gestão deste recurso hídrico.

O acompanhamento da situação de um corpo hídrico é uma atividade essencial para o desenvolvimento do planejamento da bacia hidrográfica e para a gestão dos recursos hídricos, sendo necessário verificar se as ações planejadas e adotadas para controle da poluição estão funcionando (BRITES, 2010).

Para se fazer uma gestão sustentável dos recursos hídricos é muito importante monitorar efetivamente e adequadamente a qualidade da água do rio, o que também promove uma proteção segura da saúde pública. Entender e avaliar quantitativamente a tendência das variações espaciais e temporais da qualidade da água dos rios proporcionam um melhor gerenciamento dos recursos hídricos (WANG et al., 2015). Partindo do princípio dos usos múltiplos, é necessário que a qualidade das águas da bacia seja garantida, de modo que atenda aos requisitos das finalidades pretendidas. Dessa forma, também se faz importante o tema de estudo do presente trabalho.

Uma outra justificativa para a realização desse trabalho, é que deve ser considerado que no Brasil, os corpos d'água devem atender determinados padrões de qualidade, que atendam a Resolução CONAMA nº 357, e suas alterações legais posteriores. Nas bacias em que a condição de qualidade dos corpos d'água estejam em desacordo com os usos preponderantes pretendidos, é necessário a definição das metas para melhoria do corpo hídrico, através da efetivação dos respectivos enquadramentos por etapas, atendendo aos limites de cada parâmetro para sua condição natural. Também é importante em conjunto as medidas mencionadas, estabelecer programas e projetos de recuperação da qualidade das águas.

Quanto a escolha da bacia hidrográfica do rio Pomba, para esse trabalho, se deve pela sua importância estratégica para o estado de Minas Gerais, suas águas são destinadas para os mais variados usos, como geração de energia, irrigação, diluição de efluentes doméstico e industrial e principalmente abastecimento público. Além disso, a bacia contribui com um grande volume de água para a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, já no estado do Rio de

Janeiro, portanto de grande importância também para o estado Fluminense, especialmente na região do baixo Paraíba do Sul.

Do ponto de vista da pesquisa, deve se considerar que a bacia tem uma boa rede de monitoramento, com dados bem consistentes. O IGAM, é responsável pelo monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas de Minas Gerais desde 1997, que disponibiliza uma série histórica da qualidade das águas, com 620 estações de amostragem distribuídas nas bacias hidrográficas mineiras, sendo 13 estações na bacia do rio Pomba. O monitoramento é feito com 4 campanhas anuais, sendo que para algumas estações as campanhas são mensais, onde, são analisados um total de 51 parâmetros, sendo que o parâmetro *Escherichia coli* passou a ser avaliado a partir de 2013 (IGAM, 2019).

A Companhia de Saneamento de Minas (COPASA), atuando desde 1963 no estado, também possui uma rede monitoramento dentro dos municípios onde a empresa possui concessão, portanto o monitoramento pode variar para cada município a depender do tempo de atuação na concessão municipal. O monitoramento é feito em córregos, rios, lagos e poços artesianos, com 2 campanhas por ano para água superficial, disponibilizando relatórios anuais de qualidade (COPASA, 2021).

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Legislações Aplicáveis na Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Pomba é uma sub-bacia do rio Paraíba do Sul, 92,1% de sua área de drenagem no estado de Minas Gerais e uma pequena parte (7,9%) em território fluminense (ANA, 2011). A bacia tem no rio Pomba seu trecho de maior extensão, e por essa razão nomeia a bacia hidrográfica, sendo seus maiores contribuintes as sub-bacias Xopotó e Rio Novo no estado de Minas Gerais, já no estado do Rio de Janeiro os rios contribuintes têm pouca relevância em volume de água.

Desta forma o rio Pomba é um rio de domínio da união e assim subordinado a legislação federal de gestão de recursos hídricos, pois sua calha principal transpõe a fronteira estadual, já nas suas sub-bacias e os pequenos tributários são aplicadas as legislações do estado de Minas Gerais, e ainda que pouco relevantes em volumes de água nos afluentes fluminenses são aplicadas as legislações do estado do Rio de Janeiro.

Sendo assim as principais leis federais e estaduais sobre o assunto são descritas a seguir em ordem cronológica em dois grupos, divididos em leis federais e leis estaduais.

3.1.1 Leis Federais

Uma das primeiras leis que tiveram destaque no Brasil sobre recursos hídricos foi o Código das Águas de 1934, sendo um dos primeiros instrumentos a trazer definições de uso das águas no Brasil, ainda em vigor, e visava proteger a qualidade das águas. Criado pelo Decreto N° 24.645 definiu práticas de uso dos recursos hídricos no Brasil (BRASIL, 1934). O principal intuito desse decreto era impulsionar o setor econômico do país com o incentivo ao uso dos recursos hidroelétricos.

O Código das Águas entre outros pontos expressava o fato de dar direito privado a água quando dentro de propriedades particulares, de modo que o dono de uma propriedade particular seria o dono do recurso que na sua propriedade fizesse curso. Ainda com essa peculiaridade o código era visto com muita robustez, algo que para a época era bastante

avançado. A legislação, embora numa época de fartura hídrica, já previa a possibilidade da cobrança do uso do recurso e estabelecia a necessidade de concessão administrativa para derivação de corpos d'água para determinados fins, como agricultura, indústria e higiene, e ainda previa formas de penalidades para práticas indevidas pelo o uso.

Um pouco mais adiante no tempo, um grande avanço na legislação ambiental foi o Código Florestal, que foi instituído pela Lei Federal Nº 4.771, de 1965, definindo as matas ciliares como Áreas de Preservação Permanente - APPs. Áreas essas que são definidas como locais de preservação ambiental com intuito de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, também facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas, nas quais a vegetação deveria ser mantida pelo proprietário da área, possuidor ou ocupante (BRASIL, 1965).

Em 2012 a Lei de Nº 4.771 foi revogada pela Lei nº 12.651, estabelecendo um novo código florestal que manteve as APPs como áreas que devem ser mantidas intactas pelo proprietário ou possuidor de imóvel rural, e uma de suas maiores virtudes é a função ambiental de preservar os recursos hídricos (BRASIL, 2012).

Já na área de saneamento básico, em 1967 foi instituída a Lei Federal nº 5.138 dando diretrizes para o saneamento, estabelecendo e normatizando o saneamento básico no país. Hoje podemos considerar que, a ausência de saneamento é um dos maiores desafios para a gestão dos recursos hídricos.

No que diz respeito a classificação das águas no Brasil, a Portaria do Ministério do Interior nº 13, de 15 de janeiro de 1976, foi uma das primeiras iniciativas de classificação das águas, surgiu com a finalidade restrita de atender padrões de balneabilidade e recreação, mas também classificou as águas doces, conforme os usos preponderantes a que as águas se destinavam (PACHECO e DESCHAMPS, 2016).

Em 1981 foi instituída a Lei Federal Nº 6.938 que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente - PNMA, onde o objetivo era a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, com contribuição para a preservação dos recursos hídricos (BRASIL, 1981).

Outro passo na normatização, ligado ao aspecto de qualidade das águas, foi a Resolução CONAMA Nº 20, de 30 julho de 1986, que dispunha sobre a “classificação dos corpos de água; diretrizes ambientais para o seu enquadramento; e estabelecia condições e padrões de lançamentos de efluentes” (CONAMA, 1986). Logo adiante foi substituída pela Resolução CONAMA Nº 357 no ano de 2005.

A Constituição Federal de 1988 tratou no seu art. 20º e inciso III as questões de dominialidade das águas e definiu como bens da União; os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham. Também no seu art. 26º inciso I; complementa que são bens dos Estados as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, na forma da lei, as decorrentes de obras da União (BRASIL, 1988).

Num momento em que o recurso hídrico se torna cada vez mais escasso, aumenta a preocupação de que a sua distribuição seja equitativa. Nesse cenário surgiu a principal lei sobre recurso hídrico no país. A atual Lei das Águas que foi proposta em 1997 e instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH (Lei Federal Nº 9.433), e ainda estabeleceu medidas que visam colaborar com a minimização dos impactos negativos ao meio ambiente, contribuindo assim para garantir, para esta e para as futuras gerações, água em quantidade e qualidade, de acordo com os padrões dos seus respectivos usos (BRASIL, 1997).

A PNRH pode ser dita como um marco na legislação sobre águas no Brasil, e segundo Tomaz (2006) o Brasil possui legislação ambiental adequada e sofisticada sobre meio ambiente particularmente no caso dos recursos hídricos.

Instituída a PNRH, foi criado o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGRH), tendo como objetivos: assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, com vistas ao desenvolvimento sustentável; a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos (BRASIL, 1997).

Entre os seus fundamentos, a PNRH define que a água é um bem de domínio público e um recurso limitado e dotado de valor econômico; a gestão deve sempre proporcionar os usos múltiplos das águas; e em situação de escassez a prioridade é para o consumo humano e dessedentação de animais; onde a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades; e que a unidade territorial para implementação da PNRH é a bacia hidrográfica (BRASIL, 1997).

Entre as diretrizes gerais para implementação da PNRH pode-se destacar: a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade; e a integração na gestão das bacias hidrográficas com a dos sistemas estuarinos e zonas costeiras, também a adequação da gestão às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do País (BRASIL, 1997).

Os instrumentos definidos pelo PNRH são (BRASIL, 1997):

- a) Os Planos de Recursos Hídricos: visam a fundamentar e orientar a implementação da PNRH e o gerenciamento dos recursos hídricos;
- b) O enquadramento dos corpos de água em classes segundo os usos preponderantes da água: visa assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas; diminuir os custos de combate à poluição das águas mediante ações preventivas permanentes;
- c) A outorga de direitos de uso de recursos hídricos: tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água;
- d) A cobrança pelo uso de recursos hídricos: objetiva reconhecer a água como bem econômico e dar o seu devido valor real, incentivar a racionalização do uso da água e obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos;
- e) O Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos: um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão.

Para a implantação do SINGRH, criado pela PNRH, foi criada, através da Lei no 9.984, em 2000, a Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal responsável pela implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 2000b).

Mais recentemente, com a Lei Nº 14.026/2020 a ANA passa a se chamar “Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico”, porém a sigla do órgão permanece a mesma. Além disso, a lei que atualiza o marco legal do saneamento básico traz uma nova atribuição regulatória para a instituição: editar normas de referência, com diretrizes, para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico no Brasil (BRASIL, 2020).

No ano 2000, foi instituída pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH a Resolução CNRH Nº 12, de 19 de julho de 2000, estabelecendo procedimentos para o enquadramento de corpos de água em classes segundo os usos preponderantes. O art. 4º da Resolução dita os procedimentos para o enquadramento das águas, onde deveriam ser desenvolvidos em conformidade com o Plano de Recursos Hídricos da Bacia hidrográfica e os Planos de Recursos Hídricos Estaduais, Distrital, Regional e Nacional, obedecendo a Resolução CONAMA Nº 20, e de forma a subsidiar a implementação deste instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 2000b).

Vários fatores podem interferir na qualidade da água, sendo assim a Resolução CONAMA Nº 274/2000 avalia a balneabilidade e requer o estabelecimento de critérios objetivos, considerando que a saúde e o bem-estar humano podem ser afetados pelas condições de balneabilidade; assim a referida norma se baseia em índices microbiológicos que determinam os indicadores a serem monitorados e os seus valores, confrontados com padrões pré-estabelecidos de forma a assegurar as condições necessárias à recreação de contato primário; nesse sentido compete aos órgãos de controle ambiental realizar o monitoramento das condições de balneabilidade das praias e fazer a divulgação desses dados para o cumprimento da legislação pertinente (CONAMA, 2000a).

A Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005, veio para substituir a Resolução CONAMA Nº 20, e dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e dá diretrizes ambientais para o seu enquadramento, estabelece, ainda, as condições e padrões de lançamento de efluentes em corpo hídrico. No entanto, não se refere, especificadamente, à classificação das águas subterrâneas, estabelecendo apenas alguns parâmetros no que se refere à qualidade da água para uso doméstico.

Essa Resolução tem como objetivo a reformulação da classificação existente, para melhor especificar as condições e padrões de qualidade requeridos; também a classificação dos corpos d'água superficiais para os seus níveis de qualidade, medidos por padrões específicos, sendo assim, possível o acompanhamento da evolução da qualidade das águas, facilitando a fixação e controle de metas (CONAMA, 2005).

Quanto à legislação para gestão dos recursos hídricos subterrâneos foi publicada a Resolução CONAMA Nº 396 em 3 de abril de 2008. Nesta Resolução, são estabelecidas cinco classes de qualidade, sendo que para cada classe, é estabelecido um conjunto de condições e padrões de qualidade necessária para o atendimento dos usos preponderantes das águas subterrâneas. Os padrões consistem em valores limites de parâmetros da qualidade da água, que são substâncias ou indicadores representativos (BRASIL, 2008b).

A Resolução nº 91, de 5 de novembro de 2008 revisa a Resolução CNRH nº 12, de 19 de julho de 2000 que dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos. Segundo a Resolução o enquadramento dos corpos de água se dá por meio do estabelecimento de classes de qualidade conforme disposto nas Resoluções CONAMA Nº 357, de 2005 e 396, de 2008, sendo que na proposta de enquadramento deverá ser observada o Plano de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica, preferencialmente durante a sua elaboração, devem conter o diagnóstico; prognóstico; propostas de metas relativas às alternativas de enquadramento; e o programa para efetivação (BRASIL, 2008a).

A Resolução CONAMA N° 397, de 3 de abril de 2008, faz alterações na Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA N° 357, prorrogando o prazo para complementação das condições e padrões de lançamento de efluentes, previsto no art. 44 da Resolução N° 357 (BRASIL, 2008c).

Resolução CONAMA N° 410, de 04 de maio de 2009, prorroga novamente o prazo para complementação das condições e padrões de lançamento de efluentes, previsto no art. 44 da Resolução N° 357, de 17 de março de 2005, e no Art. 3º da Resolução N° 397, de 3 de abril de 2008 (BRASIL, 2009).

A Resolução N° 430, de 13 de maio de 2011, dispõe sobre os parâmetros, condições, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de águas receptores, alterou parcialmente e complementou a Resolução CONAMA N° 357. Dentre as alterações, foi detalhada com maior clareza a definição da aplicação da nova resolução para lançamento direto de efluentes; também uma maior flexibilidade no uso das normas dos órgãos ambientais, atribuiu novos requisitos para a declaração de carga poluidora, parâmetros de controle foram incorporados, foram definidas condições de lançamentos de efluentes em emissários submarinos, entre outras ações. De um modo geral a Resolução CONAMA N° 430 apresentou avanços na legislação ambiental, entre outros motivos por considerar peculiaridades do saneamento (BRASIL, 2011).

No Brasil as garantias da água para consumo humano segundo os padrões de potabilidade são estabelecidas pela Portaria de Consolidação N° 5, de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde, que através do Art. 864, inciso CXXXIII, revogou a Portaria N° 2914/2011 (BRASIL, 2017).

Mais recentemente em 07/05/2021 entrou em vigor a PORTARIA GM_MS N° 888, de 4 de maio de 2021 alterando o anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS n° 5, de 28 de setembro de 2017. Essa portaria se aplica à água destinada ao consumo humano proveniente de sistema ou solução alternativa de tratamento, e deve ser objeto de controle da vigilância da qualidade da água. A atribuição quanto ao estabelecimento desses padrões confere aos órgãos responsáveis pela gestão do serviço de saneamento seja qual for o nível, Federal, Estaduais e Municipais, seja na assistência técnica ou da legislação (BRASIL, 2021).

As disposições desta Portaria não se aplicam à água mineral natural, à água natural e às águas adicionadas de sais destinadas ao consumo humano após o envasamento, e a outras águas utilizadas como matéria-prima para elaboração de produtos, conforme Resolução (RDC) N° 274, de 22 de setembro de 2005, da Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Essa resolução tem como finalidade fixar à identidade e as características

mínimas de qualidade a que devem obedecer à água mineral natural, à água natural, à água adicionada de sais envasadas e o gelo para consumo humano (ANVISA, 2005).

Por último das normativas federais abordadas e não menos importante, a Resolução N° 141, do CNRH de 10 de julho de 2012. Esta Resolução estabelece critérios e diretrizes para implementação dos instrumentos de outorga de direito de uso de recursos hídricos bem como o enquadramento dos corpos hídricos em classes, segundo os usos preponderantes da água, em rios intermitentes e efêmeros, e dá outras providências. Atribuindo normas que regulem o uso para cada tipo de rio ou trecho desses, conforme a sua disponibilidade hídrica (BRASIL, 2012).

3.1.2 Leis Estaduais

No estado de Minas Gerais a primeira versão da Política Estadual de Recursos Hídricos, foi a Lei Estadual de N°11504, de 20/06/1994 que teve como objetivo assegurar o controle do uso da água e de sua utilização, em quantidade, qualidade e regime satisfatório, por seus usuários atuais e futuros (MINAS GERAIS, 2011).

Buscando um alinhamento com a lei federal da PNRH de 1997, a Lei de N° 11.504/1994 foi substituída pela Lei Estadual de N°13.199 de 29/01/1999. Esta lei apresenta algumas especificidades, sendo uma delas o fato de estabelecer a criação de um conjunto mais amplo de instrumentos (o rateio de custos das obras de uso múltiplo, de interesse comum ou coletivo, e as penalidades decorrentes do descumprimento da lei), também são maiores as competências dos comitês de bacia, vez que à estas instâncias restou incumbida, também, a outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos para empreendimentos de grande porte e com potencial poluidor, competência esta exercida mediante a superintendência do Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM (MINAS GERAIS, 1999).

A Lei de N°12.584/1997, de 17 de julho de 1997. Altera a denominação do Departamento de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais - DRH-MG - para Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM, dispõe sobre sua reorganização e dá outras providências. A partir desse momento cria-se o IGAM que é o principal órgão gestor de águas do estado.

O decreto de N° 44.290, de 03/05/2006, instituiu o Comitê da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Pomba e Muriaé - Compé, e ainda no ano de 2006 foi divulgado

a criação do Plano Diretor de Recursos Hídricos para a bacia hidrográfica do rio Pomba, que teve como objetivo definir a agenda de recursos hídricos para a bacia, dentre as ações de gestão estavam, programas, projetos, obras e investimentos prioritários, com a participação dos poderes públicos estaduais e municipais, da sociedade civil e dos usuários, tendo em vista o desenvolvimento sustentável da bacia. Sendo importante dizer que o plano diretor foi desenvolvido pela entidade Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul - AGEVAP como Entidade Equiparada a Agência da Bacia Hidrográfica do Compé.

A Deliberação Normativa Conjunta do Conselho Estadual de Política Ambiental, e do Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais, COPAM/CERH-MG N° 01/2008, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Sendo uma lei estadual, sua aplicação se dá no âmbito do estado, portanto limitado aos afluentes do rio Pomba, já as deliberações relativas ao enquadramento ocorrem nos comitês de bacia e no CERH-MG (MINAS GERAIS, 2008).

Tendo como base os princípios e diretrizes para o planejamento e o controle adequado do uso da água no Estado de Minas Gerais, também previsto na Lei 13.199/99, foi elaborado o Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH.

O PERH-MG foi concluído em 2010 e aprovado pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos conforme deliberação CERH-MG N° 260, de 26 de novembro de 2010, e aprovado pelo Decreto N° 45.565, de 22 de março de 2011. Este, instrumento de gestão da Política Estadual de Recursos Hídricos do estado de Minas Gerais também orienta sobre a necessidade de integrar a gestão de recursos hídricos com as políticas setoriais, como a agricultura e o saneamento. Ainda propõe uma articulação com os planos diretores das bacias hidrográficas do Estado e, de forma mais abrangente, com o Plano Nacional de Recursos Hídricos.

A lei estadual de N° 21.972, de 21 de janeiro de 2016, dispõe sobre o Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SISEMA e dá outras providências. O SISEMA é um conjunto de órgãos e entidades responsáveis pelas políticas de meio ambiente e de recursos hídricos, com a finalidade de conservar, preservar e recuperar os recursos ambientais e promover o desenvolvimento sustentável e a melhoria da qualidade ambiental do estado. Integram o SISEMA órgãos como o Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM, Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CERH-MG, Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM, Instituto Estadual de Florestas - IEF, Comitê de Política Ambiental - COPAM, Secretaria de Estado de Meio-Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAD, Polícia

Militar do Estado de Minas Gerais – PMMG, com seus núcleos de gestão ambiental, Comitês de Bacias Hidrográficas e as Agências de Bacias Hidrográficas e entidades a elas equiparadas (MINAS GERAIS, 2016).

A portaria do IGAM de N° 48, de 04 de outubro de 2019, estabelece normas suplementares para a regularização dos recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais e dá outras providências.

Decreto de N° 48.160, de 24 de março de 2021, regulamenta a cobrança pelo uso de recursos hídricos no Estado e dá outras providências. O Decreto regulamenta a base de cálculo da cobrança, além das metodologias de cobranças para os usuários de diferentes setores, e também estabelece que o preço para a cobrança pelo uso da água deve ser diferenciado, conforme a disponibilidade e qualidade da água na região de captação. Definiu também um preço mínimo, para os diferentes usos da água, que deve ser praticado pelos comitês de bacia.

Rio de Janeiro:

Muito embora a representatividade da área fluminense dentro da bacia do Pomba seja pequena, menos de 8% da área total, e com tributários pouco expressivos em termos de volume de água, vale destacar algumas leis que se aplicam a essas áreas.

Lei estadual de N° 650 de 11 de janeiro de 1983, dispõe sobre a política estadual de defesa e proteção das bacias fluviais e lacustres do Rio de Janeiro, bem como a preservação dos mananciais hídricos, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação.

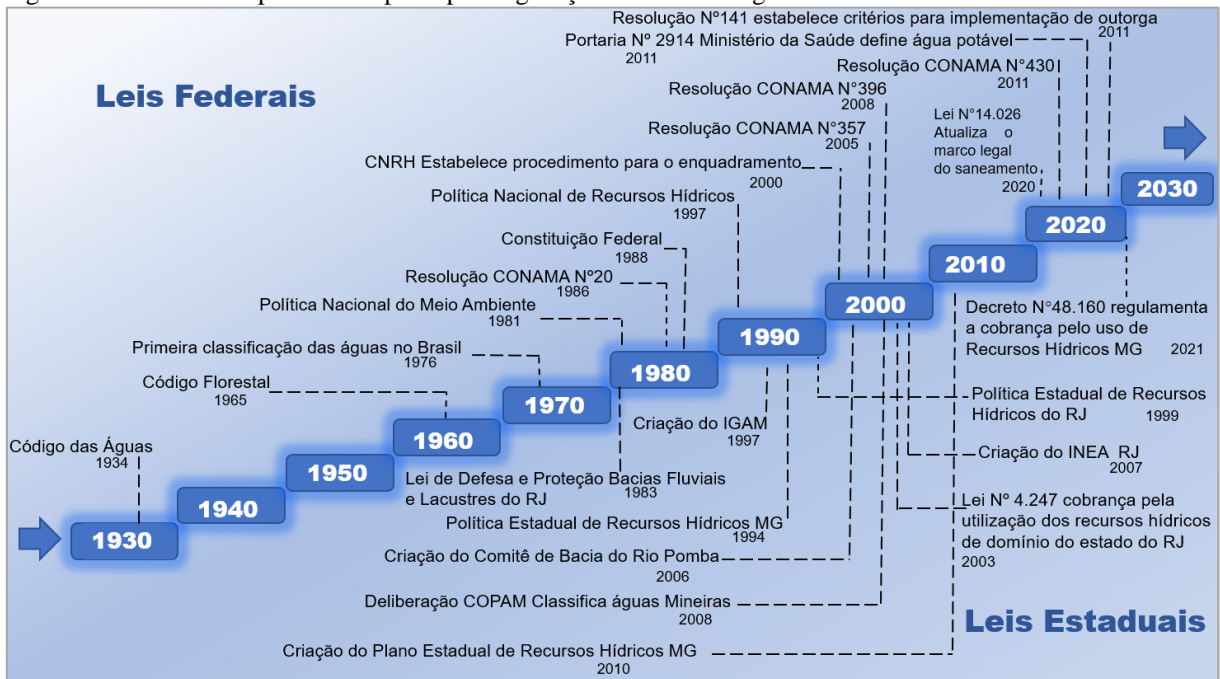
Lei estadual de N° 3.239, de 02 de agosto de 1999 que institui a Política Estadual de Recursos Hídricos e criou o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos; regulamentando o artigo 261, parágrafo 1º, inciso VII da Constituição Estadual, além de outras providências.

Lei N° 4.247, de 16 de dezembro de 2003, dispõe sobre a cobrança pela utilização dos recursos hídricos de domínio do estado do Rio de Janeiro e dá outras providências.

Lei estadual de N° 5.101 de 04 de outubro de 2007 dispôs sobre a criação do Instituto Estadual do Ambiente – INEA e sobre outras providências para maior eficiência na execução das políticas estaduais de meio ambiente, de recursos hídricos e florestais. Posteriormente foi modificada pela Lei de N° 7.511 de 10 de janeiro de 2017.

A figura 2 representa de modo sintético as principais leis Federais e Estaduais Mineiras e Fluminenses de acordo a cronologia ao longo do tempo.

Figura 2 - Linha do tempo sobre as principais legislações referente a água



Fonte: O autor, 2021.

3.2 Qualidade da Água

A partir do século XX tem-se constatado um aumento exponencial pela demanda de recursos hídricos, o que está associado de forma direta ao aumento populacional, e a crescente necessidade de produtos e bens de consumo. Sendo assim a água é a principal condicionante do desenvolvimento econômico, através de seus diferentes usos, tais como a agricultura, indústria e abastecimento público (AMEIDA, 2007).

Todas essas demandas têm causado grandes pressões aos sistemas aquáticos e conseqüentemente a degradação dos ecossistemas de um modo geral. Um dos maiores agentes dessa degradação, diz respeito às ações antropogênicas de poluição por meio de lançamento de esgoto doméstico, sem qualquer tipo de tratamento, diretamente nos corpos hídricos. Tanto nas grandes metrópoles como no meio rural, essa crescente degradação da qualidade das águas tem gerado preocupações, pois um dos resultados desse quadro é a escassez de água, provocada pela diminuição da qualidade adequada para o consumo humano (FERNANDES, 2013).

Assim um dos grandes problemas do mundo atual diz respeito à poluição dos corpos hídricos, de modo que controlar essa poluição e minimizar os seus impactos constitui-se num

dos grandes desafios da gestão dos recursos hídricos. Nesse sentido diferentes propostas têm sido aplicadas por governos de vários países para tornar mais eficiente o uso desse recurso, dentre essas medidas estão à criação de leis que estabelecem padrões de qualidade da água para os diferentes usos, logo uma água de boa qualidade terá menos custos de produção ao sistema de tratamento para o abastecimento público (ALMEIDA, 2007).

Estudos sobre os recursos hídricos contribuem na compreensão dos efeitos impactantes das atividades humanas nestes ambientes e também funcionam como uma ferramenta de consolidação da gestão, conservação e recuperação desses recursos (CETESB, 2019a).

O aumento pela demanda por água no Brasil, e principalmente na região sudeste, vem se potencializando a cada dia. Essas demandas geram disputas pelo recurso, conseqüentemente o comprometimento da sua qualidade. Por esse motivo seu monitoramento vem cada dia mais sendo ampliado pela necessidade de garantia de uma água de boa qualidade, conforme previsto em lei. Ter informações sobre a qualidade da água é necessário para que se conheça a situação dos corpos hídricos, a disponibilidade para seus possíveis usos e suas relações com o espaço físico ocupado pelo uso antrópico na bacia hidrográfica. Esse entendimento de interação se torna essencial para que se planeje a ocupação da bacia hidrográfica no sentido de controle dos impactos negativos (BRAGA, 2005; BRAGA; PORTO; TUCCI, 2006).

Para determinarmos a qualidade da água em um trecho de rio, é importante que suas características físicas, químicas e biológicas, estejam relacionadas ao curso d'água ou a um conjunto de rios contribuintes de uma bacia hidrográfica. As características da bacia no seu aspecto geológico, bem como no seu uso e ocupação do solo são importantes fatores a serem considerados. Todas as variáveis quando em valores superiores ou inferiores a qualidade de água pretendida, sinalizam um possível problema para determinado uso específico do corpo hídrico analisado (WEINBERG, 2013).

No sentido de atender as necessidades humanas, pode ocorrer um mau uso e ocupação do solo, o que pode levar a impactos negativos para uma bacia hidrográfica, conseqüentemente promover uma má qualidade da água dessa bacia. Tomam-se como exemplos de mau uso, os defensivos agrícolas que contribuem para poluição das águas de forma difusa, ou a poluição de forma pontual com o despejo de efluentes domésticos ou industriais diretamente no corpo hídrico, sem qualquer forma de tratamento. Ainda pode ocorrer a poluição por meio natural, sem que haja interferência antrópica, pelos ciclos normais da hidrologia no processo de infiltração de água no solo, esse processo ocorre através do

arraste de íons da dissolução de rochas, o que altera a composição da água e consequentemente sua qualidade (VON SPERLING, 2007).

Controlar a qualidade da água no Brasil está previsto na Lei 9.433 de 1997 através da Política Nacional de Recursos Hídricos, e faz parte das medidas que visam colaborar com a minimização dos impactos negativos ao meio ambiente. Controle esse que assegura a redução dos impactos decorrentes da poluição (BRAGA, PORTO e TUCCI, 2006; VON SPERLING, 2007).

No Estado de Minas Gerais o IGAM desenvolve o Projeto Águas de Minas, que é responsável pelo monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas no estado. O programa inclui as principais bacias hidrográficas mineiras com locais de coletas considerados estratégicos, como os pontos limítrofes entre estados e locais com impactos ou potenciais de impactos identificados e conhecidos. O monitoramento é feito desde 1997 e disponibiliza uma série histórica da qualidade das águas no Estado. A rede básica de monitoramento (macro-rede), em 2018, contava com 620 estações de amostragem distribuídas nas bacias hidrográficas inclusive conta com 13 estações na bacia do rio Pomba (IGAM, 2019).

Vários podem ser os indicadores de qualidade de água, assim para demonstrar a qualidade da água, o IGAM utiliza alguns indicadores que são: Índice de Qualidade da Água - IQA; Contaminação por Tóxicos - CT, Índice de Estado Trófico - IET. Ainda os ensaios ecotoxicológicos e índice biótico “BMWP”, sendo o índice biótico usado em pontos específicos como na bacia hidrográfica do Rio das Velhas (IGAM, 2019).

Segundo relatório anual de qualidade da água do próprio IGAM, no ano de 2018 havia a predominância da condição da qualidade de água satisfatória (IQA Médio), seguido de qualidade boa (IQA Bom), com registro de 50% e 29% de ocorrências, respectivamente. A condição ruim (IQA Ruim) foi identificada em 19% das medições realizadas. Já as faixas de IQA Muito Ruim e Excelente, não ultrapassaram 2% dos registros. Segundo os resultados desse relatório esse comportamento vem sendo observado ao longo da série histórica de monitoramento, e não houve grandes oscilações do índice ao longo do período de monitoramento (IGAM, 2019).

Na avaliação do IET foram realizadas amostragens em 596 estações de monitoramento, sendo a grande maioria, 99,49% das estações, localizadas em corpos de águas lóticos (águas correntes). Verificou-se o predomínio das categorias mais baixas do IET (Ultraoligotrófico, Oligotrófico e Mesotrófico), e de modo geral uma boa condição trófica das águas, que se repete desde 2014 (IGAM, 2019).

Quanto a contagem de cianobactérias, esta foi realizada em 191 estações da rede básica de monitoramento, e verificou-se que 75% das estações de monitoramento apresentaram contagens de densidade de cianobactérias inferiores ou iguais a 1.000 cél/mL para o ano de 2018, o que também é verificado em toda a série histórica. Os resultados laboratoriais foram comparados a padrões estabelecidos na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG Nº 01/08 para cada classe de uso de recreação, de modo que os resultados máximos verificados ficaram abaixo de 1.000 cél/mL, considerando-se os de baixo risco para contato primário (IGAM, 2019).

Com relação à Contaminação por Tóxicos – CT, observa-se a predominância de ocorrência de contaminação Baixa (86%) de todas as amostras analisadas ao longo de toda a série histórica. Para a determinação de Contaminação por Tóxicos avalia-se a presença de 13 substâncias tóxicas nos corpos de água, os resultados das análises laboratoriais são comparados com os limites definidos nas classes de enquadramento dos corpos de água pelo Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM e pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais - CERH-MG. Os poucos casos de alta contaminação dizem respeito a pontos de monitoramento a jusante de grandes centros urbanos como a Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH (IGAM, 2019).

O IGAM ainda fez um balanço dos parâmetros com maior incidência de não conformidades, dentre todos os parâmetros observados no estado, sendo cinco parâmetros que apresentaram o maior número de violações da conformidade: *Escherichia coli* (54%), ferro dissolvido (47%), manganês total (31%), alumínio dissolvido (26%) e fósforo total (25%), para o ano de 2018, e também verificado nos anos anteriores da série (IGAM, 2019).

Sobre a bacia hidrográfica do rio Pomba apenas as estações localizadas no rio Xopotó a jusante da cidade de Visconde do Rio Branco e no rio do Pinho a jusante da represa de Ponte Preta no município de Santos Dumont, apresentaram ocorrências de IQA (Muito Ruim), o que o IGAM associou aos lançamentos de esgotos sanitários e efluentes industriais sem tratamento diretamente nos cursos de água. Para os demais pontos, os índices foram considerados normais e dentro das faixas permitidas nas legislações ambientais (IGAM, 2019).

Outros estudos ao longo do tempo foram feitos na Bacia do Pomba com o intuito de avaliar qualidade de água local, é o caso do estudo de Farage (2009) sobre a obtenção do - IQA e IET do rio Pomba, as metodologias são semelhantes as aplicadas pelo IGAM, porém com pontos de amostragem bem distintos. Foram nove pontos ao longo da calha principal do rio Pomba, desde as regiões montanhosas a montante da cidade de Santa Bárbara do Tugúrio,

até as áreas mais povoadas a jusante da cidade de Cataguases, em dois períodos distintos (estiagem e chuvoso). O resultado obtido para o IQA, considerando-se todos os trechos amostrados no rio Pomba, foi de 61 para o período de estiagem e 56 para o período chuvoso, demonstrando piora na qualidade das águas no período chuvoso, porém ainda em uma classificação denominada de água Boa para os valores observados. Ainda segundo Farage os valores do - IET, para os diversos pontos avaliados na calha principal, indicaram um estado de eutrofização, com tendência à hipereutrofização (FARAGE, 2009).

Almeida (2006) em outro estudo avaliou o índice de qualidade da água e os coeficientes de autodepuração de trechos do rio Pomba na região dita como Alto Pomba, entre a nascente e a cidade de Rio Pomba, encontrou valores de qualidade de água entre uma água de média a boa qualidade, toda via é importante dizer que o trecho em estudo ainda não recebe grandes volumes de água ou aporte de contaminantes das suas principais sub-bacias. Portanto não é considerada a parte mais crítica da bacia.

Segundo Guedes (2009) os efluentes domésticos lançados no rio Pomba sem tratamento são as principais fontes de poluição encontrada na bacia, concentrações da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) foram encontradas, acima do limite permitido pelo CONAMA N°357, e ainda concluiu que a presença de condições hidráulicas favoráveis (vazão e velocidade) contribui com a capacidade autodepurativa do rio Pomba, de modo que a água na foz é considerada uma água de boa qualidade.

3.3 Índices de Qualidade de Água

Diversos indicadores estão envolvidos na verificação da qualidade de um ambiente aquático, isso dificulta a divulgação de forma simples e descomplicada da informação do estado de qualidade desse recurso, em determinado ambiente ou momento. Vale lembrar que a divulgação das informações sobre a qualidade da água também faz parte da gestão dos recursos hídricos definida na PNRH.

Ao longo do tempo, diversos foram os sistemas de classificação de qualidade de água apresentados e utilizados mundo a fora, sendo que nos últimos 130 anos, vários países europeus desenvolveram e aplicaram essas classificações, que se baseiam em dois tipos de interpretação, sendo: aqueles relativos à quantidade de poluição detectada e aqueles relativos

à vida de comunidades de organismos macro e microscópicos, como por exemplo peixes, organismos bentônicos e plantas (MMA, 2003).

Nesse contexto surge a necessidade da utilização de um índice, que possibilite enxergar com maior clareza um conjunto de informações da realidade de um corpo hídrico. Para Maranhão (2007) bons índices devem conter alguns atributos: ser o mais simples de entender, ter quantificação estatística e lógica coerente, e comunicar de forma fácil e clara com o fenômeno observado.

Segundo Alves et al. (2014) a primeira tentativa de desenvolver um IQA foi realizada na Alemanha no ano de 1948 fazendo correlações entre os níveis de poluição e certas comunidades de organismos (peixes, organismos bentônicos e plantas).

A apresentação de um Índice de Qualidade de Água - IQA tem como característica a facilidade de apresentar valores observados de vários parâmetros (indicadores) em um único número (índice). Também pode ser usado para combinar os valores observados nas suas diferentes unidades de medida dentro de uma única métrica e assim apresentar um estado de qualidade da água num modelo simples com uma linguagem de fácil comunicação (ALMEIDA, 2014).

No Brasil o interesse pelo uso de índices cresceu a partir do ano de 1972 onde o relatório anual do Conselho Nacional de Meio Ambiente verificou a necessidade de utilização de índices para o meio ambiente (MMA, 2003).

Pizella (2007) observou que apenas 11 estados do Brasil avaliavam a qualidade de suas águas através de índices de qualidade, cada um utilizando metodologias diferentes, tanto no número de parâmetros como método de cálculo, levando em consideração apenas a avaliação da poluição pontual de origem doméstica e industrial.

3.3.1 IQA-NSF

Dentre as diversas metodologias de IQA utilizadas vale o destaque para o Índice de Qualidade de Água da National Sanitation Foundation - IQA-NSF. Esse índice foi desenvolvido por essa instituição dos EUA, e considera 9 parâmetros que são utilizados para caracterizar a qualidade das águas. Com um peso específico a cada parâmetro, relacionando-os através de uma equação onde o valor final varia de 0 a 100, assim quanto maior o valor, melhor a qualidade da água (AMARO, 2009).

O IQA-NSF serviu de base para que em 1975 a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, do estado de São Paulo adaptasse o índice para sua realidade, criando o IQA-CETESB. Dentre as principais modificações está a substituição de alguns parâmetros por outros semelhantes, que considerou mais adequados à realidade do país. Também modificou o peso de alguns parâmetros, e ao final os nove parâmetros que passaram a ser utilizados pela CETESB foram: temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), coliformes fecais, nitrogênio total, fósforo total, resíduo total e turbidez (SILVEIRA, 2018).

O IGAM no estado de Minas Gerais, também fez suas adaptações no IQA-NSF considerando a realidade do estado, muito semelhante a metodologia Cetesb, porém com as faixas de qualidade mais restritivas para considerar uma água de boa qualidade e mais abrangente para uma água de péssima qualidade (Tabela 1). Outra diferença é que na ausência de um dos parâmetros, coliformes termotolerantes/*E. coli* e/ou oxigênio dissolvido, o IQA não é calculado. E na ausência de um dos demais parâmetros, o IQA é calculado considerando-se os valores dos oito parâmetros, sendo o peso do parâmetro faltante redistribuído entre os demais (IGAM, 2019).

Tabela 1 - Comparação entre a classificação dos valores do IQA-NSF adaptado pelo IGAM e CETESB

IQA-NSF ADAPTADO PELO IGAM		IQA-NSF ADAPTADO PELA CETESB	
CLASSE	VALOR	CLASSE	VALOR
EXCELENTE	$90 \leq \text{IQA} \leq 100$	ÓTIMA	$80 \leq \text{IQA} \leq 100$
BOM	$70 \leq \text{IQA} < 90$	BOA	$52 \leq \text{IQA} < 80$
MÉDIA	$50 \leq \text{IQA} < 70$	REGULAR	$37 \leq \text{IQA} < 52$
RUIM	$25 \leq \text{IQA} < 50$	RUIM	$20 \leq \text{IQA} < 37$
MUITO RUIM	$0 \leq \text{IQA} < 25$	PÉSSIMA	$0 \leq \text{IQA} < 20$

Fonte: O autor, 2020.

Conforme a ANA (2017) no Brasil o IQA-NSF é o índice mais utilizado, porém com modificações nas definições de parâmetros, pesos de cada parâmetro selecionado e mudanças nas classificações, de modo que o índice se adapte as peculiaridades da região ou estado.

Independente da metodologia adotada, com ou sem modificação no modelo original, os índices ainda apresentam problemas semelhantes, que limitam a aplicação em algumas situações como na ausência de determinados parâmetros que impedem o cálculo do índice. Outro problema encontrado é o fato de não permitir a inclusão de novos parâmetros, sendo deixados de fora alguns parâmetros que refletem a qualidade da água destinada ao abastecimento público, tais como substâncias tóxicas (metais pesados, pesticidas, compostos

orgânicos), protozoários patogênicos e substâncias que interferem nas propriedades organolépticas da água.

