



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA, GEOCIÊNCIAS E SAÚDE
COLETIVA (IGESC)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



MYCHELLE PRISCILA DE MELO

Uberlândia (MG)
2025

MYCHELLE PRISCILA DE MELO

**VULNERABILIDADE E GESTÃO HÍDRICA SUPERFICIAL DA
PORÇÃO MINEIRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
JEQUITINHONHA**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia, do Instituto de Geografia, da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), como requisito obrigatório à obtenção do título de Doutora em Geografia.

Área de concentração: Dinâmicas Territoriais e Estudos Ambientais.

Linha de pesquisa: Estudos Ambientais e Geotecnologias.

Orientador: Prof. Dr. Vanderlei de Oliveira Ferreira.

Uberlândia (MG)
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

- M528v Melo, Mychelle Priscila de, 1986-
2025 Vulnerabilidade e gestão hídrica superficial da porção mineira na
bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha [recurso eletrônico] / Mychelle
Priscila de Melo. - 2025.

Orientador: Vanderlei de Oliveira Ferreira.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de
Pós-graduação em Geografia.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2025.5023>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.

I. Geografia. I. Ferreira, Vanderlei de Oliveira, 1967-, (Orient.). II.
Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-graduação em
Geografia. III. Título.

CDU: 910.1

André Carlos Francisco
Bibliotecário-Documentalista - CRB-6/3408



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	GEOGRAFIA			
Defesa de:	Tese de Doutorado Acadêmico, Número 283, PPGGEO			
Data:	28 de março de 2025	Horário de início:	08h:05min.	Horário de encerramento:
Matrícula do Discente:	12113GEO011			
Nome do Discente:	MYCHELLE PRISCILA DE MELO			
Título do Trabalho:	VULNERABILIDADE E GESTÃO HÍDRICA SUPERFICIAL NA PORÇÃO MINEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JEQUITINHONHA			
Área de concentração:	DINÂMICAS TERRITORIAIS E ESTUDOS AMBIENTAIS			
Linha de pesquisa:	ESTUDOS AMBIENTAIS E GEOTECNOLOGIAS			
Projeto de Pesquisa de vinculação:	CENÁRIOS PRETÉRITOS E PROSPECTIVOS DE VARIÁVEIS HIDROCLIMÁTICAS EM MINAS GERAIS			

Reuniu-se no Campus Santa Mônica, no Instituto de Geografia, Geociências e Saúde Coletiva (IGESC) da Universidade Federal de Uberlândia, sala 1H14, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em GEOGRAFIA, assim composta: Professores Doutores: Rafael de Ávila Rodrigues - UFCAT-GO; Luiz Eduardo Panisset Travassos - PUC-Minas; Rildo Aparecido Costa - IGESC-UFGU; Alan Silveira - IGESC-UFGU e Vanderlei de Oliveira Ferreira - IGESC-UFGU, orientador da candidata.

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa, Professor Vanderlei de Oliveira Ferreira - IGESC-UFGU, apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu à Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da Discente e o tempo de arguição e resposta ocorreram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(as) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovada.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de **Doutora**.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalho. Foi lavrada a presente

Ata que após lida foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Vanderlei de Oliveira Ferreira, Professor(a) do Magistério Superior**, em 28/03/2025, às 11:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.



Documento assinado eletronicamente por **Rildo Aparecido Costa, Professor(a) do Magistério Superior**, em 28/03/2025, às 11:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.



Documento assinado eletronicamente por **Alan Silveira, Professor(a) do Magistério Superior**, em 28/03/2025, às 11:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.



Documento assinado eletronicamente por **Rafael de Ávila Rodrigues, Usuário Externo**, em 28/03/2025, às 11:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Eduardo Panisset Travassos, Usuário Externo**, em 28/03/2025, às 11:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6148606** e o código CRC **CECDC329**.

*A Deus, que me ensinou que a verdadeira força vem da fé;
Ao meu filho Luiz Antônio, fonte de inspiração e amor em minha vida;
Aos meus pais Luis e Regina e ao meu irmão Bruno, pelo estímulo e apoio, e por
sonharem este sonho comigo;*

*Ao Vale do Jequitinhonha, celeiro de sementes que lutam para germinar,
de pétalas que exaustivamente resistem para não serem afogadas pela luz do sol,
outrora vale dos diamantes, de pedras preciosas, da vida mal vivida, dos mistérios,
dos sonhos abortados, etéreos, que revela outras minas de muitas gerais.
Vale de gente que sacode a poeira dos sapatos, da pele e da alma.*

AGRADECIMENTOS

Desafio tão grande quanto escrever esta tese, foi expressar minha gratidão a todos os envolvidos na minha trajetória acadêmica nestas duas páginas que aqui dedico. Inicio agradecendo a Deus, que, por meio da minha fé, transformou meu coração atordoado em manso, meus pensamentos acelerados em serenos, meus machucados em cura, meus traumas em fortaleza, meus vazios em amor que transborda e meu destino em servi-lo.

Agradeço imensamente aos meus pais Luis e Regina, meu irmão Bruno, minha cunhada Jéssica, meu filho Luiz Antônio e meu namorado Neto, que sonharam comigo este sonho e estiveram, incansavelmente junto a mim em cada dificuldade, choro, tribulação, conquista, realização, alegria e descoberta. Jamais conseguirei expressar em palavras os milagres que esta rede de apoio bem estabelecida foi capaz de operar em mim.

Uma vez, dentro da Universidade, algumas pessoas me convenceram a continuar minha carreira após a Graduação, mostrando-me a nobre função da pesquisa: produzir novos conhecimentos. João Donizete, Idelvone, Estevane, Odelfa, Rafael de Ávila, Silas e Rildo foram essas pessoas, pesquisadores diferenciados que me ensinaram a pensar criticamente e acreditar em meu potencial.

Especificamente ao Rildo e ao Vanderlei, professores que se tornaram amigos, preciso dedicar algumas palavras em honorabilidade à paciência, direcionamento, respeito, afeto, críticas e conhecimentos divididos. Fora muitos anos de parceria e irmandade que espero eternizar e vivenciar por muitos anos ainda. Aproveito, ainda, para me colocar sempre à disposição do que precisarem.

Não posso deixar de agradecer aos colegas que partilharam comigo os 20 anos desde que iniciei os meus estudos no Curso Técnico em Meio Ambiente, na Graduação em Geografia, no Mestrado em Geografia e no Doutorado, são inúmeras pessoas que tive o privilégio de conhecer, conviver e carregar comigo. Alguns se distanciaram ao longo da vida e outros ainda permanecem, e a esses últimos gostaria de dizer o quanto sou feliz pelo carinho que sempre dedicaram a mim: Rosiane, Gilbert, Mário, Ozanir, Alisson, Raphaella, Angélica, Clícia e Priscila Querino.

À equipe da Nascente Consultoria Ambiental, que nestes últimos dois anos do Doutorado me apoiaram e entenderam minha luta em me dedicar ao trabalho, ao meu filho e aos estudos, gratidão infinita, em especial à Renata, Eric, Monique, Tharlianne,

Sesiane, Raniere e Júlio. Não posso deixar de mencionar a Mayara que também é uma extensão do escritório e uma amiga para todas as horas. Sua luta e força me ensinam diariamente!

À família Maanaim, que conheci em 2024 e espero nunca deixar de fazer parte. Com vocês eu vivi minha melhor descoberta e hoje eu sirvo a Deus, partilho os sentimentos, a espiritualidade e a vida. São amigos de oração que me levarão ao céu! Agradecimento especial ao Neto, Gláucia, Liliane, Matheus Birck, Maria Rita, Duda, Isadora Barbosa, Pâmela, Thiago, Kennedy, Kamyllly, Ademir, Karynnny, César, Mayara, Eric, Renata, Licamar, Gracy, Rangel, Aline, Jefferson, Débora Adalian, Amandinha, Roberto, Gustavo, Monique, Paulo Vitor, Warley, Thayane, André, Laislla, Regim, Larissa, Silvinha, Brenner, Karol, Marco Aurélio, Alessandra, Ju Valero, Ana Vívian, Ricardo, Kássia, Alex, José Yuri, Ana Júlia, Juliano, Darinha, Elisângela, Rita, João Lucas, Matheus Campos, Lucélia, Gisele, Adriane, João Alberto, Alexsandra, Dezirê, Débora de Kássia, Niliane, Fernanda, Isa Pedroso, Carol Laverde, Manoel, Mariane, Marcos Luiz, Matheus Pires, Aparecido, Valéria, Wellington, Georgiane, Geovana, Alice e tantos outros que chegarão e serão bem-vindos!

Aos amigos da vida que nunca soltaram a minha mão: Glenda, Mari, Bia, Eline, Pri, Lu, Fabi, Leilane, Thainá, Claudinha, André, Danilo, Admar, Lucas, Dentim, Mastrella. Aos familiares Daniel e Luiz, Poliana, Glorinha, Fábio, Paulão, Rosane, Paola, Zoe, minha sogra Nair, Juliana, Lilian, Dulce, Léo, Jéssica, Márcia, Lorrane, Gustavo, Rafa Costa, demais primos (as) e tios (as), avós Fia e Luzia, e meus avôs estrelinhas Joaquim e Olavo, vocês são especiais demais para mim e cada um tem minha eterna gratidão. Sonhar, viver e todo dia agradecer. É com esse pensamento que encerro esse ciclo que marcou minha vida. Desafio concluído!

*Sonhar é verbo, é seguir,
é pensar, é inspirar,
é fazer força, insistir,
é lutar, é transpirar.*

*São mil verbos que vêm antes
do verbo realizar.*

*Sonhar é ser sempre meio,
é ser meio indeciso,
meio chato, meio bobo,
é ser meio improviso,
meio certo, meio errado,
é ter só meio juízo.*

*Sonhar é ser meio doido
é ser meio trapaceiro,
trapaceando o real
pra ser meio verdadeiro.*

*Na vida, bom é ser meio,
não tem graça ser inteiro.*

*O inteiro é o completo,
não carece acrescentar,
é sem graça, é insosso,
é não ter por que lutar.*

*Quem é meio é quase inteiro
e o quase nos faz sonhar.*

(Bráulio Bessa)

RESUMO

A Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha é marcada pelas alterações no uso e cobertura de suas terras incentivadas por ações estatais, resistindo aos baixos índices de desenvolvimento socioeconômico. Com Planos Diretores de Recursos Hídricos relativamente recentes e limitada efetivação de instrumentos de gestão dos recursos hídricos, esta pesquisa busca avaliar, por meio de dados de qualidade, disponibilidade e demanda hídrica, nas Circunscrições Hidrográficas (CH's) JQ1, JQ2 e JQ3, o cenário revelado pelas variáveis associadas à escassez, para além do âmbito físico, mas econômico de água. A crise hídrica permeia o Vale do Jequitinhonha em mais de 300 anos de história de Minas Gerais, um entrave que requer efetiva participação do Estado na luta pela democracia procedural e deliberativa, aproximando cidadãos e poder público na gestão hídrica, que é preocupação global. A fim de investigar o contexto enfrentado pela realidade dos povos mineiros, a proposta metodológica desta pesquisa, com base nos referenciais teórico-conceituais de Segurança Hídrica e de Socio-hidrologia, abrangeu a relação mútua entre ser humano e água, na perspectiva de que uma sociedade deve ter água suficiente e de qualidade para atender suas necessidades básicas, econômicas e sociais. Operações de análise geográfica em Sistema de Informação Geográfica (SIG) contemplaram o diagnóstico dos componentes físico-geográficos e ambientais (características geológicas, aspectos do relevo, classes de solos, condições climáticas e cobertura e uso da terra), além da disponibilidade das águas superficiais, as demandas pelo uso da água e a qualidade das águas superficiais, utilizados para a obtenção da vulnerabilidade quali-quantitativa hídrica superficial da porção mineira da bacia hidrográfica avaliada. Os resultados, então, integrados a instrumentos de política ambiental, sugerem a primordialidade de medidas estruturais e não-estruturais de intervenções como procedimentos a serem aplicados, visto que a coprodução de soluções pode resultar em maior efetividade de proposições, onde o ser humano e suas atividades são endógenos à dinâmica do ciclo hidrológico.

Palavras-chave: vulnerabilidade hídrica quali-quantitativa; socio-hidrologia; segurança hídrica; bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha. Minas Gerais.

ABSTRACT

The Jequitinhonha River Basin is marked by changes in the use and coverage of its land encouraged by state actions, resisting low socio-economic development rates due to its water vulnerability. With relatively recent Water Resources Master Plans and limited implementation of water resource management instruments, this research seeks to evaluate water quality, availability and demand data in the CH's JQ1, JQ2 and JQ3, the scenario revealed by the variables associated with scarcity, beyond the physical, but also the economic scope of water. The water crisis has permeated the Jequitinhonha Valley for more than 300 years in the history of Minas Gerais, an obstacle that requires the effective participation of the state in the fight for procedural and deliberative democracy, bringing citizens and public authorities closer together in water management, which is a global concern. In order to investigate the context faced by the people of Minas Gerais, the methodological proposal of this research, based on the theoretical-conceptual frameworks of Water Security and Socio-hydrology, encompassed the mutual relationship between human beings and water, from the perspective that a society must have sufficient quality water to meet its basic, economic and social needs. Geographical analysis operations in the Geographical Information System (GIS) included the diagnosis of the physical-geographical and environmental components (geological characteristics, relief aspects, soil classes, climatic conditions and land cover and use), as well as the availability of surface water, the demands for water use and the quality of surface water, used to obtain the qualitative and quantitative surface water vulnerability of the mining portion of the watershed assessed. The results, integrated with environmental policy instruments, suggest the primacy of structural and non-structural intervention measures as procedures to be applied, since the co-production of solutions can result in more effective proposals, where human beings and their activities are endogenous to the dynamics of the hydrological cycle.

Keywords: quali-quantitative water vulnerability; socio-hydrology; water security; Jequitinhonha river basin. Minas Gerais.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Climograma da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, de 1985 a 2015	57
Figura 2- Esquema em que se apresentam as principais etapas do ciclo do nitrogênio no ecossistema aquático.....	99
Figura 3- Representação esquemática do fluiograma e respectiva curva de permanência	106
Figura 4- Pilares de atuação que ampliam a segurança hídrica	122
Figura 5- Esquema representativo de vulnerabilidade hídrica qualitativa da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha	152
Figura 6- Esquema representativo de vulnerabilidade hídrica quali-quantitativa da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha	155
Figura 7- Vazões de retirada, consumo e retorno nas regiões hidrográficas brasileiras em 2000	158
Figura 8- Vazões de retirada para os usos de água nas regiões hidrográficas brasileiras em 2000.....	159
Figura 9- Vazões de consumo para os usos de água nas regiões hidrográficas brasileiras em 2000.....	160
Figura 10- Percentual de vazões de retirada para os usos de água nas regiões hidrográficas brasileiras em 2000.....	160
Figura 11- Percentual de vazões de consumo para os usos de água nas regiões hidrográficas brasileiras em 2000.....	161
Figura 12- Consumo diário de água per capita (litros) em Minas Gerais (2021)	180

Gráfico 1- Municípios com áreas inseridas parcialmente na Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha.....	78
Gráfico 2- Ranking das maiores demandas hídricas bovinas diárias da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha em 2020	168
Gráfico 3- Ranking das maiores demandas médias industriais da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha de 1970 a 2024	178
Gráfico 4- Demandas médias industriais de Bocaiúva (MG) de 1970 a 2024	179
Gráfico 5- Ranking da demanda hídrica populacional urbana na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, em 2022	190
Gráfico 6- Ranking da demanda hídrica populacional rural na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, em 2022.....	191
Gráfico 7- Vazões mínimas e médias para as estações chuvosa e seca do Posto Fluviométrico Fazenda Cajueiro, de 1985 a 2021	193
Gráfico 8- Vazões mínimas e médias para as estações chuvosa e seca do Posto Fluviométrico Fazenda Facão, de 1985 a 2021.....	195
Gráfico 9- Vazões mínimas e médias para as estações chuvosa e seca do Posto Fluviométrico Vila Terra Branca - Jusante, de 1985 a 2021	196
Gráfico 10- Vazões mínimas e médias para as estações chuvosa e seca do Posto Fluviométrico Carbonita, de 1985 a 2021	198
Gráfico 11- Vazões mínimas e médias para as estações chuvosa e seca do Posto Fluviométrico Fazenda Jambeiro, de 1985 a 2021	199
Gráfico 12- Vazões mínimas e médias para as estações chuvosa e seca do Posto Fluviométrico Porto Mandacaru, de 1985 a 2021	201
Gráfico 13- Vazões mínimas e médias para as estações chuvosa e seca do Posto	