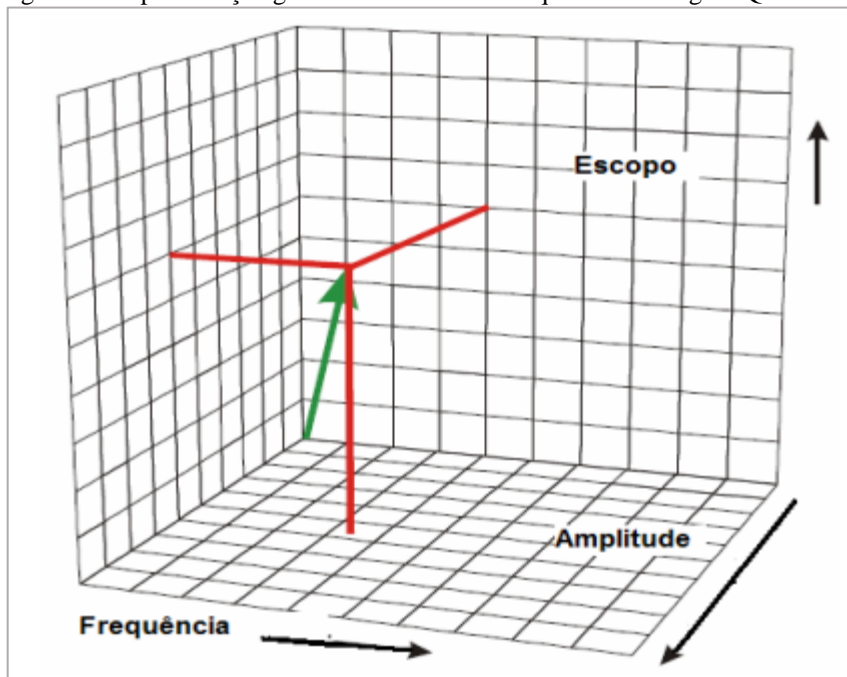
Portanto, com o intuito de solucionar esses problemas, desde 2002, a CETESB utiliza índices específicos para cada uso do recurso hídrico: IAP - Índice de Qualidade de Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público e o IVA - Índice de Preservação da Vida Aquática. O IAP quando comparado com o IQA se mostrou mais eficaz para evidenciar a qualidade de água bruta captada para tratamento e abastecimento humano. Devido ao fato de considerar variáveis como toxicidade e eutrofização de forma mais representativas, já o IVA é considerado mais adequado para indicar qualidade de água que propicie a proteção da vida aquática (CETESB, 2019b).

A CETESB ainda utiliza o índice de Balneabilidade – IB, que reflete a qualidade da água para os múltiplos usos; o Índice de Estado Trófico – IET, que avalia os níveis de nutrientes presentes na água, seu grau de trofia e efeitos relacionados ao crescimento excessivo de algas. Também os índices de comunidades (Fitoplanctônica, Zooplânctônica e Bentônica) que contribuem para refletir a qualidade de água para preservação da vida aquática e desde 2002 a CETESB avalia a qualidade dos sedimentos do Estado de São Paulo.

3.3.2 IQA-CCME

O IQA-CCME foi desenvolvido pelo Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente. Para compor o IQA foram combinados os valores das três medidas de variância para criar um vetor no espaço tridimensional (Figura 3). Isto é, cada medida de variância corresponde a uma das componentes do vetor. Para produzir um índice onde um número mais próximo de 100 represente uma qualidade melhor. As três medidas são escalonadas de forma que o comprimento do vetor varie entre 0 e 100.

Figura 3 - Representação geométrica do índice de qualidade da água IQA-CCME



Fonte: Water Quality Index 1.0, Technical Report CCME, 2001.

O IQA-CCME vem sendo cada vez mais utilizado nos últimos anos pela comunidade técnica científica de diversos países, e principalmente aqui no Brasil (CARVALHO, 2017).

Segundo Costa (2018) o IQA-CCME traz resultados mais seguros para a informação de qualidade, visto que permite avaliar cada análise feita e o seu desvio em relação a legislação vigente, no nosso caso a Resolução CONAMA 357/2005.

Carvalho (2017) em trabalho de monitoramento da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio São João no Estado do Tocantins, concluiu que a utilização de IQA-CCME é uma ótima ferramenta de investigação da qualidade, pois segundo ele descreve de maneira holística e satisfatória a qualidade hídrica da água, e também pode servir de guia para o planejamento e gestão dos recursos hídricos de forma geral.

Finotti et al. (2015) em trabalho desenvolvido em ambiente urbano na cidade de Caxias do Sul, observou que o IQA-CCME foi uma ferramenta satisfatória, quando comparado com o IQA-Cetesb, porque também permitiu considerar a poluição causada pela presença de metais. Considerou ainda que os índices de qualidade da água têm muitas vantagens em relação à comunicação dos resultados do monitoramento, entretanto deve se observar os seus objetivos.

O IQA-CCME tem metodologia simples de estatística que se baseia na frequência relativa de falhas da condição do meio hídrico avaliado, baseadas nos padrões de qualidade da legislação vigente (ALMEIDA, 2014). Uma das principais vantagens do IQA-CCME é sua

flexibilidade em relação ao tipo e quantidade de parâmetros a serem utilizados (CCME, 2006).

A fórmula do IQA-CCME se baseia em três fatores, denominado como: Escopo (F1); Frequência (F2) e Amplitude (F3) (CCME, 2001).

O Escopo (F1) representa a porcentagem de parâmetros que estiverem em não conformidade com os seus padrões, pelo menos uma vez durante o período de tempo considerado, em relação ao número total de parâmetros no monitoramento (CCME, 2001).

Assim o cálculo do Fator F1 do Índice de Qualidade de Água CCME pode ser realizado pela equação 1 a seguir.

$$F1 = \left[\frac{\text{número de parâmetros não conformes}}{\text{número de parâmetros monitorados}} \right] \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

A Frequência (F2) representa a porcentagem de análises individuais que não atendem aos padrões estabelecidos para seus parâmetros (CCME, 2001), e pode ser calculado de acordo com a equação 2, a seguir.

$$F2 = \left[\frac{\text{número de análises não conformes}}{\text{número de análises realizadas}} \right] \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

A Amplitude (F3) contém informação sobre a magnitude com que cada parâmetro excede os critérios estabelecidos. O cálculo é realizado em três etapas. Calcula-se a excursão de cada valor, ou seja, o percentual em que a concentração individual do parâmetro é maior ou menor que o limite determinado (CCME, 2001), e é calculado através da equação 3a ou 3b, de acordo com:

A - para os casos em que o valor do teste não deve ser superior ao limite (limite máximo):

$$\text{Excursão } i = \left(\frac{\text{valor da análise não conformes } i}{\text{valor padrão } j} \right) - 1 \quad (\text{Eq. 3a})$$

B - para os em que o valor do teste não deve ser abaixo do limite (limite mínimo):

$$\text{Excursão } i = \left(\frac{\text{valor padrão } j}{\text{valor da análise não conforme } i} \right) - 1 \quad (\text{Eq. 3b})$$

A soma normalizada das excursões, denominada nse, é calculada somando as excursões dos testes individuais e dividindo pelo número total de análises (critérios atingidos e não atingidos), (CCME, 2001). Assim o cálculo pode ser realizado através da equação 4.

$$\text{nse:} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{excursão } i}{\text{número total de análises}} \quad (\text{Eq. 4})$$

A Amplitude (F3) é então calculada por uma função assintótica que escalona a soma normalizada das excursões em relação aos de critérios estabelecidos em uma escala entre 0 e 100. (CCME, 2001), e pode ser calculado pela equação a seguir (Equação 5).

$$F3 = \frac{\text{nse}}{0,01(\text{nse}) + 0,01} \quad (\text{Eq. 5})$$

Após o cálculo dos três fatores (F1, F2 e F3) mostrados anteriormente, o índice é calculado pela soma desses fatores como se fossem vetores, ou seja, a soma dos quadrados de cada fator é, por conseguinte, igual ao quadrado do índice. Esta abordagem trata o índice 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 alterações em todos os três fatores (CCME, 2001).

O cálculo final do Índice de Qualidade de água CC-ME é feito através da equação 6.

$$\text{IQA} = 100 - \left(\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right) \quad (\text{Eq. 6})$$

Uma vez determinado, o IQA-CCME será um número entre 0 e 100. O divisor 1,732 é introduzido na equação porque o valor máximo que cada componente do vetor pode alcançar é 100 (CCME, 2001).

Os valores do IQA-CCME são divididos em cinco categorias, cada categoria refere-se à condição natural da água fundamentada na preservação da vida aquática, como também numa melhoria das informações disponíveis, para um julgamento técnico ou leigo da qualidade da água, e podem ser modificadas de acordo com os objetivos propostos no monitoramento. As categorias são apresentadas, na tabela 2.

Tabela 2 - Categorização da qualidade da água pelo IQA–CCME

VALOR	CLASSE	SIGNIFICADO
95 - 100	ÓTIMA	Protegida com uma ausência virtual de ameaça ou comprometimento, condições muito próximas dos níveis naturais ou primitivos.
80 - 94	BOA	Protegida com apenas um menor grau de ameaça ou comprometimento, as condições raramente se afastam dos níveis naturais ou desejáveis.
65 - 79	REGULAR	Protegida, mas ocasionalmente ameaçada ou prejudicada, as condições às vezes se afastam dos níveis naturais ou desejáveis.
45 - 64	RUIM	Frequentemente ameaçada ou prejudicada, as condições geralmente se afastam dos níveis naturais ou desejáveis.
0 - 44	PÉSSIMA	Quase sempre ameaçada ou prejudicada, as condições geralmente se afastam de níveis naturais ou desejáveis.

Fonte: O autor, adaptado de CCME, 2001.

4 ÁREA DE ESTUDO

4.1 Localização Geográfica

A bacia hidrográfica do rio Pomba é uma sub-bacia do rio Paraíba do Sul e faz divisa com a sub-bacia do rio Muriaé, as duas juntas formam a área de atuação do Comitê de Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Pomba e Muriaé – COMPÉ e pode ser vista na figura 4.

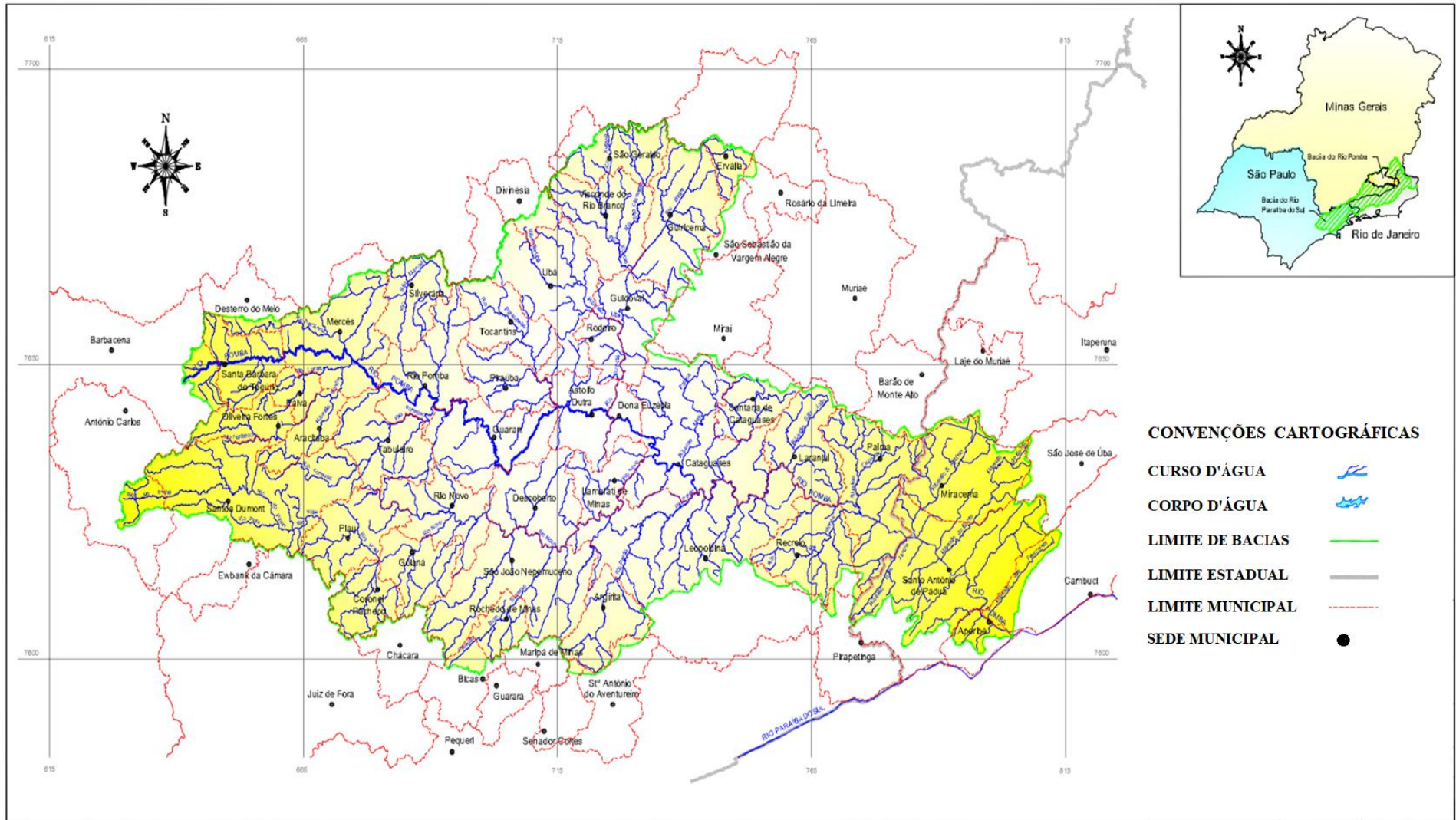
A bacia abrange 41 municípios da Zona da Mata Mineira, sendo que 6 desses estão com sua área de drenagem parcialmente dentro da bacia hidrográfica, agregam a bacia ainda outros três municípios de território fluminense, ao todo vivem aproximadamente 775.143 mil habitantes nesta região (IBGE, 2010).

A calha principal do rio Pomba e seus afluentes apresentam talvez retilíneo, com vales encaixados. De modo geral os rios apresentam padrões de drenagem retangular, que se relacionam com a adaptação da rede de drenagem à organização estrutural da região (AGEVAP, 2013).

A bacia pertence à região hidrográfica do Atlântico Sudeste segundo a divisão hidrográfica nacional estabelecida pelo CNRH através da Resolução CNRH N° 32 de 15/10/2003 (CNRH, 2003), e apresenta uma área de drenagem de 8.616 Km², num modelo uniforme de uso e ocupação do solo, com grande parte dos municípios pertencentes ao estado de Minas Gerais e uma parte menor ao estado do Rio de Janeiro (BRASIL, 2012).

A bacia apresenta como fatos relevantes o desmatamento, principalmente nas cabeceiras das sub-bacias, com poucas florestas, sendo na sua maioria vegetação do tipo secundária. Chama a atenção, também, as erosões do solo, fruto do desmatamento iniciado no ciclo do café em Minas Gerais. Outros dois fatores relevantes são as cheias recorrentes e os lançamentos de efluentes domésticos in natura nos cursos dos rios (CEIVAP, 2006). A topografia encontrada na região é acidentada, com vales estreitos e úmidos, e relevo variando de fortemente ondulado a montanhoso.

Figura 4 - Bacia hidrográfica do rio Pomba



Fonte: CEIVAP, 2016.

A tabela 3 representa os municípios que fazem parte da bacia hidrográfica do rio Pomba, bem como sua área e (%) de ocupação. Sendo os municípios de Santo Antônio de Pádua, Miracema e Aperibé pertencentes ao estado do Rio de Janeiro e os demais a porção Mineira da bacia (AGEVAP, 2020).

Tabela 3 - Municípios que fazem parte da bacia hidrográfica do rio Pomba

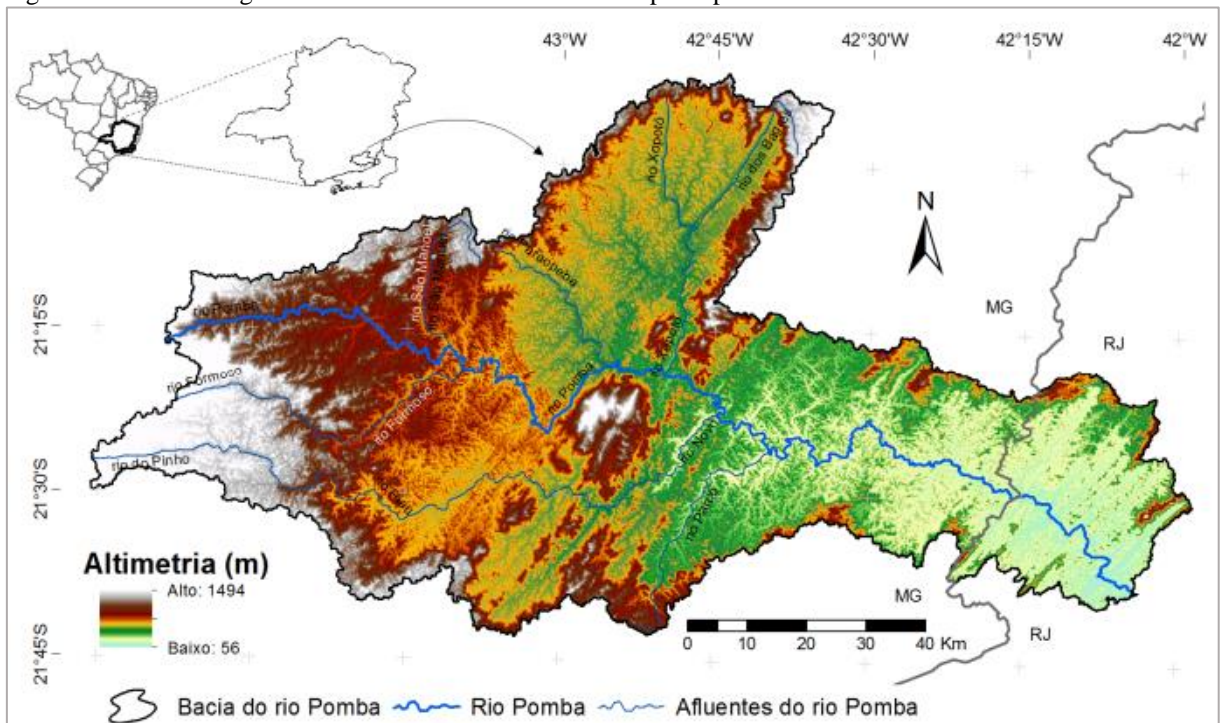
Municípios	Área Total (Km ²)	% Dentro da Bacia	Municípios	Área Total (Km ²)	% Dentro da Bacia
Antônio Carlos	529,92	9,31	Miracema *	303,27	100
Aracitaba	106,61	100	Oliveira Fortes	111,13	100
Argirita	159,38	100	Paiva	58,42	100
Aperibé*	94,54	100	Palma	316,49	100
Astolfo Dutra	158,89	100	Piau	192,2	100
Barbacena	759,19	3,28	Piraúba	144,29	100
Bicas	140,08	20,41	Recreio	234,3	100
Cataguases	491,77	100	Rio Novo	209,31	100
Coronel Pacheco	131,51	94,22	Rio Pomba	252,42	100
Descoberto	213,17	100	Rochedo de Minas	79,4	100
Desterro de Melo	142,28	19,85	Rodeiro	72,67	100
Divinésia	116,97	32,97	Santa Bárbara Tugúrio	194,56	100
Dona Euzébia	70,23	100	Santana de Cataguases	161,49	100
Ervália	357,49	17,22	Santo Antônio Pádua *	603,63	100
Goianá	152,04	100	Santos Dumont	637,38	77,23
Guarani	264,2	100	São Geraldo	185,58	75,76
Guidoval	158,38	100	São João Nepomuceno	407,43	100
Guiricema	293,58	100	Silveirânia	157,46	100
Itamarati de Minas	94,57	100	Tabuleiro	211,09	100
Laranjal	204,88	100	Tocantins	173,87	100
Leopoldina	943,08	100	Ubá	407,46	79,57
Mercês	348,27	86,48	Visconde Rio Branco	243,35	100
* Municípios pertencentes ao estado do Rio de Janeiro					

Fonte: Adaptado pelo autor de AGEVAP, 2020.

Os municípios mais representativos dessa bacia do ponto de vista populacional, ou seja, aqueles com mais de 20.000 habitantes são: Cataguases, Leopoldina, Santos Dumont, São João Nepomuceno, Ubá, Visconde do Rio Branco, em território mineiro e Santo Antônio de Pádua e Miracema em território fluminense (CEIVAP, 2006).

A bacia hidrográfica do rio Pomba está localizada entre as coordenadas $43^{\circ}45'15,3''$ e $41^{\circ}59'2,5''$ W e $20^{\circ}51'58,0''$ e $21^{\circ}42'53''$ S. O rio Pomba percorre no sentido sudeste até sua confluência com o rio Paraíba do Sul. Ao longo desse percurso, recebe vários tributários, sendo os mais importantes os rios: Pinho/Piau/Novo, com área de drenagem de 2.030 km², Xopotó com 1.280 km², Formoso com 400 km², São Manuel com 160 km², além do Paraopeba e Pardo. Sendo a sub-bacia Xopotó e a sub-bacia Rio Novo as maiores contribuições de água pela dimensão territorial de sua área de drenagem e nas vazões específicas (Figura 5).

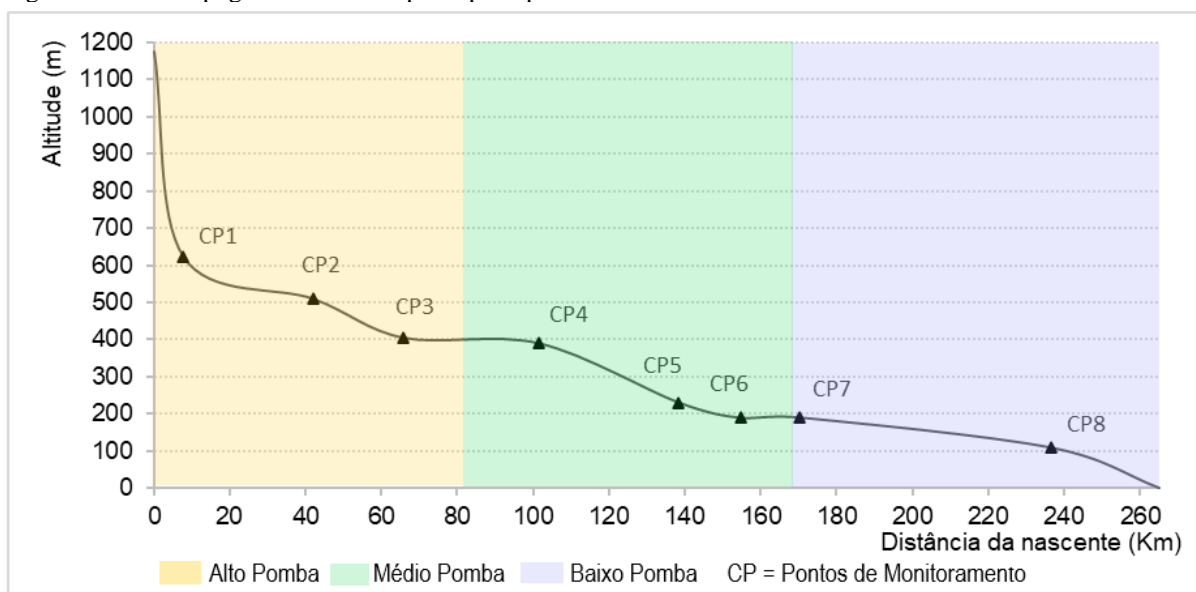
Figura 5 - Bacia hidrográfica do rio Pomba com altimetria e principais afluentes



Fonte: SILVA, 2014.

O rio Pomba nasce na Serra Conceição pertencente à cadeia da Mantiqueira, em Barbacena, a 1.177m de altitude. Seu trecho superior denominado alto pomba apresenta declividade considerável de aproximadamente 11,9 m/km, uma vez que após 65 km do seu curso a partir da nascente já atinge a altitude de 400 m. Ao chegar à cidade de Cataguases na região do médio pomba, após percorrer 165 km desde sua nascente, sua declividade é de 5,9 m/km, atingindo a altitude de 190 m. Por fim depois de percorrer uma distância total de 265 Km, em Santo Antônio de Pádua, atinge a altitude de 109 m na região próximo a sua foz no rio Paraíba do Sul, de forma que apresenta uma declividade média de 4,0 m/km (Figura 6).

Figura 6 - Perfil topográfico da calha principal e pontos de monitoramento



Fonte: O autor, com dados do Google, 2020.

Destaque deve ser dado para as PCHs que também influenciam, na paisagem e dinâmica da bacia. Na calha principal foram registradas 6 (seis), somando o total de 10 (dez) PCHs em toda bacia hidrográfica, indicados na tabela 4 (SILVA, 2014).

Tabela 4 - PCHs da bacia hidrográfica do rio Pomba

	Nome da PCH	Nome do Rio	Município	Potência Megawatt (MW)
1	Ituerê	Rio Pomba	Rio Pomba-MG	4,04
2	Ivan Botelho I (Ponte)	Rio Pomba	Guarani-MG	15,2
3	Ivan Botelho II (Palestina)	Rio Pomba	Guarani-MG	7,45
4	Zé Tunin	Rio Pomba	Astolfo Dutra-MG	8,00
5	Ivan Botelho III (Triunfo)	Rio Pomba	Astolfo Dutra-MG	12,81
6	Barra do Braúna	Rio Pomba	Laranjal-MG	39,00
7	Guary	Rio Pinho	Santos Dumont-MG	3,08
8	Boa Esperança	Rio Piau	Piau-MG	18,00
9	Maurício	Rio Novo	Rio Novo-MG	17,22
10	Ervália	Rio dos Bagres	Ervália/Guiricema-MG	6,97

Fonte: Aneel, 2021.

4.2 População

Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE no ano de 2010 a população total dos municípios pertencentes área da bacia era de 775.143 mil habitantes, entre moradores de áreas urbanas e rurais, porém numa apuração minuciosa, verifica-se que esse número é um pouco menor, devido ao fato de algumas cidades, que embora pertencentes a bacia, esse pertencimento se dá de forma parcial, onde parte do município está inserido dentro da área da bacia hidrográfica e outra parte fora, se enquadra nessa situação como exemplo, o município de Barbacena que apenas uma pequena área rural tem seus limites diretamente dentro da área em estudo.

Segundo estimativa do IBGE (2020) a população Brasileira era no ano de 1998 de 161.790.311 mil/hab e passou no ano de 2020 para 211.755.692 mil/hab o que representa um crescimento de 31% para o período.

Em análise de comparação do crescimento populacional a bacia teve comportamento diferente para cada região. Nas cidades mais populosas localizadas na sub-bacia Xopotó, a cidade de Ubá passou de 81.058 mil/hab para 116.797 mil/hab e a cidade de Visconde do Rio Branco de 31.980 mil/hab para 42.965 mil/hab, isso representa um crescimento de 44% e 34% respectivamente. Na calha principal o crescimento foi inferior à média nacional, a cidade de Cataguases que tinha 63.320 mil/hab passou a ter 75.540 mil/hab, correspondendo a um crescimento de 19%, e a cidade de Leopoldina passou de 47.223 mil/hab para 52.640 mil/hab com um crescimento de 12%. Já a cidade de Santos Dumont, localizada na sub-bacia Rio Novo, foi a que menos cresceu, tinha população de 46.138 mil/hab e passou para 46.421 mil/hab, o que confere um crescimento inferior a 1%, (IBGE, 2021).

Em aspectos gerais as características marcantes dessa região se dão pela organização em termos de porte populacional, que muito embora haja um número expressivo de cidades, de uma forma geral têm números populacionais baixos, onde mais de 70% das cidades tem população inferior a 15 mil habitantes (Tabela 5), sempre gravitando em torno de alguma cidade polo, como Ubá e Cataguases, esses municípios se desenvolvem basicamente com atividades agrícolas, o que deixa o solo bastante vulnerável (AGEVAP, 2013).

Tabela 5 - População total dos municípios segundo o IBGE 2010

Municípios	População Total (hab)	Municípios	População Total (hab)
Antônio Carlos*	11.114	Miracema	26.843
Aracitaba	2.058	Oliveira Fortes	2.123
Argirita	2.901	Paiva	1.558
Aperibé*	10.213	Palma	6.545
Astolfo Dutra	13.049	Piau	2.841
Barbacena*	126.284	Piraúba	10.862
Bicas*	13.653	Recreio	10.299
Cataguases	69.757	Rio Novo	8.712
Coronel Pacheco	2.983	Rio Pomba	17.110
Descoberto	4.768	Rochedo de Minas	2.116
Desterro de Melo*	3.015	Rodeiro	6.867
Divinésia*	3.293	Santa Bárbara Tugúrio	4.570
Dona Euzébia	6.001	Santana de Cataguases	3.622
Ervália*	17.946	Santo Antônio de Pádua	40.589
Goianá	3.659	Santos Dumont	46.284
Guarani	8.678	São Geraldo	10.263
Guidoval	7.206	São João Nepomuceno	25.057
Guiricema	8.707	Silveirânia	2.192
Itamarati de Minas	4.079	Tabuleiro	4.079
Laranjal	6.465	Tocantins	15.823
Leopoldina	51.130	Ubá	101.519
Mercês	10.368	Visconde do Rio Branco	37.942

Fonte: O autor, a partir dos dados do IBGE, 2010.

*Parte pouco representativa do município pertence a área da bacia.

4.3 Recursos Minerais

A bacia apresenta um predomínio absoluto do minério de alumínio em termos de superfície envolvida com 50,89% de área da bacia em áreas pulverizadas. O minério de alumínio se concentra em uma faixa da parte alta da bacia hidrográfica, nas cotas que se iniciam a aproximadamente 700 metros de altitude.

Um segundo grupo com bastante influência em termos de superfície são as denominadas “rochas ornamentais” com 18,74% de área de ocupação, e se encontram nas regiões baixas da bacia do rio Pomba.

Em terceiro fica o ouro, ocupando 9,85% de área, e geralmente estão relacionadas a fundos de vales das regiões mais altas da bacia (AGEVAP, 2013).

Dois outros grupos de minerais que também devem ser considerados na região são o ferro e o manganês que ocupam juntos 9,09% de superfície da bacia (AGEVAP, 2013).

A tabela 6 expressa os valores quantitativos de minerais disponíveis na área da bacia hidrográfica bem como sua expressão percentual do total da área da bacia. Os dados gerados se superpõem, resultando uma somatória de superfícies muito superior à da área da bacia, pois uma mesma porção de terreno pode ser objeto de vários processos de extração na medida em que sejam relativos a recursos minerais diferentes. Outro ponto relevante diz respeito a distribuição dos dados de superfícies dos terrenos envolvidos, e também as substâncias relacionadas, que podem ser uma jazida mais ou menos confinada (desenvolvimento horizontal ou vertical, concentrado ou pulverizado, entre outros). Portanto, o uso das superfícies como critérios de análise tem por objetivo assinalar apenas as importâncias relativas entre as ocorrências na bacia (AGEVAP, 2013).

Tabela 6 - Valores quantitativos de minerais das superfícies da bacia do rio Pomba

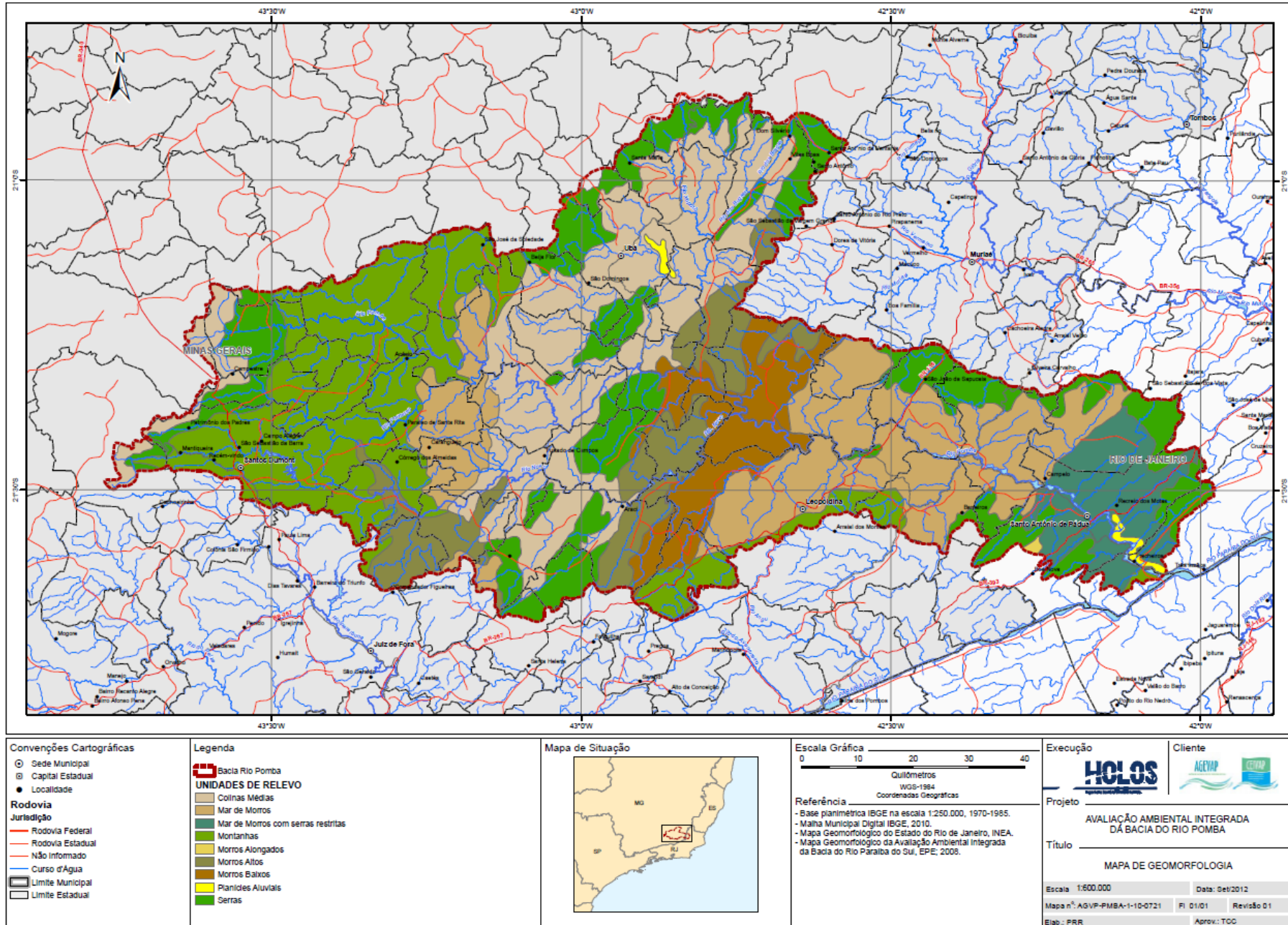
Agrupamento de Minerais	Bacia Hidrográfica do Rio Pomba	
	Área (há)	%
Água Mineral	596,01	0,16
Minério de Alumínio	193.330,03	50,89
Areias e Cascalho	8.377,76	2,21
Argilas	11.958,59	3,15
Rochas Carbonáticas	1.250,20	0,33
Ouro	37.434,87	9,85
Gemas	12.955,65	3,41
Minerais Talcosos	2.806,22	0,74
Rochas Ornamentais	71.196,23	18,74
Ferro e Manganês	34.549,14	9,09
Minerais Diversos	3.227,37	0,85
Não Identificados	2.247,63	0,59
Total	379.929,70	100,00

Fonte: AGEVAP, 2013.

4.4 Geomorfologia

A figura 7 ilustra as regiões e subdivisões geomorfológicas da bacia hidrográfica, e que de modo geral se distingue pela presença de cinco unidades geomorfológicas:

Figura 7 - Mapa geomorfológico da bacia hidrográfica do rio Pomba



Fonte: AGEVAP, 2013.

- a) A Serra da Mantiqueira: estes complexos são encontrados no alto e médio rio Pomba, principais regiões das nascentes, locais com vertentes íngremes e onde os níveis altimétricos variam de 800 m e 1200 m de altitude;
- b) Os Planaltos Dissecados do Centro – Sul e leste de Minas: localizado no médio pomba, tem como característica a dissecação fluvial sobre rochas pré-cambrianas o que deu origens as colinas e cristais;
- c) A Depressão do Rio Xopotó: unidade onde se localiza o rio Xopotó, um dos principais afluentes do rio Pomba, sobre rochas pré-cambrianas com relevo que varia de 250 m a 600 m de altitude;
- d) A Depressão do Rio Pomba: local de topos de morros mais arredondados, colinas suaves e vales abertos. Apresenta rochas menos resistentes a erosão, porém na região da foz verifica-se uma calha retilínea o que é característica de rochas mais resistentes. Nessa unidade as cotas variam entre 180 m e 300 m de altitude;
- e) Terraços Fluviais e Planícies Fluviais Atuais do Rio Pomba: áreas denominadas várzeas, constantemente alagadas, com leitos mais alargados e relevo plano onde as altitudes se limitam a 200 m.

4.5 Solos

A bacia hidrográfica do rio Pomba apresenta diferentes classes de solo. Na Serra da Mantiqueira pode-se encontrar os Latossolos Vermelho-Amarelo distróficos nas áreas de relevo fortemente ondulado a montanhoso, onde também estão presentes os solos Cambissolos distróficos e/ou húmicos nas feições montanhosas.

Os solos do tipo Latossolos Vermelho-Amarelo são porosos, apresentam baixa susceptibilidade à erosão, são os solos na bacia mais utilizados para o cultivo de pastagem, muito embora sejam solos de baixa fertilidade (FARIA, 2009).

Nos Planaltos Dissecados do Centro-Sul e Leste de Minas são encontrados os Latossolos Vermelho-Amarelo distróficos que estão relacionados às feições de relevo ondulado a fortemente ondulado, são solos com elevada macroporosidade, estão distribuídos não só nos planaltos dissecados do centro sul como também em toda área da bacia hidrográfica (AGEVAP, 2013).

A Depressão do Rio Xopotó apresenta nas formas de relevo ondulado a fortemente ondulado os solos Argissolos Vermelho-Amarelo eutróficos. A suscetibilidade à erosão desses solos é alta devido ao fator relevo e ausência de proteção vegetal (AGEVAP, 2013).

Já a Depressão do Rio Pomba apresenta Argissolos Vermelho-Amarelos eutróficos e/ou distróficos junto às formas de relevo ondulado (FARIA, 2009).

As feições montanhosas/escarpadas apresentam Neossolos Litólico eutróficos e/ou distróficos, que são solos rasos, locais esses que apresentam erosão hídrica durante sua gênese (EMBRAPA, 2006).

Os Terraços Fluviais e Planícies Fluviais Atuais do Rio Pomba apresentam Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos e Argissolos Vermelho-Amarelos eutróficos (AGEVAP, 2013).

A tabela 7 descreve as principais classificações dos solos e sua predominância na área da bacia hidrográfica em (%).

Tabela 7 - Classificação dos solos na área da bacia do rio Pomba

Classificação dos Solos	Área (%)
Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos	61,53
Latossolos Amarelos Distróficos	10,49
Cambissolos Háptico Distróficos	7,78
Latossolos Vermelhos Distróficos	4,06
Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos	3,30
Argissolos Vermelhos Eutróficos	3,00
Cambissolos Háptico Eutróficos	2,93
Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos	2,56
Cambissolos Húmico Distróficos	2,27
Neossolos Regoleticos Eutróficos	1,27
Argissolos Vermelhos Distróficos	0,77
Neossolos Litólicos Húmicos	0,03
Total	100,00

Fonte: AGEVAP, 2013.

4.6 Processos Erosivos

A erosão dos solos pode ser dita como um processo natural e dinâmico, quando em decorrência de um equilíbrio entre os processos de formação do solo e seu desgaste natural.

Atividades humanas proporcionam intensas influências nos processos erosivos, ou seja, maior velocidade nos processos erosivos do que os de formação do solo, provocando, então, a erosão acelerada, ou mais comumente chamada erosão antrópica. Essa situação se dá em função das condições de solo, litologia e relevo, que proporcionam o desencadeamento da substituição da vegetação natural por outro tipo de cobertura vegetal que não proporciona proteção eficiente contra os novos processos de erosão, dificultando os processos pedogenéticos que fariam a recomposição da camada erodida (PINHEIRO, 2009).

Segundo Vitte & Mello (2007) a erosão é condicionada por alguns fatores como a erodibilidade do solo, chuva, relevo, cobertura vegetal e feitos ambivalentes (gravidade e clima).