Fluviométrico Itaobim, de 1985 a 2021	202
Gráfico 14- Vazões mínimas e médias para as estações chuvosa e seca do Posto Fluviométrico São João Grande, de 1985 a 2021	204
Gráfico 15- Vazões mínimas e médias para as estações chuvosa e seca do Posto Fluviométrico Jacinto, de 1985 a 2021	205
Gráfico 16- Vazões mínimas e médias para as estações chuvosa e seca do Posto Fluviométrico Jequitinhonha, de 1985 a 2021	206
Gráfico 17- Vazões mínimas e médias para as estações chuvosa e seca do Posto Fluviométrico Ponte Vacaria, de 1985 a 2021	208
Gráfico 18- Vazões mínimas e médias para as estações chuvosa e seca do Posto Fluviométrico Pega, de 1985 a 2021	209
Gráfico 19- Curva de permanência da Q7,10 para o Posto Fluviométrico Fazenda Cajueiro (54770000), de 1973 a 2021	212
Gráfico 20- Curva de permanência da Q7,10 para o Posto Fluviométrico Fazenda Facão (54485000), de 1973 a 2021	212
Gráfico 21- Curva de permanência da Q7,10 para o Posto Fluviométrico Vila Terra Branca (54010005), de 1973 a 2021	213
Gráfico 22- Curva de permanência da Q7,10 para o Posto Fluviométrico Carbonita (54230000), de 1973 a 2021	213
Gráfico 23- Curva de permanência da Q7,10 para o Posto Fluviométrico Fazenda Jambeiro (54110002), de 1973 a 2021	213
Gráfico 24- Curva de permanência da Q7,10 para o Posto Fluviométrico Porto Mandacaru (54150000), de 1973 a 2021	214
Gráfico 25- Curva de permanência da Q7,10 para o Posto Fluviométrico Itaobim (54580000), de 1973 a 2021	214
Gráfico 26- Curva de permanência da Q7,10 para o Posto Fluviométrico São João Grande (54590000), de 1973 a 2021	214
Gráfico 27- Curva de permanência da Q7,10 para o Posto Fluviométrico Jacinto (54780000), de 1973 a 2021	215
Gráfico 28- Curva de permanência da Q7,10 para o Posto Fluviométrico Jequitinhonha (54710000), de 1973 a 2021	215
Gráfico 29- Curva de permanência da Q7,10 para o Posto Fluviométrico Ponte Vacaria (54165000), de 1973 a 2021	215
Gráfico 30- Curva de permanência da Q7,10 para o Posto Fluviométrico Pega (54390000), de 1973 a 2021	216
Gráfico 31- Percentual total dos resultados de IQA em todas as estações na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha entre 2014 e 2021	225
Gráfico 32- Percentual total dos resultados de CT em todas as estações na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha entre 2014 e 2021	227
Gráfico 33- Percentual total dos resultados de IET em todas as estações na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha entre 2014 e 2021	230
Gráfico 34- Panorama de Qualidade das Águas Superficiais das estações elegidas na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha entre 2014 e 2021	235
Fluxograma 1- Etapas desenvolvidas na pesquisa	132
Fluxograma 2- Etapas da consulta bibliográfica.....	133
Mapa 1- Localização da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha	32

Mapa 2- Rede de drenagem da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha.....	33
Mapa 3- Circunscrições hidrográficas da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha.....	41
Mapa 4- Principais cursos d'água da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha.....	48
Mapa 5- Estações pluviométricas elegidas da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha	56
Mapa 6- Unidades geológicas da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha.....	58
Mapa 7- Geomorfologia da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha	62
Mapa 8- Hipsometria da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha	64
Mapa 9- Declividade da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha	65
Mapa 10- Solos da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha	66
Mapa 11- Suscetibilidade erosiva da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha.....	71
Mapa 12- Uso e ocupação dos solos da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha.....	74
Mapa 13- Títulos minerários da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha.....	75
Mapa 14- Sedes municipais da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha.....	79
Mapa 15- Conflitos pelo uso de água da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha.....	129
Mapa 16- Postos fluviométricos elegidos da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha adotados na pesquisa	138
Mapa 17- Estações de amostragem elegidas do IGAM da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha adotados na pesquisa	141
Mapa 18- Disponibilidade hídrica superficial média da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha	218
Mapa 19- Localização das barragens construídas na porção mineira da Bacia do Rio Jequitinhonha	219
Mapa 20- IQA médio para a porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, de 2014 a 2021	231
Mapa 21- CT médio para a porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, de 2014 a 2021	232
Mapa 22- IET médio para a porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, de 2014 a 2021	233
Mapa 23- Disponibilidade hídrica da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha.....	239
Mapa 24- Qualidade média hídrica superficial da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha	241
Mapa 25- Vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha.....	2414

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha (MG e BA) - continua	36
Tabela 2- Municípios partícipes, população, densidade demográfica, PIB e extensão das unidades territoriais na Bacia Hidrográfica do Alto do Jequitinhonha (JQ1), em 2021 e 2022 - continua	42
Tabela 3- Municípios partícipes, população, densidade demográfica, PIB e extensão das unidades territoriais na Bacia Hidrográfica do Araçuaí (JQ2), em 2021 e 2022 .44	
Tabela 4- Municípios partícipes, população, densidade demográfica, PIB e extensão das unidades territoriais na Bacia Hidrográfica do Médio e Baixo Rio Jequitinhonha (JQ3), em 2021 e 2022 - continua	46
Tabela 5- Caracterização da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha por CH	47
Tabela 6- Postos pluviométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha - continua	53
Tabela 7- Quantidade de títulos minerários e área na Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, de 1935 a 2018 - continua.....	75
Tabela 8- População residente e indicadores de água e esgoto para os estados que compõem a Bacia do Rio Jequitinhonha	81
Tabela 9- Panoramas municipais das prestações de serviços da COPASA/COPANOR na Bacia do Rio Jequitinhonha, em 2021 - continua	83
Tabela 10- Relação e localização dos postos pluviométricos utilizados da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha	139
Tabela 11- Coeficientes de demanda hídrica humana aplicáveis à porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha.....	149
Tabela 12- Coeficientes de Índice de Disponibilidade Hídrica (IDH) aplicável à porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha	151
Tabela 13- Classificação de vulnerabilidade hídrica qualitativa da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha.....	153
Tabela 14- Graus de vulnerabilidade da qualidade das águas superficiais com valores agregados da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha 154	
Tabela 15- Graus de vulnerabilidade da disponibilidade das águas superficiais com valores agregados da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha 154	
Tabela 16- Graus de vulnerabilidade hídrica quali-quantitativa da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha.....	156
Tabela 17- Vazões de retirada, consumo e retorno e percentuais nas regiões hidrográficas brasileiras em 2000 - continua	157
Tabela 18- Uso da água na Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha – Vazão de Retirada em 2021 e Projeção para 2040.....	162
Tabela 19- Levantamento bovino municipal da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha em 2020 - continua	162
Tabela 20- Levantamento bovino municipal com áreas inseridas parcialmente na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha em 2020 - continua ...	164
Tabela 21- Demanda hídrica bovina da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha em 2020 - continua	165
Tabela 22- Pesquisa Industrial de Minas Gerais, Região Sudeste e Brasil em 2022 - continua	170
Tabela 23- Demanda hídrica industrial da porção mineira da Bacia Hidrográfica do	

Rio Jequitinhonha (1970 a 2024) - continua	171
Tabela 24- População geral, urbana e rural da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, em 2010 - continua	181
Tabela 25- População geral, urbana e rural estimada para a porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, em 2022 - continua	184
Tabela 26- Demanda hídrica populacional estimada para a porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, em 2022 - continua	187
Tabela 27- Vazão mínima mensal do Posto Fluviométrico Fazenda Cajueiro, para as estações chuvosa e seca, de 1985 a 2021	192
Tabela 28- Vazão média mensal do Posto Fluviométrico Fazenda Cajueiro, para as estações seca e chuvosa, de 1985 a 2021	193
Tabela 29- Vazão mínima mensal do Posto Fluviométrico Fazenda Facão, para as estações chuvosa e seca, de 1985 a 2021	194
Tabela 30- Vazão média mensal do Posto Fluviométrico Fazenda Facão, para as estações seca e chuvosa, de 1985 a 2021	194
Tabela 31- Vazão mínima mensal do Posto Fluviométrico Vila Terra Branca - Jusante, para as estações chuvosa e seca, de 1985 a 2021	195
Tabela 32- Vazão média mensal do Posto Fluviométrico Vila Terra Branca - Jusante, para as estações seca e chuvosa, de 1985 a 2021	196
Tabela 33- Vazão mínima mensal do Posto Fluviométrico Carbonita, para as estações chuvosa e seca, de 1985 a 2021	197
Tabela 34- Vazão média mensal do Posto Fluviométrico Carbonita, para as estações seca e chuvosa, de 1985 a 2021	197
Tabela 35- Vazão mínima mensal do Posto Fluviométrico Fazenda Jambeiro, para as estações chuvosa e seca, de 1985 a 2021	199
Tabela 36- Vazão média mensal do Posto Fluviométrico Fazenda Jambeiro, para as estações seca e chuvosa, de 1985 a 2021	199
Tabela 37- Vazão mínima mensal do Posto Fluviométrico Porto Mandacaru, para as estações chuvosa e seca, de 1985 a 2021	200
Tabela 38- Vazão média mensal do Posto Fluviométrico Porto Mandacaru, para as estações seca e chuvosa, de 1985 a 2021	201
Tabela 39- Vazão mínima mensal do Posto Fluviométrico Itaobim, para as estações chuvosa e seca, de 1985 a 2021	202
Tabela 40- Vazão média mensal do Posto Fluviométrico Itaobim, para as estações seca e chuvosa, de 1985 a 2021	202
Tabela 41- Vazão mínima mensal do Posto Fluviométrico São João Grande, para as estações chuvosa e seca, de 1985 a 2021	203
Tabela 42- Vazão média mensal do Posto Fluviométrico São João Grande, para as estações seca e chuvosa, de 1985 a 2021	203
Tabela 43- Vazão mínima mensal do Posto Fluviométrico Jacinto, para as estações chuvosa e seca, de 1985 a 2021	204
Tabela 44- Vazão média mensal do Posto Fluviométrico Jacinto, para as estações seca e chuvosa, de 1985 a 2021	205
Tabela 45- Vazão mínima mensal do Posto Fluviométrico Jequitinhonha, para as estações chuvosa e seca, de 1985 a 2021	206
Tabela 46- Vazão média mensal do Posto Fluviométrico Jequitinhonha, para as estações seca e chuvosa, de 1985 a 2021	206
Tabela 47- Vazão mínima mensal do Posto Fluviométrico Ponte Vacaria, para as estações chuvosa e seca, de 1985 a 2021	207
Tabela 48- Vazão média mensal do Posto Fluviométrico Ponte Vacaria, para as	

estações seca e chuvosa, de 1985 a 2021	207
Tabela 49- Vazão mínima mensal do Posto Fluviométrico Pega, para as estações chuvosa e seca, de 1985 a 2021.....	208
Tabela 50- Vazão média mensal do Posto Fluviométrico Pega, para as estações seca e chuvosa, de 1985 a 2021.....	209
Tabela 51- Mínimas mensais fluviométricas de 1985 a 2021 na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha.....	210
Tabela 52- Médias mensais fluviométricas de 1985 a 2021 na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha.....	211
Tabela 53- Vazões mínimas nos postos fluviométricos da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha	216
Tabela 54- Média das demandas hídricas consuntivas estimadas para a porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha	220
Tabela 55- Oferta hídrica média para a porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, de 1985 a 2021	221
Tabela 56- Resultados de IQA em estações elegidas na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha entre 2014 e 2021.....	222
Tabela 57- Percentual dos resultados de IQA para as estações deste estudo, na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha entre 2014 e 2021 - continua	223
Tabela 58- Percentual total dos resultados de IQA em todas as estações na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha entre 2014 e 2021	224
Tabela 59- Resultados de CT em estações elegidas na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha entre 2014 e 2021	226
Tabela 60- Percentual total dos resultados de CT em todas as estações na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha entre 2014 e 2021	227
Tabela 61- Resultados de IET em estações elegidas na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha entre 2014 e 2021 - continua	228
Tabela 62- Percentual total dos resultados de IET em todas as estações na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha entre 2014 e 2021	229
Tabela 63- Panorama de Qualidade Hídrica das estações elegidas na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha entre 2014 e 2021	234
Tabela 64- Panorama de Qualidade das Águas Superficiais das estações elegidas na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha entre 2014 e 2021	234
Tabela 65- Disponibilidade das águas superficiais da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha - continua	237
Tabela 66- Resultados dos postos de monitoramento hídrico qualitativo médio superficial da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha - continua	239
Tabela 67- Valores de vulnerabilidade da disponibilidade das águas superficiais (Q7,10) da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha	241
Tabela 68- Valores de vulnerabilidade da qualidade das águas superficiais da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha	242
Tabela 69- Valores agregados dos graus de vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha	242
Tabela 70- Primeira sobreposição adotada para vulnerabilidade quali-quantitativa na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha	244

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos disponíveis nos Comitês da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha	48
Quadro 2- Padrões de distribuição espacial da pluviosidade na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha.....	52
Quadro 3- Caracterização das rochas da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha	61
Quadro 4- Caracterização geomorfológica da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha	63
Quadro 5- Caracterização pedológica da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha.....	68
Quadro 6- Ordenamento municipal da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha.....	77
Quadro 7- Parâmetros utilizados pelo monitoramento de qualidade de água em Minas Gerais	92
Quadro 8- Incertezas quanto à caracterização da disponibilidade hídrica	107
Quadro 9- Indicadores do Índice de Segurança Hídrica	119
Quadro 10- Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Agenda ONU 2030	120
Quadro 11- Metas e indicadores do ODS 6	121
Quadro 12- Pilares para gestão do risco a eventos de seca.....	124
Quadro 13- Arquivos e dados digitais utilizados para confecção dos mapas desta pesquisa	136
Quadro 14- Pesos atribuídos aos parâmetros para cálculo do IQA	142
Quadro 15- Classes do Índice de Qualidade da Água	143
Quadro 16- Classes da Contaminação por Tóxicos.....	144
Quadro 17- Classes do Índice de Estado Trófico	145

LISTA ABREVIATURAS E SIGLAS

AGERSA	Agência Reguladora de Saneamento Básico do Estado da Bahia
AMAJE	Associação dos Municípios do Alto Jequitinhonha
ANA	Agência Nacional das Águas
APP	Áreas de Preservação Permanente
ARSAE	Agência Reguladora dos Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais
Art.	Artigo
BA	Bahia
BDMG	Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais
Bt	B textural
C	conformidade
CBH	Comitê de Bacia Hidrográfica
CDI	Certificado de Depósito Interbancário
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CESAMA	Companhia de Saneamento Municipal
CETESB	Companhia de Saneamento Ambiental de São Paulo
CF	contaminação fecal
CH	Circunscrições Hidrográficas
CMS	Consumo de Matéria Seca
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CNARH	Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos
CNI	Confederação Nacional da Indústria
Co	Cobalto
cód.	Código
CODEMIG	Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais
CODEVALE	Consórcio Público de Desenvolvimento do Vale do Ivinhema
CODEVASF	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
COPANOR	Copasa Serviços de Saneamento Integrado do Norte e Nordeste de Minas Gerais
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CT	Contaminação por Tóxicos
Cu	Cobre
DAC	Declaração de Área de Conflito
DAS	Valores de vulnerabilidade do tema disponibilidade das águas superficiais
DH	disponibilidade hídrica
DN	Deliberação Normativa
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EO	enriquecimento orgânico
FAO	Food and Agriculture Organization
FEAM	Fundação Estadual de Meio Ambiente
FJP	Fundação João Pinheiro
GIRH	Gestão Integrada de Recursos Hídricos

GPRH	Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos
GSH	Grupo de Acompanhamento da Situação Hídrica
hab.	Habitantes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDE-SISEMA	Infraestrutura de Dados Espaciais-Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDH	Índice de Disponibilidade Hídrica
IEF	Instituto Estadual de Florestas
IEPHA	Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico
IET	Índice de Estado Trófico
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
INDI	Instituto de Desenvolvimento Integrado de Minas Gerais
IQA	Índice de Qualidade de Água
IT	Índice de Toxidez
JQ	Bacia do Rio Jequitinhonha
km	Quilômetros
km ²	Quilômetros quadrados
l	Litro
m	Metro
m ³	Metro cúbico
mdb	Arquivo de banco de dados do Microsoft Access
MDR	Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional
MG	Minas Gerais
mg	Miligrama
MIRA	Monitoramento Remoto Integrado das Águas
mm	Milímetro
Mn	Manganês
MW	Megawatts
N	Norte
N ₂	Gás nitrogênio
NC	Não conformidade
NO ₂ ⁻	Nitrito
NO ₃ ⁻	Nitrito
NSF	National Sanitation Foundation
°C	Graus Celsius
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONG	Organização Não Governamental
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
ONU	Organização das Nações Unidas
ORSANCO	Ohio River Valley Water Sanitation Comission
PAD	Programas Água Doce
Pb	Chumbo
PERH	Política Estadual de Recursos Hídricos
PLIRHINE	Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste do Brasil
PMDES	Plano Mineiro de Desenvolvimento Econômico e Social
PMSH	Plano Mineiro de Segurança Hídrica
PND	Plano de Desenvolvimento Nacional

PNQA	Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNRH	Política Nacional dos Recursos Hídricos
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
pop.	População
PPM	Produção da Pecuária Municipal
PR	Paraná
Q	Vazão
QAS	Valores de vulnerabilidade do tema qualidade das águas superficiais
RBSE	Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço
RH	Região Hidrográfica
RHN	Rede Hidrometeorológica Nacional
RNQA	Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade das Águas
RS	Rio Grande do Sul
s	Segundo
S	South
S	Sul
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SEGRH	Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SEMAD	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SE-NW	Sudeste-Noroeste
SGH	Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica
SH	Segurança Hídrica
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIN	Sistema Interligado Nacional
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos
SisCAH	Sistema Computacional para Análise Hidrológica
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
ST	Substâncias tóxicas
SW-NE	Sudoeste-Nordeste
TNRCC	Texas Natural Resource Conservation Commision
txt	Texto
UEG	Unidades Estratégicas de Gestão
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFV	Universidade Federal de Viçosa
UGPRH	Unidades de Gestão e Planejamento de Recursos Hídricos
UH	Usina Hidrelétrica
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura
VH	Vulnerabilidade Hídrica
VMP	Valor Máximo Permitido
VTI	Valor da Transformação Industrial
W	West
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	24
1.1 Introdução	24
1.2 Objetivos	27
1.2.1 Geral	27
1.2.2 Específicos	27
1.3 Justificativa	28
1.4 Estruturação e Organização	29
2 CONTEXTO HISTÓRICO E ASPECTOS CLIMÁTICOS, FISIOGRÁFICOS E SOCIOECONÔMICOS DA ÁREA DE ESTUDO	31
2.1 Raízes do Jequitinhonha	33
2.2 Circunscrições Hidrográficas	40
2.2.1 Bacia Hidrográfica do Alto Rio Jequitinhonha (JQ1)	41
2.2.2 Bacia Hidrográfica do Rio Araçuaí (JQ2)	43
2.2.3 Bacia Hidrográfica do Médio e Baixo Rio Jequitinhonha (JQ3)	45
2.3 Aspectos hidroclimáticos	50
2.4 Domínios litoestruturais e geomorfológicos	57
2.5 Tipologia de Solos	66
2.5.1 Susceptibilidade erosiva dos solos	69
2.6 Cobertura vegetal e uso das terras	72
2.7 Informações político-administrativas, socioeconômicas e demográficas	76
3 BASE TEÓRICA-CONCEITUAL	86
3.1 Dinâmica hidrogeoquímica e qualitativa da água	88
3.1.1 Índice de Qualidade de Água (IQA)	93
3.1.2 Contaminação por Tóxicos (CT)	95
3.1.3 Índice de Estado Trófico (IET)	96
3.2 Indicadores de disponibilidade hídrica e vazões de referência	84
3.3 Levantamentos de demanda hídrica	111
3.3.1 Abastecimento humano	113
3.3.2 Abastecimento animal	114
3.3.3 Abastecimento industrial	115
3.3.3.1 Economia mineira na década de 1970	116

3.3.3.2 Inflexão da economia mineira na década de 1980	117
3.3.3.3 Década de 1990 e influências da liberalização econômica	117
3.4 Segurança hídrica e vulnerabilidade de águas superficiais	118
3.5 Conflito pelo uso das águas	128
3.6 Socio-hidrologia no contexto das análises integradas e tomadas de decisões	130
4 ROTEIRO METODOLÓGICO	132
4.1 Base bibliográfica preliminar	133
4.2 Análise documental	135
4.3 Materiais, softwares e arquivos digitais	136
4.4 Levantamento de disponibilidade hídrica e vazões de referência	137
4.5 Levantamento de qualidade hídrica e indicadores de contaminação	141
4.5.1 Índice de Qualidade das Águas (IQA)	142
4.5.2 Contaminação por Tóxicos (CT)	144
4.5.3 Índice de Estado Trófico (IET)	145
4.6 Levantamento de demanda hídrica consuntiva	147
4.6.1 Empreendimentos industriais	147
4.6.2 Rebanho bovino	149
4.6.3 População urbana e rural	150
4.7 Relação entre disponibilidade e demanda hídrica	151
4.8 Vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais	152
5 DIAGNÓSTICO MULTITEMPORAL E REFLEXÕES PARCIAIS	157
5.1 Demanda hídrica consuntiva	158
5.1.1 Demanda da pecuária	163
5.1.2 Demanda industrial	170
5.1.3 Demanda da população urbana e rural	181
5.2 Disponibilidade hídrica superficial	192
5.3 Relação entre disponibilidade e demanda hídrica	220
5.4 Qualidade das águas superficiais	222
5.4.1 Índice de Qualidade de Água (IQA)	223
5.4.2 Contaminação por Tóxicos (CT)	226
5.4.3 Índice de Estado Trófico (IET)	229
5.4.4 Panorama geral	231

5.5 Vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais	237
5.6 Diretrizes e medidas estruturais/não-estruturais recomendadas	245
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	250
REFERÊNCIAS	252

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1. Introdução

A relação entre oferta e demanda hídrica se constitui em uma importante ferramenta para a gestão das águas, permitindo a identificação de áreas vulneráveis quanto à qualidade e escassez deste recurso, fundamental para tomadas de decisões pelo poder público. Danos socioeconômicos e ambientais revertem em cenários de insegurança hídrica diante destas circunstâncias e, condições de convivência, além de proposição de ações, devem ser incentivadas para subsidiar as intervenções e investimentos necessários.

No tocante à qualidade dos recursos hídricos superficiais, diretamente relacionada às características geológicas, climáticas, pedológicas e biológicas, bem como os usos antropogênicos, o uso e ocupação desordenado do solo tem potencial de reduzir os parâmetros potáveis para consumo e de oferta em uma região, por causar contaminação e assoreamento de corpos hídricos, devido aos processos erosivos em bacias de drenagem. Como agravante, o semiárido brasileiro, que abrange parcialmente o norte de Minas Gerais, incluindo parte da bacia do Rio Jequitinhonha, apresenta características naturais que o tornam suscetível à escassez hídrica: solos pouco desenvolvidos, escassez com chuvas concentradas em um curto período e vegetação esparsa com dinâmica de cobertura dependente da estação chuvosa.

Neste sentido, a relação entre água e sociedade configura-se como um desafio para atingir a sustentabilidade, visto que envolve interações em múltiplas escalas, setores e agentes. Por isso, é essencial o planejamento territorial a fim de se controlar e garantir o atendimento às demandas de abastecimento humano e usos múltiplos da água indispensáveis ao desenvolvimento socioeconômico, sem que haja risco hídrico dos cursos que compõem a região semiárida, aqui analisada.

As águas superficiais brasileiras tendem a ser mais poluídas nos centros urbanos devido à intensa urbanização, que aumenta a demanda pela água, ampliando a descarga de recursos hídricos contaminados em um sistema de saneamento sanitário deficiente (Tucci, 2003). Nesses casos, os esgotos domésticos representam uma grande ameaça à qualidade hídrica, principalmente em áreas com maior adensamento populacional e com corpos d'água com baixa capacidade de

assimilação das cargas poluidoras. Já em zonas rurais, o desmatamento em (APP), em conjunto com as atividades agropecuárias, usos de fertilizantes, insumos químicos e agrotóxicos sintéticos, mineração, dentre outras atividades econômicas, têm contribuído para a degradação dos corpos hídricos superficiais.

A Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, em função da sua extensão e características socioeconômicas, ocupada desde o século XVIII durante o processo de exploração minerária de ouro e diamante em Minas Gerais, tem merecido atenção de pesquisadores de diversas áreas do conhecimento. Na verdade, desde os primórdios da ocupação, a região tem sido afetada por alterações na cobertura e no uso da terra e, consequentemente, na qualidade dos recursos hídricos. A região é, também, caracterizada pelo baixo desenvolvimento econômico e social, e o balanço hídrico climatológico evidencia reduzida quantidade de chuvas e temperaturas elevadas.

Outro fator importante é que a referida Bacia e suas sub-bacias possuem Planos Diretores de Recursos Hídricos relativamente recentes, com a implementação limitada de instrumentos de gestão, como a cobrança e outorga das águas. Ademais, outras ferramentas também foram criadas, com relação a estudos hidrológicos para estimativa da disponibilidade hídrica, elaboração de indicadores para avaliar a qualidade da água e a ocorrência de seu respectivo monitoramento. Apesar do monitoramento de qualidade das águas no País ter progredido nos últimos anos, ainda são necessários investimentos para a padronização em escala nacional, expansão e manutenção da operação contínua das redes existentes.

Avanços importantes na política e nos instrumentos de gerenciamento de recursos hídricos já foram conquistados. Entretanto, o planejamento e a gestão integrada com o uso da terra ainda consistem em um desafio para sua efetividade. O reconhecimento da água como direito humano fundamental, além da proteção deste direito, exige que modelos de gestão essencialmente pragmáticos e higienistas deem lugar a abordagens interdisciplinares, como as fundamentadas no ramo socio-hidrológico, oferecendo suporte à prática da Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH).

Na hidrologia tradicional, os seres humanos são conceituados como agente externo ao sistema em estudo ou considerados como condições de contorno. No entanto, a sociedade não é estática, e, por isso, deve-se considerar as interações multidirecionais que envolvem água e sociedade como parte de um único sistema

dinâmico. A heterogeneidade física e social do Brasil, e das perspectivas dos atores envolvidos, representam potencialidades para o desenvolvimento da socio-hidrologia¹, estimulando as soluções focadas nas interações entre os processos hidrológicos e sociais.

Para mitigar os problemas relacionados aos recursos hídricos, foram criados instrumentos de gestão por meio da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997) e, no âmbito do estado de Minas Gerais, foi elaborada a Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH), sob a Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999. Como mecanismos para implementação da PNRH, foram estabelecidos instrumentos de gerenciamento dos recursos hídricos, sendo estes:

- I- Planos de Recursos Hídricos;
- II- Enquadramento dos corpos d'água em classes;
- III-Outorga de direito de uso de recursos hídricos;
- IV- Criação de Comitês de Bacia Hidrográfica;
- V- Agências reguladoras;
- VI- Cobrança pelo uso da água; e
- VII- Sistema de Informações sobre os Recursos Hídricos.

Além disso, os padrões de qualidade da água foram estabelecidos pelas legislações federais e estaduais vigentes, respeitando-se os domínios das águas previstos. O mapeamento das áreas de vulnerabilidade nas bacias hidrográficas, aqui neste estudo, em âmbito quali-quantitativo, configura-se como ferramenta determinante na análise de riscos e na proposição de um planejamento territorial, com o estabelecimento de medidas de gestão específicas, conforme as demandas de usos consuntivos atuais da área de estudo. Para isso, foi realizada a análise integrada de parâmetros físicos: geologia, pedologia, geomorfologia, clima, vegetação e parâmetros socioeconômicos e espaciais: dados demográficos e de uso do solo, por meio de geoprocessamento, a fim de se obter um modelo de mapeamento voltado à vulnerabilidade quali-quantitativa de águas superficiais aplicado, aqui, à porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha.

¹ Sivapalan *et al.* (2012) publicaram sobre a temática como um novo ramo da ciência, definindo-a como estudo sobre o acoplamento bidirecional do sistema água-humano. Para Sivakumar (2012) a socio-hidrologia não é uma nova ciência e sim apenas a renomeação da ciência hidro-sociologia que Falkenmark (1979) propôs. Estes autores explicaram a diferença entre a hidrologia tradicional e a sócio-hidrologia: na hidrologia tradicional as atividades de gestão dos recursos hídricos induzidas pelo homem são prescritas como forças externas na dinâmica do ciclo hidrológico, enquanto na socio-hidrologia, os seres humanos e suas ações são considerados parte e parcela da tal dinâmica.

Desta forma, constitui uma tentativa de indicar um procedimento aplicável em bacias hidrográficas de maneira geral, inclusive para outras unidades territoriais similares, uma vez que os aperfeiçoamentos devem ocorrer constantemente, além de garantir a segurança hídrica das áreas mais afetadas pela ausência de um instrumento desconsiderado na área definida para demonstração, que integre os componentes físico-geográficos, ambientais e socioeconômicos, indicando ações de direcionamento à sempre almejada sustentabilidade socioambiental.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

Mapear aspectos quantitativos, qualitativos e de vulnerabilidade das águas superficiais da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, procurando indicar medidas estruturais e não-estruturais com vistas à segurança hídrica.

1.2.2 Específicos

- Caracterizar os principais componentes históricos, climáticos, fisiográficos, socioeconômicos e hidrológicos da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha;
- Apresentar e contextualizar a socio-hidrologia com relação a seus princípios e aporte à tomada de decisões, com vistas à segurança hídrica da área analisada;
- Analisar os dados qualitativos de água dentro da série histórica de 2014 a 2021, em 13 estações de amostragem elegidas, considerando épocas chuvosas e de estiagem;
- Levantar a disponibilidade hídrica com base na vazão de referência Q_{7,10}, de 1985 a 2021;
- Estimar a demanda hídrica consuntiva populacional (rural e urbana), bovina e de atividades industriais da área de estudo, considerando a série histórica de 1970 a 2024;
- Obter o mapeamento da vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha;
- Indicar medidas estruturais e não-estruturais para garantia do nível de segurança hídrica pautada na socio-hidrologia.

1.3 Justificativa

A escassez hídrica pode ser definida como o desequilíbrio entre a disponibilidade de água e a sua demanda, aspectos que variam de acordo com as condições da região estudada. Esse desequilíbrio entre demanda e disponibilidade pode considerar apenas o aspecto quantitativo do volume de água (escassez física), ou abranger aspectos de qualidade hídrica (uso degradativo) e acesso da população à água, como definido pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2012).

Duas dimensões principais devem ser consideradas:

- Escassez de disponibilidade, ou seja, a falta de água com qualidade aceitável para atender à demanda existente, incluindo fluxos naturais;
- Escassez econômica devido à falta de infraestrutura adequada, independente dos recursos hídricos disponíveis, causada por problemas financeiros, técnicos ou por falhas nas instituições responsáveis por garantir água confiável, segura e de forma equitativa a todos os usuários.

Neste sentido, esta pesquisa, independentemente da consideração de aspectos quantitativos e qualitativos, visa avaliar a possibilidade de ocorrência de áreas em escassez hídrica na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha. Apesar do enfoque relativo sob este aspecto, em que um determinado volume de água disponível pode ser suficiente, ou não, dependendo de quanto é utilizado na região considerada, as diferenças tanto de demanda (quantidade e qualidade da água demandada pelos diferentes usuários) como de disponibilidade, podem resultar no aumento do nível de escassez hídrica em uma região.

A ocupação e a transformação da terra influenciam na capacidade do ecossistema de absorver a água das chuvas, mesmo que a região aqui estudada constitua um cenário de poucas mudanças e perspectivas futuras. Ainda que haja previsão de déficit hídrico global de 40% em 2030, segundo o relatório desenvolvido pelo 2030 *Water Resources Group*, é importante conhecer se a realidade de escassez hídrica desta Bacia está relacionada ao fator de aumento do consumo humano de água, afetando a demanda, da dinâmica climática sazonal e interanual, e de ações antrópicas relacionadas aos modos de produção vigentes, afetando a disponibilidade e a qualidade.

1.4 Estruturação e Organização

O presente trabalho está estruturado inicialmente em uma introdução, aqui apresentada, seguida de quatro capítulos organizados conforme a ordem indicada nos objetivos específicos (contexto histórico e aspectos climáticos, fisiográficos e socioeconômicos, base teórica-conceitual, roteiro metodológico e resultados e reflexões), além das considerações finais e das referências bibliográficas. A introdução expõe o tema da pesquisa, a área de estudo, a problematização e os objetivos que visam a proposição de um mapeamento de vulnerabilidade qual-quantitativa das águas superficiais da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, para fins de contribuição à segurança hídrica, ao seu planejamento e à sua gestão socioambiental.

O Capítulo 1 corresponde à uma breve apresentação da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, o contexto histórico que permeia seus usos e ocupações, sua localização, além de sua subdivisão em Circunscrições Hidrográficas (CH), chamadas, anteriormente, de Unidades de Gestão e Planejamento de Recursos Hídricos (UGPRH). São descritos, também, os aspectos hidroclimáticos, especificamente pluviometria e temperatura do ar, que são variáveis importantes para avaliação do cenário decorrente dos processos de semiaridez, em maior proporcionalidade, da área de estudo. Os aspectos litoestruturais (geológicos) e geomorfológicos, assim como a pedologia e a cobertura vegetal, estão interrelacionados aos padrões de drenagem e ao comportamento da bacia hidrográfica, e, por isso, são mencionados. Para fechar esta parte inicial do presente trabalho, as informações político-administrativas, socioeconômicas e demográficas apresentam dados e configurações atuais da organização e articulação entre instâncias, setores, indivíduos e normatizações a qual está inserida a área pesquisada.

No segundo capítulo o referencial teórico-conceitual da tese começa explicando sobre a dinâmica hidrogeoquímica e qualitativa da água, apontando sobre o monitoramento e os parâmetros utilizados para análise de Índice de Qualidade de Água (IQA), Contaminação por Tóxicos (CT) e Índice de Estado Trófico (IET), a fim de se conhecer as condições encontradas nos principais cursos d'água, por meio dos pontos de amostragem elegidos. Da mesma forma é levantada a disponibilidade hídrica, com o comportamento dos rios avaliado sob seus próprios regimes

hidrológicos, definidos pela vazão, com a Q_{7,10} adotada como referência pelo Estado. Regime de outorgas, análise dos cenários de incertezas quanto à caracterização da disponibilidade hídrica e assuntos voltados ao gerenciamento dos recursos hídricos também são abordados. O levantamento de demandas relacionadas aos usos consuntivos da água, pelas categorias de abastecimento humano e animal (rebanho bovino), indústrias e atividades agropecuárias e minerárias são caracterizadas, e algumas legislações pertinentes citadas, para melhor fundamentação da abordagem em torno da temática. Ao final do capítulo é discutido sobre a vulnerabilidade das águas superficiais, no âmbito da Segurança Hídrica (SH), objetivo central da Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), como também os conflitos pelo uso das águas e a socio-hidrologia como análise integrada para a tomada de decisões.