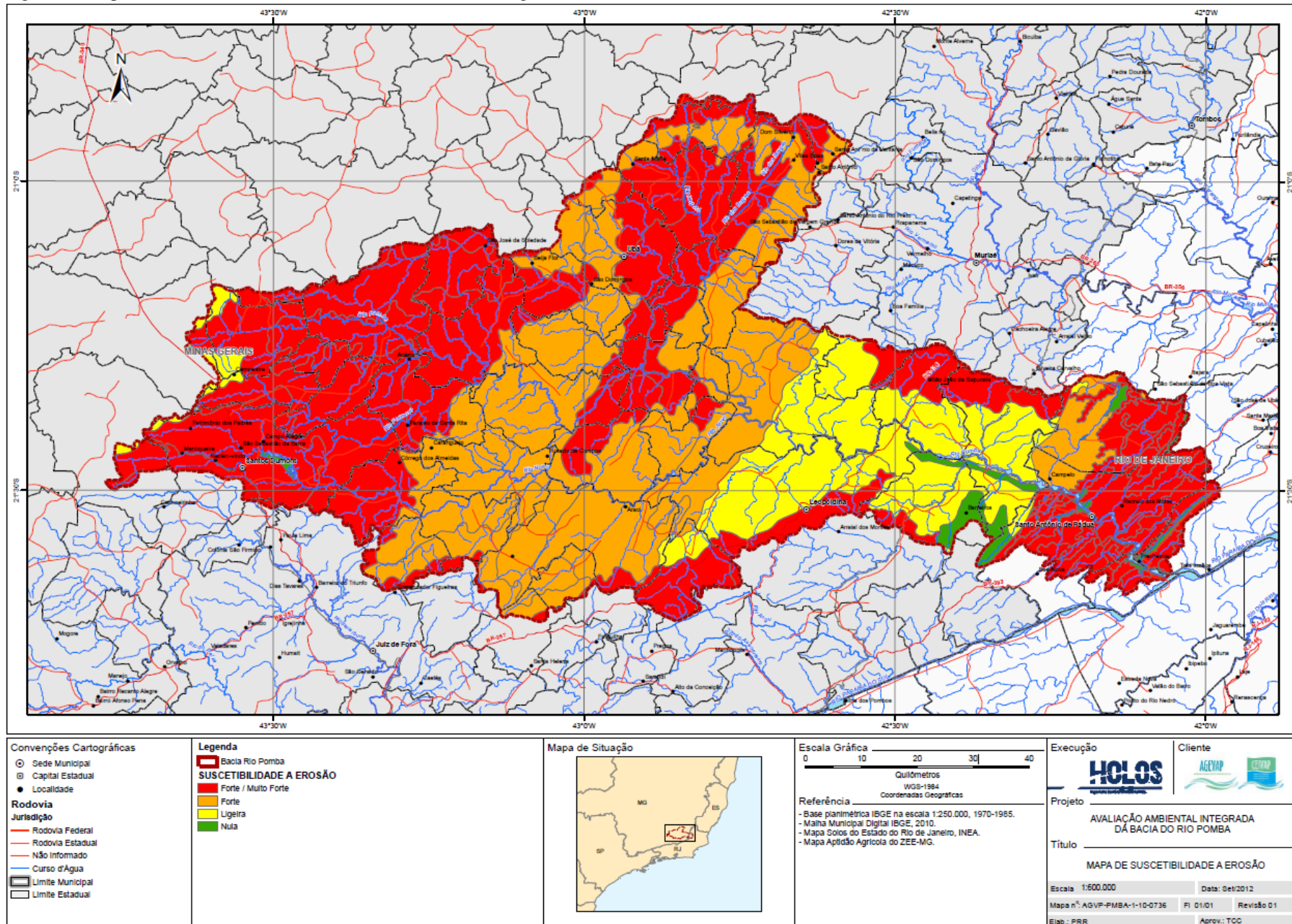
Sobre a suscetibilidade à erosão dos solos da bacia hidrográfica (Figura 8), cerca de 70% das terras da bacia têm suscetibilidade de forte a muito forte. Alguns fatores têm contribuído de forma a favorecer a erosão das terras na bacia e que vêm se acumulando e se agravando a cada ano. Os principais fatores identificados são os deslizamentos de encostas de morros nas estradas e cidades, grande extensão de terras improdutivas ou com lavouras impróprias ao solo e sem manejo adequado, decadência da atividade agropecuária e o êxodo rural (AGEVAP, 2013).

A ausência de grandes florestas na parte mineira da bacia e o uso intensivo da agricultura e pecuária, na maioria de modo inadequado de uso e conservação do solo, proporciona uma alta taxa de vulnerabilidade à erosão. Dentro da área estudada os municípios que apresentam as maiores extensões de terras com problemas relacionados a vulnerabilidade de solo, são Santa Bárbara do Tugúrio e Visconde de Rio Branco. Outros municípios também apresentam problemas com terras em condições de “alta” vulnerabilidade, dentre os quais estão Astolfo Dutra, Descoberto e Guarani, que no total somam ainda mais de 1.000 ha, cada um desses municípios apresentam um baixo percentual de cobertura florestal (CEIVAP, 2006).

Terrenos com elevada declividade são dominantes na bacia, com maior predominância de relevo ondulado (56,5%) a fortemente ondulado (16,9%), sendo o escoamento superficial favorecido, proporcionando maior risco de erosão e conseqüentemente contaminação das águas pelo arraste de material particulado suspenso (SILVA, 2014).

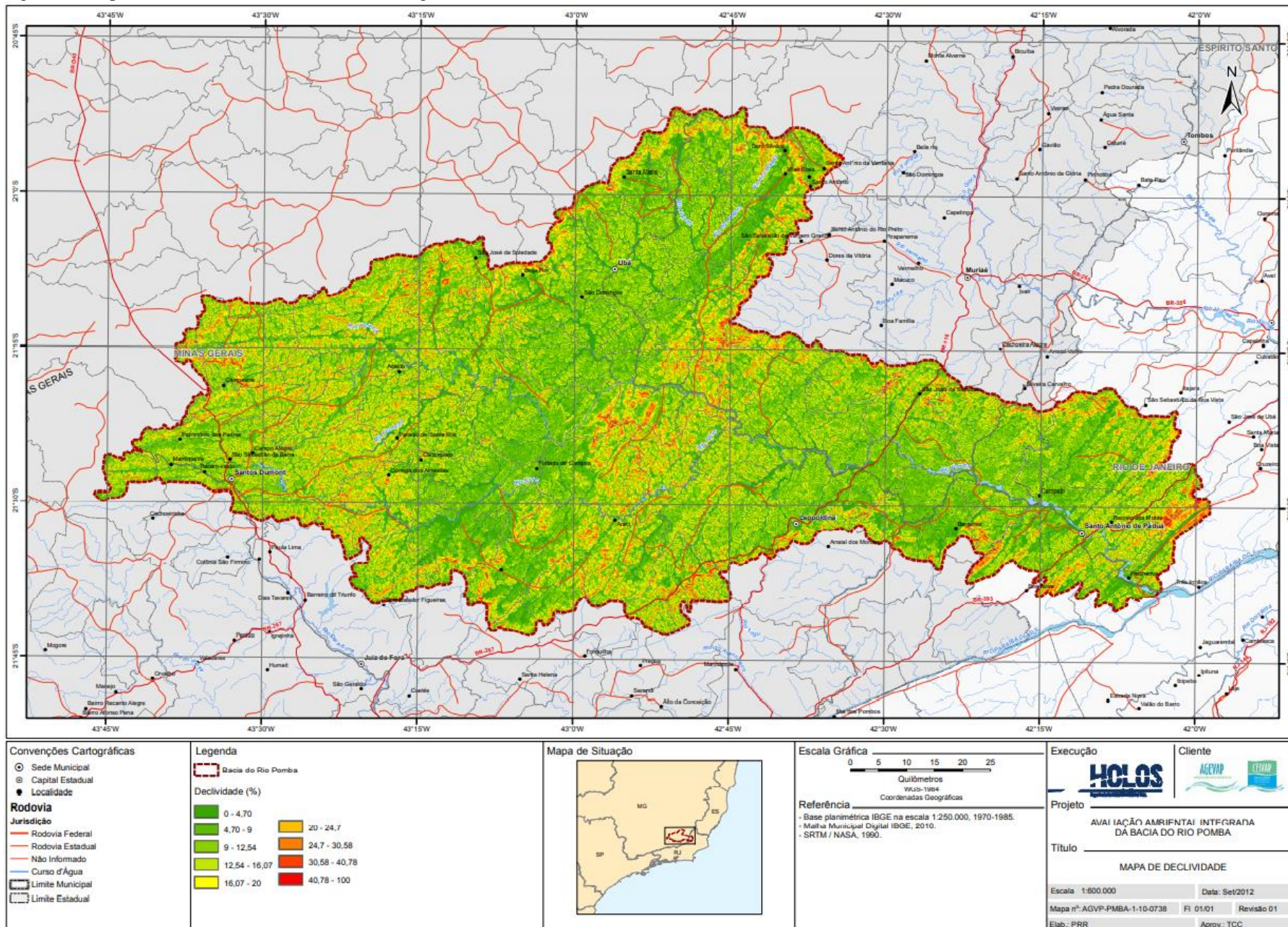
A figura 9 apresenta a espacialidade do relevo na bacia hidrográfica, bem como aponta a declividade das vertentes. As mais íngremes facilitam a erosão dos solos, na medida em que aumentam o escoamento superficial.

Figura 8 - Mapa de vulnerabilidade a erosão na área da bacia hidrográfica do rio Pomba



Fonte: AGEVAP, 2013.

Figura 9 - Mapa de declividade na área da bacia hidrográfica do rio Pomba



Fonte: AGEVAP, 2013.

4.7 Uso e Ocupação do Solo

Geograficamente a bacia hidrográfica do rio Pomba pertencente ao estado de Minas Gerais está localizada na região denominada Zona da Mata Mineira, região que segundo o IBGE (2004) tem floresta predominante Semidecídua ocorrendo em 17,73% da área.

Ao longo do tempo a bacia do rio Pomba passou por vários processos de ocupação, na sua maioria sem organização adequada, com sucessivos ciclos econômicos, primeiro com a retirada de madeira, logo em seguida o ciclo da cana de açúcar, ciclo do ouro, ciclo do café e atualmente a criação de gado leiteiro e de corte, tendo como consequências os efeitos ambientais negativos como a descaracterização das paisagens nas áreas rurais e o sufocamento das áreas verdes pelas áreas urbanizadas. De modo que o uso do solo interage com os cursos d'água afetando fortemente sua qualidade (AGEVAP, 2013).

A pouca cobertura vegetal da bacia do Pomba se explica pelo histórico de ocupação passada, no momento a ocupação maçante da criação de gado leiteiro tem contribuído para o avanço das pastagens, não poupando nem as áreas de nascentes, tampouco as áreas de preservação permanente (JACOVINE et al., 2008).

A tabela 8 demonstra os usos quantitativos de cobertura vegetal da bacia hidrográfica em relação a área.

Tabela 8 - Quantitativos de cobertura vegetal e uso do solo na bacia hidrográfica do rio Pomba

Tipo de cobertura	Área (Km ²)	Área (%)	Tipo de cobertura	Área (Km ²)	Área (%)
Afloramento rochoso	0,67	0,035	Floresta estacional semidecídua sub montanha	0,00	0,00
Água	23,45	1,234	Floresta estacional semidecídua montanha	520,27	27,376
Campo	2,66	0,140	Floresta estacional semidecídua sub montanha	379,05	19,945
Campo cerrado	0,00	0,000	Floresta ombrófila montanha	0,00	0,000
Campo rupestre	0,04	0,002	Ocupação urbana	8,75	0,460
Eucalipto	21,89	1,152	Urbanização	53,40	2,810
Floresta	79,02	4,158	Vegetação	5,84	0,307
Pastagem	799,88	42,089	Áreas úmidas	0,12	0,006
Pastagem em várzea	5,19	0,273	Solo exposto	0,21	0,011
Total	932,8	49,083	Total	967,64	50,915

Fonte: AGEVAP, 2013.

Schneider et al. (2011) estudaram o rio Pirapó no estado do Paraná e concluíram que a presença humana impacta mais o ambiente aquático do que a atividade agrícola.

Os municípios que apresentam maiores áreas de desmatamento são Aracitaba, Guiricema, Paiva, Rodeiro, São Geraldo, Tabuleiro, Ubá e Visconde do Rio Branco, e se destacam por nenhuma ou uma quantidade ínfima de cobertura florestal, além disso, também apresentam poucas áreas de vegetação secundária (CEIVAP, 2006).

Assim como tem sido o padrão dentro do observado nas florestas de Mata Atlântica no Brasil o mesmo acontece na bacia hidrográfica do rio Pomba, pois existem apenas pequenos aglomerados de florestas distribuídos como pequenas manchas isoladas, sendo na sua maior parte representadas por vegetação secundária em estágio inicial (AGEVAP, 2013).

Os municípios de Cataguases, Coronel Pacheco, Santos Dumont e Rio Pomba, apresentam menos de 5% de cobertura florestal em seus territórios. Outros municípios do trecho mineiro da bacia apresentam entre 5% e 10% de seus territórios cobertos por florestas, destacam-se, Dona Euzébia e Ervália, onde o total de florestas remanescentes, em cada um, é inferior a 700 ha.

Apresentando 18,5% encontra-se o município de Itamarati de Minas. Dentre todos os municípios que fazem parte da bacia o que reúne a maior área de florestas no trecho mineiro, é o município de Leopoldina, que apesar do baixo percentual em relação à área total do município (8%), apresenta mais de 7.000 ha de floresta estacional (CEIVAP, 2006).

A proximidade aos centros urbanos evidencia uma baixa frequência de cobertura florestal, quanto maior a distância dos centros urbanos maiores são as manchas de florestas.

A bacia hidrográfica do rio Pomba como um todo apresenta poucas áreas remanescentes da mata original, principalmente na sub-bacia do rio Xopotó, onde a vegetação secundária quase não existe. Nesse cenário os impactos negativos ficam evidentes, proporcionando a erosão do solo, com pouca recarga nos aquíferos e a diminuição da quantidade de água disponível, que no período mais seco, já se tornou crítica em algumas regiões (CEIVAP, 2006).

A vegetação marginal dos corpos d'água nos afluentes mineiros do Paraíba do Sul é praticamente inexistente, processos esses observados tanto em regiões industrializadas como naquelas onde predominam a agropecuária, apesar da legislação específica que determina a proteção da vegetação marginal dos corpos d'água (VIEIRA e RODRIGUES, 2010).

O solo desprotegido corresponde a 0,33% da área da bacia, afloramento rochoso 0,09% e lavoura permanente, com 0,92% da área da bacia. A estimativa de lavoura temporária (7,08%), pode não representar a realidade da bacia, pois os dados de monitoria por satélite se referem a meados de 2013, período que apresenta pouca área plantada devido ao período de estiagem, portanto as pastagens são mais características nessa época e mais bem evidenciadas.

O cultivo de plantas ornamentais e mudas frutíferas em regiões a margem do rio Pomba também são constantes, porém com pouca representatividade amostral (SILVA, 2014).

Em estudo realizado por Jacovine et al. (2008) em 469 propriedades localizadas em algumas regiões da bacia, chegou à conclusão de que as Áreas de Preservação Permanente – APPs e as Áreas de Reserva Legal - ARLs correspondiam, a 43,75% do total das áreas das propriedades estudadas, dado as características dos terrenos em função da topografia e abundância de cursos d'água, a grande maioria das propriedades estariam em desacordo quanto à sua utilização para a pecuária. Sendo assim boa parte das propriedades pesquisadas não estavam atendendo a lei, tanto no que diz respeito às APPs quanto à ARLs. A vegetação nativa nas propriedades resumia-se a pequenos fragmentos localizados nos topos dos morros.

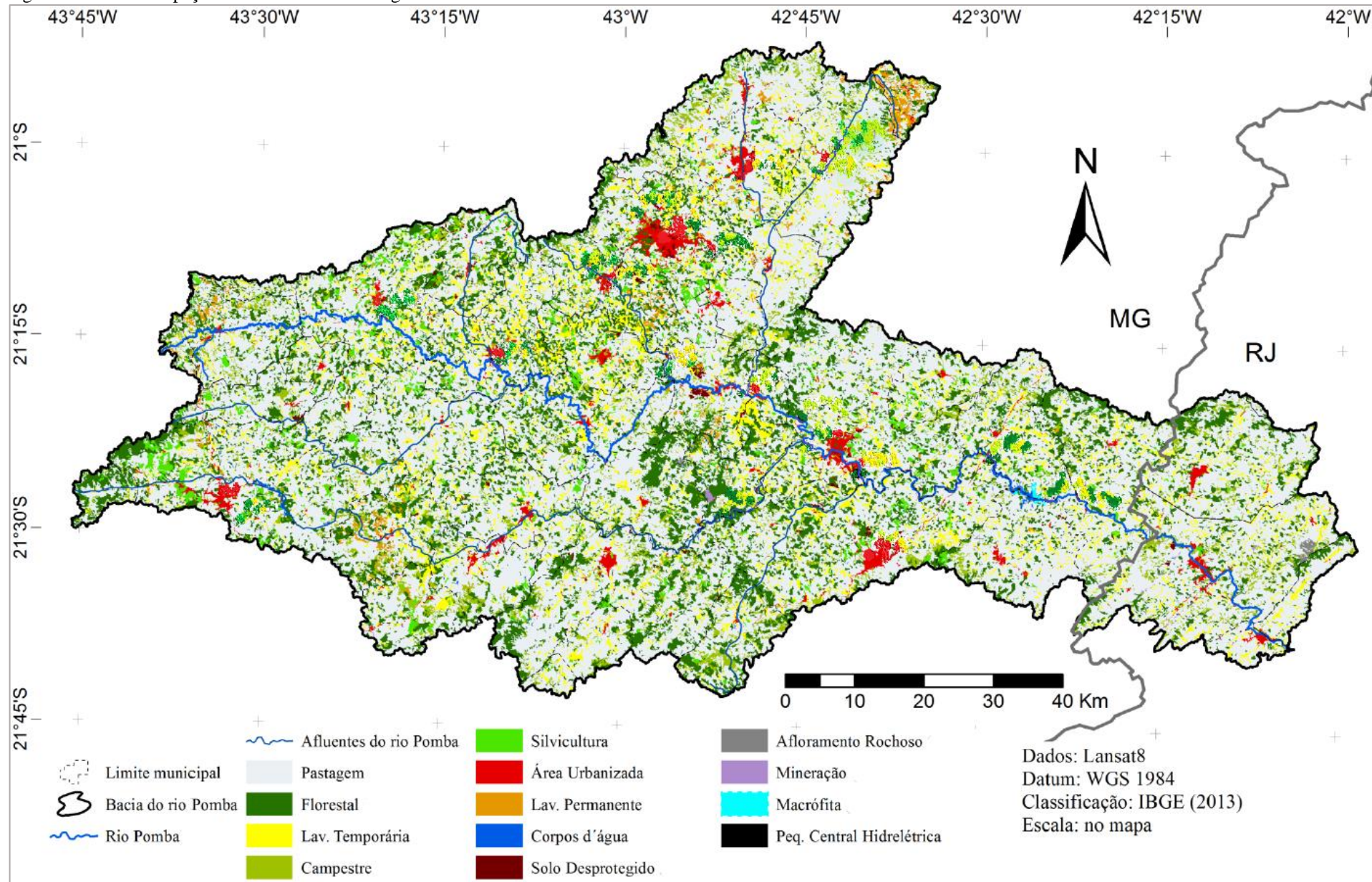
A distribuição de uso do solo na bacia é bem dinâmica, tendo como característica marcante o uso do solo para pastagens e a pouca cobertura verde original, conforme foi descrita anteriormente e está reproduzida na figura 10.

A indústria ainda tem pouca influência em relação a área total da bacia, quem tem como referência o polo industrial da cidade de Cataguases com indústrias têxteis, de papel e celulose, processamento de bauxita, indústrias químicas, mecânica de móveis e alimentos. Já do lado fluminense a cidade de Santo Antônio de Pádua apresenta algum tipo de desenvolvimento de extração mineral, voltado para a exploração de rochas ornamentais (AGEVAP, 2013).

A mineração ocupa 683 hectares na bacia, 0,08% da área, entretanto os impactos ao meio ambiente são grandes, incluindo rompimentos de um depósito de rejeito de bauxita, na barragem da fazenda São Francisco, zona rural da cidade de Miraf. A barragem se encontrava no seu limite de capacidade e não conteve as fortes chuvas da época, em março de 2006, e logo em seguida em menos de um ano aconteceu um outro acidente em janeiro de 2007, a bauxita é um minério de coloração avermelhada, que é a matéria prima para produção de alumínio (CETEM, 2012).

Vários são os impactos ambientais provocados por uma mineradora, como alterações na paisagem e na cobertura do solo promovidas pelas cavas de extração, geração de estéril (material não mineralizado associado ao minério) entre outros (REIS et al., 2006). Depósitos (lagoas) também são formados a partir da lavagem do minério, com alto risco de rompimento e outros resíduos também são gerados na extração pela mineradora, entre eles resíduos da construção civil; sucata metálica, ferrosos e não ferrosos; resíduos de borracha, pneus, correias transportadoras; resíduos de madeira contaminado ou não contaminado; Lodo de Estação de Tratamento Esgoto - ETE utilizada pelos trabalhadores (FEAM, 2017).

Figura 10 - Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pomba



Fonte: SILVA, 2014.

4.8 Aspectos Climatológicos

4.8.1 Clima

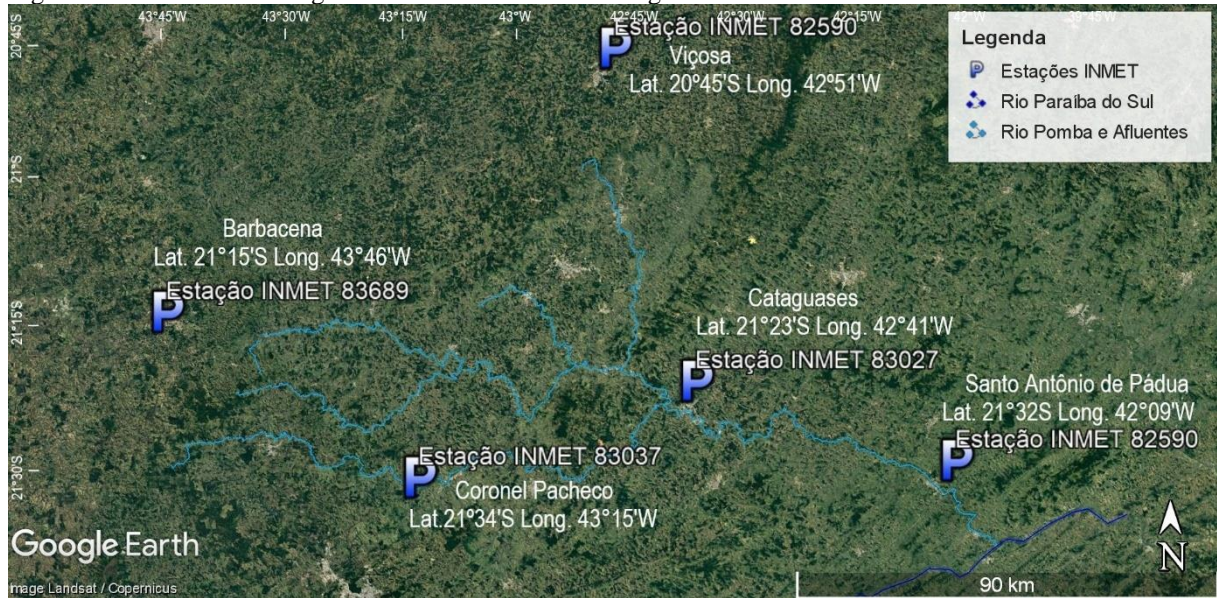
A bacia hidrográfica do rio Pomba apresenta clima tropical quente úmido, cujas características são típicas de clima com verão chuvoso e inverno seco sendo que no trimestre mais seco, as médias pluviométricas são inferiores a 60 mm, conforme as medições das bases meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (INMET, 2020).

Segundo a classificação climática de Koppen, a bacia do rio Pomba tem clima do tipo Aw, tropical quente e úmido, sendo que nas cotas mais baixas na região do médio e baixo Pomba predominam o clima do tipo Cwa (temperado úmido com inverno seco e verão quente e chuvoso) e nas regiões de maior elevação, no alto Pomba o tipo predominante é o Cwb (temperado úmido, mesotérmico, com inverno seco e verão moderadamente quente e chuvoso). Os meses mais quentes são janeiro, fevereiro e março e os mais frios são junho e julho. As grandes variações locais de temperatura são o reflexo da variação da altitude, mais do que a da variação de latitude (KOTTEK, 2006).

Para melhor entender o comportamento climático da bacia do rio Pomba, foi verificado as condições de chuva e temperatura num período de trinta anos de observação de dados para cinco municípios da bacia. Foram utilizados dados das Normais climatológicas do INMET (2020), pois são dados consistidos e já analisados dos municípios de Barbacena (Alto Pomba), região nas montanhas próxima a nascente do rio Pomba, Coronel Pacheco (Médio Pomba), região localizada na sub-bacia do Rio Novo, Cataguases (Baixo Pomba), e Santo Antônio de Pádua localizada próximo a foz no rio Paraíba do Sul, pertencente a região fluminense, e o último ponto de medição fica no município de Viçosa, mesmo que embora não inserida na área da bacia, tem território na região da Zona da Mata Mineira, mais precisamente nas divisas com a sub-bacia Xopotó, o que dá uma representatividade bem significativa para o clima da região.

As medições aqui apresentadas são para períodos entre 1981 a 2010, com exceção dos dados da estação de medição para a cidade de Cataguases, que pela ausência de dados recentes disponíveis, se utilizou os dados entre 1961 a 1990. As localizações dos pontos de medição estão bem distribuídas dentro da bacia hidrográfica, o que melhora a visualização e entendimento do comportamento climatológico da área em estudo (Figura 11).

Figura 11 - Bases meteorológicas do INMET na bacia hidrográfica do rio Pomba

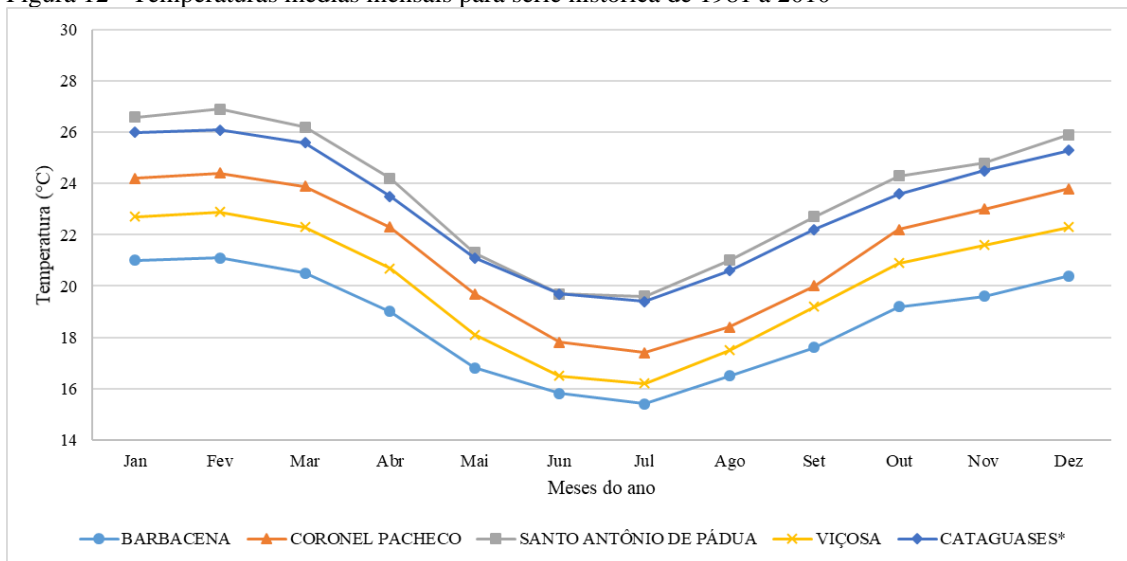


Fonte: Google Earth, 2020.

4.8.2 Temperatura

As médias de temperatura para o período estudado variaram entre 15,4 °C e 19,6 °C, devido ao efeito topográfico, o menor valor medido de temperatura foi registrado na localidade de Barbacena, região de montanhas. Já o maior valor medido foi na região de Santo Antônio de Pádua, região mais baixa da bacia. As mínimas para todos os pontos de medição foram nos meses de junho e julho. Ficou demonstrado uma uniformidade de temperatura para todos os pontos de medição, as temperaturas se comportaram num sentido descendente, conforme segue o fluxo de declividade da bacia e proximidade a foz (Figura 12).

Figura 12 - Temperaturas médias mensais para série histórica de 1981 a 2010



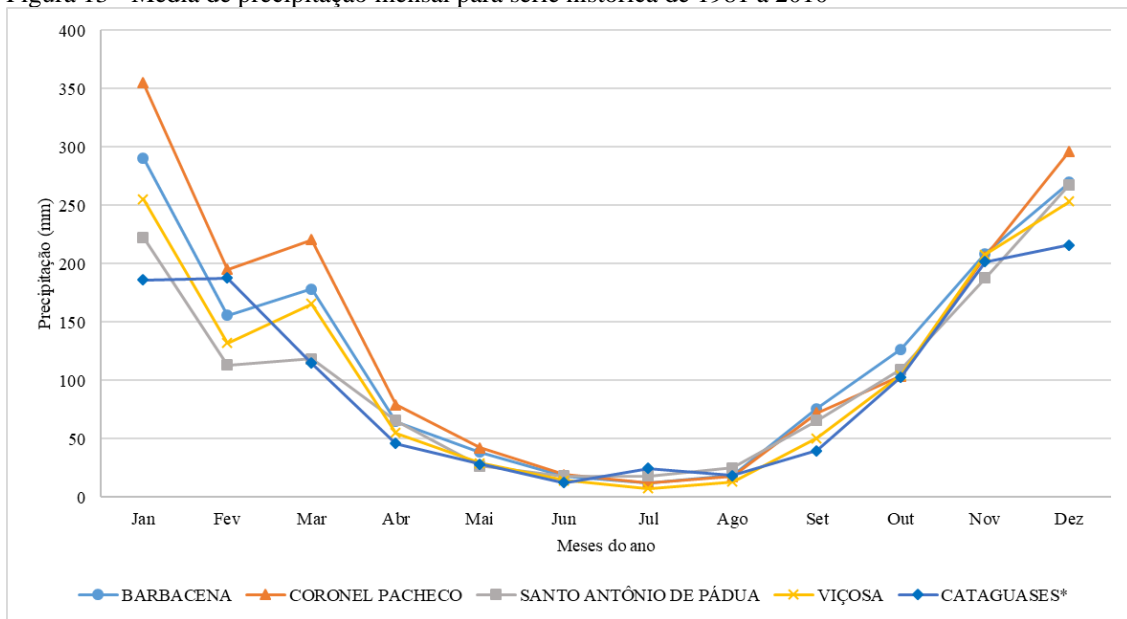
Fonte: O autor, com dados do INMET, 2020. *Dados de 1961 a 1990

4.8.3 Precipitação

A precipitação é um fenômeno meteorológico que influencia diretamente a vazão e a qualidade da água de um corpo hídrico. No entanto estabelecer uma relação entre precipitação e qualidade de água é muito difícil, intensidades diferentes de precipitação podem gerar diferentes impactos para o solo, levando a processos erosivos de diversos graus de complexidade, tudo vai depender do modo de utilização do solo e a forma como a terra é usada na região analisada (RUAS, 2006 apud FRITZSONS et al., 2003).

Analisando os dados de ocorrência de chuva na bacia, existe um trimestre mais chuvoso, que vai de novembro a janeiro, onde as médias pluviométricas podem ultrapassar os 200 mm/mês. Do mesmo modo dentro do período seco, existe um trimestre mais seco, que vai de junho a agosto, que pode ter precipitação menor que 20 mm de média para os meses de observação (Figura 13).

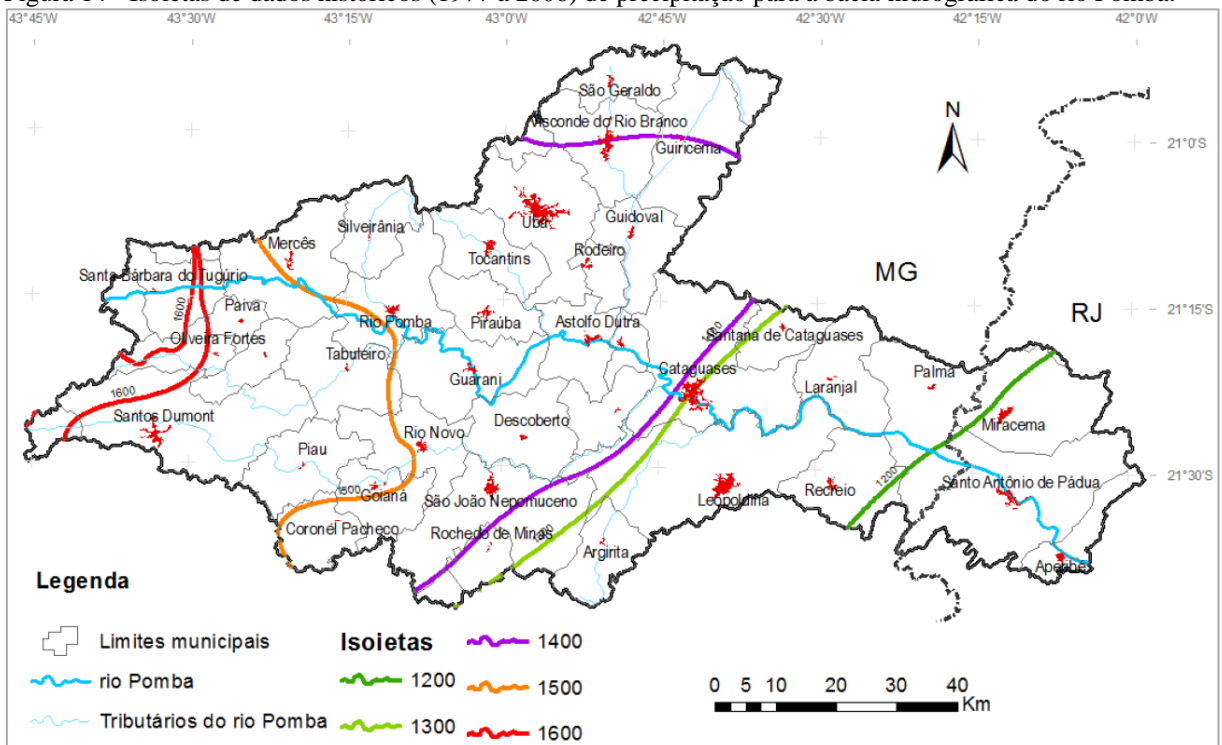
Figura 13 - Média de precipitação mensal para série histórica de 1981 a 2010



Fonte: O autor, com dados do INMET, 2020. *Dados 1961 a 1990

Os dados de precipitação ocorrido na bacia hidrográfica do rio Pomba entre 1977 a 2006 são retratados por isoietas em dados históricos na figura 14, onde a precipitação média anual variou de 1.200 mm na região da foz a 1600 mm na área das nascentes do rio Pomba.

Figura 14 - Isoietas de dados históricos (1977 a 2006) de precipitação para a bacia hidrográfica do rio Pomba.



Fonte: SILVA, 2014.

Avaliando os dados medidos das cidades de Barbacena, Coronel Pacheco, Cataguases, Santo Antônio de Pádua e Viçosa, de modo geral pode se dizer que a bacia hidrográfica do rio Pomba tem clima que varia do sub-úmido ao úmido, com duas estações bem definidas (uma chuvosa e a outra seca). Durante a estação chuvosa as precipitações podem chegar a 350 mm média para o mês mais chuvoso e durante a estação de seca (inverno), apresenta moderada deficiência hídrica, com menos de 20 mm média mês.

A precipitação e a evapotranspiração, são de extrema importância para o balanço hídrico de uma bacia hidrográfica. O equilíbrio entre a água que entra na bacia pela chuva e a água que sai por evapotranspiração, irá resultar na vazão do sistema de drenagem (SILVA, 2014).

4.9 **Vazões**

A qualidade da água de um corpo hídrico sofre influência direta da qualidade das águas que afluem dos seus rios tributários, a relevância dessa influência vai depender dos aspectos quantitativos (vazão), quanto qualitativos (qualidade das águas) dos afluentes.

Para se ter uma estimativa real da oferta de água superficial de forma mais próxima da realidade, seria o correto realizar diversas medições em toda a rede de drenagem da bacia hidrográfica. No entanto por impossibilidades diversas, na prática as medições são feitas em pontos específicos pré-estabelecidos através de postos fluviométricos.

A bacia hidrográfica do rio Pomba apresenta um total de 89 postos fluviométricos listados no banco de dados da ANA, com 54 ainda operantes, entretanto somente 20 dos postos apresentam histórico de dados de vazões disponíveis com consistência nos períodos de observações. Ainda assim, destes 20 pontos, somente 11 apresentam 10 anos ou mais de dados disponíveis, consecutivos de observação, com capacidade de refletir as sazonalidades do ponto medido (CESAR e HORA, 2016).

A quantidade de água ofertada na parte superficial de uma bacia é normalmente estimada por vazões mínimas de referência, que demonstram as menores vazões de séries históricas de medição. Para se fazer essa estimativa de oferta de água, os modelos mais utilizados são representados através da Q_{95} ou da $Q_{7,10}$.

A Portaria IGAM de N°48, de 04 de outubro de 2019 que estabelece normas suplementares para a regularização dos recursos hídricos de domínio do Estado de Minas

Gerais e dá outras providências, define, a $Q_{7,10}$ como vazão de referência a ser utilizada para o cálculo das disponibilidades hídricas superficiais no Estado de Minas Gerais.

A $Q_{7,10}$ é uma vazão que representa a vazão mínima de 7 dias consecutivos em um período de tempo de 10 anos de recorrência, e é um importante parâmetro na gestão de recursos hídricos. Já o Q_{95} é uma medida de vazão mínima por unidade de tempo, ela representa um dado estatístico do espaço amostral de medições, ou seja, em 95% do tempo a vazão medida foi igual ou superior ao valor da Q_{95} , e é constantemente utilizada em estudos de qualidade de água, regularização de vazão, abastecimento de água, irrigação, entre outros (CHAVES, 2012).

Cesar e Hora (2016) monitoraram vazões $Q_{7,10}$ e Q_{95} dentro da bacia hidrográfica do rio Pomba. Nesse estudo levaram em conta dados que não apresentassem muitas lacunas de observação, e que fossem concisos com um período de observação não inferior a 10 anos consecutivos sem falhas. Os resultados encontrados em cada posto de medição, bem como seus códigos e localização obtidos a partir do banco de dados no portal da Hidroweb da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA, são apresentados na tabela 9, e cuja localização das estações na bacia estudada são apresentadas na figura 15.

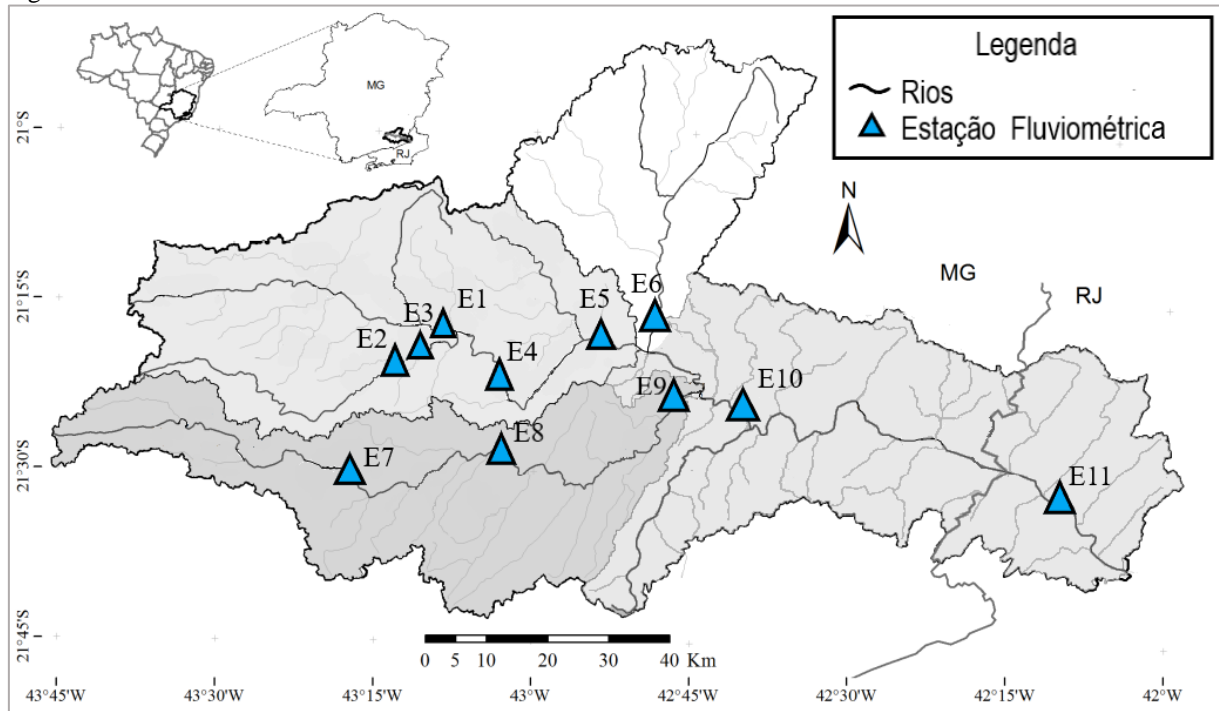
O ponto E6, no rio Xopotó, apresentou inconsistência onde o $Q_{7,10}$ de 0,79 m³/s apresentou um valor muito baixo se comparado ao tamanho da sub-bacia, mesmo assim diante de um estudo com maior rigor e conferência os autores não encontraram um possível interferente nos dados.