O Capítulo 3 contempla os procedimentos metodológicos, sendo apresentado o modelo de mapeamento da vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais com ênfase na socio-hidrologia para alcance da segurança hídrica às áreas mais críticas da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha. Este tópico, apresentado por etapas, inclui: a) base bibliográfica preliminar, com levantamento das bases de dados, análise dos aspectos políticos, históricos e socioeconômicos, demografia e análise dos aspectos ambientais; b) análise documental, para levantamento da dinâmica econômica do uso e ocupação do solo, análise da conjuntura política e macroeconômica regional, análise das bases de dados, estimativas e análise de qualidade, disponibilidade e demanda hídrica das águas superficiais, inventário e mapeamento de macro obras de infraestrutura hídrica e ocorrência, levantamento e análise eventos críticos; c) resultados e discussões, por meio da identificação das bacias hidrográficas em situação mais crítica, áreas de conflitos, representação espacial das áreas de escassez e de maior vulnerabilidade e, por fim, para fechar a metodologia proposta, medidas e soluções que garantam o acesso à água por parte dos locais que ainda estão destituídos deste direito.

O Capítulo 4 refere-se aos resultados e às discussões da pesquisa, abarcando reflexões acerca dos levantamentos quantitativos, com relação às disponibilidades e demandas, assim como de qualidade hídrica, com o confronto destas sobreposições e as diretrizes necessárias à garantia da segurança hídrica pautada na socio-hidrologia da região.

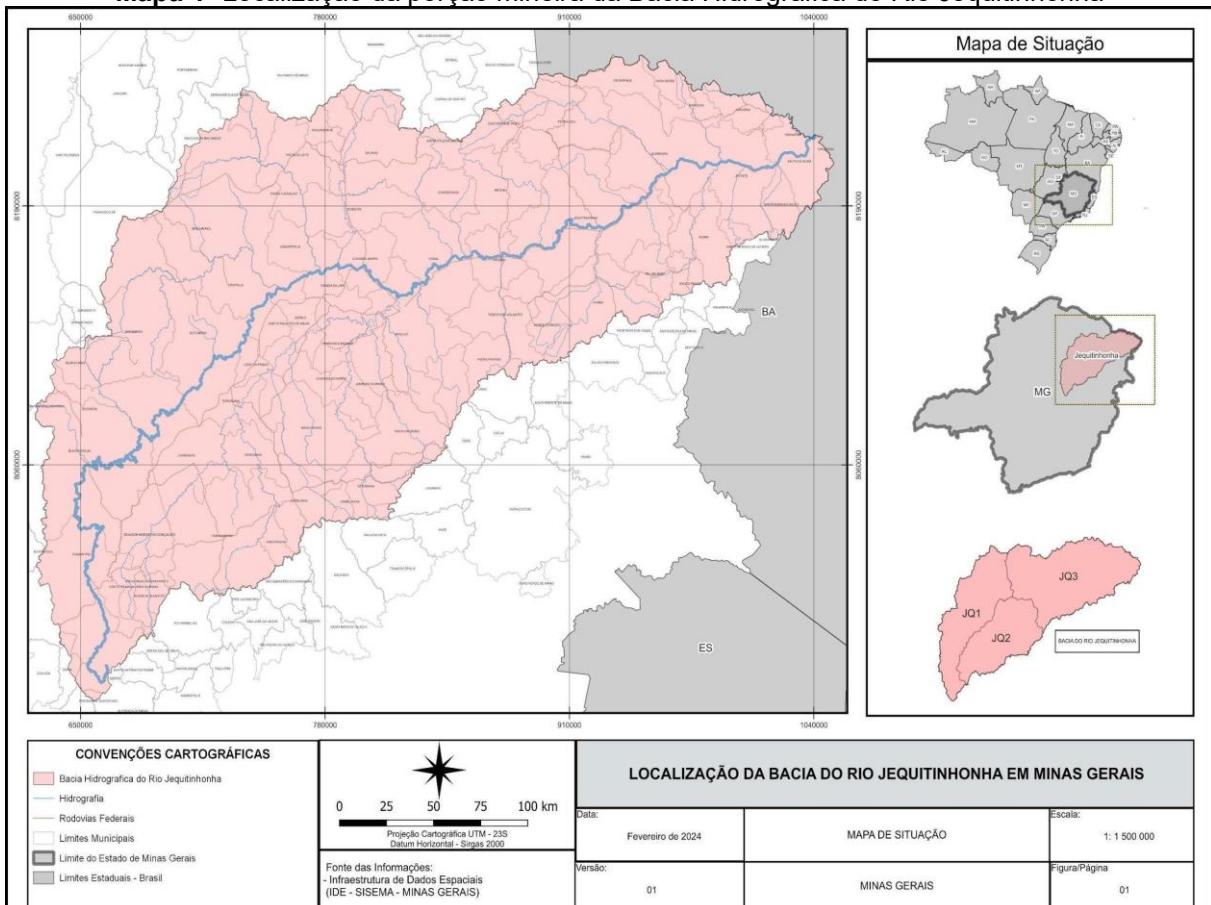
2 CONTEXTO HISTÓRICO E ASPECTOS CLIMÁTICOS, FISIOGRÁFICOS E SOCIOECONÔMICOS DA ÁREA DE ESTUDO

Adentrando o País da Pedra
O Jequitinhonha risca a paisagem
Contornando mineral a fome Das Gerais
(Ronald Claver)

O estado de Minas Gerais, emblemático do Brasil Colônia/Império, dada a sua importância econômica vinculada ao erário mineral (ouro, diamante, ferro, entre outros), contempla uma relevância ecológica e hidrográfica extrema. Dentre suas maiores bacias hidrográficas, a do Rio Jequitinhonha merece destaque por seus recursos naturais e culturais, com parte da região englobando a área declarada pela Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO), em 2005, como Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço (RBSE). Além disso, a Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha foi reconhecida como monumento natural, por meio do tombamento estadual e sua declaração, instituídos pelo Art. 84 dos Atos das Disposições Transitórias da Constituição do Estado de Minas Gerais de 1989.

O Rio Jequitinhonha tem sua nascente na Serra do Espinhaço, situada em Serro (MG), à uma altitude aproximada de 1.300 m. Segundo Ferreira e Saadi (2013) sua bacia hidrográfica limita, ao norte, com a do Rio Pardo; ao sul, com a do Rio Doce; à sudeste, com a do Rio Mucuri e outras independentes de menor ordem (Sucuruçu, Itanhém, Buranhém e Peruípe); à oeste, com a do Rio São Francisco; e, à leste, atravessa o limite com a Bahia, percorrendo o restante do seu caminho até a costa litorânea de Belmonte (BA), com o seu deságue no Oceano Atlântico. Ferreira (2007) apresenta que do seu curso total (920 km), 760 km do Rio Jequitinhonha travessam Minas Gerais e 160 km percorrem a Bahia. O Mapa 1 apresenta a localização da Bacia Hidrográfica com a parcela pertencente à Minas Gerais, foco deste estudo.

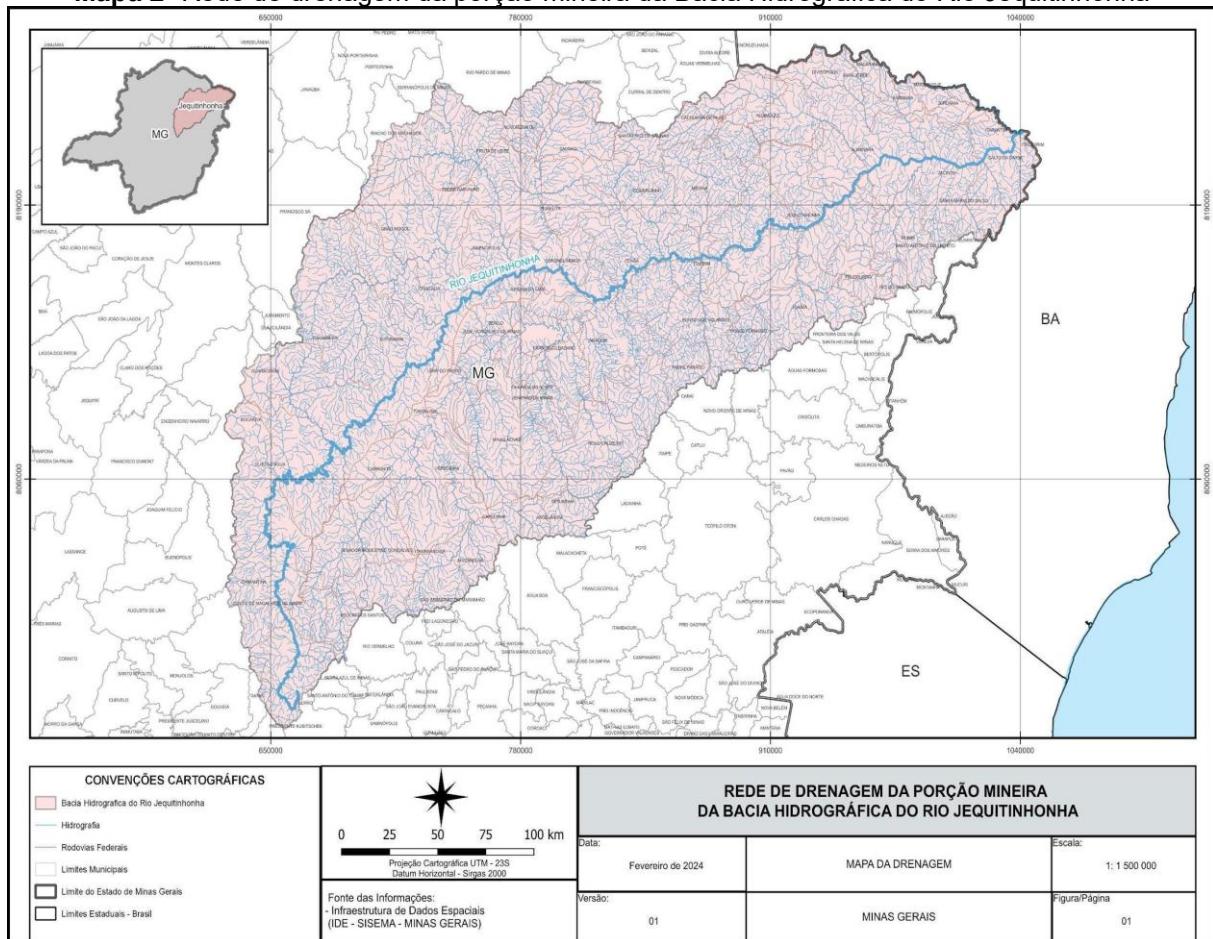
Mapa 1- Localização da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha



Fonte: IDE-SISEMA (Minas Gerais, 2024). Elaborado por: Soares, R. C. da S. (2024) em conjunto com Melo, M. P. de (2024).

De acordo com Gonçalves (1997), contemplando grande parte do nordeste de Minas Gerais e pequena porção do sudeste da Bahia, a Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha está compreendida entre os paralelos 16° e 18°S e os meridianos 39° e 44°W, totalizando uma área de 70.315 km², e pertence à Bacia Hidrográfica do Atlântico Leste, uma das 12 regiões hidrográficas do País. Desta área, 65.752 km² situam-se em parte mineira (próximo de 11,3% do Estado e 93% da Bacia), entre os paralelos 15°39' e 18°36'S e os meridianos 39°50' e 43°48'W, com orientação dominante SW-NE (Ferreira; Silva, 2012), enquanto 4.563 km² (0,8% do Estado e 7% da Bacia) pertencem ao território baiano. Com formato aproximado de um losango, as diagonais SW-NE e SE-NW têm cerca de 442 e 255 km, respectivamente, em linha reta.

Mapa 2- Rede de drenagem da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha



Fonte: IDE-SISEMA (Minas Gerais, 2024). Elaborado por: Soares, R. C. da S. (2024) em conjunto com Melo, M. P. de (2024).

O Mapa 2 demonstra a rede de drenagem da fração pesquisada. Os principais afluentes da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha são os rios: Itacambiruçu, Vacaria, Salinas, São Pedro e São Francisco em sua margem esquerda, e Araçuaí, Piauí, São Miguel e São João, pela margem direita. A porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, que é o objeto deste estudo, contempla quatro mesorregiões: Jequitinhonha, Metropolitana de Belo Horizonte, Norte de Minas e Vale do Mucuri.

2.1 Raízes do Jequitinhonha

O Alto Jequitinhonha, que abrange parte da Comarca do Serro Frio e Demarcação Diamantina, foi ocupado pelos europeus e seus descendentes a partir do século XVIII devido à descoberta de ouro, diamante e pedras preciosas. Por isso, a região destacada no cenário provincial e estadual, pelas riquezas e belezas naturais,

foi percorrida entre as primeiras décadas do século XIX e XX, por viajantes estrangeiros e brasileiros, resultando em descrições dos aspectos socioeconômicos e ambientais observados.

Martins (2008) menciona em seu trabalho comparativo das narrativas elaboradas pelos grupos de viajantes citados, que entre os que estiveram nas margens do Médio Jequitinhonha na primeira metade do século XIX, contam-se Auguste de Saint-Hilaire, Spix & Martius, Johann Emanuel Pohl e John Mawe. Praticamente um século depois, viajaram pelo mesmo trecho do rio cronistas como Leopoldo Pereira, J. Duarte, Eduardo Santos Maia e Frei Samuel Tetteroo.

O Rio Jequitinhonha, que tem o seu nascimento ao norte das serras de Santo Antônio e Itambé da Vila do Príncipe, é o tesouro mais precioso destas Minas; não só o Jequitinhonha, mas todos os mais rios e ribeiros que nele se metem, desde o seu nascimento. (Rocha, 1995 apud Martins, 2008. p. 708).

Com a decadência da mineração ocorreu a diversificação econômica da região que passou a se dedicar à criação de gado, ao cultivo de algodão e a agricultura de subsistência. A partir de 1811, a Coroa portuguesa instalou quarteis guarneidos por Companhias de Dragões ao longo do rio – origem de vários povoados e cidades. O rio Jequitinhonha passou a ser uma importante rota de escoamento de mercadorias entre o Médio e o Baixo Jequitinhonha e o sul da Bahia. Parte significativa da bacia do Jequitinhonha está sob o clima semiárido, caracterizado por pouca chuva, altas temperaturas e altas taxas de evaporação. O vale do Jequitinhonha abriga em sua população ricas expressões culturais como a forma de falar, as cantigas das lavadeiras, a musicalidade dos violeiros e as diversas danças e brincadeiras que ainda persistem na comunidade local.

Com a descoberta das primeiras jazidas de ouro na região de Minas Gerais, na última década do século XVII, entre 1693 e 1695, pelas bandeiras paulistas, houve intensa atração por estas novas áreas mineradoras, culminando no maior surto demográfico até então confirmado na colônia. Problemas de abastecimento, eclosão de fome, corrupção de funcionários, fragilidade de instrumentos fiscalizadores, fuga e escassez de mão-de-obra surgiram e com o passar do tempo foram resolvidos, com o estabelecimento de várias fazendas e povoados próximos aos centros mineradores.

A circulação crescente de metais preciosos alavancou o preço dos alimentos e, consequentemente, os comerciantes de outros territórios, como o baiano e o carioca, foram instigados a vender seus produtos em terras mineiras, apesar de todo os riscos

e dificuldades enfrentados pela viagem. Após 1725, a Capitania de Minas Gerais já passa a contar com considerável setor agropecuário, além da garantia de abastecimento via Santos, Parati e Rio de Janeiro pelos caminhos Velhos e Novos, rotas para Goiás e intensificação da atividade fluvial por meio do Rio São Francisco (Venâncio, 2001).

O caráter urbano alcançado pela sociedade mineira colonial, ainda inédito nas terras americanas de Portugal, que era, predominantemente, de povoamento rural, construiu formas de relacionamento cotidiano, compartilhamento de espaços por pessoas de segmentos sociais distintos, o que contribuiu para uma estruturação hierárquica mais maleável que o restante das colônias. O povoamento de Minas Gerais, até então sertão como Goiás e Mato Grosso, ocupados, posteriormente, teve um papel fundamental na configuração do território brasileiro.

Essa corrida do ouro é o que fundamenta o início da ocupação da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, a partir dos interesses por lavras de aurífero, onde formou-se, inicialmente, um vilarejo, chamado Arraial das Lavras Velhas de Hivituruí, que, em 1714, foi elevado à categoria de vila, denominada Vila do Príncipe e em 1738 tornou-se município, chamado Cidade do Serro. Como consequência deste primeiro povoado, vários outros surgiram ao longo dos principais cursos d'água da região, até que, com a ordem régia de 1731, houve a determinação para suspensão e desocupação das lavras existentes. Deste modo, o arrendamento, o contrato e, posteriormente, o Regimento Diamantino foram estabelecidos como regimes de exploração para a arrecadação (Gonçalves, 1997), o que ocasionou uma queda nas minerações.

Ainda segundo Gonçalves (1997), entre 1750 e 1900, a Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha já estava formada por 11 municípios, com nove deles em Minas Gerais e apenas dois na Bahia. O declínio da mineração possibilitou, em meados do século XIX, o desenvolvimento da agricultura e da pecuária, consolidando a estrutura fundiária baseada em lavouras de subsistência. “No começo do século XX, 20 novos municípios tinham sido criados, através de desmembramentos, na parte média da bacia, que tinha na pecuária extensiva sua base econômica.” (p.12).

Martins (2008) elaborou a identificação e análise, em uma perspectiva qualitativa, das condições hídricas do Rio Jequitinhonha, assim como do uso e ocupação das terras e, consequentemente, dos recursos naturais em áreas ribeirinhas, e, ainda, dos impactos ambientais concernentes ao período de integração

regional ao espaço político-econômico do sudeste brasileiro. Relatos de viagens e memórias são fundamentais para a escrita de uma história ambiental regional, e, a construção do ambiente do Médio Jequitinhonha, entre os séculos XIX e XX, revelam agressões em virtude da mineração, que assoreou e elevou a turbidez de cursos hídricos; desmatamento e queimadas, utilizados pela agricultura em técnica chamada de rodízio, que agredeu a caatinga e matas densas; pecuária, prejudicando solos e diminuindo a biodiversidade, introduzindo pastos compostos por espécies exóticas, entre outros fatores.

Uma sociedade cujo sistema produtivo era insustentável, predador e extrativista, capaz de se reproduzir somente enquanto houvesse fronteira agrícola aberta. Secas ligeiramente mais fortes ou chuvas mais intensas e continuadas colocavam em risco a produção de mantimentos. Invasão de animais na lavoura ou erros de cálculo do plantador poderiam lançar os moradores na preciso. O principal era o fato de que, sem terras virgens, de grande fertilidade, que pudessem ser incorporadas quando as terras lavradas mostrasse sinais de esgotamento, os sítios, as fazendas, os povoados e as cidades do Médio Jequitinhonha dificilmente sobreviveriam. (Martins, 2008, p. 727).

Atualmente, estão distribuídos 83 municípios por Minas Gerais e Bahia na área total da Bacia, com população total aproximada de 1.260.489 habitantes, conforme dados da divisão de bacias hidrográficas da Agência Nacional das Águas (ANA, 2020), circunscrições hidrográficas (IGAM, 2022), divisão estadual e municipal do IBGE (2022) e Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF, 2020), como pode ser visto na Tabela 1:

Tabela 1- Municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha (MG e BA) - continua

SEQ.	UF	MUNICÍPIO	POPULAÇÃO 2022	DENSIDADE DEMOGRÁFICA 2022
1	BA	Belmonte	20.121	10,37
2	BA	Canavieiras	32.683	24,49
3	BA	Encruzilhada	19.107	10,11
4	BA	Eunápolis	113.710	79,74
5	BA	Guaratinga	19.049	8,70
6	BA	Itagimirim	6.347	7,24
7	BA	Itapebi	9.174	9,06
8	BA	Itarantim	17.052	10,19
9	BA	Macarani	21.599	17,85

Tabela 1- Municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha (MG e BA) - continuação

SEQ.	UF	MUNICÍPIO	POPULAÇÃO 2022	DENSIDADE DEMOGRÁFICA 2022
10	BA	Maiquinique	8.731	14,84
11	BA	Mascote	13.544	18,24
12	BA	Potiraguá	10.274	9,24
13	BA	Santa Cruz Cabrália	29.185	19,95
14	MG	Almenara	40.364	17,59
15	MG	Angelândia	7.718	41,67
16	MG	Araçuaí	34.927	15,34
17	MG	Aricanduva	4.719	19,39
18	MG	Bandeira	4.741	9,80
19	MG	Berilo	9.826	16,74
20	MG	Bocaiúva	48.032	14,98
21	MG	Botumirim	5.790	3,69
22	MG	Cachoeira de Pajeú	9.110	13,10
23	MG	Capelinha	39.626	41,05
24	MG	Caraí	19.548	15,73
25	MG	Carbonita	8.512	5,85
26	MG	Chapada do Norte	10.337	12,44
27	MG	Comercinho	6.660	10,17
28	MG	Coronel Murta	8.200	10,06
29	MG	Couto de Magalhães de Minas	4.245	8,74
30	MG	Cristália	5.121	6,09
31	MG	Datas	5.465	17,62
32	MG	Diamantina	47.702	12,26
33	MG	Divisópolis	10.213	17,83
34	MG	Felício dos Santos	5.133	14,35
35	MG	Felisburgo	6.489	10,88
36	MG	Francisco Badaró	7.366	15,96
37	MG	Fruta de Leite	4.647	6,09
38	MG	Grão Mogol	13.901	3,58
39	MG	Guaraciama	5.051	12,94
40	MG	Itacambira	4.252	2,38
41	MG	Itamarandiba	32.948	12,04

Tabela 1- Municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha (MG e BA) - continuação

SEQ.	UF	MUNICÍPIO	POPULAÇÃO 2022	DENSIDADE DEMOGRÁFICA 2022
42	MG	Itaobim	19.151	28,20
43	MG	Itinga	13.745	8,33
44	MG	Jacinto	11.042	7,92
45	MG	Jenipapo de Minas	6.100	21,44
46	MG	Jequitinhonha	24.007	6,83
47	MG	Joaíma	13.888	8,35
48	MG	Jordânia	10.304	18,85
49	MG	José Gonçalves de Minas	3.969	10,41
50	MG	Josenópolis	3.630	6,70
51	MG	Leme do Prado	4.341	15,50
52	MG	Malacacheta	17.516	24,06
53	MG	Mata Verde	9.112	40,05
54	MG	Medina	20.156	14,04
55	MG	Minas Novas	24.405	13,47
56	MG	Monte Formoso	4.381	11,36
57	MG	Novo Cruzeiro	26.975	15,84
58	MG	Novorizonte	4.571	16,83
59	MG	Olhos d'Água	5.385	2,57
60	MG	Padre Carvalho	5.058	11,33
61	MG	Padre Paraíso	17.334	31,84
62	MG	Pedra Azul	24.410	15,31
63	MG	Ponto dos Volantes	10.883	8,98
64	MG	Riacho dos Machados	8.756	6,66
65	MG	Rio do Prado	4.639	9,67
66	MG	Rio Pardo de Minas	28.271	9,07
67	MG	Rio Vermelho	12.641	12,81
68	MG	Rubelita	5.679	5,11
69	MG	Rubim	10.298	10,67
70	MG	Salinas	40.178	21,58
71	MG	Salto da Divisa	6.110	6,51
72	MG	Santa Cruz de Salinas	3.910	6,63
73	MG	Santa Maria do Salto	4.755	10,79

Tabela 1- Municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha (MG e BA) - conclusão

SEQ.	UF	MUNICÍPIO	POPULAÇÃO 2022	DENSIDADE DEMOGRÁFICA 2022
74	MG	Santo Antônio do Jacinto	10.327	20,50
75	MG	São Gonçalo do Rio Preto	3.032	9,64
76	MG	Senador Modestino Gonçalves	4.008	4,21
77	MG	Serranópolis de Minas	4.399	7,97
78	MG	Serro	21.952	18,03
79	MG	Setubinha	9.917	18,55
80	MG	Taiobeiras	33.050	27,09
81	MG	Turmalina	20.000	17,34
82	MG	Veredinha	5.181	8,20
83	MG	Virgem da Lapa	11.804	13,58
TOTAL			1.260.489	-

Fonte: CODESVASF (2020); ANA (2020); IBGE (2022); IGAM (2022). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Nota-se pelas informações contidas na Tabela 1 que Bocaiúva era o município mais populoso, com 48.032 pessoas em uma porção territorial de 3.206,757 km² (IBGE, 2022), enquanto Angelândia possuía a maior densidade demográfica no mesmo período, com 41,67 habitantes por km², em uma área de 185,211 km². De maneira oposta, São Gonçalo do Rio Preto continha a menor população, com 3.032 pessoas em 314,458 km² de área e a menor densidade demográfica pertencia a Itacambira, com 2,38 habitantes por km², em uma unidade territorial de 1.788,445 km².

No período compreendido pelas décadas de 1950 e 1960, a região já reproduzia quase toda a formação administrativa atual e, além das bases econômicas existentes (mineração, garimpo, pecuária e agricultura), novas culturas comerciais como o algodão e a silvicultura foram introduzidas, além das atividades industriais nos ramos alimentício, cerâmico e têxtil, concentrando-se, igualmente, no alto curso da Bacia. A agropecuária tem um papel central, principalmente a pecuária de corte, que passou a ser o suporte da economia regional.

2.2 Circunscrições Hidrográficas

A mudança de percepção sobre os recursos hídricos, em decorrência dos crescentes problemas, resultantes dos usos e ocupações humanas para expansão e intensificação de atividades econômicas, além do adensamento populacional desordenado, fundamentou a criação de uma base legal que dispõe sobre a política de recursos hídricos, por meio de uma gestão participativa e descentralizada. Desta forma, o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH-MG), com o intuito de orientar as ações voltadas à aplicação da Política Estadual de Recursos Hídricos (Lei nº 13.199/1999), estabeleceu as Unidades Estratégicas de Gestão (UEG), por meio da Deliberação Normativa nº 66, de 17 de novembro de 2020, conceituadas em seu Parágrafo Único como

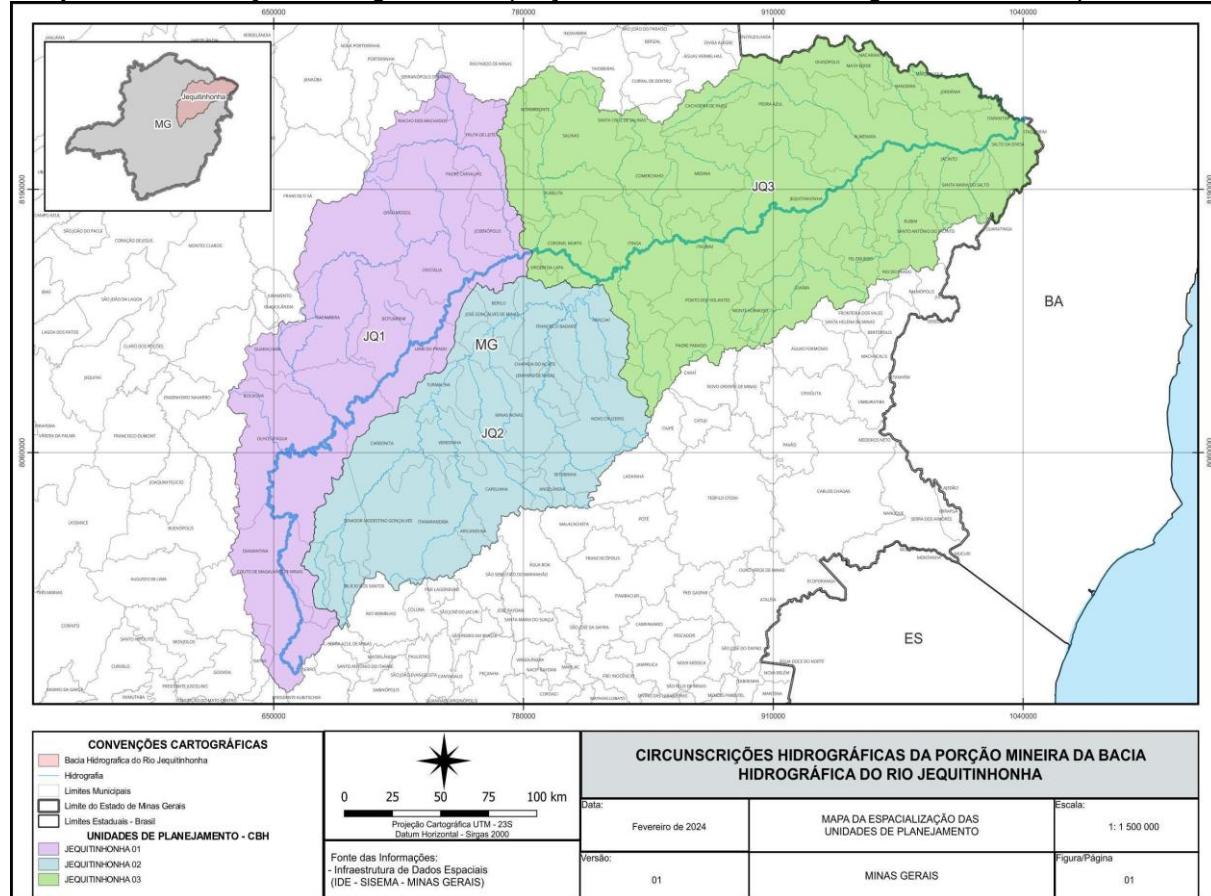
regiões hidrográficas com características comuns ou similares de usos, demandas e disponibilidades hídricas, para fins de gestão, com ênfase no planejamento e monitoramento, configurando uma estratégia de espacialização para integração entre comitês de bacias (Deliberação Normativa nº 66/2020, p. 1).

No Art. 2º da mesma Normativa, fica definido que nas UEG's devem ser aplicadas diretrizes comuns para o planejamento e gestão, seguindo critérios regionalizados de instrumentos que contemplem a participação dos comitês de bacias, orientados estruturalmente e formados pelas Circunscrições Hidrográficas (CH's), substituindo em todas as normas e instrumentos de gestão a expressão Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH), até então instituída pela Deliberação Normativa CERH-MG nº 06, de 04 de outubro de 2002 (Minas Gerais, 2002).

A primeira divisão ocorreu a partir da compilação de vários estudos e sobreposição de mapas temáticos, que consideraram os aspectos físicos como: caracterização climática (distribuição temporal de chuva), potencial hídrico (vazão específica média de longo período), principais sistemas aquíferos (indicadores de potencial hidrogeológico), unidades de solos e relevo predominante (porcentagem da declividade média da área). Portanto, a divisão resultante passou por reavaliação e foi subdividida, levando em consideração o processo de ocupação humana, com destaque para os Índices de Qualidade da Água (IQA), Contaminação por Tóxicos (CT), aspectos socioeconômicos e a definição de um número máximo de 50

municípios por unidade.

Mapa 3- Circunscrições hidrográficas da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha



Fonte: IDE-SISEMA (Minas Gerais, 2024). Elaborado por: Soares, R. C. da S. (2024) em conjunto com Melo, M. P. de (2024)

Com isso, foram desenvolvidos códigos a partir das bacias hidrográficas de rios de domínio da União e a Bacia do Rio Jequitinhonha (JQ) ficou subdividida em três circunscrições hidrográficas: JQ1, JQ2 e JQ3 (conforme Anexo I da DN-CERH-MG 66, de 2020), caracterizadas, individualmente, nos tópicos a seguir (2.2.1, 2.2.2 e 2.2.3). São os municípios que abrangem áreas nestas CH's que serão considerados para esta pesquisa, totalizando 70.

2.2.1 Bacia Hidrográfica do Alto Rio Jequitinhonha (JQ1)

Segundo dados disponíveis pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e IBGE (2010, 2021), a Bacia Hidrográfica do Alto Rio Jequitinhonha, que engloba as nascentes até montante da confluência com o Rio Salinas, está localizada nas mesorregiões do Vale do Jequitinhonha e Norte de Minas, abrange uma área de

drenagem de 19.855 km² (30,20% da Bacia do Rio Jequitinhonha). A população total é de 120.965 habitantes (71.292 em área urbana e 49.673 em rural), com densidade demográfica de 5,2 hab./km². O clima é considerado semiúmido (seco entre quatro e cinco meses por ano) e a disponibilidade hídrica varia entre dois e dez litros por segundo por quilômetro quadrado. Os resultados obtidos em 2005 admitiram o IQA como Bom - os melhores já existentes, considerando toda a série histórica de monitoramento.

O Comitê desta Bacia foi criado por meio do Decreto nº 45.183, de 28/09/2009 e possui 48 conselheiros, dentre titulares e suplentes, integrando o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, com a finalidade de promover, no contexto de gestão das águas, a viabilidade técnica e econômico-financeira do programa de investimento e a consolidação das políticas de estruturação urbana e regional, para que a Bacia se desenvolva de forma sustentável. Em 21 de fevereiro de 2019 é instituída a deliberação CBH JQ1 nº 002/2019, que normatiza o regimento interno do comitê JQ1, apresentando as diretrizes preliminares, as aptidões e funções, a composição, a estrutura e competência de seus órgãos e as disposições gerais e transitórias (Maciel, 2021). Na Tabela 2 segue a relação dos 25 municípios integrantes da JQ1, dos quais dez possuem sede na Bacia.