Tabela 9 - Postos de medição e vazões específicas

Estação	Código	Nome da Estação	Rio	Área de Drenagem (Km ²)	Período de Observação	Latitude	Longitude	Município	Q _{7,10} diário (m ³ /s)	Q ₉₅ diário (m ³ /s)
E1	58710000	Usina Itueré	Rio Pomba	784	01/1982-12/2005	-21,305	-43,199	Rio Pomba	5,41	7,37
E2	58720000	Tabuleiro	Rio Formoso	322	08/1964-12/2005	-21,384	-43,235	Tabuleiro	2,87	3,47
E3	58725000	Fazenda Ferraz	Rio Formoso	387	10/1930-07/1964	-21,35	-43,20	Rio Pomba	3,56	4,37
E4	58730001	Guarani	Rio Pomba	1650	10/1949-12/2005	-21,356	-43,05	Guarani	9,66	14
E5	58735000	Astolfo Dutra	Rio Pomba	2350	01/1932-12/2005	-21,307	-42,862	Astolfo Dutra	11,8	17,4
E6	58736000	Barra do Xopotó	Rio Xopotó	1280	04/1988-12/2005	-21,298	-42,819	Astolfo Dutra	0,796	1,46
E7	58750000	Piau	Rio Piau	490	01/1958-12/2005	-21,497	-43,317	Piau	3,62	4,92
E8	58755000	Rio Novo	Rio Novo	835	05/1944-12/2005	-21,474	-43,129	Rio Novo	2,91	6,62
E9	58765001	Usina Mauricio	Rio Novo	1770	05/1967-12/2005	-21,471	-42,83	Itamarati de Minas	3,73	7,24
E10	58770000	Cataguases	Rio Pomba	5880	07/1934-04/2005	-21,389	-42,702	Cataguases	26,1	36,3
E11	58790000	Santo Antônio de Pádua	Rio Pomba	8210	05/1935-08/2002	-21,542	-42,181	Santo Antônio de Pádua	28,2	43

Fonte: Cesar e Hora, 2016.

Figura 15 - Postos fluviométricos



Fonte: O autor, 2020.

4.10 Saneamento Básico

Dados do Instituto Trata Brasil apontam que 16,3% dos brasileiros ainda vivem sem água tratada, são quase 35 milhões de brasileiros sem acesso a água em níveis básicos de uso, a região Norte é a que tem o pior cenário com 42,5% da população ainda sem água potável. Os dados relacionados ao esgotamento sanitário são piores ainda, 45,9% dos brasileiros não têm acesso à coleta de esgoto, quase 100 milhões de brasileiros não tem acesso a este serviço. A pior situação ainda é no Norte do país com 87,6% da população sem acesso as redes de esgotos (TRATA BRASIL, 2021).

No sentido de resolver as questões relacionadas ao saneamento foi criada a Lei Federal Nº 11.445/2007 que define o planejamento dos serviços básicos como instrumento fundamental para se alcançar o acesso universal do saneamento básico, e como ferramenta para o alcance dessas metas o Plano Municipal de Saneamento Básico - PMSB (BRASIL, 2007).

Ainda mais recentemente a Lei Nº 14.026, de 15/07/2020 atualizou o Marco Legal do Saneamento Básico e alterou a Lei Nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à ANA

competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a meta do Governo Federal com o novo marco é alcançar a universalização até o ano de 2033.

O plano municipal deve ser elaborado pelas prefeituras de todos os municípios do país e tem como principal sentido receber verbas do governo federal para que possam realizar obras e ou melhorar o saneamento municipal nas áreas de água, esgoto, resíduos sólidos e drenagem urbana. Também deve constar no plano municipal, temas como a segurança hídrica, prevenção de doenças de veiculação hídrica, redução das desigualdades sociais, preservação do meio ambiente, desenvolvimento econômico do município, ocupação adequada do solo, e a prevenção de acidentes ambientais e eventos como enchentes, falta de água e poluição.

Dados da ANA (2021) demonstram que a questão do saneamento básico na bacia hidrográfica do rio Pomba é extremamente deficitária, na maioria dos casos, praticamente todos os esgotos domésticos e industriais são lançados sem tratamento diretamente nos cursos d'água. Junta se a isso o alto grau de desmatamento e degradação da cobertura vegetal, que compromete a qualidade da água em consequência do carreamento de sedimentos, o que agrava o assoreamento dos rios, e se faz como problema pertinente a todos os rios da bacia.

4.10.1 Esgotamento Sanitário

Quando se refere ao esgoto doméstico, encontramos um formato de gestão, com maior percentual de domínio das prefeituras municipais em relação a outras empresas do setor, chegando a mais de 80% desse tipo de controle, seguido das companhias estaduais e privadas (CEIVAP, 2020).

Se por um lado o abastecimento de água tem índices de atendimento com sistemas completos, incluindo captação, tratamento, reservação e distribuição, com bons níveis de atendimento, principalmente nas áreas urbanas e com consumos médios per capita de 200 l/hab dia, quando se fala de esgotamento sanitário os índices são de países com os piores níveis de desenvolvimento humano, chegando apenas a 8,3% do efluente doméstico total tratado (ANA, 2017).

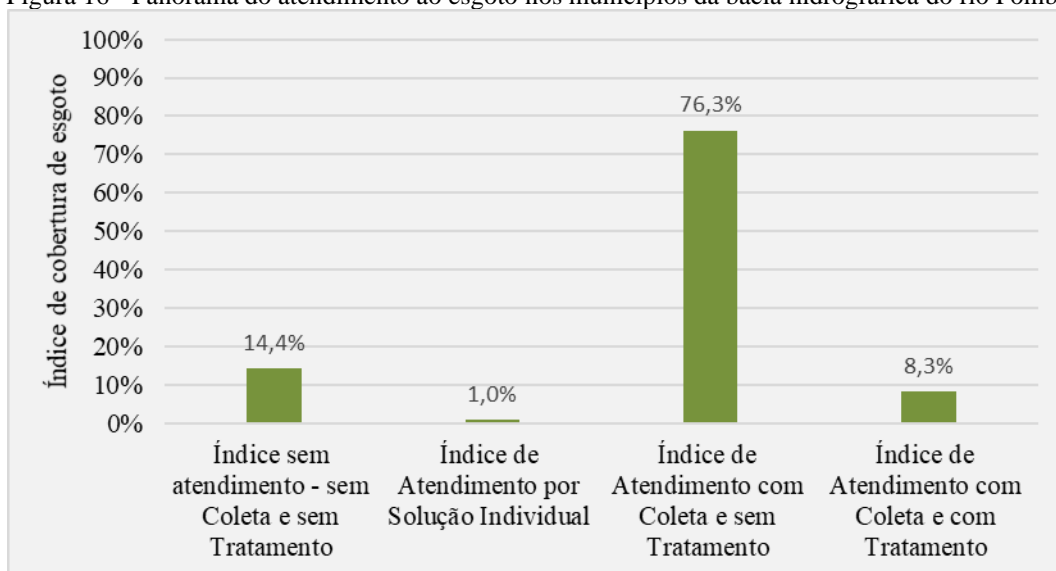
O rio Xopotó, de acordo com a ANA (2013b) é um dos afluentes do rio Pomba com pior índice de qualidade da água, pois são lançados neste rio elevadas taxas de esgoto doméstico, sendo a capacidade de autodepuração do rio, no ponto de lançamento, insignificante frente a demanda dos efluentes lançados.

Outro afluente do rio Pomba importante, o Ribeirão Feijão Cru, na cidade de Leopoldina, MG, carrega todo o efluente doméstico de 51.130 habitantes direto para o rio Pomba, também sem nenhuma forma de tratamento preliminar (IBGE, 2011). O ribeirão Feijão Cru tem vazão de $0,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, o que é incompatível com a quantidade de esgoto despejado, o que proporciona baixa diluição e contribui para redução do oxigênio dissolvido que posteriormente interfere em todo sistema de vida aquática do rio (GUEDES et al., 2012).

Em 2010, dos 618.418 habitantes da bacia do rio Pomba, 86,3% residiam em centros urbanos onde não há destino nem tratamento adequado do esgoto doméstico (IBGE, 2011).

A figura 16 demonstra em (%) o baixo índice de tratamento do esgoto doméstico nos municípios da bacia do rio Pomba.

Figura 16 - Panorama do atendimento ao esgoto nos municípios da bacia hidrográfica do rio Pomba



Fonte: SNIS, 2019.

4.10.2 Abastecimento de Água

Os serviços de abastecimento de água na bacia hidrográfica do rio Pomba são na sua maioria prestados por empresas estaduais de saneamento, seguido das prefeituras e uma pequena parcela por empresas privadas. De acordo com relatório do Sistema Nacional de Saneamento - SNIS 19,7 % da população ainda não está contemplada pelo abastecimento de água (SNIS, 2019). As perdas nos sistemas de adução e distribuição de água tratada fica em torno dos 34%, que é um valor baixo se comparado com a média nacional de 38,53%, mas ainda assim muito alto considerando as condições de estresse hídrico da maioria dos corpos hídricos da região sudeste (Tabela 10).

Tabela 10 - Demonstrativo de atendimento do serviço de água na bacia hidrográfica do rio Pomba

Municípios	População Atendida	Atendimento Total de Água (%)	Perdas (%)	Municípios	População Atendida	Atendimento Total de Água (%)	Perdas (%)
Antônio Carlos	7.836	67,20	22,0	Miracema	24.552	91,5	43,6
Aracitaba	1.304	63,33	SI	Oliveira Fortes	1.210	56,99	23,46
Argirita	1.775	80,97	30,0	Paiva	954	78,23	50,0
Aperibé	9.983	97,75	22,9	Palma	3.632	70,89	34,0
Astolfo Dutra	10.071	84,76	32,0	Piau	1.624	57,16	20,0
Barbacena	125.210	82,60	23,0	Piraúba	6.409	72,71	20,0
Bicas	448	83,72	31,0	Recreio	10.514	SI	30,48
Cataguases	56.963	85,30	33,0	Rio Novo	5.487	72,78	39,0
Coronel Pacheco	1.539	71,74	46,0	Rio Pomba	11.411	78,95	29,0
Descoberto	3.051	74,97	47,0	Rochedo de Minas	1.786	93,33	SI
Desterro de Melo	1.346	46,10	23,0	Rodeiro	4.495	80,91	25,0
Divinésia	2.253	65,41	25,0	Santa B. Tugúrio	2.056	44,98	41,1
Dona Euzébia	4.048	78,87	32,0	Santana de Cataguases	2.907	80,26	29,5
Ervália	9.336	52,41	32,0	Santo Antônio P.	42.359	99,70	30,6
Goianá	2.175	73,27	45,0	Santos Dumont	30.946	76,06	29,0
Guarani	5.301	77,10	35,0	São Geraldo	3.891	58,53	27,0
Guidoval	3.285	63,19	30,0	São João Nepomuceno	18.925	79,40	32,0
Guiricema	1.510	35,73	19,0	Silveirânia	929	65,02	15,0
Itamarati de Minas	2.183	68,02	50,0	Tabuleiro	1.670	61,83	45,0
Laranjal	3.046	64,29	29,0	Tocantins	11.343	88,10	SI
Leopoldina	34.091	74,59	30,0	Ubá	80.805	83,10	36,0
Mercês	4.801	66,16	44,0	Visconde Rio Branco	23.940	76,29	31,0

Fonte: AGEVAP (2020) adaptado pelo autor. SI = Sem Informação ou falta de concisão dos dados

Além do abastecimento de água tratada, citado anteriormente, outros formatos de uso da água ainda se fazem presentes na bacia, tais como poços, captação direto de nascentes de rios, águas de chuvas e distribuição com carro-pipa, principalmente nas áreas rurais (CEIVAP, 2020).

4.10.3 Resíduos Sólidos

Quanto aos resíduos sólidos e a cobertura do serviço de coleta ainda se encontram em uma situação um pouco precária, na área urbana cerca de 43,5% dos resíduos são coletados e dispostos em aterros sanitários, 17% são destinados a lixões a céu aberto e 39,5% passam por serviço de triagem e compostagem. Na área rural 90% dos resíduos são destinados a áreas abertas (lixões) ou são na sua maioria queimados ou até mesmo lançados nos rios (AGEVAP, 2020).

4.10.4 Drenagem Urbana

A drenagem urbana é na sua totalidade gerida pelas prefeituras, que regula todas as atividades envolvidas ao planejamento, regulação e operação bem como de fiscalização. Os sistemas na sua maioria são extremamente rudimentares, e estão constantemente envolvidos nos problemas de transbordamentos (AGEVAP, 2020).

4.11 **Fontes de Poluição**

As fontes de poluição da bacia se caracterizam de forma difusa, apesar de estarem concentradas principalmente nas grandes cidades, com a presença de esgoto doméstico sem o devido tratamento. Outras fontes de poluição da bacia, também devem ser consideradas.

Mineração: Conforme AGEVAP (2013) a bacia do rio Pomba apresenta uma predominância do minério de alumínio em superfície envolvida. Também tem a presença marcante de minerais, como o ferro e o manganês, que são característicos do solo da bacia, todavia a presença de empresas mineradoras na região não é frequente. Minerais como ferro, manganês e alumínio são comumente encontrados em todas as regiões da bacia. De modo que a presença de alguns minerais na água está em função da composição natural do solo, e não por rejeitos de atividades mineradoras.

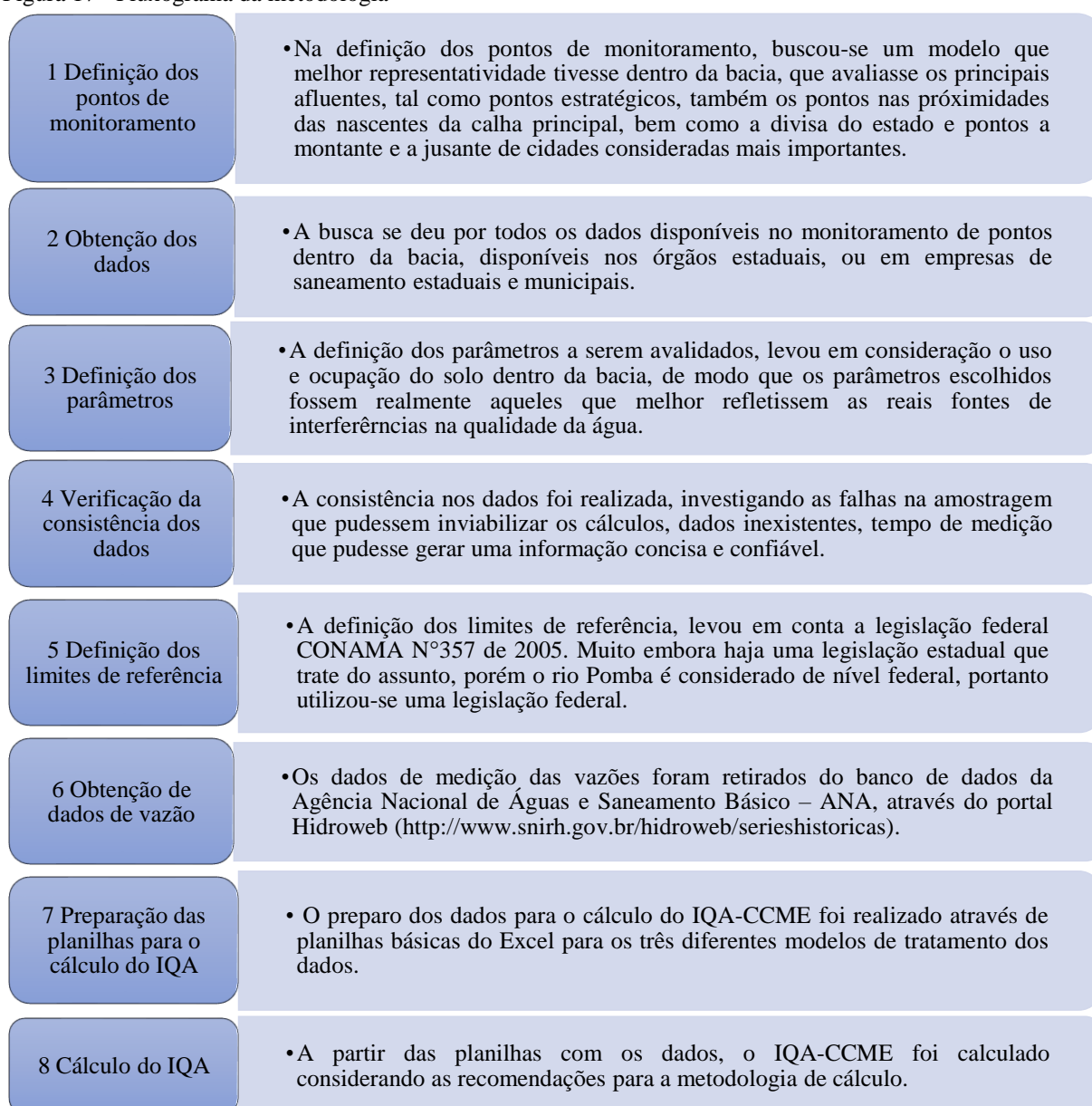
Erosão: A falta de cobertura vegetal na bacia é bem acentuada, sobretudo nas regiões da sub-bacia Xopotó, na região do alto pomba, e em alguns municípios do médio Pomba (CEIVAP, 2006). O maior agravo a erosão diz respeito às questões relacionadas ao desmatamento para uso da agricultura e pecuária, que se deu ao longo do tempo com ciclos sucessivos de uso e ocupação do solo na região, que contribui para erosão e conseqüentemente favorece o arraste de material particulado em período chuvoso, comprometendo a qualidade da água dos rios.

Atividades industriais: As atividades industriais têm pouca relevância nas questões de poluição, devido à pouca influência em relação a área total da bacia, conforme destacado por AGEVAP (2013). A cidade de Cataguases se destaca pelo seu polo industrial, entretanto a maioria das cidades são inferiores a 10.000 hab. inviabilizando indústrias de grande porte com potencial de impacto negativo na qualidade da água ao ponto de afetar uma área considerável da bacia ou de um trecho de rio.

5 MATERIAL E MÉTODOS

Nesse capítulo descreve-se a metodologia para o desenvolvimento desse trabalho, onde primeiro foi feita uma vasta revisão bibliográfica em periódicos internacionais e nacionais sobre os padrões de qualidade de água, investigando a aplicação do IQA-CCME e selecionando posteriormente aqueles que melhor serviriam ao trabalho proposto. Um fluxograma da metodologia foi desenvolvido com intuito de uma melhor compreensão da visão macro da metodologia utilizada (Figura 17).

Figura 17 - Fluxograma da metodologia



Fonte: O autor, 2021.

5.1 Definição dos Pontos de Monitoramento

Os pontos de monitoramento e as frequências de amostragem são ainda hoje muitas vezes determinados por conveniência ou por outros critérios aleatórios, sem nenhuma abordagem sistemática ou que contenha objetivos claros (ALMEIDA, 2013).

No Brasil os pontos de monitoramento estão concentrados em regiões hidrográficas específicas do país. Uma outra questão é, sendo o Brasil uma federação, cada unidade federativa faz seu monitoramento com moldes e critérios próprios de localização dos pontos de coleta, bem como a frequência de amostragem e parâmetros analisados. Na prática o que ocorre é uma desconexão das redes de monitoramento, sendo que muitas vezes em um mesmo curso hídrico, tem-se pontos de monitoramento muito próximos, e até por vezes no mesmo local, avaliando os mesmos parâmetros, sendo administrados por diferentes órgãos ou empresas (ALMEIDA, 2013). Percebe-se, desta forma, uma necessidade de padronização do monitoramento da qualidade da água no Brasil.

Entendendo a necessidade de ampliar e integrar o monitoramento de qualidade de água do Brasil, foi lançado no ano de 2010, pela ANA, o Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas - PNQA. Este programa tem por objetivo elaborar políticas públicas relacionadas ao monitoramento no intuito de melhorar o conhecimento sobre a qualidade das águas superficiais do Brasil, se fazendo como um norteador de políticas para a recuperação da qualidade ambiental em corpos d'água (ANA, 2012b).

Dentro do programa foram definidos três modelos de pontos de monitoramento para compor a Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade das Águas - RNQA:

- a) Ponto de referência: local ainda com baixa carga de poluição de origem antrópica, localizados em unidades de conservação e terras indígenas, por exemplo, e tem como objetivo ser um ponto de referência dentro da bacia hidrográfica onde a situação da água ainda não sofreu intervenção antrópica ou apresenta o menor impacto possível;
- b) Ponto de impacto: locais com potencial ou efetivas cargas poluidoras, sendo a sua origem antrópica, tais como núcleos urbanos, agricultura e pecuária intensiva, e indústrias, e tem como objetivo verificar as desconformidades em relação aos padrões de qualidade estabelecidos pelo enquadramento;

- c) Ponto estratégico: pontos localizados em divisas territoriais de países ou estados, divisas de dominialidade, e tem como objetivo avaliar cargas transferidas entre regiões ou bacias hidrográficas, podendo ainda ser localizado em reservatórios de abastecimento público, e pontos de grandes outorgas de captação.

Conforme a RNQA uma questão fundamental na alocação dos pontos de monitoramento é a etapa de macrolocação, que pode ser feita verificando a disponibilidade hídrica de vazão necessária para diluição de efluentes, tendo como referência uma vazão de restrição, por exemplo a Q_{95} , a $Q_{7,10}$ ou outra qualquer. De modo que se torna muito importante o conhecimento da vazão do corpo receptor, para estimar a quantidade de água para que a carga de poluente que será despejada no curso d'água não produza uma concentração do poluente superior aos valores de limites estabelecidos para a classe na qual os cursos d'água estão enquadrados.

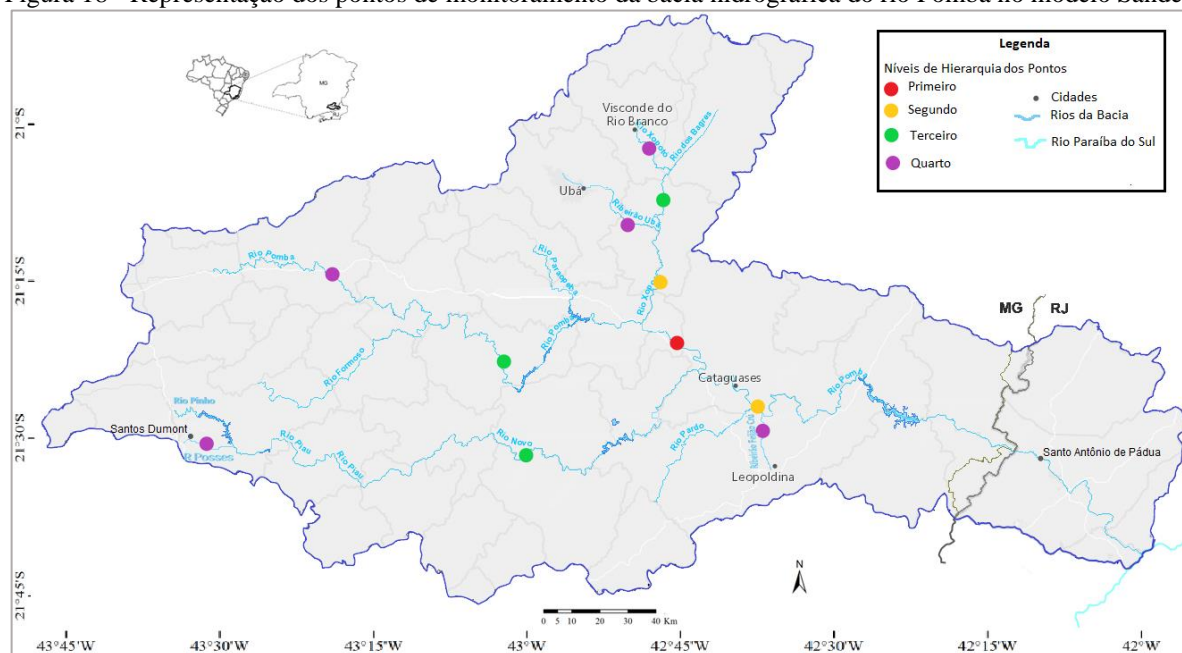
Na pratica muitos pontos ainda não apresentam dados consistentes de vazão e carga de poluição, o que impossibilita a aplicação dessa metodologia na sua totalidade.

Diante do contexto apresentado anteriormente, acolhido todas as considerações adotou-se neste trabalho, o método de Sanders (1983) e apresentado pela primeira vez por Clarkson (1979), inicialmente, desenvolvida por Sharp (1971).

O modelo de definição de Sharp dos trechos de rio que devem ser monitorados, e adaptados por Sanders, é um modelo simples, que se baseia no ordenamento de rios dentro de uma bacia hidrográfica, e no cálculo do centro de massa, que recebe a classificação de primeiro nível hierárquico, daí em diante a classificação sucede até outros níveis de hierarquia, até que as fontes de poluição sejam encontradas. A principal adaptação do método Sanders se deve por considerar as fontes pontuais de poluição. Assim os centros de massa da rede de drenagem são deslocados para trechos onde a bacia hidrográfica contribuinte tem um número maior de descargas pontuais (VIEIRA, 2014).

A aplicação do método de Sanders leva em consideração todas as descargas pontuais de poluição dentro da bacia, e aplica o mesmo peso para cada descarga de poluição, porém há uma discrepância populacional entre as cidades e suas contribuições na carga de poluentes, que são desproporcionais, desse modo para esta confecção, considerou-se apenas as cidades com maior importância populacional, onde a população seja igual ou superior a 30.000 hab. Assim os pontos selecionados como os possíveis pontos de monitoramento ficaram conforme apresentados da figura 18.

Figura 18 - Representação dos pontos de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Pomba no modelo Sanders



Fonte: O autor, 2021.

Depois de aplicado o método um rearranjo foi necessário, a fim de proporcionar uma melhor distribuição e correção dos pontos quanto a pertinência da localização. Sendo assim, a aplicação do método na bacia hidrográfica do rio Pomba ficou com as seguintes características, o ponto CP5 como o centro de massa e primeiro nível hierárquico e para os demais níveis hierárquicos, ficaram: segundo nível, os pontos CP7 e SB14, o terceiro nível os pontos CP4 e SB23 e no quarto nível os pontos CP2, SB11, SB13 e SB21.

Deve ser dito que pela ausência de pontos de monitoramento em locais apontados pelo método, o ponto foi deslocado para um local onde há monitoramento, próximos quando possível, também houve pontos que embora não enquadrados pela metodologia foram também utilizados, e o caso dos pontos CP1 e CP3 que poderiam contribuir para o melhor entendimento do comportamento da região do Alto Pomba, o ponto CP6 que fica na região do Médio Pomba a montante de um afluente importante e de uma grande cidade da bacia, também os pontos SB12 por apresentar características de um ponto de referência e o ponto SB22 pela boa base de dados e posição estratégica a jusante da principal cidade da sub-bacia Rio Novo, ponto que já recebe água do rio Pinho o mais importante em termos de vazão para a região. Ainda por se tratar de um local estratégico, foi selecionado o ponto CP8 que fica no município de Santo Antônio de Pádua localizado na divisa do estado mineiro com o estado fluminense (Figura 19).

confiabilidade dos dados disponíveis de cada ponto, assim como os objetivos propostos desse trabalho. Na confecção da Rede de drenagem utilizou-se os dados do ano de 2020 disponíveis no Hidroweb da ANA (<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa>) como norteador dos principais rios da bacia e na definição das cargas de poluição utilizou dados do Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Afluentes Mineiros dos rios Pomba e Muriaé – diagnóstico e prognóstico (AGEVAP, 2020).

Devido ao tamanho e complexidade da bacia hidrográfica, bem como suas interações, para um melhor entendimento de seu comportamento em termos de qualidade de água, a bacia foi dividida em três grandes áreas, a calha principal e duas sub-bacias, o que possibilitou também identificar a influência de cada sub-bacia na calha principal. Então foram um total de 15 pontos de monitoramento, levando em consideração o tamanho das áreas e a relevância, bem como os pontos de monitoramento para medição e os dados disponíveis.

Na calha principal do rio Pomba, denominado assim por ser a área central da bacia hidrográfica, onde estão inseridos os afluentes das sub-bacias, ficaram localizados os pontos entre CP1 e CP8. A sub-bacia do rio Xopotó, denominada SB1, localizada a margem esquerda da calha principal, compreende os pontos entre SB11 a SB14, e a sub-bacia do Rio Novo, que tem sua localização a margem direita da calha principal, os pontos SB21 a SB23 (Figura 20).

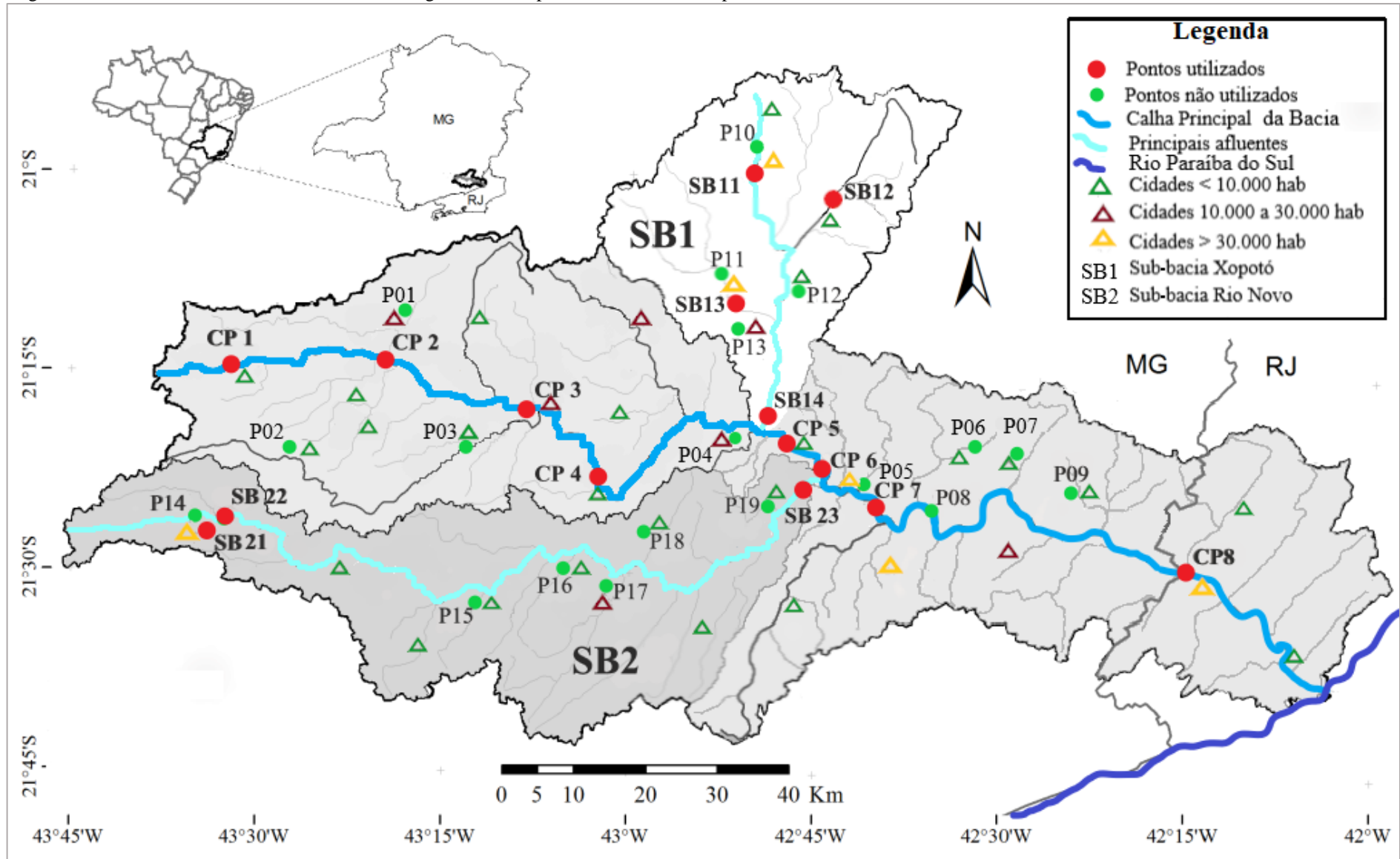
Foram detectados um total de 34 pontos de monitoramento com possibilidade de uso, porém apenas 15 foram selecionados através da metodologia de macrolocação, sendo os demais considerados não úteis para este estudo. Portanto foram descartados na região do Alto Pomba (P01, P02, P03), na região do Médio Pomba (P04 e P05) na região do Baixo Pomba (P06, P07, P08, P09), na sub-bacia Xopotó (P10, P11, P12, P13) e na sub-bacia Rio Novo (P14, P15, P16, P17, P18, P19) (Figura 20). Os motivos se devem a inconsistência com a metodologia de macro localização e as recomendações do CCME quanto a frequência anual de campanhas, onde foram realizadas número de campanhas bem inferiores ao recomendado, de modo que o monitoramento seria de baixa confiabilidade para uma comparação de resultados.

Tabela 12 - Descrição dos pontos de monitoramento e coordenadas geográficas

Pontos de Coleta	Descrição do Ponto	Coordenadas Geográficas	
		Latitude	Longitude
CP1	Rio Pomba, ponto a montante da cidade de Santa Bárbara do Tugúrio.	21°14'43"S	43°33'54"W
CP2	Rio Pomba, ponto a jusante da cidade de Mercês recebe bastante carga de efluentes domésticos.	21°14'05.0"S	43°19'12.0"W
CP3	Rio Pomba, ponto logo após uma PCH e a montante da cidade de Rio Pomba.	21°16'49.7"S	43°11'16.2"W
CP4	Rio Pomba, ponto a jusante a cidade de Guarani.	21°23'27.4"S	43°02'29.9"W
CP5	Rio Pomba, ponto fica dentro da área urbana da cidade de Dona Euzébia.	21° 19' 05"S	42° 49' 03"W
CP6	Rio Pomba, ponto a montante da cidade de Cataguases e da foz do rio Novo.	21°22'40.9"S	42°44'43.2"W
CP7	Rio Pomba, ponto a jusante da cidade de Cataguases.	21°25'55.8"S	42°39'38.8"W
CP8	Rio Pomba, ponto na divisa dos Estados de Minas Gerais e do Rio de Janeiro.	21°29'40.8"S	42°15'20.7"W
SB11	Rio Xopotó, ponto a jusante da cidade de Visconde do Rio Branco.	21°02'48.7"S	42°49'58.9"W
SB12	Rio dos Bagres, ponto a montante da cidade de Guiricema.	21°00'07.0"S	42°42'48.0"W
SB13	Rio Ubá, ponto a jusante da cidade de Ubá.	21°08'04.1"S	42°52'39.1"W
SB14	Rio Xopotó, ponto próximo a foz com o Rio Pomba.	21°16'44.6"S	42° 49' 3.778"W
SB21	Ribeirão das Posses, ponto a jusante da cidade de Santos Dumont.	21°29'19.0"S	43°31'56.2"W
SB22	Rio Pinho, ponto a jusante de uma represa.	21°29'14.0"S	43°27'18.9"W
SB23	Rio Novo, ponto a jusante de uma PCH na foz com o rio Pomba.	21°24'11.0"S	42°46'50.9"W

Fonte: O autor, 2020.

Figura 20 - Pontos de monitoramento na bacia hidrográfica do rio pomba e sub-bacias Xopotó e Rio Novo



Fonte: O autor, 2021.

5.2 Obtenção dos Dados de Qualidade de Água

O levantamento dos dados foi feito com base nos relatórios de monitoramento da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Pomba do IGAM, para o período de 1998 a 2019, com exceção dos dados dos pontos P1, P3 e P5 e SB12 que foram obtidos junto a COPASA. Estes relatórios informam apenas valores de parâmetros, e dados de data e hora de coleta, bem como referência dos pontos de monitoramento, como nome e sua localização geográfica, também não informam as metodologias utilizadas na detecção de cada parâmetro, de modo que não havia nenhum tratamento estatístico, sendo necessário que os dados fossem posteriormente investigados de modo minucioso e tratados em planilhas do Excel antes dos cálculos do IQA propriamente dito.

A codificação para cada ponto de monitoramento foi definida de acordo a sua localização e posição dentro da bacia. Na calha principal os pontos receberam um prefixo CP + N° sequencial, sendo o mais a montante da calha primeiro ponto, o que ocorreu na cidade de Santa Bárbara do Tugúrio, portanto CP1 e o próximo ponto na cidade de Mercês o CP2 e assim sucessivamente até o último ponto da calha principal, o ponto CP8 na cidade de Santo Antônio de Pádua. Para as sub-bacias foram adicionadas o prefixo SB + N° da sub-bacia (1 ou 2) + N° sequencial, portanto, SB1 para a sub-bacia Xopotó e SB2 para a sub-bacia Rio Novo e para cada sub-bacia foi acrescentado um número que corresponde ao ponto de monitoramento, partindo do ponto mais distante da foz no rio principal ao mais próximo, assim SB11 até SB14 na sub-bacia Xopotó (quatro pontos de monitoramento) e SB21 até SB23 na sub-bacia Rio Novo (três pontos de monitoramento).

A qualidade de água de um corpo hídrico flutua ao longo do tempo devido as influências sofridas pela precipitação e suas consequências. De modo que um número maior de anos de monitoramento possibilita compreender melhor a flutuação da qualidade hídrica daquele rio e suas respostas para eventos com maior tempo de recorrência, como os fenômenos climáticos influenciadores de chuva e estressores da qualidade da água de origem antrópica.

Segundo o CCME (2017) um período de três anos seria um tempo suficiente para verificar as flutuações naturais do corpo hídrico, porém muito curto para ver algumas mudanças de longo tempo. Assim no sentido de conhecer melhor as flutuações de longo tempo, utilizou-se todos os dados de monitoramento disponíveis para cada ponto. A partir daí os dados foram distribuídos em dois grupos, aqueles que estão disponíveis a partir do ano de

1997, e um outro a partir 2010. Entretanto apenas quatro pontos possuem dados para o ano de 1997, além de estarem desconforme ao número recomendado de campanhas ano pelo CCME, portanto adotou-se os dados do período de monitoramento a partir do ano de 1998.

Os dados gerais trabalhados, os anos de cada ponto de monitoramento, o número de campanhas realizadas para cada ponto, o total de parâmetros, e o número total de amostras utilizadas estão representados de modo quantitativo na tabela 13.

Tabela 13 - Pontos de amostragem com dados gerais

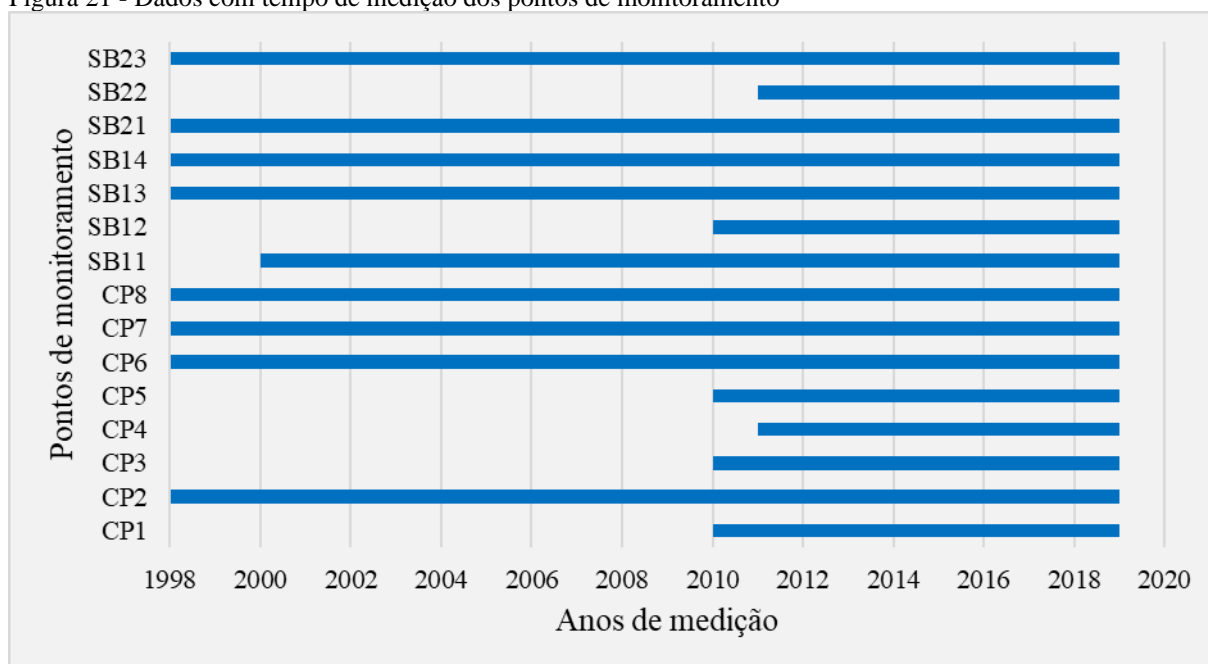
Pontos de amostragem	Total de anos de monitoramento	Número de campanhas por ano	Número total de campanhas	Números de parâmetros utilizados no IQA-CCME	Total de amostras utilizadas
CP1	10	2	20	16	291
CP2	22	4	86	16	1189
CP3	10	2	20	16	294
CP4	9	4	33	16	447
CP5	10	2	20	16	286
CP6	22	4	86	16	1133
CP7	22	4	86	16	1190
CP8	22	4	86	16	1186
SB11	20	4	79	16	1089
SB12	10	2	19	16	277
SB13	22	4	86	16	1194
SB14	22	4	86	16	1149
SB21	22	4	86	16	1180
SB22	9	4	33	16	479
SB23	22	4	86	16	1265

Fonte: O autor, 2020.

Analisando os dados disponíveis verificou-se que em algumas campanhas os dados de alguns parâmetros estavam ausentes, o que poderia ser um empecilho para os cálculos de outras metodologias de IQAs, porém com o IQA-CCME isso não acontece, a metodologia propicia essa maleabilidade de tratamento dos dados, onde mesmo com a ausência de um resultado o cálculo pode ser realizado normalmente. Portanto todos os dados foram utilizados sem nenhum problema.

Os períodos de medição de cada ponto de amostragem na bacia hidrográfica estão representados respectivamente pela figura 21.

Figura 21 - Dados com tempo de medição dos pontos de monitoramento



Fonte: O autor, 2021.

5.3 Definição dos Parâmetros

Para a definição dos parâmetros envolvidos na pesquisa, o primeiro passo foi verificar como se dava o uso e ocupação de solo dentro da bacia, bem como os principais agentes influenciadores na qualidade da água, ou seja, aqueles que de algum modo tivessem relação com o recurso superficial, sendo sua origem proveniente tanto natural como antrópica.

Para Von Sperling (1995) os componentes que modificam e alteram a pureza e as características da água são de natureza, físicas, químicas e biológicas, assim dão conotação a qualidade da água na forma de parâmetros de qualidade de água.

Para o CCME (2017) a definição dos tipos de parâmetros a serem utilizados para as avaliações de IQA devem estar relacionados aos usos dessa bacia, outra abordagem é usar números e tipos de parâmetros variáveis para calcular o CCME, em resposta aos estressores de origem humana no corpo d'água.

Assim utilizou-se os dados do Plano Diretor de Bacia do Comitê da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Pomba e Muriaé, no qual estava notificado e desenhado os principais usos e possíveis interferentes que poderiam vir a causar danos a qualidade da água da bacia. Além do plano diretor da bacia, alguns autores como veremos a seguir, descreveram grupos de contaminantes e condições físicas de relevo e o modelo de

apropriação do solo que propiciam impactos de forma negativa na qualidade da água da bacia do rio Pomba e que também serviram de referência para a definição dos parâmetros utilizados nesse trabalho.

Silva (2014) descreveu a bacia hidrográfica do rio Pomba como sendo de relevo ondulado (56,5%) a forte ondulado (16,9%), logo o escoamento superficial se dará com maior facilidade, proporcionando maior risco de erosão e conseqüentemente contaminação das águas. CEIVAP (2006) descreveu a ausência de grandes florestas na parte mineira da bacia, e o grande desenvolvimento da agricultura e pecuária na região, que na sua maioria o manejo se faz de modo inadequado de uso e conservação, que proporcionam uma alta taxa de vulnerabilidade à erosão.

Ruas (2006) em estudo no rio Paraopeba, um dos afluentes a margem esquerda do rio Pomba, identificou Fósforo (PT), Nitrogênio (N), altas taxas de DBO e de coliformes totais, provenientes de atividade da pecuária, principalmente no fim do período chuvoso.

Em outro estudo, Soares et al. (2007) investigaram a ocorrência de cianobactérias no leito principal do rio Pomba, próximos aos municípios do Médio Pomba, nas cidades de Mercês e Guarani e verificaram um elevado aumento de biomassa de cianobactérias, nas estações mais chuvosas do ano.

As atividades de mineração não ocupam lugar de destaque como grande influenciadora de contaminantes, ainda assim se faz presente em 683 hectares na bacia, 0,08% da área (CETEM, 2012). Em trabalho desenvolvido por Oliveira et al. (2018) foi detectado um elevado teor em parâmetros como Ferro (Fe), o que foi considerado comum, pois está associado às características dos solos da região. Nesse mesmo trabalho, outro elemento também encontrado, ainda que em menor quantidade quando comparado com o Ferro, foi o Manganês (Mn), os autores argumentaram que a presença desses dois minerais está relacionada a pedologia dos solos da região, e estão envolvidos aos processos erosivos e ao uso e cobertura do solo.

Para o Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul – CEIVAP (2006), a questão do saneamento na bacia hidrográfica do rio Pomba é sem dúvida umas das mais preocupantes, sendo que todos os esgotos domésticos produzidos dentro da área da bacia são lançados na sua maioria diretamente nos cursos de água sem nenhuma forma de tratamento.

Um ponto importante na definição dos parâmetros para uso do índice CCME, está nas considerações e ressalvas quanto a utilização quantitativa dos dados, devendo observar o uso de no mínimo oito e de no máximo 20 parâmetros no cálculo (CCME, 2017).

Tomar o devido cuidado para garantir que os parâmetros selecionados não tenham o mesmo impacto, expressando a mesma resposta, como por exemplo, pH e alcalinidade, ou turbidez e sólidos suspensos, e observar também que, a utilização de muitos parâmetros pode reduzir a importância de parâmetros individuais relevantes, ou no sentido inverso onde poucos parâmetros tendem a aumentar a importância de cada parâmetro, nos leva a concluir que para o sucesso da pesquisa deve haver um bom equilíbrio entre esses dois extremos, conforme destacado pelo CCME (CCME, 2017).

Entendendo que uma bacia hidrográfica deve propiciar os usos múltiplos, um aspecto a considerar, e que também contribuiu na escolha dos parâmetros, se dá pela criação de grupos de categorização de parâmetros quanto a origem da poluição (CCME, 2017). Esses grupos foram criados segundo os usos preponderantes da água do rio, onde cada categoria abrange um grupo de parâmetros que refletem a contaminação por uma fonte poluidora.

Considerando o uso e ocupação de solo da bacia do rio Pomba, bem como, dos possíveis contaminantes, a bacia se enquadra em três tipos básicos de categorias, que estão relacionadas a fonte de origem dos estressores, sendo sua origem: agrícola, pecuária e esgoto doméstico. Logo vale ressaltar que os parâmetros de cada categoria em muitas vezes estão relacionados entre si, a exemplo do fósforo que é encontrado na categoria “esgoto doméstico” e nas categorias de origem “agrícola e pecuária”.

Diante de todas as considerações anteriores os parâmetros selecionados e utilizados para o cálculo foram 16 no total, sendo eles: Alumínio Dissolvido (Al), Escherichia coli/coliformes termotolerantes (E. Coli), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Dureza Total (DT), Fenóis Totais (FT), Ferro Dissolvido (Fe), Fósforo Total (PT), Manganês Total (Mn), Nitratos (NO₃), Nitritos (NO₂), Nitrogênio Amoniacal Total (NH₃), Oxigênio Dissolvido (OD), Potencial Hidrogeniônico (pH), Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Surfactantes/Agentes Tensoativos (ATA), Turbidez (NTU).

A Resolução CONAMA N°357/2005, prevê a substituição do grupo coliformes termotolerantes pela Escherichia Coli de acordo com os limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

No estado de Minas Gerais a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH N° 01/08, também prevê a substituição do parâmetro coliforme termotolerantes pelo parâmetro Escherichia Coli de acordo com os mesmos limites já observados para o grupo coliformes termotolerantes.

Sendo assim a partir de 2013 o parâmetro Escherichia coli passou a ser avaliado em substituição aos coliformes termotolerantes, esse fato se deve em função de estudos recentes

demonstraram uma melhor capacidade da *E. coli* em demonstrar a origem fecal humana ou animal (IGAM, 2019).

Os parâmetros selecionados, com uma breve descrição das possíveis fontes de contaminação da bacia conforme mencionado nos parágrafos anteriores, são apresentados na tabela 14.

Tabela 14 - Parâmetros selecionados e suas possíveis origens (continua)

Parâmetro	Possíveis Fontes
Alumínio Dissolvido	Origem natural ou antropogênica (ROSALINO, 2011).
Demanda Bioquímica de Oxigênio	Matéria orgânica na água sob a forma de sólidos em suspensão ou dissolvidos, e tem origens dos despejos domésticos e industriais (SILVA, 2017).
Dureza Total	As fontes são dissolução de minerais contendo cálcio e magnésio, provenientes das rochas calcárias e dos despejos industriais (SILVA, 2017).
<i>Escherichia coli</i> ou Coliformes Termotolerantes	Efluente rural ou doméstico (provenientes do intestino humano e de outros animais) (SILVA, 2017).
Fenóis Totais	Indústrias de resíduos contendo compostos fenólicos de corantes, pesticidas, papel e celulose (RODRIGUES et al., 2010).
Ferro Dissolvido	Oriundos da dissolução de compostos dos solos e despejos industriais (SILVA, 2017).
Fósforo Total	Dissolução de compostos do solo e decomposição de matéria orgânica ou antropogênicas (despejos domésticos e industriais) (VON SPERLING, 1995).
Manganês Total	Lançamento de efluentes industriais e lixiviação de solos rurais e urbanos (SILVA, 2017).
Nitratos	As fontes de poluição por nitratos são os adubos incorporados ao solo para finalidades agrícolas e efluentes de estação de tratamento de esgoto (IAP, 2005).
Nitritos	Aparece em uma fase intermediária natural na oxidação da amônia. O nitrito formado é imediatamente oxidado para a forma de nitrato (IAP, 2005).
Nitrogênio Amoniacal Total	Origem natural ou antropogênica, é constituída por despejos domésticos e industriais, excrementos de animais e fertilizantes (VON SPERLING, 1995).
Oxigênio Dissolvido	Caracteriza os efeitos da poluição por despejos orgânicos (VON SPERLING, 1995).

Tabela 15 - Parâmetros selecionados e suas possíveis origens (conclusão)	
Parâmetro	Possíveis Fontes
Potencial Hidrogeniônico	O pH é influenciado pelos sólidos e gases dissolvidos na água de origem natural (dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica, fotossíntese) ou antrópica (despejos domésticos e industriais) (RUAS, 2006).
Sólidos Dissolvidos Totais	Lançamento de efluentes domésticos e industriais e lixiviação de solos rurais e urbanos (SILVA, 2017).
Agentes Tensoativos	Esgoto doméstico ou industrial (COLPANI, 2012).
Turbidez	Erosão de solos rurais ou urbanos, esgotos sanitários e diversos efluentes industriais também provocam elevações na turbidez das águas (IAP, 2005).

Fonte: O autor, 2021.

5.4 Verificação da Consistência dos Dados

Os dados na sua origem são dispostos em tabelas com muitas informações que dificultam uma pesquisa individual para cada dado apresentado, de modo que foi necessário aplicar algumas ferramentas do Excel que pudessem identificar e sinalizar de forma clara os locais das possíveis falhas de intervalo de medição ou valores que pudessem apresentar erros de digitação e que de alguma forma pudessem interferir nos cálculos. Como exemplo: o parâmetro alumínio que na tabela foi aplicado uma formatação condicional que realçou colorindo (célula em vermelho) um valor superestimado que serve de alerta para um possível erro (Figura 22).

Figura 22 - Modelo de formatação condicional aplicado ao alumínio

Ano	Alumínio	Turbidez	Condutividade	Temperatura	pH	Oxigênio Dissolvido	Amônia	Nitrito	Nitrato
2017	0,1	12	10,4	601,5	0,002	0,935	0,06	0,198	0,19
2017	0,023	5	13	12997	0,002	0,212	0,09	0,048	0,59
2017	34	27	15,1	12033	0,003	0,238	0,04	0,124	0,25
2017	0,1	41	19,5	24196	0,002	0,606	0,05	0,09	0,74
2017	0,123	39		24196	0,002	0,97	0,08	0,104	0,3
2017	0,1	30	28,2	24196	0,002	0,525	0,24	0,163	0,22
2017	0,041	70	63,2	24196	0,002	0,855	0,81	0,165	0,65
2017	0,045	61		24196	0,002	0,709	0,42	0,179	0,16
2017	0,1	32	27,7	14136	0,002	0,484	0,23	0,167	0,81
2017	0,046	46	50,8	2064	0,002	0,572	0,64	0,166	1,49
2017	0,065	32		2700	0,002	0,708	0,38	0,163	0,27
2017	0,1	16	20,9	171,2	0,002	0,609	0,06	0,049	0,9
2017	0,058	18	18,4	246,2	0,002	0,413	0,1	0,049	2,38
2017	0,086	28		157,9	0,002	0,492	0,11	0,07	0,88
2017	89	18	5,2	96,9	0,002	0,143	0,02	0,023	0,11
2017	0,02	18			0,002	0,198	0,02	0,017	0,64

Fonte: O autor, 2021.

Segundo Baba et. al (2014) os dados de um monitoramento devem passar por um processo de validação básica, onde é verificado a ocorrência de dados inconsistentes que ocasionalmente acontece devido a erros de leituras dos sensores de medição, problemas de calibração de aparelhos ou defeitos. Nesse trabalho a validação foi subdividida em três procedimentos, que são: a validação de limites, lógica e por comparação histórica.

Validação de limites: verifica-se os valores encontrados representam um valor possível para o parâmetro estudado. Por exemplo, o pH deve estar em uma faixa de 0 a 14. Um valor encontrado fora dessa faixa estaria incorreto. Nessa verificação levou-se em consideração somente a faixa normal do pH, valores extremos dentro da faixa foram observados na validação por comparação histórica.

Validação lógica: cada parâmetro tem sua unidade de medida, de modo que um parâmetro como a E. Coli (UFC) não pode ser confundida com o parâmetro Ferro (mg/L), assim o ferro jamais poderia gerar valores como 200.000 UFC.

Validação por comparação histórica: este procedimento identifica algum parâmetro que se diferencia drasticamente dos demais no período estudado, podendo ser definido como um valor fora do padrão. Por exemplo, valores de alumínio nunca apresentaram para o período estudado valores superiores a 1,0 mg/L. Nesse sentido verifica-se a condição de ocorrência, observando o histórico do ponto de monitoramento, ainda assim não deve ser

descartado, apenas apresentado como um dado suspeito de conter alguma falha, nesse sentido busca-se avaliar outras variáveis que confirmem a anomalia ou o descarte do valor.

Ao contrário de outros índices o CCME não impõe nenhum tipo de restrição decorrentes de falhas do monitoramento, portanto, as lacunas em branco nas tabelas não inviabilizaram os cálculos.

5.5 Definição dos Limites de Referência

Uma vez com os dados em mãos foi necessário definir o valor padrão de referência que seria utilizado para cada parâmetro, a fim de calcular o IQA-CCME.

Considerando a Constituição Federal, que no seu art. 20º e inciso III que define como bens da União; os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, e sabendo que o rio Pomba transcende a fronteira do estado de Minas Gerais, portanto um rio de dominialidade federal. Adotou-se para essa pesquisa os padrões de referência constantes da legislação federal CONAMA N° 357. Mesmo que embora exista no estado de Minas Gerais, a Deliberação Normativa Conjunta CERH-COPAM N° 01/2008 que trata do mesmo assunto, porém para rios de domínio do Estado.

Assim a Resolução CONAMA N° 357 além de ser uma norma federal é também a principal legislação brasileira sobre qualidade de água, que estabelece os limites individuais para os diversos parâmetros de acordo com a classe de enquadramento. Porém a bacia hidrográfica do rio Pomba ainda não tem um enquadramento definido pelo comitê de bacia, de modo que os limites de referência para cada parâmetro foram definidos com base no capítulo VI do art. 42º da Resolução CONAMA N°357, onde enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces superficiais serão consideradas de classe 2.

A tabela 15 demonstra os parâmetros utilizados com seus respectivos limites de concentração, conforme estabelece a legislação.

Tabela 16 - Apresentação dos limites utilizados neste estudo para cada parâmetro

Parâmetros de Qualidade de Água	Unidade	Limite para Classe 2
Alumínio Dissolvido (Al)	mg/L Al	0,1
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mg/L O ₂	5
Dureza Total (DT)	mg/L	500
<i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)	NMP/100 mL	≤1000
Fenóis Totais (FT)	mg/L C ₆ H ₅ OH	0,003
Ferro Dissolvido (Fe)	mg/L Fe	0,3
Fósforo Total (PT)	mg/L P	0,1
Manganês Total (Mn)	mg/L Mn	0,1
Nitratos (NO ₃)	mg/L N	10
Nitritos (NO ₂)	mg/L N	1
Nitrogênio Amoniacal Total (N-NH ₃)	mg/L N	OBS 1
Oxigênio Dissolvido (OD)	mg/L O ₂	≥ 5,0
Potencial Hidrogeniônico (pH)	-	OBS 2
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	mg/L	500
Agentes Tensoativos (ATA)	mg/L	0,5
Turbidez (NTU)	NTU	100

OBS.1 - Valor Máximo Permitido (VMP) - CONAMA 357 - 3,7 mg/L N para pH ≤ 7,5 - 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0 - 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 - 0,5 mg/L para pH > 8,5.

OBS.2 - CONAMA 357: 6,0 A 9,0.

Fonte: Adaptado pelo autor de CONAMA 357.

5.6 Obtenção de Dados de Vazão

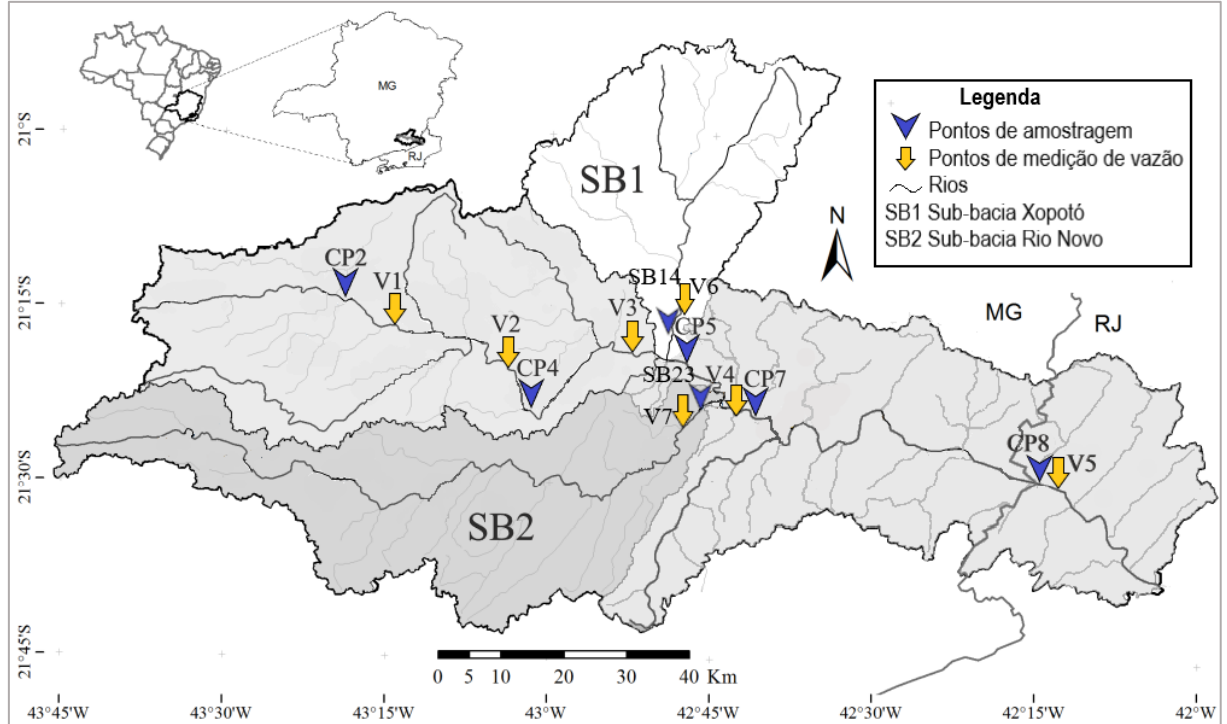
Para avaliar as relações entre os valores de IQA encontrados e as vazões correspondentes no momento de suas coletas, dados de vazões foram retiradas do banco de dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, através do portal Hidroweb, onde são disponibilizados dados de vazões médias diárias, máximas e mínimas.

A bacia hidrográfica do rio Pomba tem uma lista de 89 postos fluviométricos listados, porém apenas 54 ainda estão em operação, e somente 20 apresentam uma base de dados com histórico de medições de vazões, muitos foram desativados, porque os locais eram monitorados durante os projetos das usinas de geração de energia e com o enchimento dos reservatórios foram afogados (CESAR e HORA, 2016).

Ainda assim foi necessário considerar a consistência dos dados, e o tamanho do período de observação. Foi preciso observar ainda que os pontos de vazão devem ser

coincidentes com os pontos de monitoramento, ou próximo desses, de modo que não foi possível atender todos os pontos de monitoramento e fazer essa relação entre os dois dados. Sendo assim os pontos selecionados foram concatenados da seguinte forma CP2 e V1, CP4 e V2, CP5 e V3, CP7 e V4, CP8 e V5, SB14 e V6 e por fim SB23 e V7 (Figura 23), tendo a sua localização geográfica e os códigos das estações descritos na tabela 16.

Figura 23 - Distribuição dos pontos de vazão e amostragem concatenados



Fonte: O autor, 2020.

Tabela 17 - Pontos de medição de vazão

Código da Estação	Pontos de Monitoramento	Localização Geográfica	
		Latitude	Longitude
58710000	V1	-21,305	-43,199
58730001	V2	-21,356	-43,050
58735000	V3	-21,307	-42,862
58770000	V4	-21,389	-42,696
58790000	V5	-21,542	-42,181
58736000	V6	-21,298	-42,819
58765001	V7	-21,471	-42,829

Fonte: O autor, 2020.

5.7 Preparação das Planilhas Para o Cálculo do IQA

Para atingir os objetivos propostos para este trabalho, foram definidas diferentes estratégias de comparação dos dados, com a finalidade de melhor entendimento da influência dos estressores da qualidade da água. Os 16 parâmetros do escopo definidos anteriormente para o cálculo do IQA foram investigados da seguinte forma:

Primeiro passo: com os dados brutos baixados, já em planilhas do Excel, foram destacados (em azul) e selecionados todos os dados para os pontos de interesse da pesquisa, sendo os demais dados descartados (Figura 24).

Figura 24 - Dados brutos com planilha simplificada

Ano	Curso D'água	Descrição	Estado	Latitude	Longitude	Data de Amostragem	Hora de A	Alcalinida	Alumínio	Arsênio	Coliformes	Ferro
1998	Rio Pomba	Rio Pomba a jusant	Minas Gerais	-21,23	-43,32	12/03/1998	09:00	13		0,0003	9000	0,36
1998	Rio Pomba	Rio Pomba a jusant	Minas Gerais	-21,23	-43,32	31/08/1998	13:00	14		0,0003	3500	0,69
1998	Rio Pomba	Rio Pomba a jusant	Minas Gerais	-21,23	-43,32	01/12/1998	12:30				24000	0,45
1998	Ribeirão Meia Pata	Ribeirão Meia Pata	Minas Gerais	-21,38	-42,69	27/02/2000	09:40	24,8	3,12	0,0003	160000	0,68
1998	Ribeirão Meia Pata	Ribeirão Meia Pata	Minas Gerais	-21,38	-42,69	23/05/2000	10:20		0,85		160000	0,39
1998	Ribeirão Meia Pata	Ribeirão Meia Pata	Minas Gerais	-21,38	-42,69	22/08/2000	10:55	45,6	1,06	0,0003	160000	0,59
1998	Ribeirão Ubá	Rio Ubá a jusante d	Minas Gerais	-21,14	-42,88	12/03/1998	09:00		51	0,0003	24000	0,05
1998	Ribeirão Ubá	Rio Ubá a jusante d	Minas Gerais	-21,14	-42,88	31/08/1998	14:45	73,2		0,0003	90000	2,1
1998	Ribeirão Ubá	Rio Ubá a jusante d	Minas Gerais	-21,14	-42,88	01/12/1998	14:20				160000	

Fonte: O autor, 2020.

Segundo passo: depois que todos os dados dos pontos de interesse foram selecionados e agrupados para toda a série de monitoramento (Figura 25), foi a vez de selecionar (em azul) os parâmetros que seriam utilizados, esses já definidos anteriormente (Figura 24). Sendo os demais parâmetros desconsiderados.

Figura 25 - Dados de parâmetros com planilha simplificada

Ano	Curso D'água	Descrição	Estado	Latitude	Longitude	Data de Amostragem	Hora de A	Alcalinida	Alumínio	Arsênio	Coliformes	Ferro
1998	Rio Pomba	Rio Pomba a jusant	Minas Gerais	-21,23	-43,32	12/03/1998	09:00	13		0,0003	9000	0,36
1998	Rio Pomba	Rio Pomba a jusant	Minas Gerais	-21,23	-43,32	31/08/1998	13:00	14		0,0003	3500	0,69
1998	Rio Pomba	Rio Pomba a jusant	Minas Gerais	-21,23	-43,32	01/12/1998	12:30				24000	0,45
1999	Rio Pomba	Rio Pomba a jusant	Minas Gerais	-21,23	-43,32	31/03/1999	14:00	13,4		0,0003	17000	0,18
1999	Rio Pomba	Rio Pomba a jusant	Minas Gerais	-21,23	-43,32	24/05/1999	12:20				300	0,21
1999	Rio Pomba	Rio Pomba a jusant	Minas Gerais	-21,23	-43,32	30/08/1999	11:30	14,3	0,16	0,0003	13000	0,12
1999	Rio Pomba	Rio Pomba a jusant	Minas Gerais	-21,23	-43,32	22/11/1999	11:35				17000	0,35
2000	Rio Pomba	Rio Pomba a jusant	Minas Gerais	-21,23	-43,32	25/02/2000	11:10	7,9	28,15	0,0003	90000	0,14
2000	Rio Pomba	Rio Pomba a jusant	Minas Gerais	-21,23	-43,32	22/05/2000	12:10				17000	0,12
2000	Rio Pomba	Rio Pomba a jusant	Minas Gerais	-21,23	-43,32	21/08/2000	12:40	13,9	1,01	0,0003	11000	0,16
2000	Rio Pomba	Rio Pomba a jusant	Minas Gerais	-21,23	-43,32	07/11/2000	14:15				17000	0,29

Fonte: O autor, 2020.

A partir desse ponto os dados receberam 3 (três) tratamentos diferentes através de modelos diferentes de cálculos do IQA, que melhor refletiram o comportamento da bacia

hidrográfica frente aos seus estressores, e que possibilitou uma melhor visualização da evolução da qualidade da água para o período estudado.

Formato 1. Cálculo do IQA por ponto para cada ano de monitoramento

Os dados foram movidos e transpostos para uma nova planilha no sentido horizontal, separados por blocos pelo total de campanhas realizadas em cada ano. O ponto está destacado na planilha (célula em laranja na figura 26), o ano de medição na parte superior (linha em cinza na figura 26) e os parâmetros na primeira coluna destacados (células em lilás na figura 26). Nas demais colunas (células na cor branca) correspondem aos semestres do ano e seus respectivos valores de medição em cada parâmetro utilizado no cálculo. Esse modelo foi repetido para cada ano de medição para todos os pontos.

Figura 26 - Modelo dos dados para cálculo IQA individual

CP1	1998				CP1	1999			
Parâmetros	1º sem	2º sem	3º sem	4º sem	Parâmetros	1º sem	2º sem	3º sem	4º sem
Alumínio Dissolvido	0,01	0,01	0,01	0,01	Alumínio Dissolvido	0,02	0,01	0,01	0,02
DBO	2	2	2	3	DBO	3	2	3	3
Dureza Total	11,5	10,1	8,5	4,5	Dureza Total	11,4	9,8	10,6	2,5
Coliformes Termotolerantes	5815	7735,5	4404,1667	1864,833	Coliformes Termotolerantes	5815	7735,5	4404,1667	1864,8333
Fénois Totais	0,001	0,002	0,001	0,001	Fénois Totais	0,001	0,001	0,001	0,002
Ferro Dissolvido	0,18	0,21	0,12	0,35	Ferro Dissolvido	0,14	0,12	0,16	0,29
Fósforo Total	0,05	0,04	0,06	0,12	Fósforo Total	0,69	0,02	0,04	0,09
Manganês Total	0,07	0,03	0,05	0,3	Manganês Total	0,37	0,03	0,06	0,032
Nitratos	0,11	0,04	0,08	0,17	Nitratos	0,008	0,017	0,235	0,01
Nitritos	0,007	0,002	0,011	0,01	Nitritos	0,1	0,1	0,3	0,1
Nitrogênio Amoniacal Total	0,1	0,1	0,1	0,1	Nitrogênio Amoniacal Total	0,1	0,1	0,3	0,1
Oxigênio Dissolvido - OD	6,8	8,3	7,6	7	Oxigênio Dissolvido - OD	6,4	9,4	8,2	7,7
pH	6,2	7,9	7,1	6,9	pH	6,5	7	7,03	6,7
Sólidos Dissolvidos Totais	32	29	36	44	Sólidos Dissolvidos Totais	65	34	21	46
Surfactantes - ATA	0,05	0,01	0,05	0,01	Surfactantes - ATA	0,05	0,05	0,05	0,05
Turbidez	18,70	4,52	2,64	28,80	Turbidez	439,00	23,00	12,10	31,60

Fonte: O autor, 2021.

Com os dados formatados nas tabelas como descrito anteriormente, foi verificado a consistência dos dados expressados em cada tabela, no sentido de identificar possíveis erros de digitação ou até mesmo no modo de expressar os resultados, como diferença de vírgulas e pontos, e a coerência dos dados para cada parâmetro. Campos em branco sem informação são campos onde não houve coleta naquele período, por algum motivo não informado nos relatórios de monitoramento, o que também não comprometem a aplicação do método escolhido para este trabalho.

Na sequência foi feita a aplicação dos cálculos do IQA para cada ponto de monitoramento, sendo o resultado o valor do IQA correspondente ao ponto em cada ano de monitoramento.

Formato 2. Cálculo do IQA da bacia por ano de monitoramento

Nesse modelo de cálculo, agregou-se todos os dados de todos os pontos de monitoramento selecionados neste trabalho para determinado ano de medição, assim para o ano de 1998 ficaram conforme destaque em azul para o ano e amarelo para os pontos na figura 27.

De modo que a análise fosse feita, não para o ponto específico, mas sim pelo ano de referência, de forma a evidenciar como o IQA da bacia se comportou naquele ano para todos os pontos monitorados na bacia. Após essa agregação foram aplicados os cálculos do IQA e como resultado o valor de IQA da bacia para o ano de 1998.

Figura 27 - Planilha simplificada com dados monitorados para o ano de 1998

Parâmetros	CP1				CP2				CP3				CP4			
	1998				1998				1998				1998			
	1º sem	2º sem	3º sem	4º sem	1º sem	2º sem	3º sem	4º sem	1º sem	2º sem	3º sem	4º sem	1º sem	2º sem	3º sem	4º sem
Alumínio Dissolvido	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02
DBO	2	2	2	3	3	2	3	3	2	3	2	2	3	3	2	2
Dureza Total	11,5	10,1	8,5	4,5	11,4	9,8	10,6	2,5	15	8,5	15,8	8,5	9,6	9,8	9,8	2,5
Coliformes Termotolerantes	5815	7735,5	4404,17	1864,8	5815	7735,5	4404,17	1864,83	5815	7735,5	4404,17	1864,83	5815	7735,5	4404,17	1864,83
Fénois Totais	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,003	0,003	0,003	0,001	0,001
Ferro Dissolvido	0,18	0,21	0,12	0,35	0,14	0,12	0,16	0,29	0,24	0,17	0,19	0,41	0,36	0,17	0,26	0,38
Fósforo Total	0,05	0,04	0,06	0,12	0,69	0,02	0,04	0,09	0,05	0,05	0,04	0,07	0,04	0,04	0,03	0,09
Manganês Total	0,07	0,03	0,05	0,3	0,37	0,03	0,06	0,032	0,07	0,05	0,036	0,6	0,108	0,123	0,044	0,032
Nitratos	0,11	0,04	0,08	0,17	0,008	0,017	0,235	0,01	0,005	0,008	0,01	0,006	0,16	0,16	0,19	0,18
Nitritos	0,007	0,002	0,011	0,01	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,005	0,008	0,009	0,002
Nitrogênio Amoniacal Total	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Oxigênio Dissolvido - OD	6,8	8,3	7,6	7	6,4	9,4	8,2	7,7	7,4	8,6	7,9	7,5	7,4	8	8,3	6,8
pH	6,2	7,9	7,1	6,9	6,5	7	7,03	6,7	6,72	6,33	6,69	6,23	6,65	6,18	6,56	6,3
Sólidos Dissolvidos Totais	32	29	36	44	65	34	21	46	27	42	38	62	49	37	38	32
Surfactantes - ATA	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,02	0,08	0,02	0,05	0,03	0,05	0,20
Turbidez	18,70	4,52	2,64	28,80	439,00	23,00	12,10	31,60	38,40	10,10	6,67	60,90	48,90	9,00	9,64	6,98

Fonte: O autor, 2020.

Seguindo esse modelo de cálculo, o procedimento foi repetido sucessivamente até o ano de 2019 (Figura 28). Ao final de cada agregado anual a aplicação novamente dos cálculos resultou em um valor de IQA da bacia hidrográfica no ano correspondente.

Figura 28 - Planilha simplificada dados agregados para o ano de 1999

Parâmetros	CP1				CP2				CP3				CP4			
	1999				1999				1999				1999			
	1º sem	2º sem	3º sem	4º sem	1º sem	2º sem	3º sem	4º sem	1º sem	2º sem	3º sem	4º sem	1º sem	2º sem	3º sem	4º sem
Alumínio Dissolvido	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02
DBO	2	2	2	3	3	2	3	3	2	3	2	2	3	3	2	2
Dureza Total	11,5	10,1	8,5	4,5	11,4	9,8	10,6	2,5	15	8,5	15,8	8,5	9,6	9,8	9,8	2,5
Coliformes Termotolerantes	5815	7735,5	4404,17	1864,8	5815	7735,5	4404,17	1864,83	5815	7735,5	4404,17	1864,83	5815	7735,5	4404,17	1864,83
Fénois Totais	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,003	0,003	0,003	0,001	0,001
Ferro Dissolvido	0,18	0,21	0,12	0,35	0,14	0,12	0,16	0,29	0,24	0,17	0,19	0,41	0,36	0,17	0,26	0,38
Fósforo Total	0,05	0,04	0,06	0,12	0,69	0,02	0,04	0,09	0,05	0,05	0,04	0,07	0,04	0,04	0,03	0,09
Manganês Total	0,07	0,03	0,05	0,3	0,37	0,03	0,06	0,032	0,07	0,05	0,036	0,6	0,108	0,123	0,044	0,032
Nitratos	0,11	0,04	0,08	0,17	0,008	0,017	0,235	0,01	0,005	0,008	0,01	0,006	0,16	0,16	0,19	0,18
Nitritos	0,007	0,002	0,011	0,01	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,005	0,008	0,009	0,002
Nitrogênio Amoniacal Total	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Oxigênio Dissolvido - OD	6,8	8,3	7,6	7	6,4	9,4	8,2	7,7	7,4	8,6	7,9	7,5	7,4	8	8,3	6,8
pH	6,2	7,9	7,1	6,9	6,5	7	7,03	6,7	6,72	6,33	6,69	6,23	6,65	6,18	6,56	6,3
Sólidos Dissolvidos Totais	32	29	36	44	65	34	21	46	27	42	38	62	49	37	38	32
Surfactantes - ATA	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,02	0,08	0,02	0,05	0,03	0,05	0,20
Turbidez	18,70	4,52	2,64	28,80	439,00	23,00	12,10	31,60	38,40	10,10	6,67	60,90	48,90	9,00	9,64	6,98

Fonte: O autor, 2020.

Formato 3. Cálculo do IQA por subtrecho acumulado da bacia

Nesse formato foi preciso levar em consideração que alguns pontos de monitoramento contêm dados somente a partir de 2010, nesse sentido com intuito de fazer uma padronização dos dados de cada ponto, esse modelo foi confeccionado com os dados de todos os pontos, a partir do ano de 2010. Nesse formato os dados de cada ano dos pontos de monitoramento, vão se acumulando, conforme vai descendo o rio que se está avaliando.

Sendo assim os dados foram transpostos para uma nova planilha no sentido horizontal, onde o ponto foi nomeado e destacado (célula em laranja na figura 29). Ficando na segunda coluna os parâmetros selecionados anteriormente (célula em verde na figura 29) e na sequência os valores correspondentes de cada ano de amostragem. Na parte superior da tabela ficaram as identificações dos anos de medição (linha em cinza na figura 29) e nas linhas abaixo os dados dos semestres com seus correspondentes valores de medição (Figura 29).

Também foi adicionado uma nomenclatura de identificação para na primeira coluna denominada de AC1. Esse modelo foi repetido para todos os demais pontos de monitoramento entre o ano de 2010 e 2019.

Figura 29 - Planilha simplificada do modelo do ponto AC1

	CP1	2010				2011				2012				2013				
	Parâmetros	1º sem	2º sem	3º sem	4º sem	1º sem	2º sem	3º sem	4º sem	1º sem	2º sem	3º sem	4º sem	1º sem	2º sem	3º sem	4º sem	
AC1	Alumínio Dissolvido	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02
	DBO	2	2	2	3	3	2	3	3	2	3	2	2	3	3	2	2	2
	Dureza Total	11,5	10,1	8,5	4,5	11,4	9,8	10,6	2,5	15	8,5	15,8	8,5	9,6	9,8	9,8	9,8	2,5
	Coliformes Termotolerantes	5815	7735,5	4404,17	1864,8	5815	7735,5	4404,2	1864,83	5815	7735,5	4404,17	1864,83	5815	7735,5	4404,17	1864,83	1864,83
	Fénois Totais	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,001	0,001
	Ferro Dissolvido	0,18	0,21	0,12	0,35	0,14	0,12	0,16	0,29	0,24	0,17	0,19	0,41	0,36	0,17	0,26	0,38	0,38
	Fósforo Total	0,05	0,04	0,06	0,12	0,69	0,02	0,04	0,09	0,05	0,05	0,04	0,07	0,04	0,04	0,03	0,09	0,09
	Manganês Total	0,07	0,03	0,05	0,3	0,37	0,03	0,06	0,032	0,07	0,05	0,036	0,6	0,108	0,123	0,044	0,032	0,032
	Nitratos	0,11	0,04	0,08	0,17	0,008	0,017	0,235	0,01	0,005	0,008	0,01	0,006	0,16	0,16	0,19	0,18	0,18
	Nitritos	0,007	0,002	0,011	0,01	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,005	0,008	0,009	0,002	0,002
	Nitrogênio Amoniacal Total	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Oxigênio Dissolvido - OD	6,8	8,3	7,6	7	6,4	9,4	8,2	7,7	7,4	8,6	7,9	7,5	7,4	8	8,3	6,8	6,8
	pH	6,2	7,9	7,1	6,9	6,5	7	7,03	6,7	6,72	6,33	6,69	6,23	6,65	6,18	6,56	6,3	6,3
	Sólidos Dissolvidos Totais	32	29	36	44	65	34	21	46	27	42	38	62	49	37	38	32	32
	Surfactantes - ATA	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,02	0,08	0,02	0,05	0,03	0,05	0,20	0,20
	Turbidez	18,70	4,52	2,64	28,80	439,00	23,00	12,10	31,60	38,40	10,10	6,67	60,90	48,90	9,00	9,64	6,98	6,98

Fonte: O autor, 2020.

Na sequência foi feita a separação dos dados por cada ano e a aplicação dos cálculos do índice de qualidade de água para o ponto CP1 em todos os anos da série, sendo o resultado o valor do IQA correspondente ao ponto AC1 (Figura 30).

Figura 30 - Planilha simplificada com separação dos dados por cada ano no ponto AC1

		CP1				CP1					
AC1	Parâmetros	2010				AC1	Parâmetros	2011			
		1º sem	2º sem	3º sem	4º sem			1º sem	2º sem	3º sem	4º sem
	Alumínio Dissolvido	0,01	0,01	0,01	0,01		Alumínio Dissolvido	0,02	0,01	0,01	0,02
	DBO	2	2	2	3		DBO	3	2	3	3
	Dureza Total	11,5	10,1	8,5	4,5		Dureza Total	11,4	9,8	10,6	2,5
	Coliformes Termotolerantes	5815	7735,5	4404,17	1864,8		Coliformes Termotolerantes	5815	7735,5	4404,17	1864,83
	Fénois Totais	0,001	0,002	0,001	0,001		Fénois Totais	0,001	0,001	0,001	0,002
	Ferro Dissolvido	0,18	0,21	0,12	0,35		Ferro Dissolvido	0,14	0,12	0,16	0,29
	Fósforo Total	0,05	0,04	0,06	0,12		Fósforo Total	0,69	0,02	0,04	0,09
	Manganês Total	0,07	0,03	0,05	0,3		Manganês Total	0,37	0,03	0,06	0,032
	Nitratos	0,11	0,04	0,08	0,17		Nitratos	0,008	0,017	0,235	0,01
	Nitritos	0,007	0,002	0,011	0,01		Nitritos	0,1	0,1	0,3	0,1
	Nitrogênio Amoniacal Total	0,1	0,1	0,1	0,1		Nitrogênio Amoniacal Total	0,1	0,1	0,3	0,1
	Oxigênio Dissolvido - OD	6,8	8,3	7,6	7		Oxigênio Dissolvido - OD	6,4	9,4	8,2	7,7
	pH	6,2	7,9	7,1	6,9		pH	6,5	7	7,03	6,7
	Sólidos Dissolvidos Totais	32	29	36	44		Sólidos Dissolvidos Totais	65	34	21	46
	Surfactantes - ATA	0,05	0,01	0,05	0,01		Surfactantes - ATA	0,05	0,05	0,05	0,05
	Turbidez	18,70	4,52	2,64	28,80		Turbidez	439,00	23,00	12,10	31,60

Fonte: O autor, 2021.

Para o próximo ponto CP2, além dos dados resultantes para o ponto CP2, agregou-se os valores do ponto a montante na bacia, o ponto CP1, logo o IQA calculado aqui foi denominado de AC2 e é o resultado do cálculo do IQA da junção dos parâmetros para os dois pontos CP1 e CP2 (Figura31).