Tabela 2- Municípios partícipes, população, densidade demográfica, PIB e extensão das unidades territoriais na Bacia Hidrográfica do Alto do Jequitinhonha (JQ1), em 2021 e 2022 - continua

Nº	MUNICÍPIO	POPULAÇÃO (2022/hab.)	DENSIDADE DEMOGRÁFICA (2022/hab./km ²)	PIB PER CAPITA (2021/R\$)	ÁREA DA UNIDADE TERRITORIAL (2022/km ²)
1	Berilo	9.826	16.74	9.551,5	587,106
2	Bocaiúva	48.032	14.98	24.252,97	3.206,757
3	Botumirim	5.790	3.69	12.103,05	1.568,884
4	Carbonita	8.512	5.85	23.419,5	1.456,095
5	Couto de Magalhães de Minas	4.245	8.74	14.262,94	485,654
6	Cristália	5.121	6.09	9.875,05	840,702
7	Datas	5.465	17.62	13.618,93	310,099
8	Diamantina	47.702	12.26	20.537,92	3.891,659
9	Fruta de Leite	4.647	6.09	8.999,57	762,837
10	Grão Mogol	13.901	3.58	48.352,82	3.885,294
11	Guaraciama	5.051	12.94	15.589,72	390,263

Tabela 2- Municípios partícipes, população, densidade demográfica, PIB e extensão das unidades territoriais na Bacia Hidrográfica do Alto do Jequitinhonha (JQ1), em 2021 e 2022 - conclusão

Nº	MUNICÍPIO	POPULAÇÃO (2022/hab.)	DENSIDADE DEMOGRÁFICA (2022/hab./km ²)	PIB PER CAPITA (2021/R\$)	ÁREA DA UNIDADE TERRITORIAL (2022/km ²)
12	Itacambira	4.252	2.38	11.331,15	1.788,445
13	José Gonçalves de Minas	3.969	10.41	11.565,81	381,332
14	Josenópolis	3.630	6.70	11.815,85	541,393
15	Leme do Prado	4.341	15.50	13.448,01	280,036
16	Novorizonte	4.571	16.83	13.167,03	271,610
17	Olhos d'Água	5.385	2.57	33.947,04	2.092,078
18	Padre Carvalho	5.058	11.33	8.999,72	446,275
19	Riacho dos Machados	8.756	6.66	56.250,5	1.315,540
20	Rio Pardo de Minas	28.271	9.07	11.082,95	3.117,675
21	Rubelita	5.679	5.11	14.277,94	1.110,295
22	Serranópolis de Minas	4.399	7.97	9.813,13	551,954
23	Serro	21.952	18.03	13.982,29	1.217,813
24	Turmalina	20.000	17.34	21.879,01	1.153,111
25	Virgem da Lapa	11.804	13.58	9.585,82	868,914

Fonte: IBGE (2021; 2022). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Os três municípios mais populosos da JQ1, segundo dados do último censo do IBGE (2010) são: Bocaiúva, com 46.654 habitantes, seguido de Diamantina (45.880 pessoas) e Rio Pardo de Minas (29.099 pessoas). Já em relação à extensão das unidades territoriais, Diamantina ocupa o primeiro lugar, com 3.891,659 km², enquanto Grão Mogol e Rio Pardo de Minas dominam, respectivamente, o segundo e terceiro lugar, com 3.885,294 km² e 3.117,675 km².

2.2.2 Bacia Hidrográfica do Rio Araçuaí (JQ2)

A Bacia Hidrográfica do Rio Araçuaí, conforme dados do IGAM e IBGE (2010, 2021), situa-se na mesorregião do Vale do Jequitinhonha, compreendendo uma área de drenagem de 16.280 km² (24,76% do território da bacia do Rio Jequitinhonha). A população total é de 288.556 habitantes (153.871 em área urbana e 134.685 em rural), com densidade demográfica de 18,5 hab./km². O clima é considerado semi-úmido, assim como a JQ1, com o período seco de quatro e cinco meses por ano e disponibilidade hídrica variando entre dois e dez litros/segundo/quilômetro quadrado.

Os resultados obtidos em 2005 também qualificaram o IQA desta porção da Bacia como Bom, em todos os pontos de amostragem.

O Comitê desta Bacia foi criado por meio do Decreto nº 40.931, de 16/02/2000 e possui 48 conselheiros, dentre titulares e suplentes, com seu regimento interno alterado e estabelecido por meio da deliberação de nº 03, de 09 de maio de 2017, após 17 anos da instituição do comitê em questão. Na Tabela 3 segue a listagem dos 23 municípios integrantes da JQ2, dos quais 21 possuem sede na Bacia.

Tabela 3- Municípios partícipes, população, densidade demográfica, PIB e extensão das unidades territoriais na Bacia Hidrográfica do Araçuaí (JQ2), em 2021 e 2022

Nº	MUNICÍPIO	POPULAÇÃO (2022/hab.)	DENSIDADE DEMOGRÁFICA (2002/hab./km ²)	PIB PER CAPITA (2021/R\$)	ÁREA DA UNIDADE TERRITORIAL (2022/km ²)
1	Angelândia	7.718	41.67	16.818,81	185,211
2	Araçuaí	34.297	15.34	14.163,67	2.236,279
3	Aricanduva	4.719	19.39	12.645,43	243,329
4	Berilo	9.826	16.74	9.551,5	587,106
5	Capelinha	39.626	41.05	23.174,33	965,292
6	Carbonita	8.512	5.85	23.419,5	1.456,095
7	Chapada do Norte	10.337	12.44	7.247,1	830,833
8	Felício dos Santos	5.133	14.35	15.837,34	357,622
9	Francisco Badaró	7.366	15.96	7.546,65	461,481
10	Itamarandiba	32.948	12.04	18.431,8	2.735,573
11	Jenipapo de Minas	6.100	21.44	10.214,67	284,453
12	José Gonçalves de Minas	3.969	10.41	11.565,81	381,332
13	Leme do Prado	4.341	15.50	13.448,01	280,036
14	Malacacheta	17.516	24.06	12.708,51	727,886
15	Minas Novas	24.405	13.47	11.112,45	1.812,398
16	Novo Cruzeiro	26.975	15.84	10.544,29	1.702,981
17	Rio Vermelho	12.641	12.81	11.141,09	986,561
18	São Gonçalo do Rio Preto	3.032	9.64	15.341,2	314,458
19	Senador Modestino Gonçalves	4.008	4.21	22.733,52	952,055
20	Setubinha	9.917	18.55	9.820,38	534,655
21	Turmalina	20.000	17.34	21.879,01	1.153,111
22	Veredinha	5.181	8.20	23.208,11	631,692
23	Virgem da Lapa	11.804	13.58	9.585,82	868,914

Fonte: IBGE (2021; 2022). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Observa-se que os três municípios mais populosos da JQ2, conforme dados do último censo do IBGE (2010) são: Araçuaí, com 36.013 habitantes, seguido de Capelinha (34.803 pessoas) e Itamarandiba (32.175 pessoas). Já em relação à extensão das unidades territoriais, Itamarandiba ocupa o primeiro lugar, com 2.735,573 km², enquanto Araçuaí e Minas Novas dominam, respectivamente, o segundo e terceiro lugar, com 2.236,279 km² e 1.812,398 km².

2.2.3 Bacia Hidrográfica do Médio e Baixo Rio Jequitinhonha (JQ3)

Situada nas mesorregiões do Vale do Jequitinhonha e Norte de Minas, a Bacia Hidrográfica do Médio e Baixo Rio Jequitinhonha, de montante da confluência com o rio Salinas até divisa do Estado (exceto a bacia do Araçuaí), ocupa uma área de drenagem de 29.617 km² (45,04% do território da bacia do Rio Jequitinhonha). A população total é de 380.341 habitantes (258.788 em área urbana e 121.553 em rural), com densidade demográfica de 13,8 hab./km². O clima na JQ3 é considerado semiárido, com período seco superior a seis meses por ano, excetuando-se a parte leste da Bacia, onde o clima predominante é o semiúmido.

A disponibilidade hídrica varia entre dois e dez litros por segundo por quilômetro quadrado, da mesma forma que na JQ1 e JQ2, a não ser no Vale do Jequitinhonha, que assume menos de dois litros/segundo/ quilômetro quadrado. A conclusão dos resultados alcançados em 2005 considerou o IQA como Bom no Rio Jequitinhonha – os melhores de toda a série histórica de monitoramento – e Médio no Rio Salinas (trecho monitorado à jusante de Rubelita), que era Ruim em 2004.

O Comitê desta Bacia foi criado por meio do Decreto nº 44.955, de 19/11/2008 e possui 48 conselheiros, dentre titulares e suplentes. Após 11 anos o CBH JQ altera e estabelece seu regimento interno pela deliberação de nº 01, de 10 de abril de 2019, demonstrando que para os três comitês instituídos na Bacia do Jequitinhonha, suas respectivas normas internas de funcionamento são recentes (Maciel, 2021). A Tabela 4 apresenta a relação dos 34 municípios integrantes da JQ3, dos quais 29 possuem sede na Bacia.

Tabela 4- Municípios partícipes, população, densidade demográfica, PIB e extensão das unidades territoriais na Bacia Hidrográfica do Médio e Baixo Rio Jequitinhonha (JQ3), em 2021 e 2022 - continua

Nº	MUNICÍPIO	POPULAÇÃO (2022/hab.)	DENSIDADE DEMOGRÁFICA (2022/hab./km ²)	PIB PER CAPITA (2021/R\$)	ÁREA DA UNIDADE TERRITORIAL (2022/km ²)
1	Almenara	40.364	17.59	15.924,96	2.294,426
2	Araçuaí	34.297	15.34	14.163,67	2.236,279
3	Bandeira	4.741	9.80	12.476,94	483,789
4	Cachoeira de Pajeú	9.110	13.10	13.262,75	695,672
5	Caraí	19.548	15.73	8.814,85	1.242,345
6	Comercinho	6.660	10.17	10.285,11	654,961
7	Coronel Murta	8.200	10.06	13.016,09	815,413
8	Divisópolis	10.213	17.83	8.178,51	572,926
9	Felisburgo	6.489	10.88	10.030,05	596,215
10	Fruta de Leite	4.647	6.09	8.999,57	762,837
11	Itaobim	19.151	28.20	14.701,65	679,024
12	Itinga	13.745	8.33	9.849,06	1.649,622
13	Jacinto	11.042	7.92	10.680,55	1.393,609
14	Jequitinhonha	24.007	6.83	10.754,52	3.514,216
15	Joaíma	13.888	8.35	10.509,42	1.664,190
16	Jordânia	10.304	18.85	9.857,64	546,705
17	Mata Verde	9.112	40.05	10.526,08	227,539
18	Medina	20.156	14.04	12.224,08	1.435,903
19	Monte Formoso	4.381	11.36	8.919,75	385,553
20	Novo Cruzeiro	26.975	15.84	10.544,29	1.702,981
21	Novorizonte	4.571	16.83	13.167,03	271,610
22	Padre Paraíso	17.334	31.84	10.514,08	544,375
23	Pedra Azul	24.410	15.31	16.498,08	1.594,651
24	Ponto dos Volantes	10.883	8.98	10.016,81	1.212,413
25	Rio do Prado	4.639	9.67	10.293,72	479,815
26	Rubelita	5.679	5.11	14.277,94	1.110,295
27	Rubim	10.298	10.67	10.879,32	965,174
28	Salinas	40.178	21.58	15.942,32	1.862,117
29	Salto da Divisa	6.110	6.51	18.829,72	938,008
30	Santa Cruz de Salinas	3.910	6.63	12.029,68	589,607
31	Santa Maria do Salto	4.755	10.79	9.608,97	440,605
32	Santo Antônio do Jacinto	10.327	20.50	9.900,93	503,706

Tabela 4- Municípios partícipes, população, densidade demográfica, PIB e extensão das unidades territoriais na Bacia Hidrográfica do Médio e Baixo Rio Jequitinhonha (JQ3), em 2021 e 2022 - conclusão

Nº	MUNICÍPIO	POPULAÇÃO (2022/hab.)	DENSIDADE DEMOGRÁFICA (2022/hab./km ²)	PIB PER CAPITA (2021/R\$)	ÁREA DA UNIDADE TERRITORIAL (2022/km ²)
33	Taiobeiras	33.050	27.09	16.085,74	1.220,046
34	Virgem da Lapa	11.804	13.58	9.585,82	868,914

Fonte: IBGE (2021; 2022). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Por meio dos dados apresentados, percebe-se que os três municípios mais populosos da JQ3, conforme dados do último censo do IBGE (2010) são: Salinas, com 39.178 habitantes, seguido de Almenara (38.775 pessoas) e Araçuaí (36.013 pessoas). Já em relação à extensão das unidades territoriais, Jequitinhonha ocupa o primeiro lugar, com 3.514,216 km², enquanto Almenara e Araçuaí dominam, respectivamente, o segundo e terceiro lugar, com 2.294,426 km² e 2.236,279 km².

Estas unidades físico-territoriais (circunscrições hidrográficas JQ1, JQ2 e JQ3) possuem suas próprias identidades regionais, caracterizadas de acordo com seus aspectos físicos, socioculturais, econômicos e políticos. A análise comparativa entre as três circunscrições hidrográficas está, então, condensada na Tabela 5.

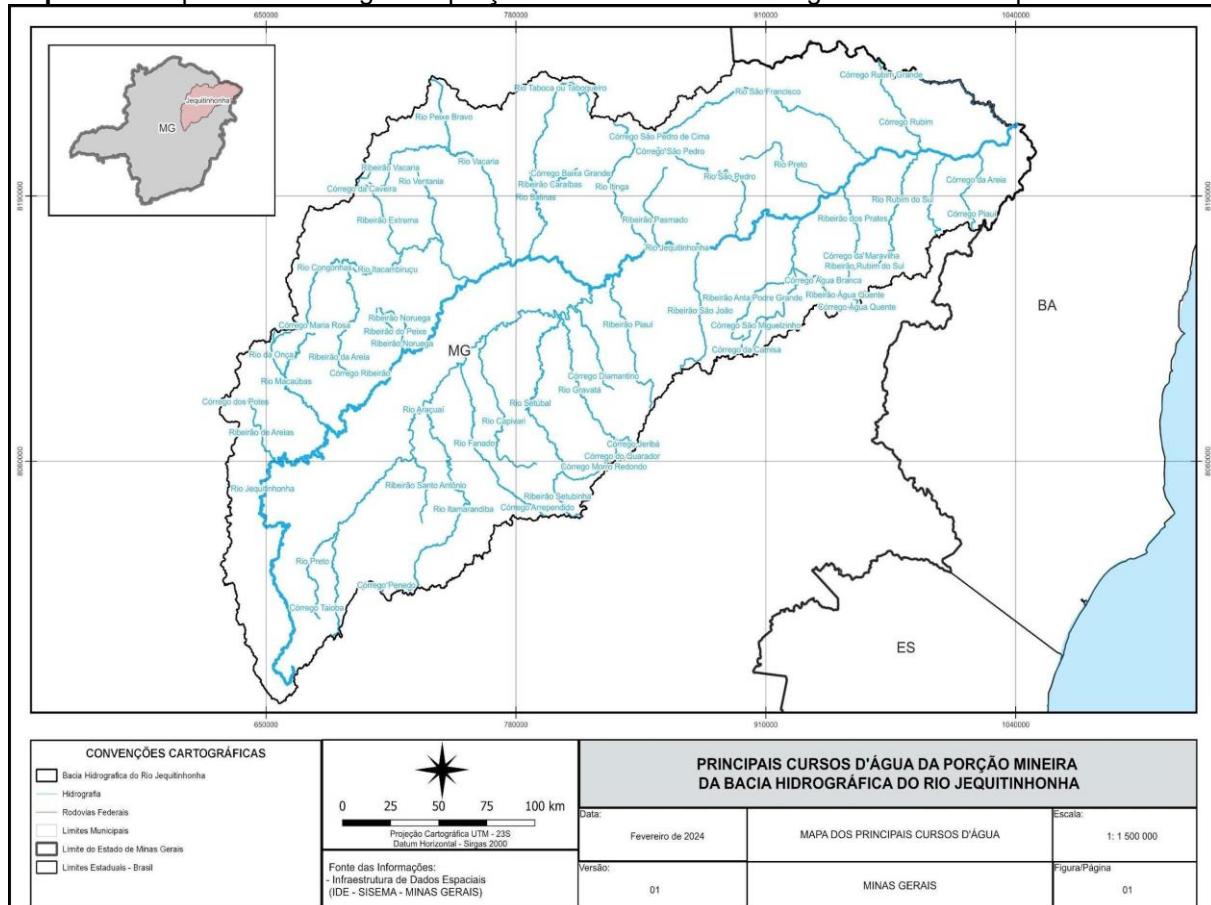
Tabela 5- Caracterização da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha por CH

CH	ÁREA DA BACIA		SEDE MUNICIPAL	HABITANTES		
				Área Urbana	Área Rural	Total
	Km ²	%	Quantidade	nº	nº	nº
JQ1	19.855	30	25	71.292	49.673	120.965
JQ2	16.280	24	23	153.871	134.685	288.556
JQ3	29.617	46	34	258.788	121.553	380.341

Fonte: IGAM/IBGE (2010, 2021). Elaborado por Melo, M. P. (2024).

Vale destacar que alguns municípios contemplam mais de uma CH, como é o caso de Berilo, Carbonita, José Gonçalves de Minas, Leme do Prado, Turmalina e Virgem da Lapa, que possuem área territorial tanto na JQ1 quanto na JQ2; Araçuaí e Novo Cruzeiro (JQ2 e JQ3); Fruta de leite, Novorizonte, Rubelita e Virgem da Lapa (JQ1 e JQ3).