Figura 31 - Planilha simplificada da junção dos pontos CP1 e CP2

		CP1				CP2			
AC2	Parâmetros	2010				2010			
		1º sem	2º sem	3º sem	4º sem	1º sem	2º sem	3º sem	4º sem
	Alumínio Dissolvido	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02
	DBO	2	2	2	3	3	2	3	3
	Dureza Total	11,5	10,1	8,5	4,5	11,4	9,8	10,6	2,5
	Coliformes Termotolerantes	5815	7735,5	4404,17	1864,83	5815	7735,5	4404,17	1864,83
	Fénois Totais	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002
	Ferro Dissolvido	0,18	0,21	0,12	0,35	0,14	0,12	0,16	0,29
	Fósforo Total	0,05	0,04	0,06	0,12	0,69	0,02	0,04	0,09
	Manganês Total	0,07	0,03	0,05	0,3	0,37	0,03	0,06	0,032
	Nitratos	0,11	0,04	0,08	0,17	0,008	0,017	0,235	0,01
	Nitritos	0,007	0,002	0,011	0,01	0,1	0,1	0,3	0,1
	Nitrogênio Amoniacal Total	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1
	Oxigênio Dissolvido - OD	6,8	8,3	7,6	7	6,4	9,4	8,2	7,7
	pH	6,2	7,9	7,1	6,9	6,5	7	7,03	6,7
	Sólidos Dissolvidos Totais	32	29	36	44	65	34	21	46
	Surfactantes - ATA	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,05	0,05	0,05
	Turbidez	18,70	4,52	2,64	28,80	439,00	23,00	12,10	31,60

Fonte: O autor, 2020.

Dando sequência na metodologia, para o ponto CP3 agregou-se os pontos CP1 e CP2 de modo que o valor de AC3 é a agregação dos três pontos (Figura 32). Adiante conforme os pontos anteriores, também foram aplicados o cálculo de IQA.

Figura 32 - Planilha simplificada com dados dos pontos CP1, CP2 e CP3

		CP1				CP2				CP3			
AC3	Parâmetros	2010				2010				2010			
		1º sem	2º sem	3º sem	4º sem	1º sem	2º sem	3º sem	4º sem	1º sem	2º sem	3º sem	4º sem
	Alumínio Dissolvido	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
	DBO	2	2	2	3	3	2	3	3	2	3	2	2
	Dureza Total	11,5	10,1	8,5	4,5	11,4	9,8	10,6	2,5	15	8,5	15,8	8,5
	Coliformes Termotolerantes	5815	7735,5	4404,17	1864,83	5815	7735,5	4404,17	1864,83	5815	7735,5	4404,17	1864,83
	Fénois Totais	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,003
	Ferro Dissolvido	0,18	0,21	0,12	0,35	0,14	0,12	0,16	0,29	0,24	0,17	0,19	0,41
	Fósforo Total	0,05	0,04	0,06	0,12	0,69	0,02	0,04	0,09	0,05	0,05	0,04	0,07
	Manganês Total	0,07	0,03	0,05	0,3	0,37	0,03	0,06	0,032	0,07	0,05	0,036	0,6
	Nitratos	0,11	0,04	0,08	0,17	0,008	0,017	0,235	0,01	0,005	0,008	0,01	0,006
	Nitritos	0,007	0,002	0,011	0,01	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Nitrogênio Amoniacal Total	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Oxigênio Dissolvido - OD	6,8	8,3	7,6	7	6,4	9,4	8,2	7,7	7,4	8,6	7,9	7,5
	pH	6,2	7,9	7,1	6,9	6,5	7	7,03	6,7	6,72	6,33	6,69	6,23
	Sólidos Dissolvidos Totais	32	29	36	44	65	34	21	46	27	42	38	62
	Surfactantes - ATA	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,02	0,08	0,02
	Turbidez	18,70	4,52	2,64	28,80	439,00	23,00	12,10	31,60	38,40	10,10	6,67	60,90

Fonte: O autor, 2020.

Sucessivamente utilizando-se do mesmo modelo de geração de dados agregados demonstrados anteriormente foram replicados para todos os demais pontos até o ponto CP8.

Vale destacar que a partir do ponto CP5 também foram agregados todos os dados dos pontos da sub-bacia Xopotó (SB1), e o mesmo acontecendo a partir do ponto CP7 que além de agregar todos os valores anteriores da calha principal (CP) e da sub-bacia Xopotó (SB1), teve também agregados os valores da sub-bacia Rio Novo (SB2). Os modelos de agregação dos pontos estão relacionados conforme tabela 17, onde (X) representa os pontos no qual foram agregados para formar os pontos acumulados.

Tabela 18 - Formato de agregação de dados

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	SB11	SB12	SB13	SB14	CP6	CP7	SB21	SB22	SB23	CP8
AC1	X														
AC2	X	X													
AC3	X	X	X												
AC4	X	X	X	X											
AC5	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
AC6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
AC7	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
AC8	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fonte: O autor, 2021.

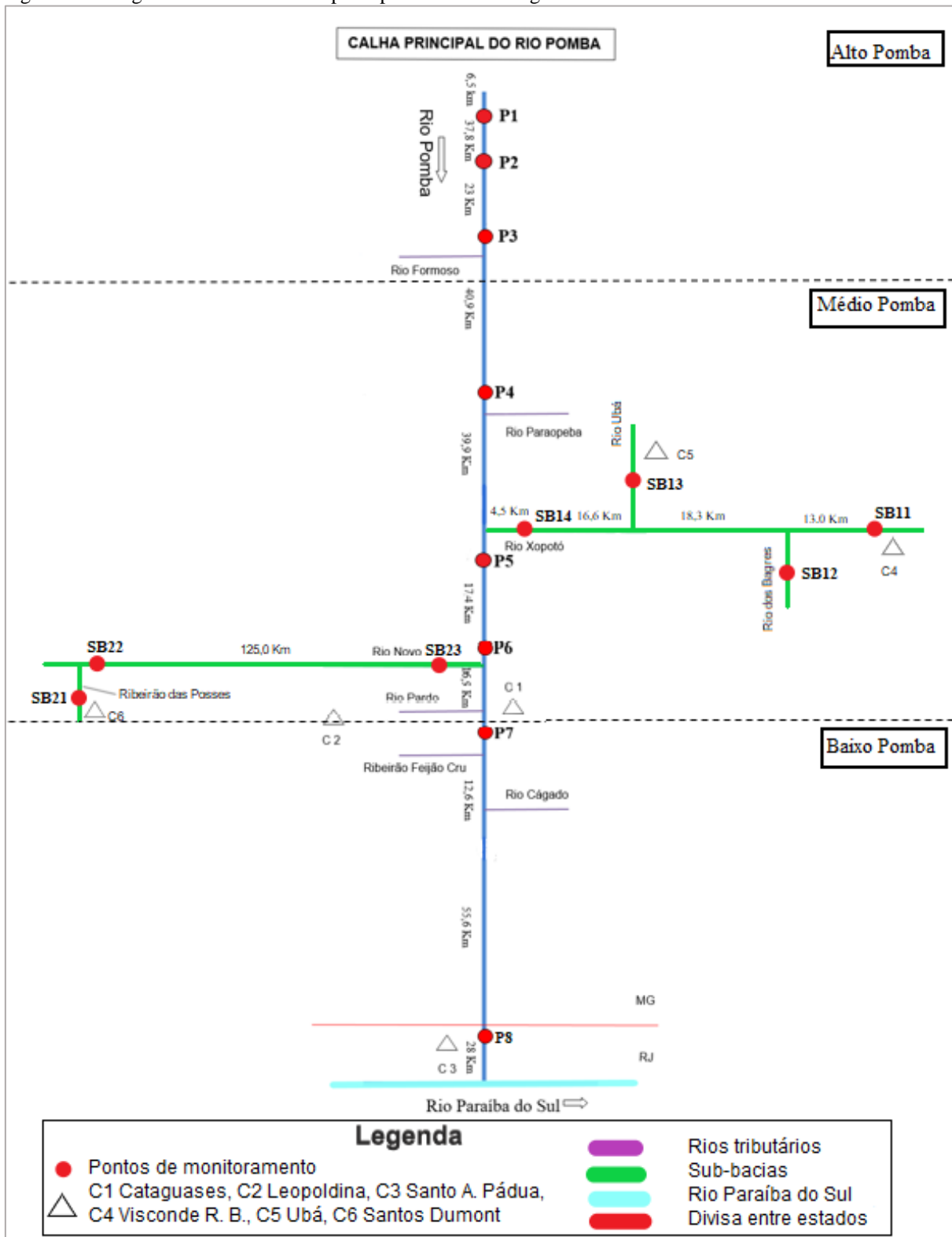
5.8 Cálculo do IQA

Após a última etapa de preparação das planilhas dos dados, o IQA-CCME foi calculado em planilhas básicas do Excel para os diferentes modelos de tratamento dos dados proposto neste trabalho, e tendo como limites para cada parâmetro analisado os valores da Resolução CONAMA 357 para classe 2, como definido anteriormente. Assim a partir dos resultados dos cálculos, foram gerados gráficos de modo se obter uma visualização dos resultados. Os gráficos ainda possibilitam verificar os pontos da bacia hidrográfica que necessitam de maior controle para atender aos padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 357.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para uma melhor visualização esquemática da bacia hidrográfica foi construído o diagrama unifilar, onde podem ser identificadas as estações de monitoramento utilizadas neste estudo, a distância entre cada estação, a localização geográfica das principais cidades da bacia, bem como a localização das estações e a relação com as duas sub-bacias avaliadas (Figura 33).

Figura 33 - Diagrama unifilar da calha principal da bacia hidrográfica do rio Pomba



Fonte: O autor, 2021.

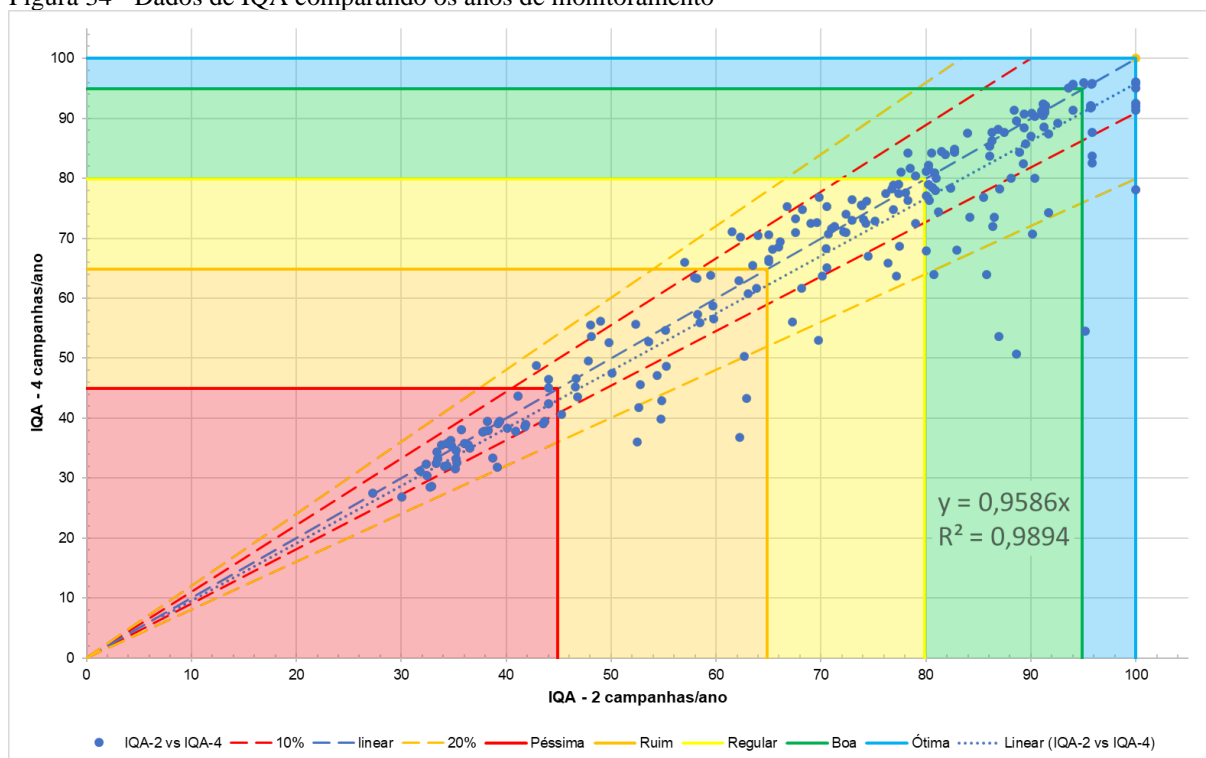
Formato 1. Cálculo do IQA por ponto para cada ano de monitoramento

- Influência do número de campanhas anuais:

Para esse formato foi necessário que houvesse uma padronização dos dados de monitoramento com relação ao número de campanhas ano, os pontos CP1, CP3, CP5 e SB12 possui apenas dados com duas campanhas ano, entretanto o CCME (2017) recomenda-se a utilização de no mínimo 4 campanhas por ano, com o intuito de que todas as variações de ocorrências no trecho estudado sejam capturadas, muito embora o próprio CCME faça a observação de que em algumas situações esse número de campanhas pode ser menor do que 4, desde que as variações hidrológicas no ponto de monitoramento sejam bem compreendidas, de modo que não sofram grandes variações ao longo do tempo.

Assim foi feita uma avaliação das variações de cálculo do IQA para 2 campanhas e 4 campanhas anuais, e quais seriam as influências encontradas, a fim de possibilitar a escolha do número de campanhas ano a ser utilizado no trabalho. Para isso o IQA foi calculado normalmente para os pontos com 4 campanhas ano e também calculado normalmente, a partir dos pontos que só apresentaram dados de 2 campanhas ano, de modo que o resultado foi comparado em um gráfico de dispersão, que avaliou todos os pontos de monitoramento nessa situação (Figura 34).

Figura 34 - Dados de IQA comparando os anos de monitoramento



Fonte: O autor, 2021.

Conforme os dados apresentados na figura 34, as oscilações entre os dados com duas e quatro campanhas de monitoramento ao ano tiveram uma variação pequena, com aproximadamente 2,7 % de desvio no coeficiente angular alfa ($43,79^\circ$), em relação ao ideal, de modo que pode-se concluir que a diminuição do número de campanhas anuais não compromete a utilização no cálculo do IQA e a comparação dos dados, sendo assim foi possível utilizar todas as campanhas do monitoramento para os pontos de amostragem, independente se foram realizados quatro ou duas campanhas ao ano, sem comprometimento do resultado final.

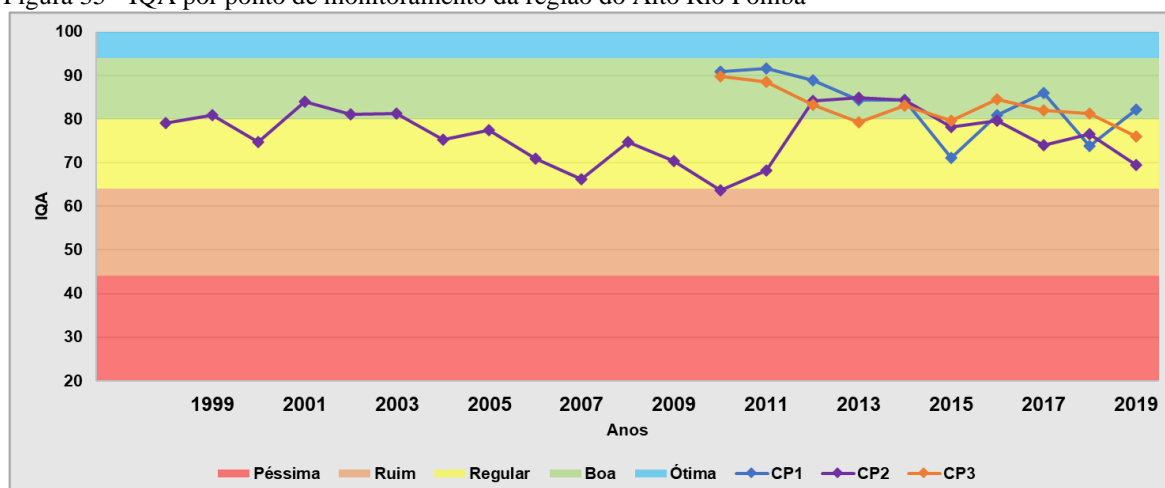
Todos os gráficos serão apresentados separados por regiões da bacia hidrográficas: Alto Pomba, Médio Pomba, Baixo Pomba e sub-bacias Xopotó e Rio Novo.

- Resultados dos cálculos do IQA para o trecho Alto Pomba:

Para a região do Alto Pomba os dados são de três pontos de monitoramento, sendo o ponto CP2 com dados a partir do ano de 1998 e os pontos CP1 e CP3 com dados a partir do ano 2010.

Analisando os dados da região do Alto Pomba, percebe-se oscilações nas linhas do IQA, porém de pouca influência no resultado geral. Há um equilíbrio entre uma água na faixa de regular a boa qualidade para todos os três pontos. Ter uma água de boa qualidade nessa região é reflexo do ponto onde os dados são colhidos, os pontos de monitoramento ficam na região de maior altitude dentro da bacia hidrográfica, próximas as nascentes e, portanto, com uma água próxima das suas características naturais, muito embora é importante dizer que a região já sofre da influência da agricultura e pecuária. Outro dado que favorece essa faixa de qualidade, é o motivo de ainda não apresentarem muitos centros urbanos como agentes estressores da qualidade (Figura 35).

Figura 35 - IQA por ponto de monitoramento da região do Alto Rio Pomba

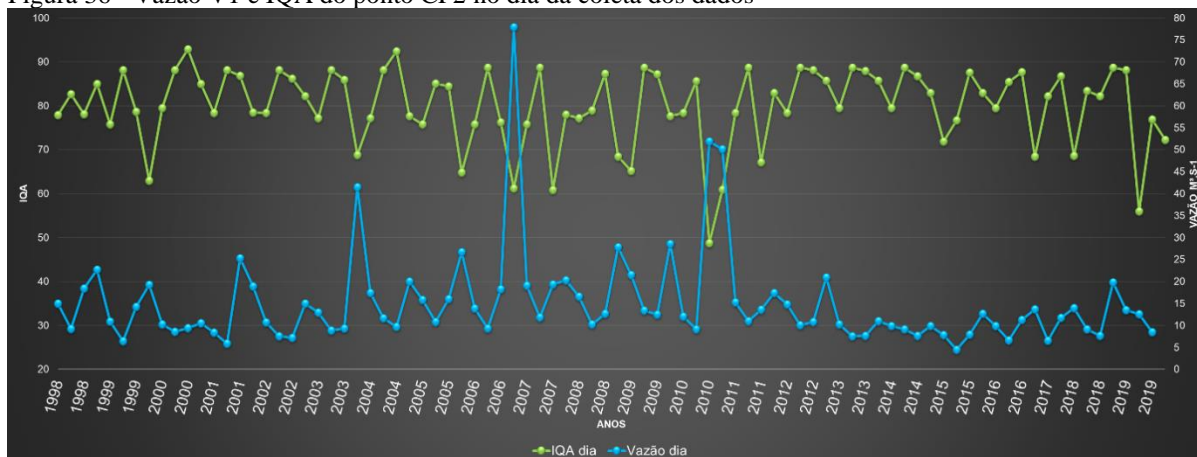


Fonte: O autor, 2021.

Para um melhor entendimento das oscilações do IQA e sua relação com a vazão, foram confeccionados alguns gráficos que comparam o IQA e vazão, a fim de estabelecer a influência da vazão no dia da coleta ao IQA somente daquela data, desse modo o IQA foi feito frente a vazão média da data de coleta. Para a escolha do ponto de monitoramento levou-se em consideração o ponto de vazão disponível e sua proximidade com o ponto de monitoramento (Figura 23).

Os dados de vazão da região do Alto Pomba, demonstram uma relação de interferência nos valores de IQA mesmo que ainda de forma moderada. A vazão influenciou ainda que pouco, nos pequenos picos negativos de IQA, principalmente em dados do ano de 2007 e 2011. A influência não foi maior devido à pouca presença de contaminantes da região, que é favorecida por não ter nenhuma grande sub-bacia ou grandes cidades com despejos de esgotos domésticos nos rios que pudessem deixar a qualidade da água em faixas mais baixas (Figura 36).

Figura 36 - Vazão V1 e IQA do ponto CP2 no dia da coleta dos dados



Fonte: O autor, 2021.

- Resultados dos cálculos do IQA para o trecho Médio Pomba:

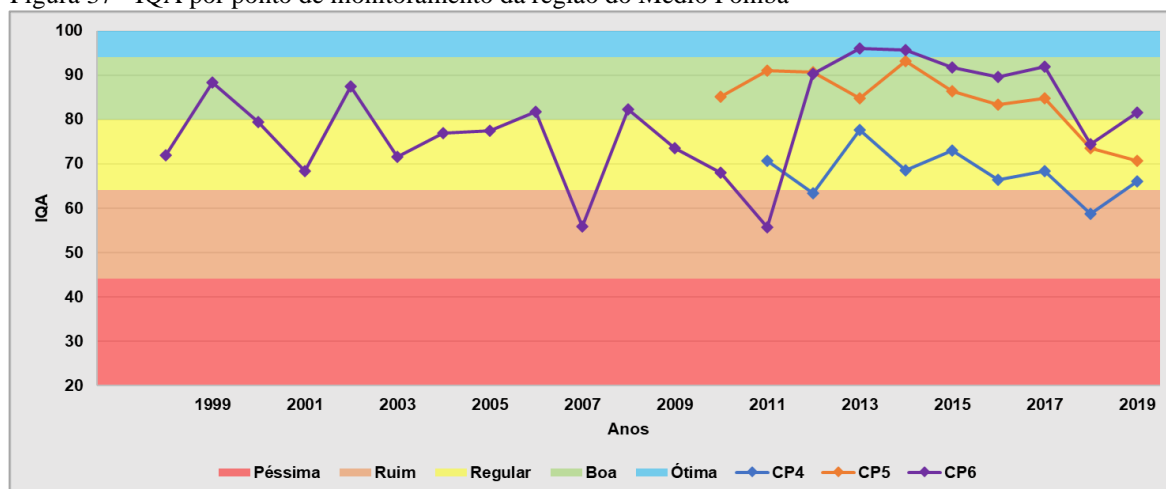
Para a região do Médio Pomba foram utilizados três pontos de monitoramento, sendo o ponto CP6 com dados a partir do ano 1998, e os pontos CP4 e CP5 com dados a partir do ano de 2010 (Figura 37). Os dados apresentam também oscilações para todos os pontos de monitoramento.

O ponto CP4 apresenta um certo equilíbrio entre uma faixa regular e picos de faixa ruim e uma tendência a uma queda da qualidade no fim do período de medição. Esse ponto fica a jusante da cidade de Guarani e sofre com o despejo de esgoto doméstico no rio, em consequência uma faixa de IQA um pouco mais baixa que os demais pontos da região.

O ponto CP5 já recebe também influência das águas da sub-bacia Xopotó, porém já diluída com a água do rio Pomba e se manteve em uma faixa de boa qualidade e uma tendência de queda da qualidade no fim do período para uma água na faixa de regular.

De todos os pontos, o CP6 é o que demonstra maior variação, com dois grandes picos de queda da qualidade, saindo de faixas de uma água boa nos anos iniciais do monitoramento para picos negativos de ruim em 2007 e 2011. Verifica-se uma melhora da qualidade no ano de 2012 e no fim do período de medição, conforme os demais pontos, o CP6 apresenta uma tendência de queda das faixas qualidade.

Figura 37 - IQA por ponto de monitoramento da região do Médio Pomba

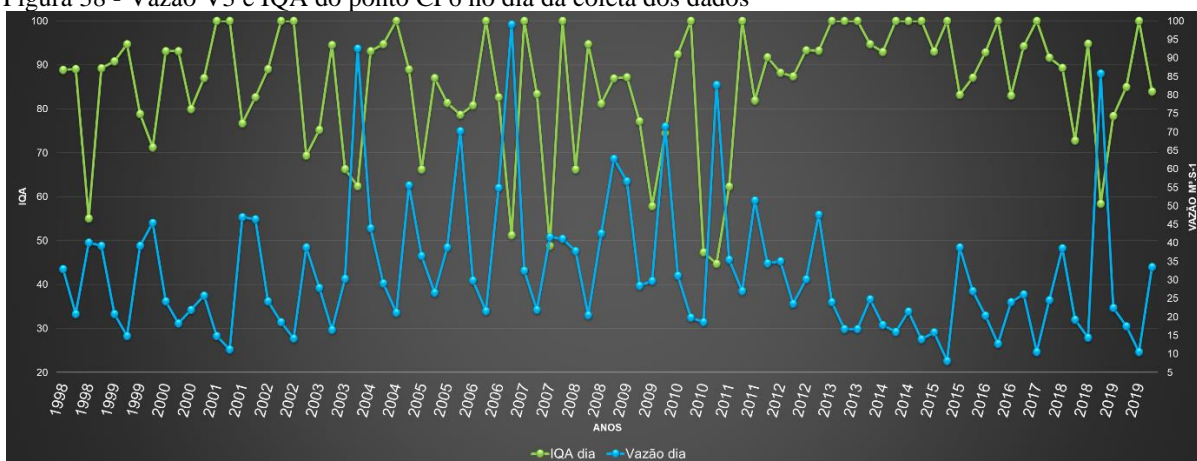


Fonte: O autor, 2021.

A justificativa para os picos de IQA baixo na região do Médio Pomba está na influência da erosão do solo e da ausência de saneamento na região, favorecidos pelo aumento da vazão no período chuvoso, haja vista que os parâmetros que mais influenciaram o F3 dos cálculos do IQA para os anos de 2007 e 2011, foram Al, E. coli, Fe, PT, Mn e NTU que de forma negativa influenciaram para uma baixa faixa de IQA.

A presença dos parâmetros descritos anteriormente se intensifica em períodos chuvosos com o aumento da vazão, conforme já observado por Zonta et. al (2004), Shigaki (2006) e Almeida (2006), esse aumento se deve ao arraste de material particulado do solo rural e das áreas urbanas, bem como a precariedade do saneamento que lança todo esgoto doméstico sem tratamento direto nos rios. Observa-se esse fato principalmente nos anos de 2004, 2007, 2011 e 2019 (Figura 38).

Figura 38 - Vazão V3 e IQA do ponto CP6 no dia da coleta dos dados



Fonte: O autor, 2021.

- Resultados dos cálculos do IQA para o trecho Baixo Pomba:

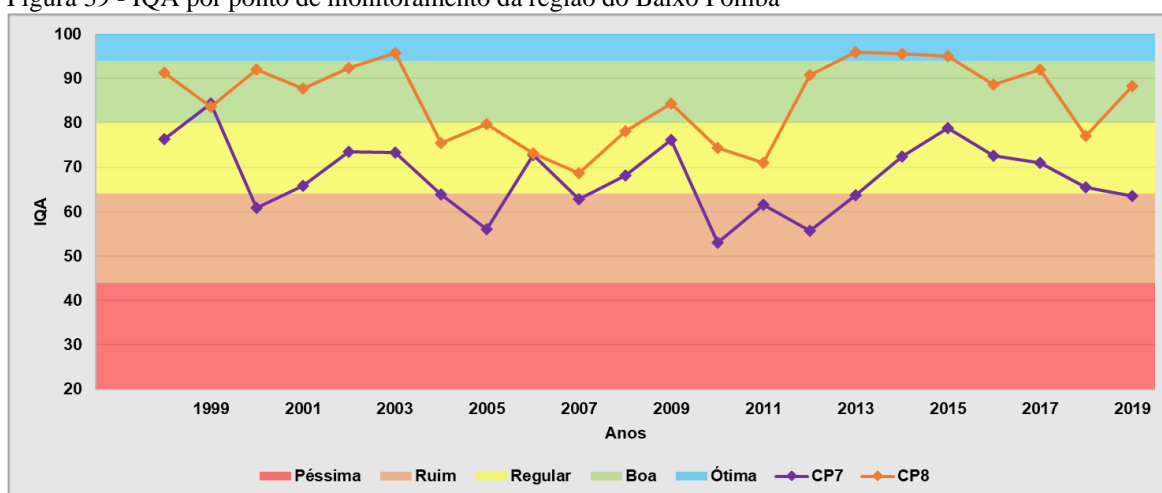
A região do Baixo Pomba ficou com dois pontos de monitoramento, os pontos CP7 e CP8, os dois pontos com dados de monitoramento a partir do ano de 1998. Embora haja oscilações nas faixas de IQA para os dois pontos, percebe-se uma certa similaridade de comportamento entre os pontos (Figura 39).

O ponto CP7 apresenta uma qualidade de água com faixas mais baixas quando comparadas com o ponto CP8, isso se deve ao fato de estar localizada a jusante da cidade de Cataguases, embora com um grande volume de água, por já ter recebido águas de todas as grandes sub-bacias, recebe toda carga poluidora da cidade a montante. De modo geral o ponto CP7 se manteve na maioria do tempo como uma água na faixa de regular, com um pico na faixa de boa qualidade no ano de 1999 e com alguns picos na faixa de qualidade ruim.

Já o ponto CP8 se manteve com faixas de uma água ótima e boa qualidade, em grande parte do tempo, porém apresentou em alguns momentos uma faixa de água regular. Contribuiu para a faixa de boa qualidade da água a localização do ponto, uma vez que não sofre mais interferência próxima de nenhuma grande sub-bacia ao ponto de modificar as características da água ou de alguma grande cidade que pudesse interferir de forma negativa com o despejo de esgoto doméstico no rio.

O ponto CP8 quando comparado com o ponto CP7 evidencia a capacidade de autodepuração do rio Pomba, elevando as faixas de IQA. Por estar localizado na divisa com o estado fluminense, próximo a foz do rio Paraíba do Sul o valor de IQA desse ponto pode ser considerado o IQA total da bacia hidrográfica do rio Pomba.

Figura 39 - IQA por ponto de monitoramento da região do Baixo Pomba

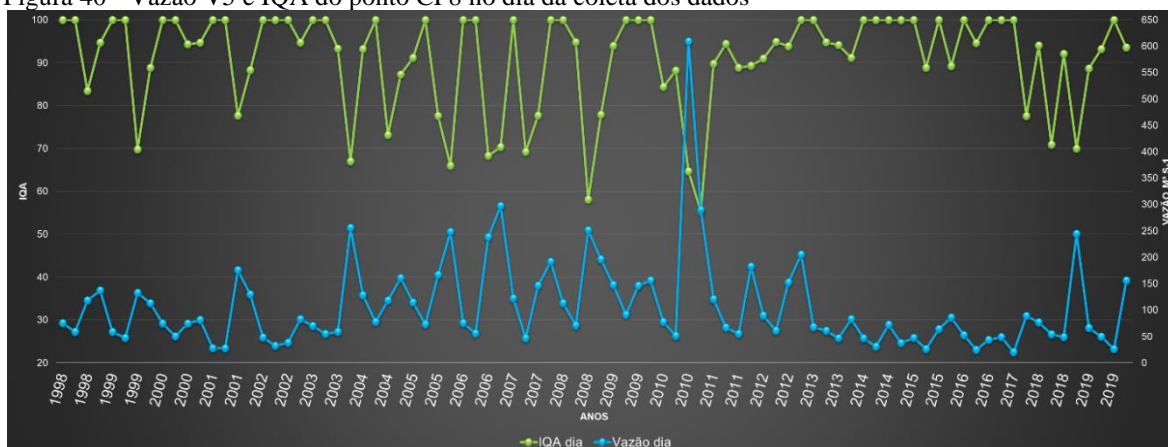


Fonte: O autor, 2021.

Os parâmetros de E. coli, Fe, PT, Mn e NTU tal como foi observado na região do Médio Pomba, aqui também na região do Baixo Pomba contribuíram para os picos negativos de IQA.

A relação IQA na data de coleta para o ponto CP8 e a vazão na mesma data, apontaram por uma influência nos picos de IQA baixo, sugerindo novamente a interferência pelo arraste de material particulado da zona rural e urbana e do despejo de esgoto sanitário no rio, que em períodos de chuva, elevam a vazão e consequentemente afetam negativamente o IQA. Evidencia esse comportamento, principalmente no ano 2011 (Figura 40).

Figura 40 - Vazão V5 e IQA do ponto CP8 no dia da coleta dos dados



Fonte: O autor, 2021.

- Resultados dos cálculos do IQA para a sub-bacia Xopotó:

A sub-bacia Xopotó foi avaliada através de 4 pontos de monitoramento sendo os pontos SB13 e SB14 com dados de monitoramento a partir do ano de 1998, o ponto SB11 com dados a partir do ano 2000 e o ponto SB12 com dados a partir de 2010.

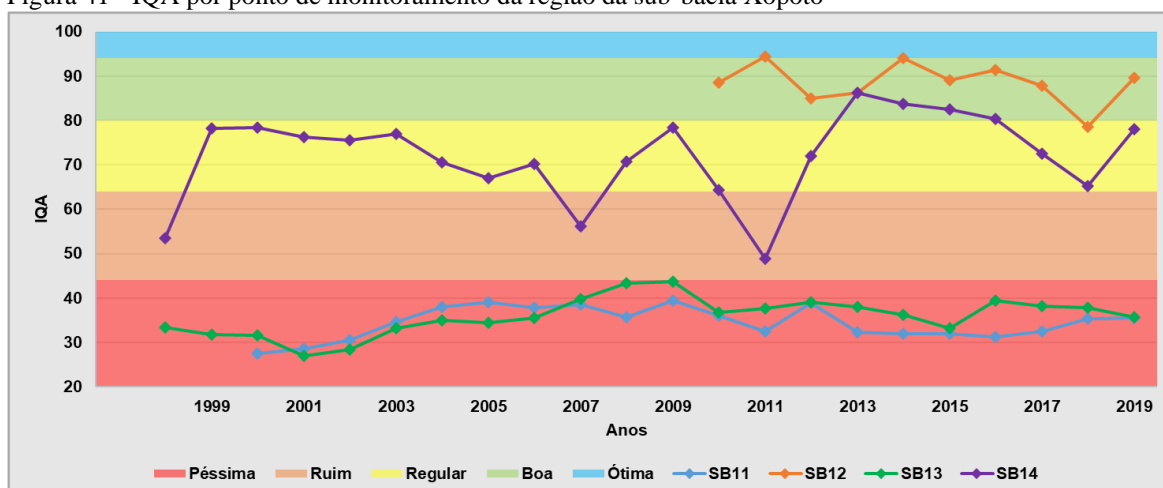
Os pontos apresentaram situações distintas, apesar que entre os pontos SB11 e SB13 percebe-se algumas similaridades no comportamento da qualidade da água, onde o IQA se manteve sempre na faixa de péssima qualidade (Figura 41).

Os pontos SB11 e SB13, apresentaram faixas de IQA mais baixa em relação aos demais, o que é reflexo da localização dos pontos de monitoramento, que ficam a jusante de duas cidades importantes e entre as mais populosas da bacia. O ponto SB11 fica a jusante da cidade de Visconde do Rio Branco, que recebe todo despejo de esgoto doméstico da cidade e o ponto SB13 a jusante da cidade de Ubá que é a maior cidade de toda a bacia. As duas cidades não possuem formas adequadas de saneamento, de modo que todos os esgotos gerados por essas cidades são lançados diretamente sem tratamento dentro dos rios que cortam as respectivas cidades.

O ponto SB12 apresenta boas características de água, com uma faixa de IQA que pouco oscilou ao longo do tempo e permaneceu sempre como uma água na faixa de boa qualidade. A justificativa para uma boa qualidade da água se deve ao fato do ponto de monitoramento está localizado a montante da cidade de Guiricema, as ações antrópicas são mínimas, portanto, sem nenhuma grande interferência urbana que pudesse agravar a qualidade da água.

O ponto SB14 apresentou as maiores variações, esteve entre uma água na faixa de boa a ruim de qualidade, entretanto permaneceu na maioria do tempo como um IQA nas faixas de uma água regular. O destaque é para os grandes picos de queda na faixa de qualidade, sendo 1998, 2007 e 2011 na sequência uma recuperação com tendência de queda nos últimos anos de monitoramento. O ponto SB14 reflete o IQA geral da sub-bacia Xopotó, uma vez que está próximo a sua foz no rio Pomba, também evidência uma boa recuperação da qualidade da água, tendo em vista as faixas de péssima qualidade dos pontos SB11 e SB13 que são pontos a montante do SB14.

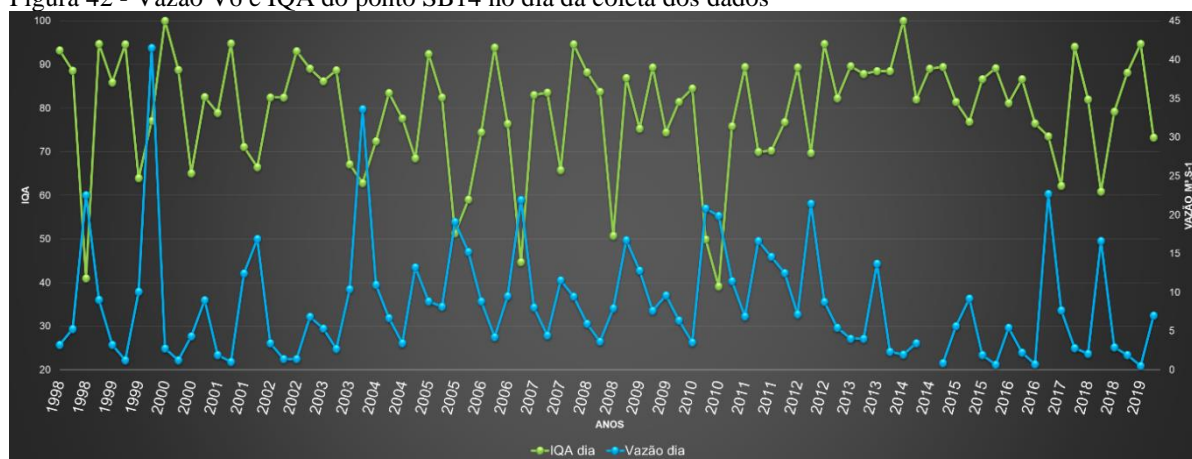
Figura 41 - IQA por ponto de monitoramento da região da sub-bacia Xopotó



Fonte: O autor, 2021.

Os picos de qualidade baixa no IQA na região do Xopotó podem ser justificados pela presença constante na bacia hidrográfica de alguns contaminantes que alteram o F3 do cálculo do IQA, que vem se repetindo em toda calha principal do rio Pomba e aqui também não foi diferente, parâmetros como Al, E. coli, PT, Mn, Fe e DBO evidenciam a presença na bacia de processos erosivos e de esgoto doméstico presente na água, conforme já discutido anteriormente, são arrastados pela enxurrada em períodos de chuvas e verificados com os dados do aumento da vazão dos rios. As principais evidencias dessa relação estão nos picos de vazão para os anos de 1998, 2000, 2004, 2007 e 2011 (Figura 42).

Figura 42 - Vazão V6 e IQA do ponto SB14 no dia da coleta dos dados



Fonte: O autor, 2021. *As falhas no ano de 2015 se deve à ausência de dados.

- Resultados dos cálculos do IQA para a sub-bacia Rio Novo:

A sub-bacia Rio-Novo foi avaliada através de 3 pontos de monitoramento, sendo os pontos SB21 e SB23 com dados a partir do ano de 1998 e o ponto SB22 com dados a partir de 2011 (Figura 43).

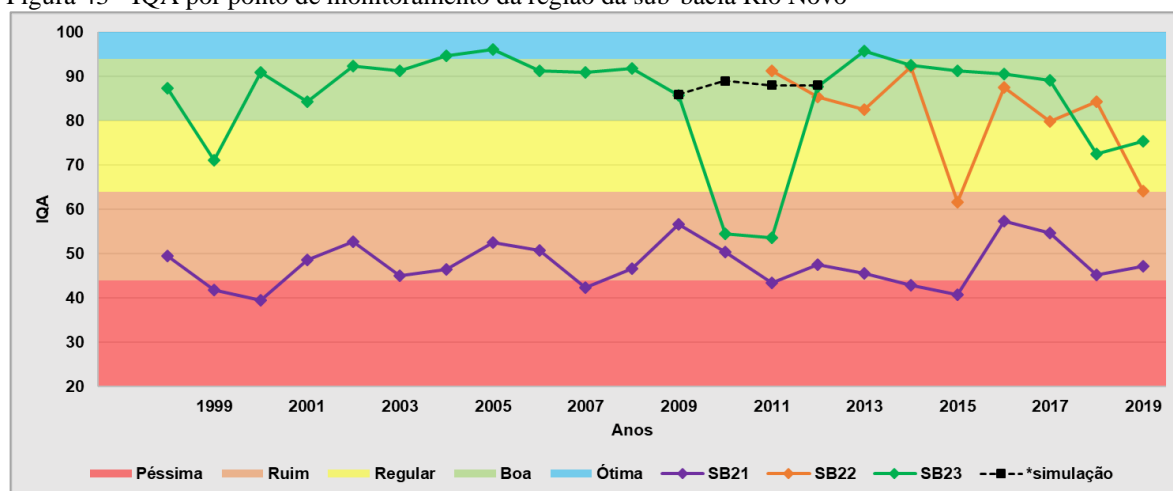
Os dados do ponto SB21 refletem uma faixa de qualidade ruim em todo o período de observação, com picos de faixa de péssima qualidade em alguns momentos. O ponto SB21 está a jusante da cidade de Santos Dumont, portanto as faixas de qualidade ruim e péssima apontam o despejo de esgoto doméstico no rio sem nenhuma forma de tratamento.

Quanto ao ponto SB22, se manteve na maioria do tempo, com uma água na faixa de boa qualidade, com uma queda da qualidade no ano de 2015 e 2019 que se explica pela elevada presença do parâmetro E. coli que afetou o cálculo do fator F3 e consequentemente uma baixa faixa de qualidade do IQA.

Para o ponto SB23 verifica-se oscilações nas faixas de ótima, boa, regular e ruim do IQA. A presença dos parâmetros Fe, E. coli e Al, foram os principais causadores para o IQA nas faixas baixas, sendo que de forma bem relevante o parâmetro E. coli foi o grande influenciador para faixa ruim do IQA para os anos de 2010 e 2011. No sentido de demonstrar e comprovar a influência do parâmetro E. Coli no IQA, para esses anos de 2010 e 2011 uma simulação do valor da E. coli foi feita, substituindo os valores reais encontrados pelo valor médio do parâmetro, calculado em função dos demais anos da série no ponto SB23, e o resultado está demonstrado em linhas pontilhadas (cor preto) da figura 43.

O ponto SB23 está localizado na foz junto ao rio Pomba, portanto representa o IQA geral da sub-bacia Rio Novo. A sub-bacia apresenta um grande poder de autodepuração de água, e se percebe a partir da comparação entre o ponto SB21 com faixas baixas de IQA e o ponto SB23 na foz com o rio Pomba, onde a qualidade da água chega em alguns casos em uma faixa de ótima qualidade.

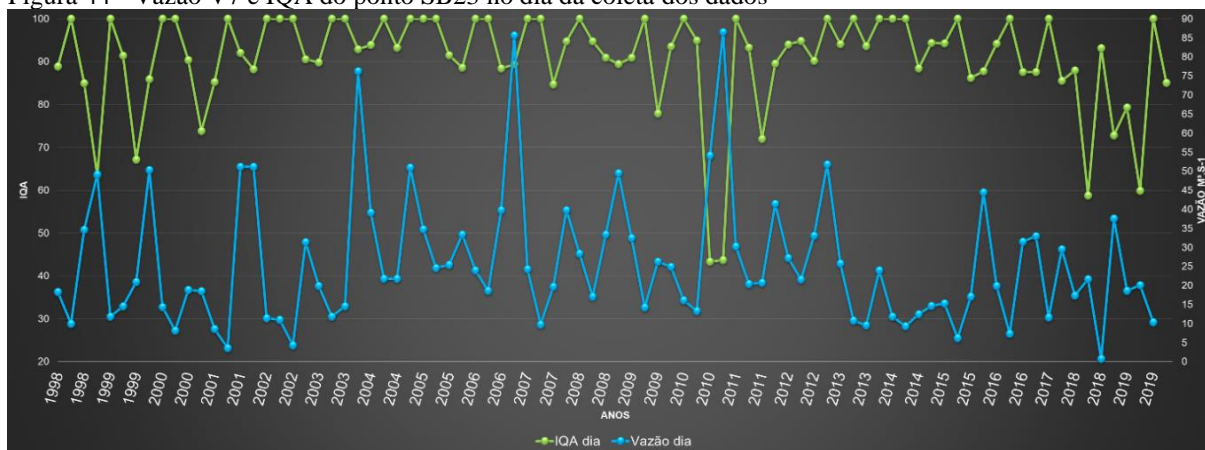
Figura 43 - IQA por ponto de monitoramento da região da sub-bacia Rio Novo



Fonte: O autor, 2021.

Os dados de vazão da sub-bacia Rio Novo confirmam a relação do carreamento de material particulado no período de maior vazão e a interferência negativa nas faixas do IQA, principalmente quando se observa os dados de 2011 do ponto SB23 (Figura 44).

Figura 44 - Vazão V7 e IQA do ponto SB23 no dia da coleta dos dados



Fonte: O autor, 2021.

Formato 2. Dados Agregados por Ano de Monitoramento

Nesse modelo de observação, foram confeccionados gráficos se utilizando de todos os dados de monitoramento, e ordenado de modo que cada ano recebesse todos os dados da bacia para o ano correspondente, e na sequência a aplicação do cálculo de IQA.

Os gráficos ainda foram divididos em 5 (cinco) formatos: IQA geral de toda a bacia; IQA sem a interferência das sub-bacias, onde somente foram utilizados os dados da calha principal; IQA sem os dados da sub-bacia Rio Novo; IQA sem os dados da sub-bacia Xopotó e IQA comparando todos os dados anteriores.

Porém 6 (seis) pontos de monitoramento só possuem dados a partir de 2010 (CP1, CP3, CP4, CP5, SB12 e SB22) sendo assim cada gráfico recebeu três comparações de dados: o primeiro com todos os dados de todos os pontos de monitoramento; o segundo com dados somente de 6 pontos de monitoramento; e o terceiro com todos os dados, porém com a ausência dos dados dos 6 (seis) pontos de monitoramento.

- IQA geral de toda a bacia:

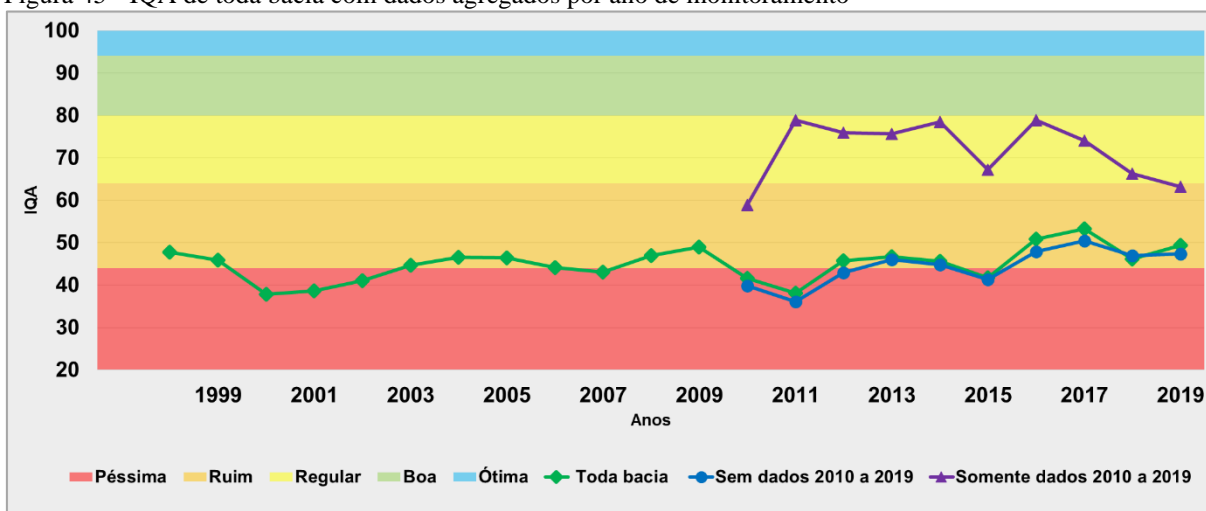
No modelo de IQA geral para toda bacia os valores se mantiveram em equilíbrio, na faixa de um IQA regular e em alguns anos com o IQA na faixa de péssima. Observa que a entrada de novos dados do período de monitoramento entre 2010 e 2019 (linha azul) não alteraram os resultados do IQA para toda bacia (linha verde). No entanto com um período

mais curto de medição (2010 a 2019 linha lilás) as faixas de IQA melhoram. A justificativa para a melhora se deve ao número menor de parâmetros em desconformidade (F1) e quantas vezes esse dado se repete (F2) e do (F3) do cálculo do IQA que diz respeito de quantas vezes esse mesmo dado em desconformidade excedeu os valores estabelecidos (Figura 45).

Os pontos de monitoramento que compõem os dados a partir de 2010, na sua maioria são pontos localizados em regiões próximas as nascentes, que sofrem pouca interferência de grandes cidades, de modo que isso contribuiu para melhora do IQA.

Ainda que pouco perceptível, uma leve tendência de melhora na qualidade da água acontece quando se observa o desvio no coeficiente angular alfa dos dados de toda bacia ($14,81^\circ$). Os anos de 2000 e 2011 demonstram picos de queda na faixa de qualidade de água e melhora nos anos seguintes, que reflete períodos de chuvas intensas, onde ocorre o carreamento de material suspenso para o leito dos rios e a queda da qualidade da água, verifica-se nos anos subsequentes uma capacidade de autodepuração da bacia, que embora demore alguns anos para o processo de limpeza da calha dos rios, o processo se repete periodicamente em intervalos de anos, esse processo se evidencia nos anos de 2000 a 2009, com um desvio no coeficiente angular alfa de ($45,38^\circ$) e 2011 a 2019 com desvio no coeficiente angular alfa de ($46,95^\circ$) (Figura 45).

Figura 45 - IQA de toda bacia com dados agregados por ano de monitoramento



Fonte: O autor, 2020.

- IQA sem a interferência das sub-bacias:

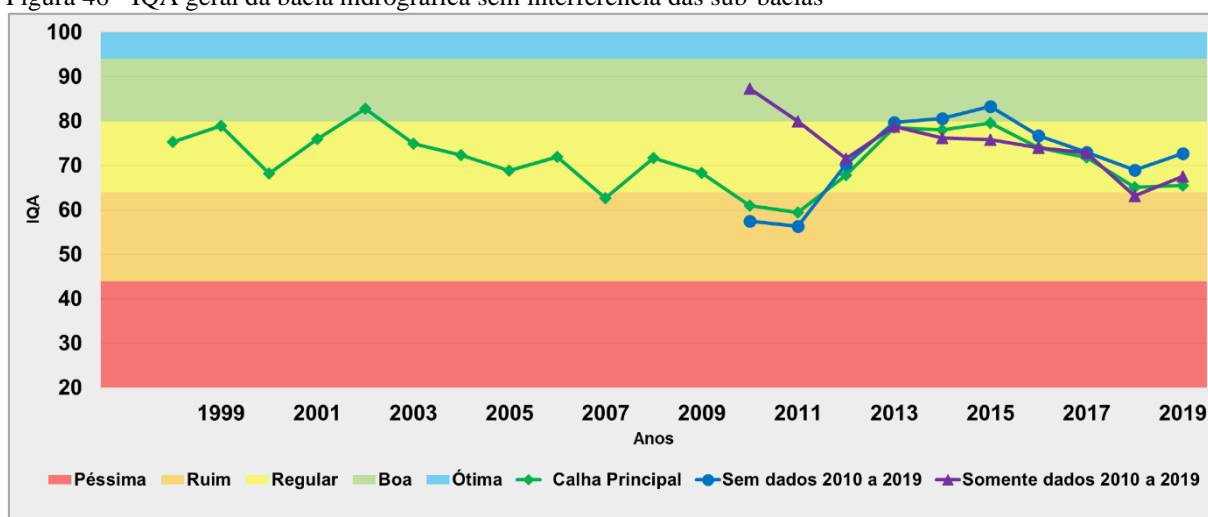
No modelo de IQA sem a interferência das sub-bacias, avaliou-se a interferência das sub-bacias Xopotó e Rio Novo ao IQA anual da bacia. O que se observa é que há uma melhora da qualidade da água em relação ao IQA de toda bacia na figura 45. Os picos de IQA

chegam em alguns momentos a uma água de boa qualidade, é o caso dos anos de 2002 e 2015 (linha verde) (Figura 46).

Quando se observa os dados de medição com início a parti de 2010 (linha lilás) verifica-se que o número de campanhas não é o principal fator de mudança nas faixas de IQA, que embora haja um número inferior de campanhas e amostragem o valor de IQA se mantem bem próximos ao valor de IQA total da calha principal (linha verde).

Pode-se dizer que há uma interferência das sub-bacias no IQA geral da bacia, merecendo uma melhor avaliação dos resultados das sub-bacias Rio Novo e Xopotó de modo individual.

Figura 46 - IQA geral da bacia hidrográfica sem interferência das sub-bacias

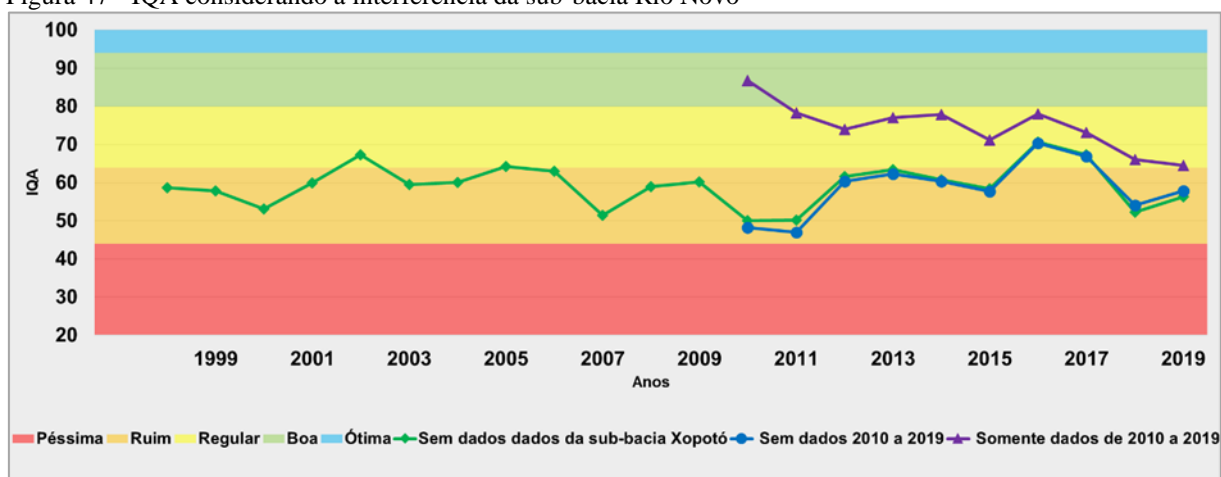


Fonte: O autor, 2020.

- IQA sem os dados da sub-bacia Xopotó:

Excluindo os dados da sub-bacia Xopotó e observando apenas os dados da sub-bacia Rio Novo verifica-se uma interferência positiva nos resultados quando comparado com o valor de IQA geral da bacia na figura 45, elevando os valores de IQA para o limite de regular em alguns anos de medição. Para os dados da série 2010 a 2019 (linha lilás), pode se ver que não interferiu nos dados totais, porém houve uma melhora da faixa do IQA, que se deve a localização dos pontos onde os dados foram obtidos e suas interferências positivas, não havendo nenhum fator que pudesse produzir um desequilíbrio nos dados (Figura 47).

Figura 47 - IQA considerando a interferência da sub-bacia Rio Novo



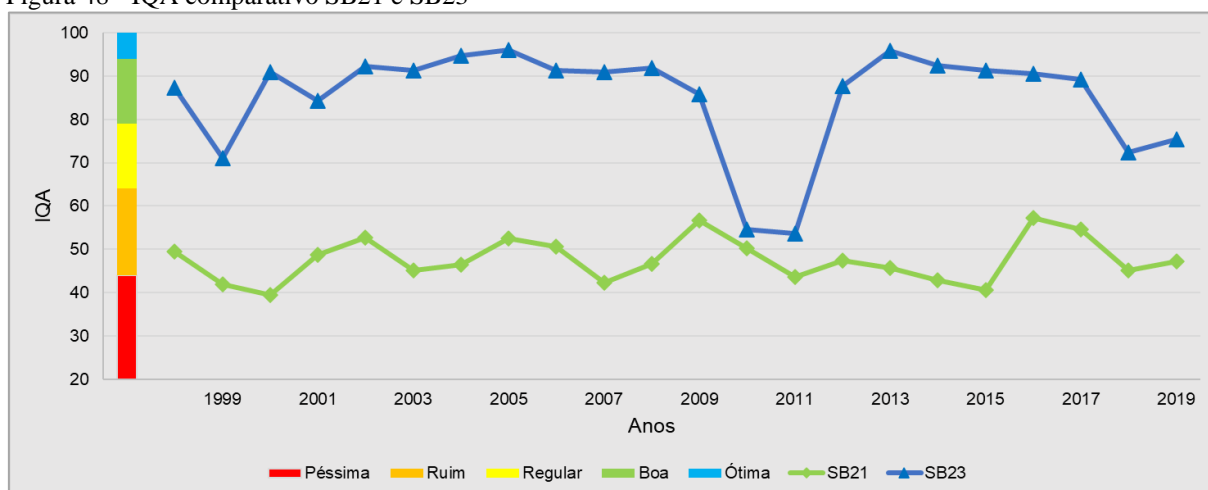
Fonte: O autor, 2020.

Do ponto de vista de uso e ocupação do solo a sub-bacia Rio Novo tem as mesmas características da bacia hidrográfica num todo, com a maioria do território rural utilizado com pastagens (63,88%), e um total de 10 cidades com população somadas de 100,7680 hab. A população urbana é de 89.675 hab (89%), a população rural é de 11.090 hab (11%). Tem uma área de drenagem de 1770 Km² o que é relativamente grande, porém as interferências urbanas ainda são pouco relevantes, com apenas a cidade de Santos Dumont com mais de 30.000 hab localizada nas proximidades da nascente do ribeirão das Posses, um dos afluentes do rio Novo, que mesmo com uma deficiência no sistema de esgotamento sanitário por receber o esgoto da cidade sem tratamento, o percurso do rio até a foz no rio Pomba contribui para autodepuração e recuperação da qualidade da água.

Haja vista que em 96% de 84 campanhas realizadas no ponto SB21 apresentaram valores acima dos padrões estabelecidos, o parâmetro DBO apareceu em 44% de todas as campanhas. Já no SB23 foram 86 campanhas no total, entretanto apenas 26 campanhas (30%) apresentaram valores superiores aos padrões estabelecidos e somente 4 campanhas com taxas de DBO acima dos padrões. O parâmetro DBO em níveis acima dos valores de referência, somados a outros parâmetros investigados no trabalho tiveram influência negativa nas faixas de IQA.

A relação entre os dois pontos SB21 e SB23, ambos na sub-bacia do Rio Novo, evidencia com dados de comparação o poder de recuperação e autodepuração da água do rio Novo. Conforme demonstrado os valores de IQA do ponto SB21 a jusante da cidade de Santo Dumont e do ponto SB23 na foz do rio Novo com o rio Pomba (Figura 48).

Figura 48 - IQA comparativo SB21 e SB23



Fonte: O autor, 2021.

A área da sub-bacia Rio Novo é classificada como a região dos planaltos dissecados do centro, onde a densidade de drenagem é baixa ($Dd = 1,12 \text{ Km/Km}^2$) ainda com formas mamelonares, com declividades características de relevo suavemente ondulado (FARIA, 2009).

Sendo a densidade de drenagem baixa a dinâmica de erosão da sub-bacia também é pequena, de modo a favorecer e contribuir para um menor arraste de interferentes da qualidade da água desta sub-bacia.

Um outro fator que contribui para uma melhor qualidade da água de uma bacia hidrográfica, são as áreas verdes, que embora quase inexistentes na bacia do rio Pomba, das poucas áreas ainda com remanescentes de floresta, algumas estão localizadas na cidade de Itamarati de Minas, onde há fragmentos florestais com áreas superiores a 100 hectares (SILVA, 2014).

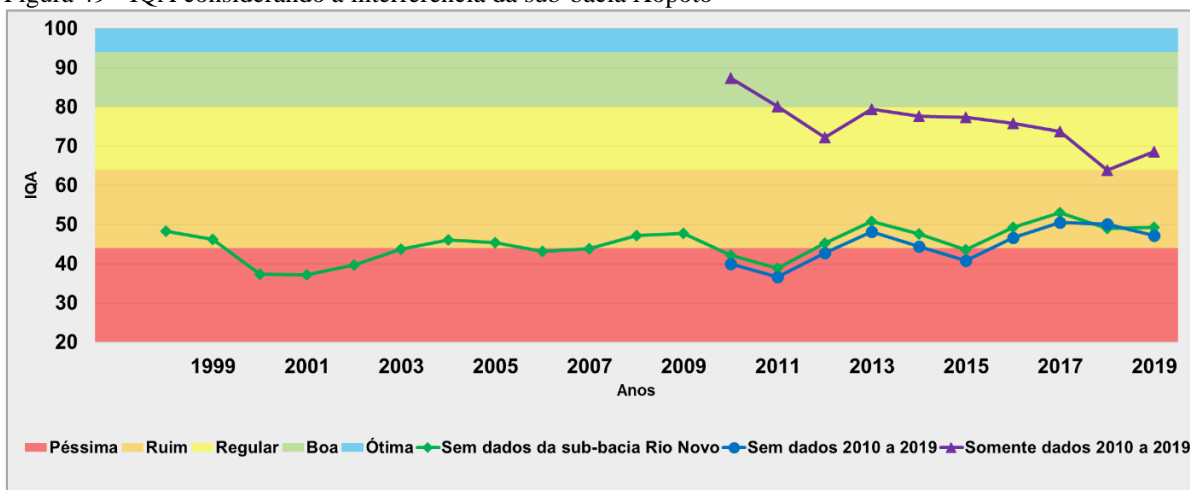
-IQA sem os dados da sub-bacia Rio Novo:

Excluindo os dados da sub-bacia Rio Novo o mesmo comportamento não acontece quando se observa apenas os dados da sub-bacia Xopotó, evidenciando uma grande interferência de piora dessa sub-bacia na qualidade da água no rio Pomba. O comportamento da sub-bacia não contribui para a melhora do IQA, quando comparado com o IQA dos dados totais da bacia (Figura 45), o que significa dizer que contribuiu com carga equivalente de elementos degradantes da qualidade da água da bacia, pois com a adição de volume de água os valores permanecem iguais (Figura 49).

Para os dados da série 2010 a 2019 (linha lilás), tal como foi na observação anterior não interferiu nos dados totais, a faixa de melhora do IQA, tem sua justificativa nos dados dos

pontos nos quais foram obtidos que na sua maioria em regiões que sofrem poucas interferências negativas, de modo não haver nenhum fator que pudesse produzir um desequilíbrio nos dados.

Figura 49 - IQA considerando a interferência da sub-bacia Xopotó



Fonte: O autor, 2020.

A área de drenagem da sub-bacia Xopotó é de 1280 km² uma área relevante em tamanho, tal como foi observado na bacia do Rio Novo a bacia do Xopotó também compartilha as mesmas interferências de uso e ocupação do solo do ponto de vista rural, entretanto na área urbana é diferente. As 6 (seis) cidades pertencentes a sub-bacia com território acima de 75% dentro da área de abrangência, a população total é de 172.504 hab, sendo 153.180 (88,80%) na área urbana e 19.324 (11,20%) que residem na área rural. Quase que a totalidade da população da sub-bacia, 139.460 hab residem em dois municípios praticamente, na cidade de Ubá e na cidade de Visconde do Rio Branco, juntas representam 81% do total dessa população.

A cidade de Ubá no ano de 2004 apresentava população de 94.584 hab com precariedade no tratamento de esgoto, a população estimada para o ano de 2020 era de uma população de 116.797 hab um crescimento de 19% para o período, que deve agravar ainda a situação do saneamento da região, já que o esgoto é lançado ainda hoje diretamente no curso do rio sem nenhum tratamento. Apresentou em alguns momentos taxas de lançamento de (entre 2.001 a 5.546 kg/dia de DBO) (CARVALHO et al., 2004).

O mesmo acontece com outra cidade dentro da sub-bacia do Xopotó, a cidade de Visconde do Rio Branco, com mais de 30.000 hab que lança também todo esgoto produzido na cidade sem tratamento diretamente no rio xopotó que corta a cidade.

Segundo Faria (2009) em um estudo sobre a geologia da sub-bacia, classificou a região de depressão do rio Xopotó como uma densidade de drenagem baixa ($Dd = 2,19 \text{ Km/Km}^2$). Apesar da densidade de drenagem ser baixa, ainda assim é quase o dobro da sub-bacia Rio Novo, de modo que a interferência dessa declividade na erosão será maior e conseqüentemente o arraste de sólidos na superfície também, uma sub-bacia muito mais dinâmica com um poder de degradação da qualidade de água bem superior.

Farage (2009) também avaliou um trecho do rio Pomba a jusante da foz do xopotó aplicando a metodologia IQA-NSF atribuindo o conceito ruim de qualidade de água, principalmente no período chuvoso e concluiu o estudo afirmando que essa condição ocorre devido à recepção das águas do rio Xopotó, entendeu ele que a baixa qualidade, está relacionada ao aporte de material orgânico, na forma de efluente doméstico lançado pelos municípios a montante, além do material orgânico proveniente das áreas urbanas e rurais, que são levados pela lixiviação do terreno para a calha do rio Pomba, pelo escoamento superficial.

A sub-bacia do rio Xopotó também apresenta poucas áreas com remanescente da Mata Atlântica e pouca vegetação primitiva. Esse cenário promove impactos negativos que incluem a erosão do solo e a diminuição da quantidade e qualidade de água disponível, um problema que já vem sendo frequente na região (SILVA, 2014).

Também Silva (2014) encontrou maiores densidades de coliformes termotolerantes a jusante de áreas urbanizadas na sub-bacia. Caracterizou os resultados apresentados como decorrentes da ausência de tratamento de esgotos domésticos para o período seco e no período chuvoso a ausência de tratamento de esgotos e o escoamento superficial, que acabam carreando resíduos fecais das áreas de pastagens para os leitos d'água.

Em avaliação do balanço hídrico qualitativo na bacia hidrográfica do rio Pomba, foi realizado a modelagem dos seguintes parâmetros: DBO, oxigênio dissolvido (OD), fósforo total e suas frações, coliformes termotolerantes ou E. Coli e Nitrogênio Total (NT), indicadores esses relacionados ao esgoto doméstico lançado nos corpos hídricos da bacia e alumínio dissolvido (Al), ferro dissolvido (Fe) e manganês dissolvido (Mn) que estão relacionados a erosão do solo (AGEVAP, 2020). Assim o trabalho de AGEVAP (2020) concluiu que as condições da qualidade da água são de níveis bons na maioria dos pontos, porém destaca situações em níveis ruins nos municípios de Ubá, Visconde do Rio Branco, Dona Euzébia, Astolfo Dutra, Cataguases e Santos Dumont. Ainda informa que esses resultados estão presentes justamente nas áreas urbanizadas com os piores índices nas cidades de Visconde Rio Branco e Ubá.

Diante das considerações pode se concluir que a sub-bacia Xopotó tem grande influência na piora da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Pomba, mais que qualquer outra região dentro da bacia, seja pelos fatores de declividade do terreno, seja pela forma como se faz apropriação pelo uso e ocupação do solo, bem como as áreas de cobertura vegetal de pouca expressão, todos esses fatores contribuíram de forma direta para uma faixa IQA de baixa qualidade.

Vale dizer que a evidência mais marcante está relacionada ao saneamento, que teve papel incisivo nas características da qualidade da água, principalmente pelo fato de os grandes centros urbanos das sub-bacias não terem sistemas adequados de tratamento de efluentes.

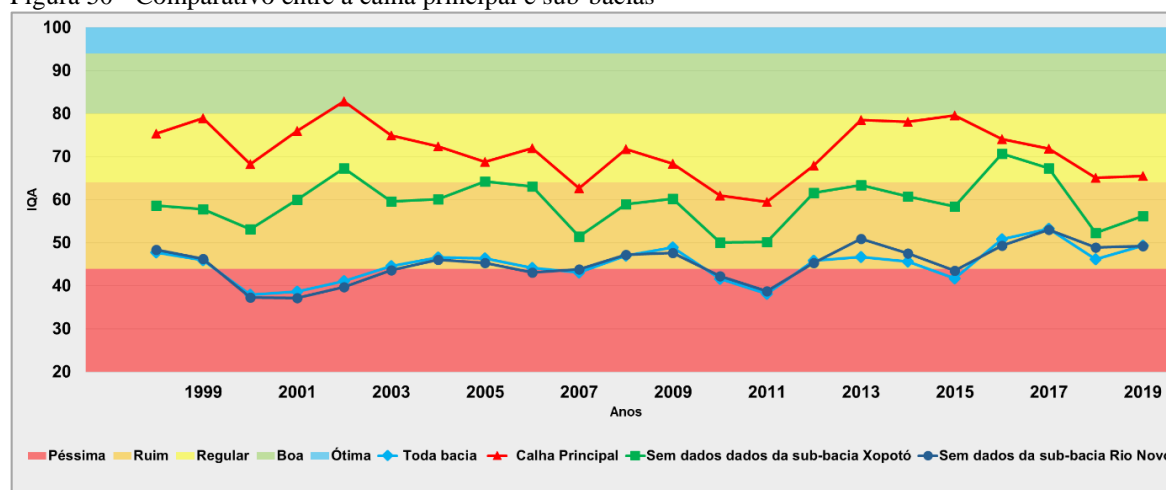
-IQA comparando os modelos propostos:

Para comparar a influência das sub-bacias na calha principal os 4 (quatro) formatos de observações anteriores, foram reunidos e avaliados em um único gráfico, comparando os dados totais de cada gráfico e suas relações e interferências (Figura 50).

Os dados somente da calha principal (linha vermelha) demonstram que as faixas de IQA na maioria do tempo estiveram como regular, e em poucos momentos com IQA ruim. Quando se compara o IQA somente da calha principal e o IQA de toda a bacia (linha azul claro), evidencia uma melhora na qualidade da água, informando então que as sub-bacias interferem na qualidade da água.

Para os dados das sub-bacias, pode-se observar que as faixas de IQA são bem distintas entre elas, enquanto os dados do Xopotó (linha azul escuro) estão equivalentes aos dados de toda a bacia (linha azul claro), com os dados do Rio Novo (linha verde) são diferentes, há uma melhora da qualidade da água, de modo que o grande influenciador das faixas negativas de qualidade da água em toda a bacia é a sub-bacia Xopotó.

Figura 50 - Comparativo entre a calha principal e sub-bacias



Fonte: O autor, 2021.

Formato 3. Cálculo do IQA por subtrecho acumulado da bacia

Nesse formato se fez uso somente dos dados do período entre 2010 a 2019, uma vez que alguns pontos só apresentam medições a partir de 2010, portanto dados anteriores apresentariam lacunas no tempo de medição e não refletiriam resultados que fossem possíveis a comparação dos dados para esse formato.

Assim os resultados do IQA de cada ponto acumulado (AC) foram reproduzidos em um gráfico, relacionados ao ano de monitoramento, onde cada linha representa um dado acumulado AC e cada ponto representa o ano com os dados acumulados e o seu valor de IQA (Figura 51).

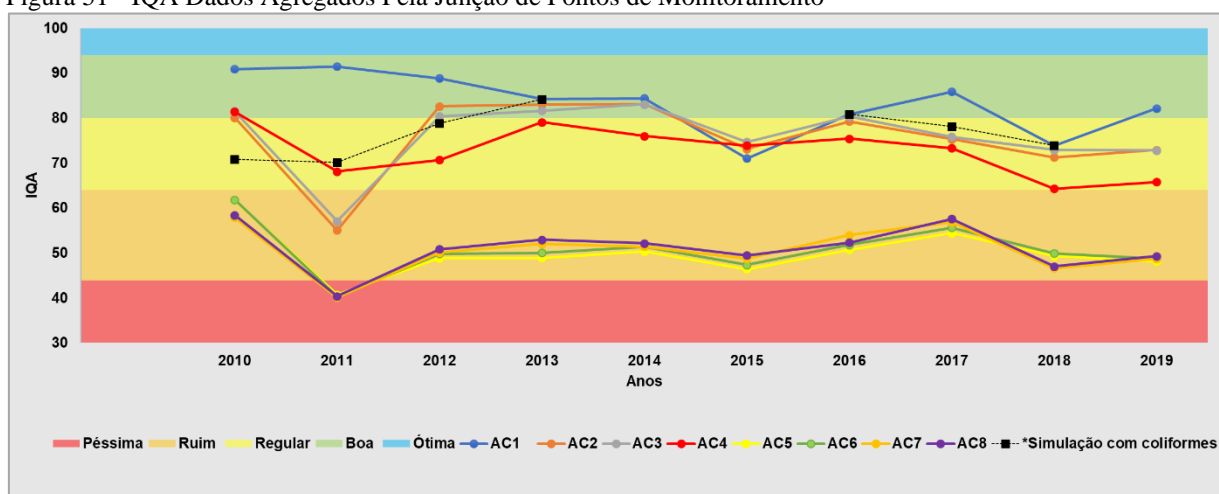
Para os pontos entre AC1 e AC4 que são os primeiros pontos de dados acumulados verifica-se um equilíbrio, os pontos permaneceram numa faixa de IQA entre boa e regular. Um pouco diferente aparece o AC1 que nos anos de 2010, 2011, 2012 e 2017, apresentaram uma faixa de boa qualidade diferenciada aos demais, sendo que no ano de 2010 e 2011 próximas a faixa de ótima qualidade.

Entretanto se percebe na origem dos dados, que os anos mencionados anteriormente para AC1 não possuem dados do parâmetro coliforme, de modo que não reflete o real valor para os pontos, portanto foi simulado uma média desse parâmetro baseada nos demais anos de medição para esse ponto, a fim de verificar se seria esse o motivo da discrepância dos dados, assim o resultado dessa avaliação está representado nas linhas pontilhadas do gráfico da figura 51. Nota-se que a melhora na faixa do IQA tem relação direta com a ausência do parâmetro coliforme, uma vez que os dados simulados de AC1 se equipara aos demais pontos.

Chama atenção também a diminuição dos valores de IQA para o grupo de pontos entre AC5 e AC8, em relação aos demais, onde a explicação está no modelo de agregação de

dados, pois a partir do ponto AC5 o cálculo agrega valores da sub-bacia Xopotó, que conforme demonstrado nos formatos anteriores apresenta as maiores taxas de contaminantes, logo influenciou nos resultados para uma faixa de IQA mais baixa. Muito embora o mesmo não aconteça com o ponto AC7 que além dos dados da calha principal e da sub-bacia do Xopotó, agrega também os dados da sub-bacia Rio Novo, que também se justifica, conforme já discutido nos formatos anteriores, onde a boa capacidade de autodepuração do Rio Novo contribui de forma positiva para o IQA da bacia, portanto não causou impacto negativo ao IQA final.

Figura 51 - IQA Dados Agregados Pela Junção de Pontos de Monitoramento

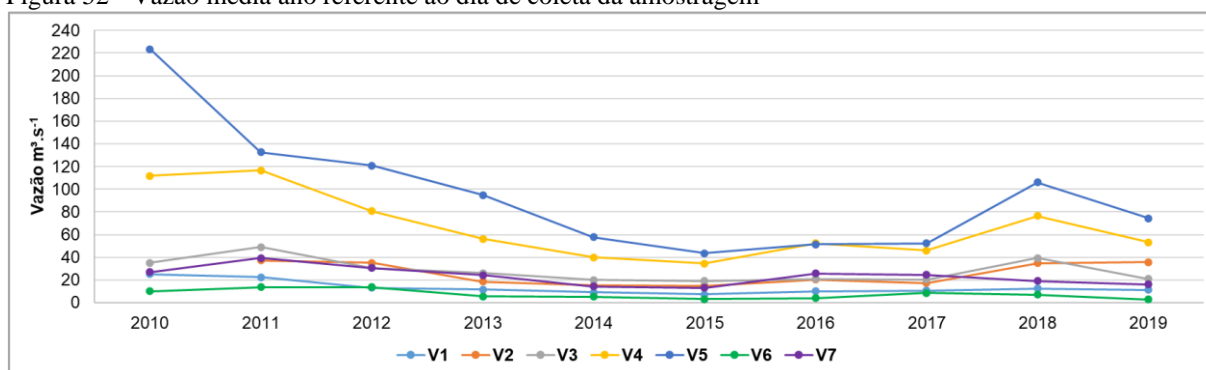


Fonte: O autor, 2021.

Buscando compreender os picos negativos e as oscilações das faixas de IQA, foi confeccionado um gráfico com todos os pontos de vazão disponíveis na bacia hidrográfica e seus volumes em m³/s. O gráfico reproduz a vazão média ano feita a partir dos dados na data da coleta para cada campanha realizada, sendo que a relação ponto de monitoramento e ponto de medição de vazão está conforme figura 23.

Sobre os picos negativos de IQA para o ano de 2011 que se repete para todos os pontos, pode ser justificado pelas vazões elevadas para o mesmo período que foi um dos anos da série com maior volume de água nos rios, conforme já foi discutido, um maior volume de água, faz o arraste de material particulado do solo urbano e rural propiciando picos negativos de IQA (Figura 52).

Figura 52 - Vazão média ano referente ao dia de coleta da amostragem



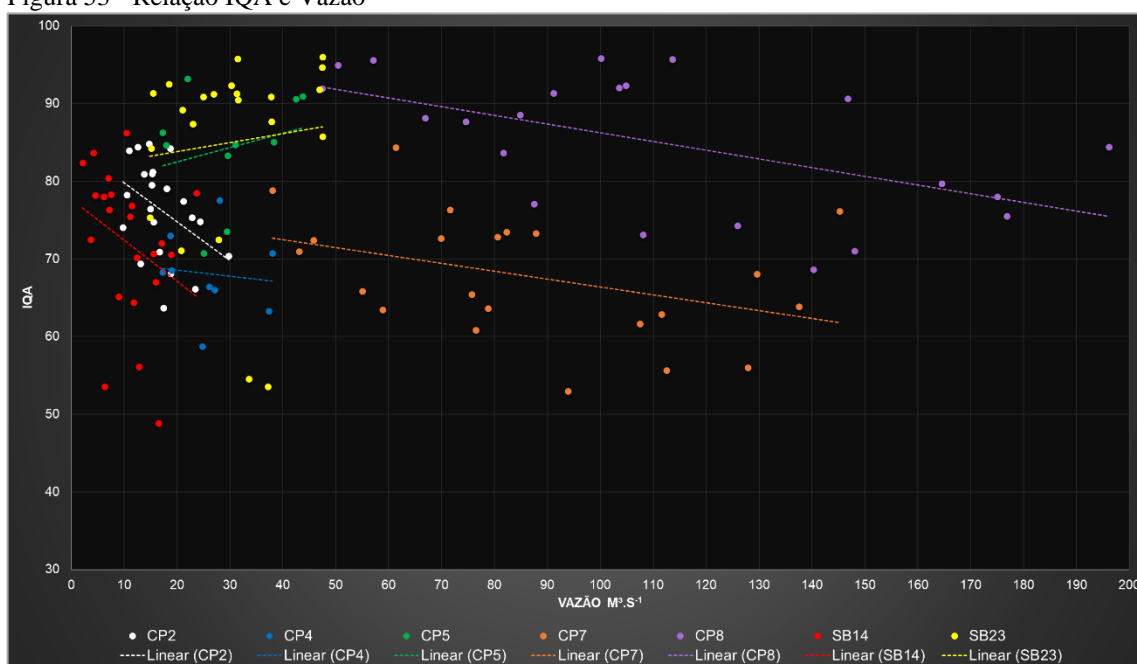
Fonte: O autor, 2021.

Dados de vazões

Ainda sobre as vazões, entendendo a necessidade de melhor compreensão da relação IQA e vazão, um outro modelo de visualização do comportamento foi abordado, assim foi confeccionado um gráfico com dados concatenados de IQA, vazão e ano de medição (Figura 53).

Na confecção do gráfico utilizou-se os dados de vazão média ano, concatenados com o ponto de monitoramento e o IQA correspondente. Essa correlação nem sempre foi possível, pois nem todos os pontos de vazão estão próximos aos pontos de monitoramento, portanto utilizou-se apenas os pontos que se relacionavam, e desta forma nem todos os pontos puderam ser avaliados. Desse modo os pontos possíveis e utilizados são: CP2, CP4, CP5, CP7, CP8, SB14 e SB23.

Figura 53 - Relação IQA e Vazão



Fonte: O autor, 2021.

Observando as linhas de tendências, verifica-se que quase todos os pontos apresentam uma relação de queda da qualidade de água, quando se compara com a vazão, de modo que à medida que aumenta a vazão os valores de IQA descem, a exceção do ponto CP5 região do Médio Pomba e do ponto SB23 na sub-bacia Rio Novo.

A região do Alto Pomba (CP2 e CP4) a queda de qualidade está relacionada a localização geográfica, que sofre influência do despejo de esgoto doméstico das cidades de Santa Bárbara do Tugúrio e Mercês, também contribuiu para a queda do IQA a matéria orgânica das áreas agrícolas e da pecuária, junto a erosão que em períodos de chuvas, dadas a declividade do terreno provocam o arraste de material particulado para os leitos dos rios.

Soares et al. (2007) em um trabalho de comparação da dinâmica de fitoplâncton no rio Pomba identificou em pontos próximos as nascentes, altas concentrações de nutrientes como fósforo, nitrato e nitrogênio amoniacal. Logo essas interferências mencionadas é um grande fator a interferir no IQA do CP2 uma vez que são parâmetros que compõem o escopo do trabalho. Também foi o que observou Farage et al. (2010) em estudos nas cabeceiras do rio Pomba, avaliando estado trófico para fósforo, descreveu sobre o grande volume de aporte de fósforo principalmente no período de chuva que segundo ele está relacionado a atividade agrícola.

A piora da qualidade da água na região do Alto Pomba com o aumento da vazão pode ser explicada ao observarmos algumas descrições abaixo de outros autores sobre as regiões de cabeceira do Pomba que foram discutidas de modo bem relevante ao longo do tempo e contribuíram para explicar essa tendência de piora significativa no ponto CP2.