Mapa 4- Principais cursos d'água da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha



Fonte: IDE-SISEMA (Minas Gerais, 2024). **Elaborado por:** Soares, R. C. da S. (2024) em conjunto com Melo, M. P. de (2024).

Considerando os instrumentos de gestão das águas, previstos no Art. 5º da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) sob a Lei nº 9.433, de 08/01/1997, o Quadro 2 dispõe sobre cada um deles conforme cada Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH) estabelecido na área de estudo:

Quadro 1- Instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos disponíveis nos Comitês da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha - continua

INSTRUMENTOS		JQ1	JQ2	JQ3
I	Planos de Recursos Hídricos	✓	✓	✓
II	Enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água	A ser aprovado pelo CBH/CERH	A ser elaborado	A ser aprovado pelo CBH/CERH
III	Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos	✓	✓	✓
IV	Cobrança pelo uso de recursos hídricos	✗	✗	✗

Quadro 1- Instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos disponíveis nos Comitês da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha - conclusão

INSTRUMENTOS		JQ1	JQ2	JQ3
V	Compensação a municípios	X	X	X
VI	Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos	Em implantação		

Fonte: IGAM (2024); Brasil (1997); Maciel, S. A. (2021). Elaborado por Melo, M. P. (2024).

A ANA é a responsável por emitir outorgas para rios, reservatórios, lagos e lagoas sob o domínio da União, que englobam corpos d'água que passam por mais de um estado brasileiro ou por território estrangeiro (ANA, 2023). Também são outorgadas pela ANA as águas armazenadas em reservatórios administrados por entidades federais. Entretanto, o órgão competente à emissão de outorgas de uso das águas, no tocante aos afluentes do Rio Jequitinhonha por domínio de Minas Gerais, é o IGAM, conforme os planos diretores de cada CBH ao longo da respectiva Bacia, pela carta Magma, em relação à dominialidade de águas estaduais e federais que não possuem Comitês Federais.

Apesar do grande potencial hidroelétrico da bacia, poucas usinas estão instaladas ou em construção no Jequitinhonha, principalmente devido a questões ambientais, sociais e a escassez de investimentos em infraestrutura na região. Segundo dados do IGAM (2015), a Usina Hidrelétrica (UH) de Irapé, ou Usina Presidente Juscelino Kubitschek, localizada entre Itinga e Francisco Sá, é uma das maiores da região e possui área alagada de aproximadamente 137 km², com capacidade de 360 MW (megawatts) e 5,964 bilhões de m³ de armazenamento de água, dos quais 2,271bilhões são correspondentes ao volume morto e 3,692 bilhões são volume útil. A esse período, Irapé operava com 57,6% de sua capacidade total e 31,50% de seu volume útil.

Além desta, é relevante citar a UH de Ponto Firme, especificamente entre os municípios de Fruta de Leite e Bocaiúva, também situada no Rio Jequitinhonha. A usina, que é de porte médio, possui 80 MW de capacidade e contribui para o Sistema Interligado Nacional (SIN), abastecendo a rede elétrica de Minas Gerais e de outras regiões do Brasil, assim como a UH de Vargem Bonita, entre o município de mesmo nome e Pedra Azul, com 72 MW de capacidade e, ainda, a UH de Três Marias, de grande porte, com capacidade de 396 MW, que está a cerca de 120 km ao norte de Belo Horizonte, no Rio São Francisco, afluente do Rio Jequitinhonha, o que afeta a

região estudada.

- 1- Usina Hidrelétrica de Camargos: situada em Itamarandiba (MG);
- 2- Usina Hidrelétrica de Queimado: localizada em Jacinto (MG);
- 3- Usina Hidrelétrica de Ponto Firme: situada no município de Jequitinhonha (MG).

O estudo de bacias hidrográficas é importante por representar a unidade fundamental de análise do ciclo hidrológico na sua fase terrestre, por isso, a caracterização fisiográfica, descritas nos tópicos a seguir, complementa o entendimento do comportamento dos processos e elementos interligados.

2.3 Aspectos hidroclimáticos

O clima na biosfera, enquanto representação da sucessão de tempos, tem uma série de fatores e elementos naturais que são determinantes para a existência e sobrevivência de indivíduos ou de grupos taxonômicos, bem como da sua distribuição na superfície terrestre. Para se entender o comportamento do clima de uma região é necessário compreender como as variáveis meteorológicas, que definem o tempo ao longo dos anos, se comportam.

Dessa forma, o tempo é definido como sendo os fenômenos meteorológicos que ocorrem cronologicamente na atmosfera, enquanto o clima pode ser entendido como o estado médio do tempo ao longo de vários anos, como define a Organização Meteorológica Mundial (OMM). Os elementos climáticos frequentemente usados para caracterizar o clima sobre uma determinada área são a temperatura do ar e a precipitação pluviométrica, onde os valores médios desses elementos são aplicados na classificação de cada região.

A interrelação destes fatores climáticos resulta nas ambiências da região em que a Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha está inserida, apresentando características que variam do clima semiárido a úmido. O semiárido, em aspectos gerais, apresenta forte insolação, temperaturas relativamente altas e regime de chuvas marcado pela escassez, irregularidade e concentração das precipitações em um período curto de, aproximadamente, três meses, apresentando reservas de água insuficientes em seus mananciais.

Em consequência do comportamento pluviométrico no semiárido e da reduzida capacidade de retenção hídrica na maioria dos solos (Jacomine, 1996), grande parte

da população é dependente da água das chuvas, de sua captação e armazenamento, uma vez que alguns cursos d'água superficiais apresentam regime temporário (intermitentes), com exceção do Rio São Francisco, por exemplo, que se destaca em meio a grandes áreas secas.

Do ponto de vista meteorológico, uma condição de seca, definida por Magalhães e Glantz (1992), é caracterizada por acentuada redução dos totais pluviométricos anuais, enquanto um evento extremo de seca ocorre quando os totais anuais de chuvas não atingem 50% das normais climatológicas para uma fração significativa. No entanto, mesmo em anos nos quais os totais pluviométricos são próximos à média histórica, a distribuição temporal das chuvas durante a estação chuvosa pode afetar substancialmente os recursos hídricos, a agricultura e a pecuária.

Um exemplo disso é quando a pluviometria diária bem distribuída temporalmente, acarreta pouco escoamento superficial e, consequentemente, a quantidade de água precipitada não possibilita o enchimento dos reservatórios. Mesmo em anos em que o total de chuvas seja próximo à média, podem ocorrer períodos de estiagem prolongados, que se intercalam com episódios de chuvas mais intensas. Assim como a medida da precipitação permite a obtenção de parâmetros quantitativos sobre a chuva, a intensidade das chuvas relaciona a lâmina de água precipitada em um determinado tempo.

Com totais pluviométricos anuais compreendidos entre 600 e mais de 1.600mm, irregularmente distribuídos ao longo do ano (Gonçalves, 1997; Ferreira, 2007), as chuvas na Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha concentram-se, basicamente, de outubro a março, sendo que de dezembro a fevereiro há maior acúmulo pluviométrico (mais de 50% do total). Episódios de veranicos ocorrem e provocam graves e indesejados efeitos para a população, uma vez que acontecem quando as taxas de evapotranspiração são muito elevadas.

Ferreira (2007) considerou 52 postos pluviométricos em sua análise temporal e espacial, mesmo com 23 deles localizados fora da área mineira da Bacia, fornecendo dados importantes para seus apontamentos em relação aos tipos de padrões de distribuição espacial das chuvas conforme análise nas estações seca e chuvosa. Considerando que os postos entraram em operação em períodos distintos, entre 1946 e 1963, o período homogêneo adotado pelo autor foi entre 1948 e 1991. Estes padrões, que se dividem em três, apresentam características peculiares conforme sua localidade, sintetizadas a seguir:

Quadro 2- Padrões de distribuição espacial da pluviosidade na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha

TIPO DE PADRÃO	LOCALIDADE NA BACIA	DESCRIÇÃO DO PADRÃO
Padrão A	Leste	Ausência de barreira topográfica que interfira na passagem do ar úmido vindo do oceano Atlântico, pois apresenta a menor distância do litoral e recebe influência do ar úmido canalizado pelo Vale do Rio Jequitinhonha. Abrange o limite com a Bahia até as sub-bacias do Rio São Miguel (margem direita do rio Jequitinhonha) e rio São Pedro (margem esquerda). No período úmido, de outubro a março, o total pluviométrico varia entre 550 a 725mm. Já no período seco, de abril a setembro, os totais pluviométricos são superiores a 140mm (148 a 235 mm). Na maioria dos postos, os totais anuais médios variam entre 941 a 1140mm, porém há áreas com índices inferiores, na transição para o padrão B. A vegetação predominante nesta área é a mata estacional, o que comprova a ocorrência de um clima relativamente mais úmido.
Padrão B	Central	Distante do litoral, seu relevo não favorece a ocorrência de chuvas orográficas, pois a amplitude altimétrica não supera 200m. Inicia nas proximidades da sede municipal de Itaobim e segue em direção oeste até os postos Alfredo Graça e Queixada, em Araçuaí (sub-bacia do rio Gravatá - margem direita do Rio Araçuaí) e Rubelita e Salinas (sub-bacia do rio Salinas - margem esquerda do rio Jequitinhonha). Nesta área, no período úmido, os índices variam entre 560 e 770mm, não diferenciando muito do padrão A. Contudo, na estação seca, os índices não superam 100mm em nenhum posto (71 a 93mm). Os totais anuais médios atingem, no máximo, 850mm no posto Pega (em Virgem da Lapa). É a região mais seca da Bacia, o que condiciona a ocorrência da vegetação de caatinga, predominantemente.
Padrão C	Oeste	Começando em Virgem da Lapa, onde estão as sub-bacias do rio Vacaria ao norte (margem esquerda do rio Jequitinhonha) e rio Setúbal ao sul (margem direita do rio Araçuaí), estende-se até as cabeceiras das bacias do Jequitinhonha e Araçuaí. É uma área que concentra as altitudes mais elevadas, relevo mais movimentado (podendo alcançar mais de 1.000m em menos de 100 km), contribuindo para a ocorrência de totais anuais médios de pluviosidade mais elevados (1.141 a 1.340mm). Em comparação aos padrões A e B, a concentração sazonal da pluviosidade no padrão C é mais elevada. Na estação seca, os índices variam entre 102 e 200mm, enquanto na estação chuvosa atinge 1.248mm, valor superior aos totais anuais verificados em qualquer posto pluviométrico inserido nos padrões A e B. A vegetação nativa predominante é o Cerrado, incluindo manchas de florestas estacionais, campos rupestres e campos de altitude ocorrendo na Serra do Espinhaço.
Transição entre os padrões		Apresenta índices com situação de transição típica, como o caso de Medina, entre os padrões A e B, e Novo Cruzeiro e Minas Novas, entre os padrões B e C.

Fonte: Ferreira, V. O. (2007). Elaborado por Melo, M. P. (2023).

Para além do que foi exposto no quadro acima, Ferreira (2007) reforça sobre a

configuração do relevo e a distância em relação ao litoral como fatores decisivos para o comportamento dos elementos atmosféricos e, consequentemente, para a distribuição espacial das chuvas e todos os processos termodinâmicos da área de estudo. À medida que a altitude aumenta, a temperatura diminui, pois em altitudes mais elevadas é menor a presença de gases atmosféricos que absorvem calor. Considerando que as correntes marinhas apontam para condições climáticas litorâneas mais quentes à leste, há o aumento da temperatura do ar, assim como da umidade, favorecendo as precipitações. De maneira oposta à oeste, a temperatura do ar, a evaporação e a umidade são menores, dificultando as precipitações.

Já Maciel (2021) relacionou 37 postos pluviométricos, sendo 18 deles alocados no interior da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha e 19 no entorno, com dados diários de precipitação que compreenderam uma série histórica de 31 anos, entre 01/01/1985 a 31/12/2015. Para o presente estudo serão considerados os postos pluviométricos adotados por Maciel (2021), porém a série histórica abrangerá os anos de 1985 a 2023, em conformidade com os dados mais recentes da base fornecida pelo Portal Hidroweb da ANA, conforme Tabela 6.

Tabela 6- Postos pluviométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha - continua

POSTOS PLUVIOMÉTRICOS DO INTERIOR DA PORÇÃO MINEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JEQUITINHONHA

Nº	MUNICÍPIO DE INSTALAÇÃO	ESTADO	NOME DO POSTO	CÓD. DO POSTO	LATIT. (S)	LONGIT. (W)	ALTIT. (M)
1	Almenara	MG	Fazenda Cajueiro	1640001	16°07'13"	40°44'22"	202
2	Araçuaí	MG	Araçuaí	83442	16°49'48"	42°03'00"	289
3	Araçuaí	MG	Fazenda Facão	1742020	16°58'16"	42°06'56"	333
4	Bocaiúva	MG	Vila Terra Branca – Jusante	1743002	17°18'46"	43°12'28"	680
5	Capelinha	MG	Capelinha	1742014	17°41'30"	42°31'34"	890
6	Carbonita	MG	Carbonita	1742008	17°34'46"	42°59'42"	552
7	Diamantina	MG	Diamantina	83538	18°13'48"	43°38'24"	1296

Tabela 6- Postos pluviométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha - continuação

POSTOS PLUVIOMÉTRICOS DO INTERIOR DA PORÇÃO MINEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JEQUITINHONHA

Nº	MUNICÍPIO DE INSTALAÇÃO	ESTADO	NOME DO POSTO	CÓD. DO POSTO	LATIT. (S)	LONGIT. (W)	ALTIT. (M)
8	Diamantina	MG	Mendanha - Montante	1843003	18°06'48"	43°31'13"	803
9	Grão Mogol	MG	Fazenda Jambeiro	1642014	16°35'29"	42°55'06"	679
10	Grão Mogol	MG	Porto Mandacaru	1642007	16°40'44"	42°29'08"	273
11	Itaobim	MG	Itaobim	1641001	16°34'06"	41°30'11"	241
12	Itaobim	MG	São João Grande	1641007	16°41'22"	41°29'54"	351
13	Itinga	MG	Itinga	1641010	16°37'05"	41°46'03"	258
14	Jacinto	MG	Jacinto	1640000	16°08'19"	40°17'25"	160
15	Jequitinhonha	MG	Jequitinhonha	1641002	16°25'39"	41°00'50"	254
16	Medina	MG	Medina	1641011	16°13'48"	41°28'51"	590
17	Salinas	MG	Salinas	83441	16°09'00"	42°16'48"	471
18	Virgem da Lapa	MG	Pega	1642013	16°51'36"	42°20'51"	290

POSTOS PLUVIOMÉTRICOS DO ENTORNO DA PORÇÃO MINEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JEQUITINHONHA

Nº	MUNICÍPIO DE INSTALAÇÃO	ESTADO	NOME DO POSTO	CÓD. DO POSTO	LATIT. (S)	LONGIT. (W)	ALTIT. (M)
19	Água Boa	MG	Água Boa	1742019	17°59'31"	42°23'38"	600
20	Águas Vermelhas	MG	Itamarati	1541010	15°34'51"	41°24'31"	687
21	Buenópolis	MG	Estação de Curimatai	1744030	17°59'43"	44°10'36"	516
22	Gouveia	MG	Gouveia	1843002	18°27'56"	43°44'35"	1.200

Tabela 6- Postos pluviométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha - conclusão