Segundo levantamento do CEIVAP (2006) há uma alta taxa de vulnerabilidade de erosão nos municípios nas regiões próximas a Santa Bárbara do Tugúrio, local do primeiro ponto de medição (CP1), afirma ainda que essa vulnerabilidade tem relação com o uso e manejo inadequado do solo pela agricultura e pecuária da região, seria assim um grande ator provocador do arraste de potenciais contaminantes.

Almeida (2006) também constatou que o aumento da vazão no trecho que se inicia a montante da cidade de Santa Bárbara do Tugúrio e a jusante a cidade de Rio Pomba, trouxe um decréscimo na qualidade da água, e ainda atribuiu a variável sólidos totais como maiores agentes influenciador dessa piora. Fritzsos et al. (2003) em trabalho semelhante na bacia hidrográfica do Rio Capivari no Estado do Paraná, onde efetuaram a avaliação da qualidade ambiental da água do rio na região de Curitiba, concluíram que uma alteração na vazão desencadeia processos erosivos que por sua vez aumentam a turbidez, a cor e o teor de matéria orgânica nas águas.

A bacia hidrográfica do rio Pomba foi descrita com cinco principais formas de relevo, sendo o Alto Pomba região das nascentes onde estão localizados os dois primeiros pontos de monitoramento, ainda denominada como Serra da Mantiqueira, essas áreas têm como principais características declividades elevadas, onde as águas correm com maior velocidade e com a capacidade de provocar grandes alagamentos em regiões de baixa declividade como na cidade de Cataguases no Médio Pomba (FARIA, 2009).

Farage et al. (2010) e Soares et al. (2007) comprovaram em estudos na região do rio Pomba onde as concentrações de fósforo encontradas foram bastante elevadas nas regiões próximas ao ponto CP1, sobretudo em períodos chuvosos onde há um arraste de grandes quantidades de material do solo para os leitos de água, provocando a lixiviação principalmente de fósforo, constatada pelo aumento da concentração de fósforo total.

Matos et al. (2011) desenvolveu um trabalho sobre coeficiente de aeração em trechos do rio Pomba, e assim definiu o primeiro trecho do rio como uma região caracterizada por ser montanhosa, com a presença de muitas corredeiras, e classificou o trecho no período seco como “velocidade normal” e “rio rápido”, no período chuvoso.

A região do Médio Pomba (CP5) apresentou uma tendência de melhora da qualidade devido localização do ponto, numa região intermediária e de equilíbrio dentro da bacia, por não apresentar a declividade de terreno como acontece no Alto Pomba, o que contribuiu para a pouca influência das vazões no IQA. Apesar disso a linha de tendência com indicação de melhora não é suficiente para uma mudança na faixa de IQA, de modo que a melhora teve pouca relevância no IQA final.

A região do Baixo Pomba (CP7 e CP8) apresentou uma tendência de piora da qualidade o que tem reflexo do uso e manejo do solo que é característica de toda bacia, e dos problemas relacionados a ausência de saneamento adequado, esse problema se torna evidente principalmente em períodos de chuvas.

Assim também constatou Silva (2014) em um estudo sobre o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Pomba, avaliou a qualidade ambiental da água em vários trechos e identificou vários pontos com elevadas densidades de coliformes, acima do limite da Resolução CONAMA de N° 357 para rios de classe 2, ainda mencionou que a provável fonte de coliformes nos cursos d'água na estação chuvosa se deve principalmente a desproteção do solo que favorece o carreamento de fezes dos pastos, para os cursos d'água.

Os usos do solo da bacia hidrográfica do rio Pomba são na sua maioria pastagens, com 63,9% da área, isso também agrava essa situação, o pisoteio do gado, que eleva a

vulnerabilidade de erosão do solo e o consequente aumento da turbidez dos corpos hídricos que drenam essas áreas de pastagens (SILVA, 2014).

A sub-bacia Rio Novo (SB23) apresentou uma tendência de melhora na qualidade da água. Essa melhora se dá pelo baixo declive do terreno, que proporciona um lento arraste de material particulado em períodos de chuva e faz com que o rio tenha tempo de fazer a depuração desse material presente na água, além de não sofrer muitas influências de grandes centros urbanos. No entanto vale ressaltar a presença da cidade de Santos Dumont que despeja todo esgoto no rio sem nenhuma forma de tratamento.

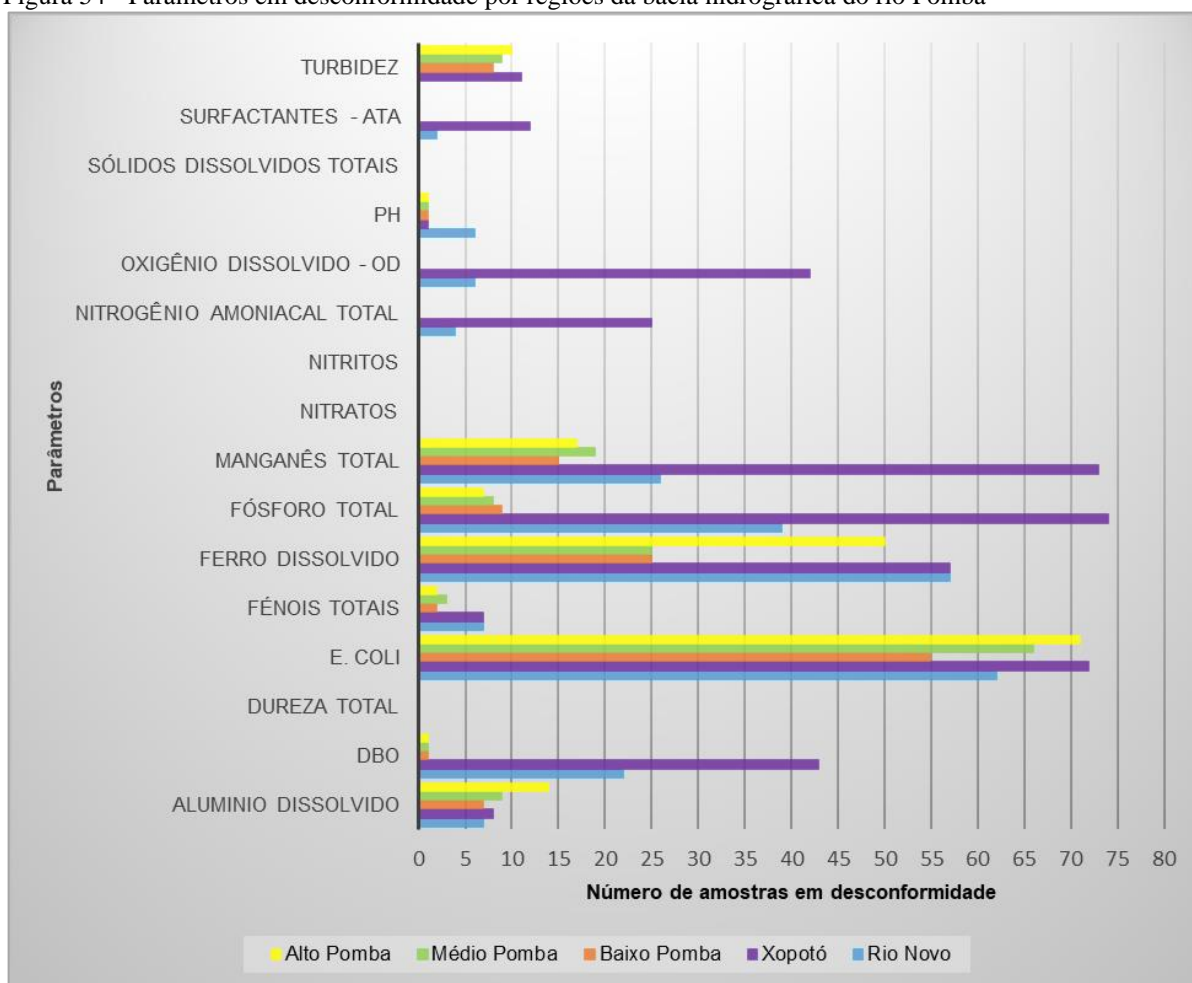
A sub-bacia Xopotó (SB14) apresentou uma tendência negativa bem acentuada, essa relação foi descrita no formato 2 de Dados Agregados por Ano de Monitoramento, pois a sub-bacia é uma região que apresenta um alto potencial de erosão e ainda apresenta o maior volume de contaminantes provenientes de esgoto doméstico de toda a bacia hidrográfica do rio Pomba.

Foi observado nesse trabalho que alguns contaminantes tiveram maior presença e influência no IQA, principalmente no período chuvoso. Esse dado também foi constatado por Luz (2018) no monitoramento da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Ligeiro no município de Pato Branco, onde observou que os maiores valores de DBO, nitrogênio total, fósforo e principalmente coliformes termotolerantes, para alguns pontos de monitoramento, estavam relacionadas as campanhas de maior vazão.

Assim no sentido de verificar os principais contaminantes e influenciadores do IQA, uma planilha foi confeccionada com dados de cada região da bacia, com todos os parâmetros do escopo desse trabalho e o número de vezes que apareceram em desconformidade quando avaliado os limites da CONAMA N° 357 (Figura 54).

Os dados levantados apontam para uma forte interferência de metais em todas as regiões da bacia, os parâmetros: Fe, Mn e Al contribuíram para as faixas mais baixas de IQA, e são indicadores de erosão do solo, também apareceram em grande número os parâmetros: fósforo, turbidez, E. Coli e DBO que são indicadores da presença de esgoto doméstico. Ainda que alguns dos pontos de monitoramento não estejam próximos de grandes centros urbanos o grupo de contaminantes, E. Coli, DBO e fósforo, representam também o arraste de material fecal de origem animal ou da lixiviação do solo, como foi discutido e observado por Fia et al. (2015), que destaca as áreas da bacia do rio Pomba que são propícias a atividades de erosão e arraste material particulado.

Figura 54 - Parâmetros em desconformidade por regiões da bacia hidrográfica do rio Pomba



Fonte: O autor, 2021.

CONCLUSÃO

Esse trabalho buscou avaliar o comportamento da qualidade da água dentro da bacia hidrográfica do rio Pomba utilizando o índice IQA-CCME e sua evolução ao longo do tempo, bem como suas interações com o uso e ocupação do solo. Nesse sentido três propostas de avaliação de dados foram utilizadas, além da verificação da vazão e sua relação com o IQA, com o intuito de verificar que modelo melhor descreveria as condições da qualidade da água da bacia.

Formato 1. Cálculo do IQA por ponto para cada ano de monitoramento, esse modelo evidenciou a relação da vazão com os picos negativos do IQA, de modo que o aumento da vazão contribuiu para piora da qualidade da água. Possibilitou também uma análise dos pontos de monitoramento no exutório de cada sub-bacia, demonstrando que a sub-bacia Rio Novo contribuiu para uma melhora da qualidade da água na calha principal e a sub-bacia Xopotó foi o principal contribuinte de piora da qualidade da água.

O Formato 1 apresentou ainda boa condição de uso para refletir um IQA local do ponto de monitoramento, porém apresentou limitação na capacidade de demonstrar com clareza o comportamento da bacia como um todo.

Formato 2. Dados Agregados por Ano de Monitoramento, avaliando os dados de IQA da calha principal, verifica-se que um número maior de dados de amostragem não foi o principal agente influenciador do IQA, de modo que um número menor de dados pode ser comparado sem inviabilizar o método. Esse formato é de fácil maleabilidade por permitir calcular o IQA juntando todos os dados de monitoramento de um mesmo ano. Tem como principal vantagem uma melhor visualização espacial da qualidade da água da bacia hidrográfica como um todo. Sua limitação está na visualização da qualidade local da água no ponto de monitoramento, uma vez que esse formato visualiza o comportamento anual da bacia e não do ponto.

O Formato 3. Cálculo do IQA por subtrecho acumulado da bacia, evidenciou com clareza a qualidade da água em subtrechos da bacia, sendo possível determinar regiões onde a qualidade da água se destaca pela melhora ou piora. Porém apresenta limitação na visualização do comportamento local no ponto de monitoramento.

Assim os três modelos foram eficazes, pois conseguiram demonstrar que os fatores que influenciaram para os baixos níveis de qualidade de água estão no uso inadequado do solo, na poluição difusa causada pela pecuária da região, e na carga de poluição de origem

doméstica pela ausência de saneamento adequado, principalmente na sub-bacia do Xopotó onde o índice apresentou seus piores resultados de qualidade.

Outro comportamento verificado é que a diminuição do número de campanhas anuais não comprometeu a utilização no cálculo do IQA e a comparação dos dados para esta bacia, portanto um número de 2 campanhas ano pode ser utilizado normalmente, desde que as variações hidrológicas do rio sejam bem compreendidas, de modo que não sofram grandes variações ao longo do tempo.

A partir das análises dos dados de vazão foi possível constatar que o modelo de uso e ocupação do solo da bacia, contribui para os processos erosivos e como consequência a poluição das águas da bacia, principalmente em períodos chuvosos onde ocorrem as maiores vazões nos rios. De modo que o aumento da vazão leva a uma degradação da qualidade da água, principalmente em pontos de monitoramento próximos de centros urbanos.

As áreas de pastagens somadas a pouca cobertura vegetal do solo potencializaram problemas com a presença de um número elevado de parâmetros como ferro, manganês, alumínio, coliformes, fósforo e turbidez, promovidos pelo arraste em dias de chuvas, através do escoamento superficial, uma vez que a presença de metais são indicadores de erosão do solo, já os demais parâmetros configuram a presença de material fecal oriundos da pecuária.

As áreas urbanas ainda foram as principais influenciadoras negativas da qualidade da água com a incidência de parâmetros como DBO, fósforo e coliformes, que são indicadores da ausência de tratamento de esgoto, esses dados ficaram evidentes principalmente em regiões a jusante das principais cidades da bacia que não apresentam tratamento adequando do esgoto doméstico.

À qualidade da água da bacia se manteve em equilíbrio, nenhum formato de investigação demonstrou tendência de piora ou melhora ao longo do tempo estudado, muito embora algumas oscilações com picos de melhora e piora estejam presentes. A bacia apresentou uma faixa de qualidade de água boa no seu ponto final de monitoramento o que evidenciou o poder de autodepuração da calha principal e de seus contribuintes.

Destaca-se que o IQA-CCME foi eficaz por se comportar como uma metodologia de simples entendimento, aplicabilidade e pela sua maleabilidade nos dados, sendo sua principal vantagem a possibilidade de incorporação de parâmetros ao índice que melhor evidenciasse os verdadeiros estressores da qualidade da água na bacia. Entretanto o método apresentou extrema sensibilidade com as oscilações na incidência ou pela ausência do parâmetro coliformes.

Sendo assim maiores investimentos devem ser feitos, por parte dos órgãos públicos e/ou comitês de bacia hidrográfica, em ações e ferramentas voltadas para áreas de recuperação e de preservação do solo, bem como obras na área de saneamento básico, que contribuam com a despoluição e preservação dos rios, ações que visem a garantia da estabilidade da água da bacia hidrográfica em altos níveis de qualidade, proporcionando assim os seus usos múltiplos.

REFERÊNCIAS

AGEVAP. A Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Agência da Bacia do Rio Paraíba do Sul. Relatório Consolidado de Caracterização – Pomba p3 – **Diagnóstico Ambiental (caracterização) Avaliação Ambiental Integrada – AAI das bacias dos rios Muriaé, Pomba, Piabanha, Paraibuna e Preto, afluentes do rio Paraíba do Sul.** 2013.

AGEVAP. A Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul - PIRH-PS e **Elaboração dos Planos de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas Afluentes - diagnóstico e prognóstico da bacia hidrográfica dos afluentes mineiros dos rios Pomba e Muriaé.** Maio, 2020.

ALMEIDA, T. V. **Índice de qualidade da água e coeficientes de auto-depuração de trechos do Rio Pomba** / Thomé Vidigal de Almeida. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa. – Viçosa: UFV, 2006. xvi, 68f.

ALMEIDA, A. A. **Estudo Comparativo entre os Métodos IQANSF e IQACCME na Análise da Qualidade da Água do Rio Cuiabá.** Cuiabá, MT. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso. Instituto de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente – 2007.

ALMEIDA, K. C. B. **Avaliação da rede de monitoramento de qualidade das águas superficiais da bacia do rio das velhas utilizando o método da entropia.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte Escola de Engenharia da UFMG, 2013.

ALMEIDA, A. A. **Avaliação da aplicação do IQA-CCME na divulgação da qualidade de água de Bacias Hidrográficas. Estudo de caso: Bacia Hidrográfica do Rio Joanes.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental Urbana) Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, 2014.

ALVES, M. T. R., TERESA, F. B., NABOUT, J. C. A global scientific literature of research on water quality indices: trends, biases and future directions. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 2014, vol. 26, no. 3, p. 245-253. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2179975X2014000300004&script=sci_abstract. DOI: 10.1590/S2179-975X2014000300004. Acesso 16 mar. 2021.

AMARO, C. A. **Proposta de um índice para avaliação de conformidade da qualidade dos corpos hídricos ao enquadramento**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 2009.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Estudos Auxiliares para a Gestão do risco de Inundações na Bacia do Rio Paraíba do Sul**. 2011. Disponível em: <<http://gripbsul.ana.gov.br/Default.html>>. Acesso em: 23 jun. 2020.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Água na medida certa: A hidrometria no Brasil**. Brasília: ANA, 2012a. 72 p.: il.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil: 2012**. Agência Nacional de Águas - Brasília: ANA, 2012b. 264 pag. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/textos-das-paginas-do-portal/publicacoes>>. Acesso em: 02 maio. 2020.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Planos de recursos hídricos e enquadramento dos corpos de água** / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2013a. 68 p.: il. -- (Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos; v.5).

ANA. Agência Nacional de Águas. **Atlas de Esgoto**. 2013b. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/atlas-esgotos>>. Acesso em: 13 de mar. 2020.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura de Recursos Hídricos no Brasil 2017: relatório pleno**. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <<http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/relatorio-conjuntura-2017.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2020.

ANA. Agência Nacional de Águas. Rede **Hidrometeorológica Nacional**. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa>>. Acesso em: 01 dez. 2020.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Atlas Esgoto Despoluição das Bacias Hidrográficas**. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/atlas-esgotos>>. Acesso em: 04 de fev. 2021.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Consulta ao cadastro de empreendimentos da ANEEL com os respectivos Códigos Único de Empreendimentos de Geração (CEG)**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/Consulta_Empreendimento.asp>. Acesso em: 16 mai. 2021.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC nº 274, de 22 de setembro de 2005. Ementa não oficial: Aprova o "Regulamento Técnico Para Águas Envasadas e Gelo". **Publicação: DOU**. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/394219/RDC_274_2005.pdf/19d98e61-fa3b-41df-9342-67e0167bf550>. Acesso em: 08 dez. 2019.

BABA, R. K.; VAZ, M. S. M. G.; COSTA, J. CORREÇÃO DE DADOS AGROMETEOROLÓGICOS UTILIZANDO MÉTODOS ESTATÍSTICOS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130611>. v.29, n.4, 515 - 526, 2014.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N. & EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. P. 318.

BRAGA, B.; PORTO, M. & TUCCI, C. E. M. Monitoramento de quantidade e qualidade das águas. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B. & TUNDISI, J. G. (Org.). **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. São Paulo: Escrituras, 2006. p. 145 – 160.

BRASIL. Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. **Código das Águas. 1934**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D24643.htm>. Acesso em: 17 nov. 2019.

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. **Institui o novo Código Florestal**. Diário. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4771.htm>. Acesso em: 21 nov. 2019.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm>. Acesso em: 25 nov. 2019.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1986.

BRASIL. Constituição Federal de 1988. **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988. Disponível em: <<https://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/91972/constituicao-da-republica-federativa-do-brasil-1988#art-20--inc-III>>. Acesso em: 17 abr. 2020.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em: 25 nov. 2019.

BRASIL. Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 274, de 29 de novembro de 2000a. Revisa os Critérios de Balneabilidade em Águas Brasileiras – **Publicação DOU nº 018**, de 08/01/2001. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=272>>. Acesso em: 08 dez. 2019.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH. Ministério do desenvolvimento Regional. Resolução Nº 12, de 19 de julho de 2000b. **Estabelece procedimentos para o enquadramento de corpos de água em classes segundo os usos preponderantes**. Disponível em: <<http://www.cnrh.gov.br/resolucoes/58-resolucao-n-12-de-19-de-julho-de-2000/file>>. Acesso em: 08 dez. 2019.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH. Ministério do Meio Ambiente Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução Nº 32, de 15 de outubro de 2003. Instituiu a Divisão Hidrográfica Nacional, em regiões hidrográficas. **Publicado no DOU em 17/12/2003**. Disponível em: <<https://cnrh.mdr.gov.br/divisao-hidrografica-nacional/74-resolucao-n-32-de-15-de-outubro-de-2003/file>>. Acesso em: 17 jul. 2021.

BRASIL. Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 2005.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Lei estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm>. Acesso em: 12 ago. 2020.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH. Ministério do desenvolvimento Regional. Resolução Nº 91, de 05 de novembro de 2008a. **Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos**. Disponível em: <<http://www.cnrh.gov.br/resolucoes/820-resolucao-n-91-de-5-de-novembro-de-2008/file>>. Acesso em: 08 dez. 2019.

BRASIL. Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. **Publicada no DOU nº 66**, de 7 de abril de 2008b, Seção 1, páginas 64-68. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>>. Acesso em: 08 dez. 2019.

BRASIL. Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) Resolução nº 397, de 3 de abril de 2008c. **Publicada no DOU nº 66**, de 7 de abril de 2008, Seção 1, páginas 68-69. Altera o inciso II do § 4o e a Tabela X do § 5o, ambos do art. 34 da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº 357, de 2005, que 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 disponível em:

<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2008_397.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2019.

BRASIL. Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) Resolução nº 410, de 4 de maio de 2009. **Publicada no DOU nº 83**, de 5 de maio de 2009, página 106. Prorroga o prazo para complementação das condições e padrões de lançamento de efluentes, previsto no art. 44 da Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, e no art. 3º da Resolução nº 397, de 3 de abril de 2008. Disponível em:

<<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=603>> Acesso em: 08 dez. 2019.

BRASIL. Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Publicada no DOU nº 92** de 16 junho 2011. Pág. 89. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.

Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>> Acesso em: 08 dez. 2019.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Resolução Nº 141, de 10 de julho de 2012. **Publicada no DOU em 24 agosto de 2012**. Estabelece critérios e diretrizes para implementação dos instrumentos de outorga de direito de uso de recursos hídricos e de enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, em rios intermitentes e efêmeros, e dá outras providências. Disponível em:

<<http://www.cnrh.gov.br/resolucoes/1633-resolucao-n-141-de-10-de-julho-de-2012/file>> Acesso em: 08 dez. 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde (MS). Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Disponível em: <<http://https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolida----o-n---5--de-28-de-setembro-de-2017.pdf>> Acesso em: 08 dez. 2021.

BRASIL. Lei Nº 14.026, DE 15 DE JULHO DE 2020. **Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984**, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm> Acesso em: 18 mar. 2021.

BRASIL. PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <<http://https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>> Acesso em: 11 jul. 2021.

BRITES, A. P. Z. **Enquadramento dos corpos de água através de metas progressivas: probabilidade de ocorrência e custos de despoluição hídrica**. 2010. 177 p. Tese (Doutorado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 2010.

CARVALHO, C. F.; FERREIRA, A. F. STAPELFELDT, F. Qualidade das águas do ribeirão Ubá- MG. **REM: R. Esc. Minas**, Ouro Preto, 57(3): 165-172, jul. set. 2004.

CARVALHO, A. P. **Utilização do índice de qualidade da água (IQA-CCME) para verificação de conformidade ao enquadramento no ribeirão São João em Porto Nacional** - Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Federal do Tocantins. Palmas, TO, 2017.

CCME. Canadian Council of Ministers of the Environment, 2001, **CCME Water Quality Index 1.0**, Technical Report, In Canadian Environmental Quality Guidelines, Winnipeg.

CCME. Canadian Council of Ministers of the Environment, 2006, **A Sensitivity Analysis of the Canadian Water Quality Index**, PN 1355, Technical Report -rpts/042005).

CCME. Canadian Council of Ministers of the Environment, **Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME Water Quality User's Manual Update 2017**, (2017).

CEIVAP. Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Resumo** - Caderno de Ações Bacia do Rio Pomba. Rio de Janeiro, 2006. 113 p.

CETEM. Centro de Tecnologia Mineral. Rompimento de barragem da Mineradora Rio Pomba Cataguases afeta qualidade da água em MG e no RJ. **CETEM 2012**. Disponível em: <<http://verbetes.cetem.gov.br/verbetes/ExibeVerbete.aspx?verid=107>>. Acesso em: 17 jun. 2019.

CESAR, P. I. A. C.; HORA, M. A. G. M. Regionalização de vazões mínimas da bacia do rio pomba. **In XII Congresso Nacional de Excelência em Gestão**. Rio de Janeiro. Set. 2016.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2019a. **Significado Ambiental e Sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-E-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-2016.pdf>> Acesso em: 21 nov. 2019.

CETESB. Águas Interiores (**Publicações e Relatórios**). 2019b. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/Apendice-D-indices-de-Qualidade-das-guas.pdf>> Acesso em: 29 jan. 2021.

CHAVES, H. M. L.; ROSA, J. W. C.; VADAS, R. R. G.; OLIVEIRA, R. V. T. Regionalização de Vazões Mínimas em Bacias Através de Interpolação em Sistemas de Informação Geográfica. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 7 n.3 jul. /set. 2002.

CLARKSON, C. C. **River quality monitoring: selection of water quality sampling sites and characterization of a pollutant plume in a stream**. Amherst: 1979. 127p. Thesis (M. Sc.) – University of Massachusetts.

COLPANI, G. L. **Preparação e caracterização de adsorventes para a remoção de surfactantes aniônicos em águas residuárias**. Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Florianópolis – SC 2012.

COPASA. **Infraestrutura de Qualidade**. Disponível em: <<http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/agua-de-qualidade/infraestrutura-de-qualidade>>. Acesso em: 31 jan. 2021.

COSTA, K. A. **Avaliação da qualidade da água do rio verde, Ponta Grossa, PR, através de análise multivariada e aplicação de índices de qualidade**. Dissertação (Mestrado em Química Aplicada) Universidade Estadual de Ponta Grossa. 2018.

CUNHA, D. G.F.; CALIJURI, M. C. Análise probabilística de ocorrência de incompatibilidade da qualidade da água com o enquadramento legal de sistemas aquáticos – estudo de caso do rio Pariquera-Açu (SP). **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.15, n.4, p.337-346, 2010.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos Atualizado**. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006.

FARAGE, J. A. P. **Influência do Uso e da Ocupação do Solo na Qualidade da Água e Capacidade Autodepurativa do Rio Pomba**. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Magister Scientiae. Viçosa Minas Gerais – BRASIL 2009.

FARAGE, J. A. P.; MATOS, A. T.; SILVA, D. D.; BORGES, A. C. Determinação do índice de estado trófico para fósforo em pontos do rio pomba. **REVENG**, 322-329 p. Engenharia na agricultura, viçosa - mg, V.18 N.4, julho / agosto 2010.

FARIA, M. M. **Compartimentação Geomorfológica e Morfometria da Bacia do Rio Pomba, MG/ RJ**. Monografia apresentada ao Curso de Geografia da Universidade Federal de Viçosa como pré-requisito para obtenção do título de bacharel em Geografia. Viçosa - MG 2009.

FEAM. Fundação estadual do meio ambiente. **Inventário de resíduos sólidos da mineração: ano base 2017**. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: FEAM, 2017.

FERNANDES, N. C. **Determinação do índice de qualidade da água tratada distribuída aos municípios do estado de Goiás**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2013.

FIA, R.; TADEU, H. C.; MENEZES, J. P. C.; FIA, F. R.; OLIVEIRA, L. F. C. Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Versão On-line ISSN 2318-0331 RBRH vol. 20 n° .1 Porto Alegre jan. /mar. 2015 p. 267 - 275

FINOTTI, A. R.; FINKLER, R.; SUSIN, N.; SCHNEIDER, V. E. **Use of Water Quality Index as a Tool for Urban Water Resources Management**. **International Journal of Sustainable Development and Planning**. v. 10, n. 6, p.781–794, 2015.

FRITZONS, E. et al. As Alterações da Qualidade da Água do Rio Capivari com o Deflúvio: Um Instrumento de Diagnóstico de Qualidade Ambiental. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 8, n. 4, p. 239-248, 2003.

GOOGLE. Google Earth Website. **Mapas da Bacia do Rio Pomba**. 2020. Disponível em: <<http://earth.google.com/>> Acesso em: 26 de ago. 2020.

GUEDES, H. A. S. **Modelagem da qualidade da água e da capacidade de autodepuração do Rio Pomba**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG 2009.

GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D.; ELESBON, A. A., RIBEIRO, C. B.; MATOS, A. T.; SOARES, J. H. Application of multivariate statistical analysis in the study of water quality in the Pomba River (MG). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n. 5, p. 558-563, 2012.

IAP. Instituto Ambiental do Paraná. **Monitoramento da qualidade das águas dos rios da região metropolitana de Curitiba, no período de 2002 a 2005**/Instituto Ambiental do Paraná; Curitiba: IAP, 2005. p. 79. Disponível em: <<http://www.pr.gov.br/meioambiente/iap>>. Acesso em: 18/05/2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Biomas do Brasil – primeira aproximação**. Rio de Janeiro, 2004, disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/tematicos/mapas_murais/biomas.pdf>. Acesso em: 11 de ago. 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <<http://mapasinterativos.ibge.gov.br/grade/default.html>>. Acesso em: 16 de nov. 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico: Brasil**. Rio de Janeiro, 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativa da População**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=17283&t=downloads>>. Acesso 03 de fev. 2021.

IGAM. Portaria IGAM nº 48, de 04 de outubro de 2019. **Estabelece normas suplementares para a regularização dos recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais e dá outras providências**. (Publicação – Diário do Executivo – “Minas Gerais” – 05/10/2019).

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH** / Instituto Mineiro de Gestão das Águas. - Belo Horizonte: IGAM, 2011. 155p.; il. – (Relatório final – volume III: avaliação do Sistema Estadual de Gerenciamento de Minas Gerais – SEGRH-MG).

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Avaliação da qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2018: resumo executivo anual** / Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Belo Horizonte: IGAM, 2019. 327 p.: il.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Portaria Nº 48, de 04 de outubro de 2019. **Estabelece normas suplementares para a regularização dos recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais e dá outras providências**. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=49719>>. Acesso em: 18 mai. 2021.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Relatório de monitoramento de qualidade das águas**. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/monitoramento-da-qualidade-das-aguas2>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas 1961 a 1990**. Disponível em: <www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>. Acesso em: 17 de jun. 2020.

JACOVINE, L. A. G.; CORRÊA, J. B. L.; SILVA, M. D.; VALVERDE, S. R.; FERNANDES F. E. I.; COELHO, F. M. G.; PAIVA, H. D. Quantificação das áreas de preservação permanente e de reserva legal em propriedades da bacia do Rio Pomba-MG. **Revista Árvore**, v. 32, n. 2, p. 269-278, 2008.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, Vol. 15, No. 3, 259-263 (June 2006).

LUZ, E. **Monitoramento da qualidade da água da bacia hidrográfica do Rio Ligeiro no município de Pato Branco - PR**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Pato Branco, PR, 2018.

MARANHÃO, N. **Sistema de Indicadores para Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas**. 2007. 397p. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

MATOS, A. T.; ALMEIDA, T. V.; SILVA, D. D.; FARAGE, J. A. P. Coeficiente de reaeração em três trechos do rio pomba (mg), obtidos nos períodos chuvoso e seco. **REVENG Engenharia na agricultura**, viçosa - MG, v.19 n.4, julho / agosto 2011. 361-369 p.

MINAS GERAIS (Estado). Lei Estadual de N°11.504, de 20/06/1994. **Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências**. Publicação - Diário do Executivo - "Minas Gerais" - 21/06/1994.

MINAS GERAIS (Estado). Decreto de Lei N° 12.584 1997, de 17 de julho de 1997. **Altera a denominação do Departamento de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais - DRH-MG - para Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM -**, dispõe sobre sua reorganização e dá outras providências. Publicação - Diário do Executivo - "Minas Gerais" - 18/07/1997.

MINAS GERAIS (Estado). Lei Estadual de N°13.199/1999 de 29/01/1999. **Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências**. Publicação - Diário do Executivo - "Minas Gerais" - 30/01/1999.

MINAS GERAIS (Estado). Decreto de N°44.290, de 03/05/2006. Institui o Comitê da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Pomba e Muriaé.

MINAS GERAIS (Estado). Conselho estadual de política ambiental, COPAM; conselho estadual de recursos hídricos, CERH. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH N° 01/08, de 01 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**. Belo Horizonte, MG, 20 mai. 2008. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>. Acesso em: 10 abril. 2020.

MINAS GERAIS (Estado). **Deliberação do Conselho de Recursos Hídricos de Minas Gerais**. CERH/MG N° 260, de 26 de novembro de 2010. Aprova o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais.

MINAS GERAIS (Estado). Decreto de N° 45.565, de 22/03/2011 - **Aprova o Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH-MG**. Publicação – Diário do Executivo – “Minas Gerais” – 23/03/2011

MINAS GERAIS (Estado). LEI N° 21.972, DE 21 DE JANEIRO DE 2016. **Dispõe sobre o Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Sisema** – e dá outras providências. Publicação – Diário do Executivo – “Minas Gerais” – 22/01/2016.

MINAS GERAIS (Estado). Decreto de N° 48.160, de 24 de março de 2021. **Regulamenta a cobrança pelo uso de recursos hídricos no Estado e dá outras providências.**

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Índices e Indicadores de Qualidade da Água – **Revisão da Literatura. Monitoramento da Qualidade da Água como Instrumento de Controle Ambiental e Gestão dos Recursos Hídricos no Estado de Pernambuco.** Programa Nacional do Meio Ambiente II – PNMA II. Componente Desenvolvimento Institucional. Subcomponente Monitoramento de Qualidade da Água. Subprojeto Pernambuco. Recife, 2003. Disponível em: <<http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/indice-agua-volume1.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2020.

OLIVEIRA, M.; ROCHA, C. H. B.; VELEZ, J. G. A.; SOUZA, L. V. Qualidade da Água e Índice de Conformidade ao Enquadramento da Represa Dr. João Penido, Juiz de Fora (MG), Brasil. **III Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul.** Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF. MG. 2018.

PACHECO, B. S. R.; DESCHAMPS, F. C. Análise da efetivação do enquadramento dos recursos hídricos no Estado de Santa Catarina. In: **10º Simpósio Internacional da Qualidade Ambiental.** Outubro de 2016. PUCRS. Porto alegre RS.

PINHEIRO, L. S.; CUNHA, C. M. L. Determinação do Potencial Natural de Erosão (PNE) na Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca, Itirapina (SP) – Brasil. In: **XII Encuentro de Geógrafos de América Latina.** Montevideo, Uruguay: 2009. Anais...Uruguay: Universidadde la Republica, 2009.

PIZELLA, D. G; SOUZA, M. P. Análise da sustentabilidade ambiental do sistema de classificação das águas doces superficiais brasileiras. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, 2007.

REIS, B. J.; BATISTA, G. T.; TARGA, M. S.; CATELANI, C. S. Influência das cavas de extração de areia no balanço hídrico do vale do Paraíba do Sul. **Revista Escola de Minas**, v.59, n. 4, p. 391-396, 2006.

RIO DE JANEIRO. Lei estadual de N° 650 de 11 de janeiro de 1983. **Dispõe sobre a política estadual de defesa e proteção das bacias fluviais e lacustres do rio de janeiro.**

RIO DE JANEIRO. Lei estadual de N° 3.239, de 02 de agosto de 1999. **Institui a política estadual de Recursos Hídricos; cria o sistema estadual de gerenciamento de recursos hídricos;** regulamenta a Constituição Estadual, em seu artigo 261, parágrafo 1º, inciso VII; e dá outras providências.

RIO DE JANEIRO. Lei estadual de N° 4.247, de 16 de dezembro de 2003. **Dispõe sobre a cobrança pela utilização dos recursos hídricos de domínio do estado do Rio de Janeiro e dá outras providências.**

RIO DE JANEIRO. Lei estadual de Nº 5101 de 04 de outubro de 2007. **Dispõe sobre a criação do instituto estadual do ambiente – INEA** e sobre outras providências para maior eficiência na execução das políticas estaduais de meio ambiente, de recursos hídricos e florestais. Posteriormente modificada pela Lei de Nº 7511 de 10 de janeiro de 2017.

RODRIGUES, G. D.; MENDES SILVA, L. H.; HESPANHOL SILVA, M. C. Alternativas verdes para o preparo de amostra e determinação de poluentes fenólicos em água. Departamento de Química, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal de Viçosa. **Quim. Nova**, v. 33, n. 6, 1370-1378, 2010.

ROSALINO, M. R. R. **Potenciais Efeitos da Presença de Alumínio na Água de Consumo Humano**. Dissertação Mestre em Engenharia do Ambiente, Perfil Sanitária. Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova. Lisboa, nov. 2011.

RUAS, A. L. **Avaliação das alterações da qualidade de águas tropicais decorrentes da instalação de barramentos para fins de geração de energia elétrica – estudo de caso do Rio Pomba**. 287p. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia da UFMG, UFMG, Belo Horizonte, 2006.

SANDERS, T. G. *et al.* Design of network for monitoring water quality. Highlands. **Ranch: Water Resources Publications**, 1983.

SCHNEIDER, R. M.; COSSICH, R. F. E. S.; SOARES P. F.; FREITAS F. H.; TAVARES, C. R. G. Estudo da influência do uso e ocupação de solo na qualidade da água de dois córregos da Bacia hidrográfica do rio Pirapó. Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá., Maringá, Paraná, Brasil. DOI: 10.4025/ **Acta Scientiarum**. Technology Maringá, v. 33, n. 3, p. 295-303, 2011.

SHARP, W. E. A topologically optimum water-sampling plan for rivers or streams. **Water Resources Research**, v. 7, n. 6, p. 1641-6, Dec. 1971.

SHIGAKI, F. **Transporte de fósforo na enxurrada superficial em função do tipo de fonte P e intensidade das chuvas: Relevância à gerência ambiental em sistemas de produção brasileiros**. Piracicaba: USP, 2006. 113f. (Tese de doutorado).

SILVA, M. T. L. **Adaptação e aplicação do índice de conformidade ao enquadramento (ICE) de cursos d'água**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. Belo Horizonte MG, 2017.

SILVA, R. R. Bacia do rio Pomba (MG): **Uso e ocupação do solo e impactos ambientais nos recursos hídricos**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, 2014.

SILVEIRA, L. G. **Estudo comparativo da utilização do IQA-NSF e IQA-CCME para análise da qualidade da água no Estado do Rio de Janeiro**. Dissertação apresentada, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, ao Programa de pós-graduação stricto sensu em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, da Universidade Estadual do Rio de Janeiro. 2018. 93 f.: il.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto**. 2019. Disponível em: <<http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>>. Acesso em: 17 out. 2020.

SOARES, M. C. S.; HUSZAR, V. L. M.; ROLAND, F. Phytoplankton dynamics in two tropical rivers with different degrees of human impact (southeast Brazil). **River Research and Applications**, v. 23, n. 7, p. 698-714, 2007.

TOMAZ, A. C. F. **A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e o Federalismo no Brasil**. São Paulo, 2006. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2006.

TRATA BRASIL. **Painel Saneamento Brasil**. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas>> Acesso em: 04 de fev. 2021.

VIEIRA, F.; RODRIGUES, R. R. A fauna de peixes dos afluentes do rio Paraíba do Sul no estado de Minas Gerais. MG. **BIOTA**, Belo Horizonte, v. 3, n. 1, abr/mai. 2010.

VIEIRA, M. R.; GENERINO, A. P. M.; SILVEIRA, R. B. O. Método de alocação de pontos para monitoramento da qualidade de águas superficiais utilizado na RNQA. **XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE**. Natal – RN. nov. 2014.

VITTE, A. C.; MELLO, J. P. Considerações sobre a erodibilidade dos solos e a erosividade das chuvas e suas consequências na morfogênese das vertentes: um balanço bibliográfico. **Climatologia e Estudos da Paisagem Rio Claro** - Vol.2 - n.2 - julho/dezembro/2007, p. 107.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 1995, 240p.

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

WANG, Q.; WU, X.; ZHAO, B.; QIN, J.; PENG, T.; 2015. Combined multivariate statistical techniques, Water Pollution Index (WPI) and Daniel trend test methods to evaluate temporal and spatial variations and trends of water quality at Shanchong River in the Northwest Basin of Lake Fuxian, China. **PLoS ONE** 10(4): e0118590. Doi:10.1371/journal.pone.0118590.

WEINBERG, A. **Uso de Índices de Qualidade de Água para a Caracterização da Bacia Hidrográfica do rio Guandu**. Rio de Janeiro. UFRJ/ Escola Politécnica, 2013. xii, 166 p. :il.; Escola Politécnica / Curso de Engenharia Ambiental, 2013.

WIKIPEDIA. Classificação Climática de Köppen-Geiger. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Classifica%C3%A7%C3%A3o_clim%C3%A1tica_de_K%C3%B6ppen-Geiger>. Acesso em: 22 ago. 2021.

ZONTA, J.H.; BRAUN, H.; PEZZOPANE, J.E.M.; REIS, E.F. Determinação do índice de qualidade das águas da bacia do Rio Alegre nas diferentes épocas do ano. In: **ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8., ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 4., 2004**, São José dos Campos. Anais... p.480-482.