POSTOS PLUVIOMÉTRICOS DO ENTORNO DA PORÇÃO MINEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JEQUITINHONHA

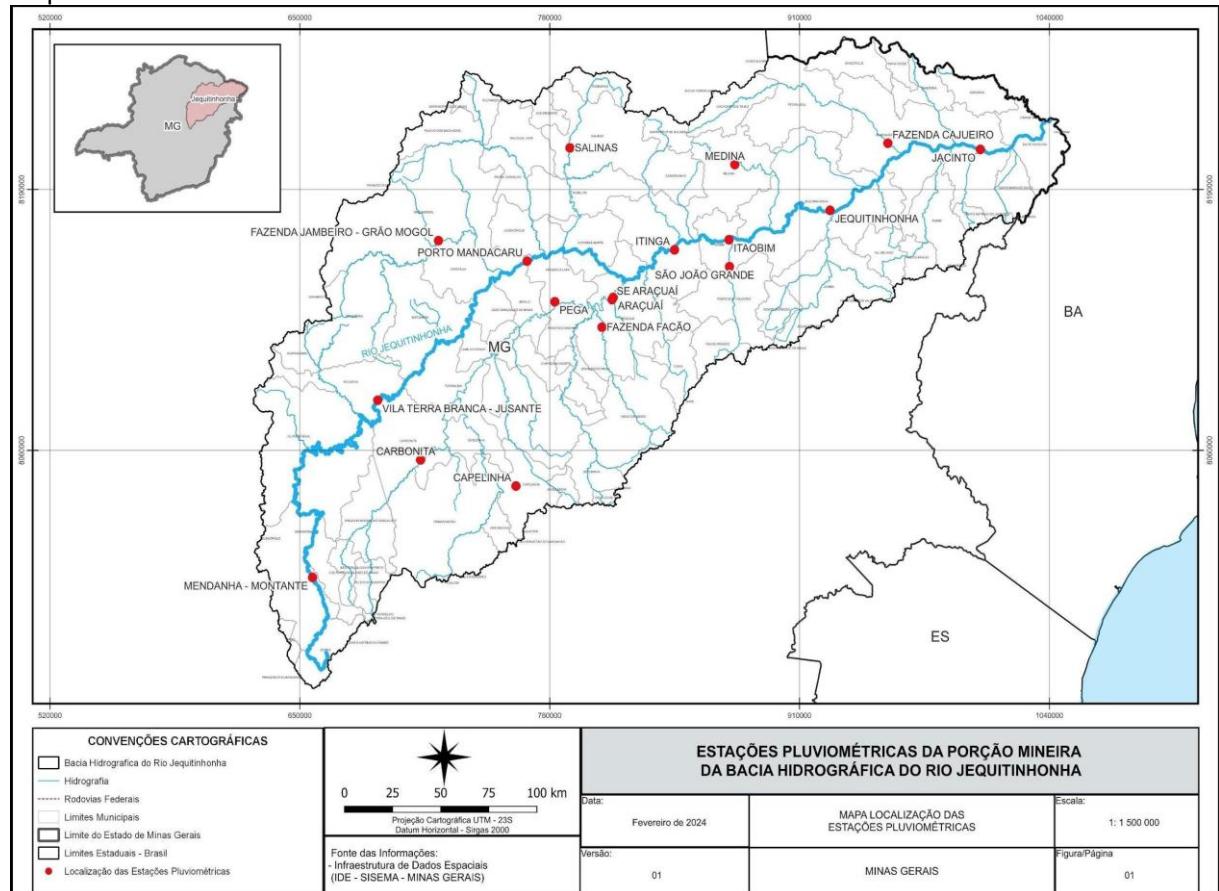
Nº	MUNICÍPIO DE INSTALAÇÃO	ESTADO	NOME DO POSTO	CÓD. DO POSTO	LATIT. (S)	LONGIT. (W)	ALTIT. (M)
23	Ladainha	MG	Ladainha	1741006	17°37'46"	41°44'14"	430
24	Malacacheta	MG	Malacacheta	1742017	17°50'44"	42°04'32"	689
25	Montes Claros	MG	São João da Vereda	1644028	16°42'09"	44°07'02"	847
26	Padre Paraíso	MG	Padre Paraíso	1741013	17°04'22"	41°28'59"	707
27	Porteirinha	MG	Serra Branca	1542016	15°38'12"	42°56'37"	521
28	Rio Vermelho	MG	Rio Vermelho	1843012	18°16'47"	43°00'02"	720
29	São João do Paraíso	MG	São João do Paraíso	1542014	15°19'00"	42°01'22"	765
30	Serro	MG	Serro	1843011	18°35'34"	43°24'45"	940
31	Umbaratiba	MG	São Pedro do Pampã	1740026	17°19'13"	40°40'34"	192
32	Camacan	BA	Fazenda Nancy	1539014	15°36'12"	39°31'01"	87
33	Eunápolis	BA	Mundo Novo	1639000	16°15'54"	39°35'00"	180
34	Itamaraju	BA	Itamaraju	1739005	17°02'42"	39°32'41"	80
35	Itanhém	BA	Itanhém	1740008	17°09'48"	40°19'36"	212
36	Itapebi	BA	Itapebi	1539006	15°57'39"	39°31'34"	80
37	Vitória da Conquista	BA	Inhobim	1540003	15°20'27"	40°55'58"	520

Fonte: Maciel, S. A. (2021). Elaborado por Melo, M. P. (2022).

Considerando que, naturalmente, em fundos de vale, a temperatura é mais elevada e em regiões serranas é mais amena, apesar de reunir características hídricas do semiárido até o tropical úmido, a variação espacial da temperatura média anual na Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha é relativamente pequena, entre 21 a 24°C

(Ferreira; Silva, 2012). A disposição dos postos pluviométricos adotados, inseridos na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, segue no Mapa 5.

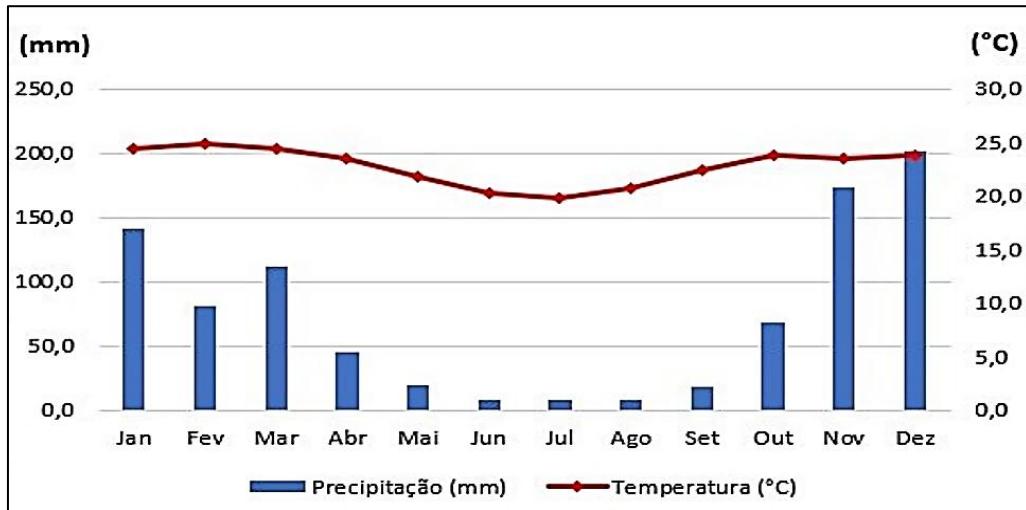
Mapa 5- Estações pluviométricas elegidas da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha



Fonte: IDE-SISEMA (Minas Gerais, 2024). **Elaborado por:** Soares, R. C. da S. (2024) em conjunto com Melo, M. P. de (2024).

A temperatura do ar média anual encontra-se na faixa de 22,8°C e o total pluviométrico médio anual de 884,2mm, tendo em conta o intervalo de tempo preestabelecido por Maciel (2021), atingindo temperatura máxima de 24,4°C a 24,8°C entre janeiro e março (registrando 173,3mm, 201,3mm e 140,8mm de chuva, respectivamente) e mínima de 19,8°C a 20,7°C entre junho e agosto (com 8,4mm, 8,3mm e 8,4mm de chuva).

Figura 1- Climograma da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, de 1985 a 2015



Fonte: Maciel, S. A. (2021). Adaptado por Melo, M. P. (2024).

2.4 Domínios litoestruturais e geomorfológicos

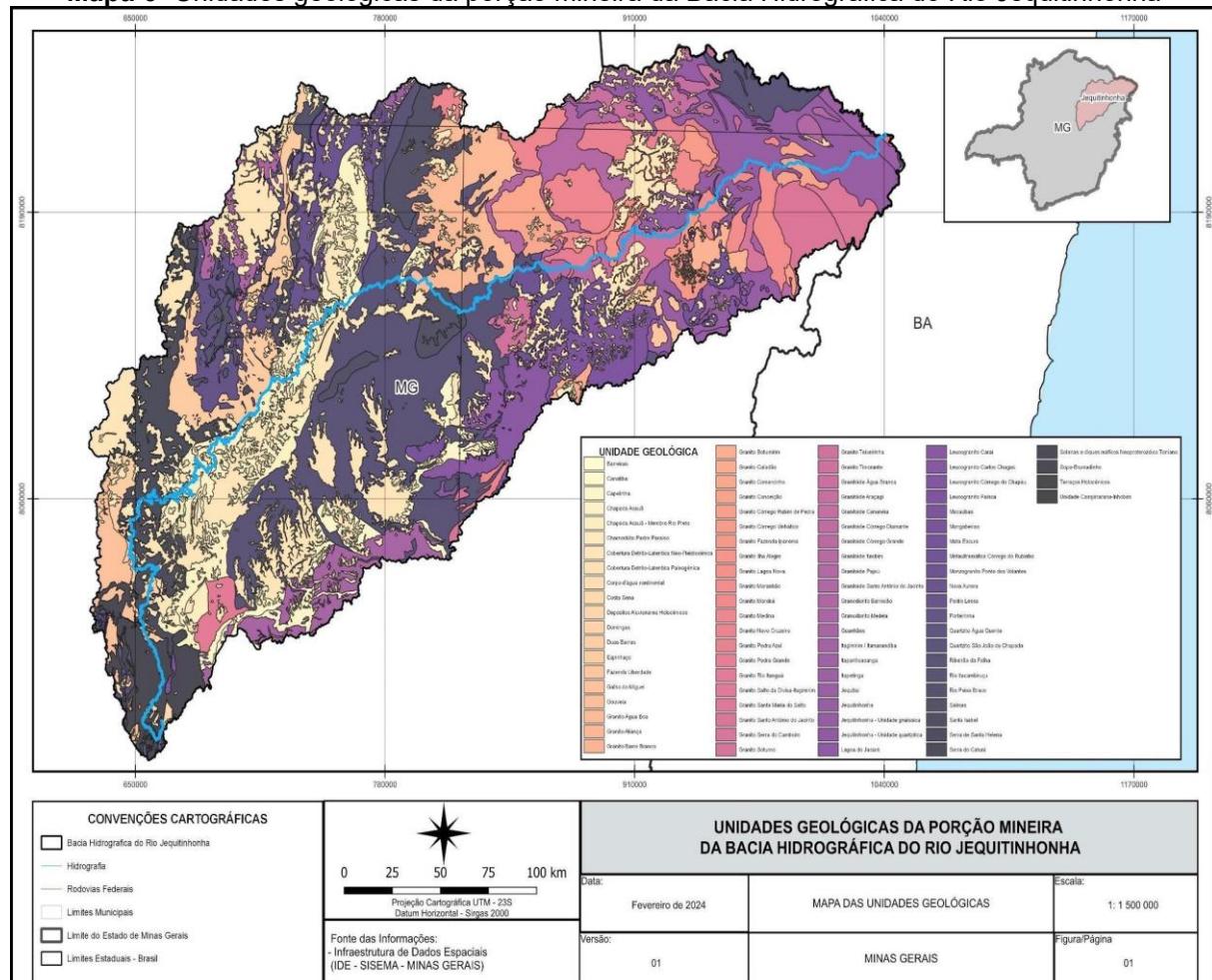
A formação de elementos da superfície terrestre é identificada pela natureza das rochas, pelo clima e por fatores endógenos e exógenos, tornando-se impossível dissociar fatores geológicos e geomorfológicos. As informações sobre a composição química das rochas e minerais, além da análise espaço-temporal dos processos atuantes no relevo, possibilitam a identificação ou a prevenção de processos de degradação ambiental relacionados aos elementos físicos. Os conjuntos litológicos da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha estão associados à morfologia das paisagens, condicionadas pelo ambiente geoestrutural, em função do grau de integração entre o perfil geotectônico, litológico e tectono-estrutural, além das características geomorfológicas e hidrográficas da região (Ferreira, 2007).

Estruturas geológicas e geomorfológicas influenciam o padrão de drenagem e, consequentemente, o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica. Sendo assim, as unidades litológicas têm relação direta com a infiltração, o armazenamento de água no solo e a susceptibilidade à erosão, devido à composição mineral das rochas, a distribuição de tamanho dos grãos e o grau de compactação dos constituintes do arcabouço geológico. A estratigrafia representa as relações geométricas e cronológicas entre os vários elementos que compõem o sistema geológico, assim como a estrutura das formações, que diz respeito às características

geométricas produzidas por deformação, após deposição ou cristalização, como é o caso das juntas, fraturas, falhas e dobras.

Dentre os aspectos que diferenciam os tipos de rochas e levando-se em consideração as mais diversas classificações existentes, as mais comuns são, segundo Guerra & Guerra (2011), em ordem crescente, a estrutura, a textura, a composição química e a mais importante, a origem. Sendo assim, os três grandes grupos (rochas ígneas ou magmáticas, sedimentares e metamórficas) definem características intrínsecas de aquíferos relacionadas à porosidade, permeabilidade (conexão entre os poros), grau de heterogeneidade, potencial para armazenar e transmitir água. Em materiais granulares o potencial hidrogeológico deriva do tamanho, forma e arranjo dos grãos.

Mapa 6- Unidades geológicas da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha



Fonte: IDE-SISEMA (Minas Gerais, 2024). **Elaborado por:** Soares, R. C. da S. (2024) em conjunto com Melo, M. P. de (2024).

De maneira geral, a porosidade de rochas sedimentares e sedimentos não consolidados (arenitos, siltitos, areias, cascalho), por serem mais arenosas ou bastante fraturadas, contribui para a absorção de água, enquanto rochas de composição maciça e compacta possuem potencial muito baixo ou nulo, como as rochas ígneas e metamórficas (quartzitos, granitos). Nestas duas últimas, a água é conduzida e armazenada por meio de fissuras, reduzindo a capacidade de infiltração (Feitosa *et al.*, 2008). É importante ressaltar aqui que a porosidade e a quantidade de água absorvida, geralmente diminuem com o aumento da profundidade e da intensidade da deformação estrutural rochosa.

Na Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, o substrato geológico é composto por rochas pré-cambrianas, resultantes do intervalo de tempo mais extenso ao se considerar a formação a Terra (cerca de quatro bilhões de anos), mais precisamente do Arqueano e Proterozóico Médio e Superior. “Entretanto, em vastas áreas, foram depositados sedimentos de cobertura do Terciário-Quaternário e aluviões. Todo esse material vem sendo submetido à instabilidade tectônica [...]” (Ferreira, 2007, p. 60), o que condiciona, em grande parte, a morfologia das paisagens.

O Eon Arqueano (>3,6 - 2,5 Ga ou bilhões de anos), com área aflorante de apenas 4,6% da superfície total do Brasil, é representado no Brasil pelas eras Paleoarqueana (3,6 - 3,2 Ga), Mesoarqueana (3,2 - 2,8 Ga) e Neoarqueana (2,8 - 2,5 Ga), com distribuição relativamente grande nos estados da Bahia, Minas Gerais, Pará e Goiás. Após a era Neoarqueana e antes da Mesoproterozóica, o Eon Proterozóico (2,5 - 1,6 Ga) comprehende 15,4% da superfície, entre as diversas eras representativas do Pré-cambriano do Brasil e subdivide-se em quatro períodos: Sideriano Superior (2,35Ga), Riaciano (2,2 - 2,1 Ga), Orosiriano (2 - 1,85 Ga) e Estateriano (1,8 - 1,55 Ga), conforme descreve Bizzi *et al.* (2003).

A passagem do Arqueano para o Paleoproterozóico no continente consignou de forma marcante os registros sedimentares, magmáticos e tectônicos de todas as mudanças evolucionárias que caracterizaram as esferas do Globo naquela oportunidade. De forma que o Paleoproterozóico brasileiro registra com propriedade os contingentes litogenéticos e metalogenéticos do Paleoproterozóico do mundo e com riqueza invulgar de feições. (Bizzi *et al.*, 2003, p.35).

Ainda segundo Bizzi *et al.* (2003), a diversidade dos processos litogenéticos inter e intraplacas do Eon Proterozóico é de síntese difícil. Gradativamente, a partir da individualização dos núcleos arqueanos, a expressão paleogeográfica de crosta

continental estável foi crescendo por todo Paleoproterozóico, sob novas condições atmosféricas (da hidrosfera, da biosfera e da dinâmica externa como um todo), e consignando os registros respectivos em vários estágios de bacias sedimentares e vulcanossedimentares. Até o fim do Proterozóico ocorreu o desenvolvimento de formas de vida mais complexas, como as algas, bem como o depósito de minerais metálicos (ferro), destacando-se, ainda, a composição das primeiras rochas metamórficas nesse intervalo de tempo.

O embasamento arqueano é constituído, predominantemente, de migmatitos, granitos e gnaisses altamente metamorfizados que sofreram várias fases de deformação, o que deu origem a uma estrutura muito complexa. Sobre ele, especialmente na região situada a montante da confluência dos rios Jequitinhonha e Araçuaí, aparece uma cobertura dobrada proterozóica, constituída por rochas quartzíticas do Supergrupo Espinhaço e também por rochas xistosas do Grupo Macaúbas. Sobre as rochas do embasamento arqueano e coberturas dobradas proterozóicas aparecem as coberturas detríticas, eventualmente lateríticas, morfologicamente manifestadas sob forma de chapadas de extensões e graus de ramificação variados.

Na área situada a jusante da confluência entre os rios Jequitinhonha e Araçuaí predominam afloramentos do embasamento arqueano. Nesse caso, as coberturas detríticas aparecem em extensões bem menores e alojadas imediatamente sobre as rochas predominantemente graníticas e gnáissicas. (Ferreira, 2007, p. 60).

Para este estudo, o agrupamento do substrato geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha compreendeu cinco conjuntos litológicos e um mais abrangente, segundo suas características predominantes, de acordo com Ferreira (2007): a) Domínio dos complexos gnáissicos e rochas graníticas, b) Domínio das coberturas detríticas, eventualmente lateríticas, c) Domínio das rochas xistosas, d) Domínio das rochas quartzíticas, e) Domínio dos depósitos aluviais e f) Agrupamento de outras litologias. Com base no cenário geológico apontado por Ferreira (2007), em conjunto ao apresentado no Mapa 6, segue a caracterização de cada agrupamento e padrões litoestruturais predominantes identificados.

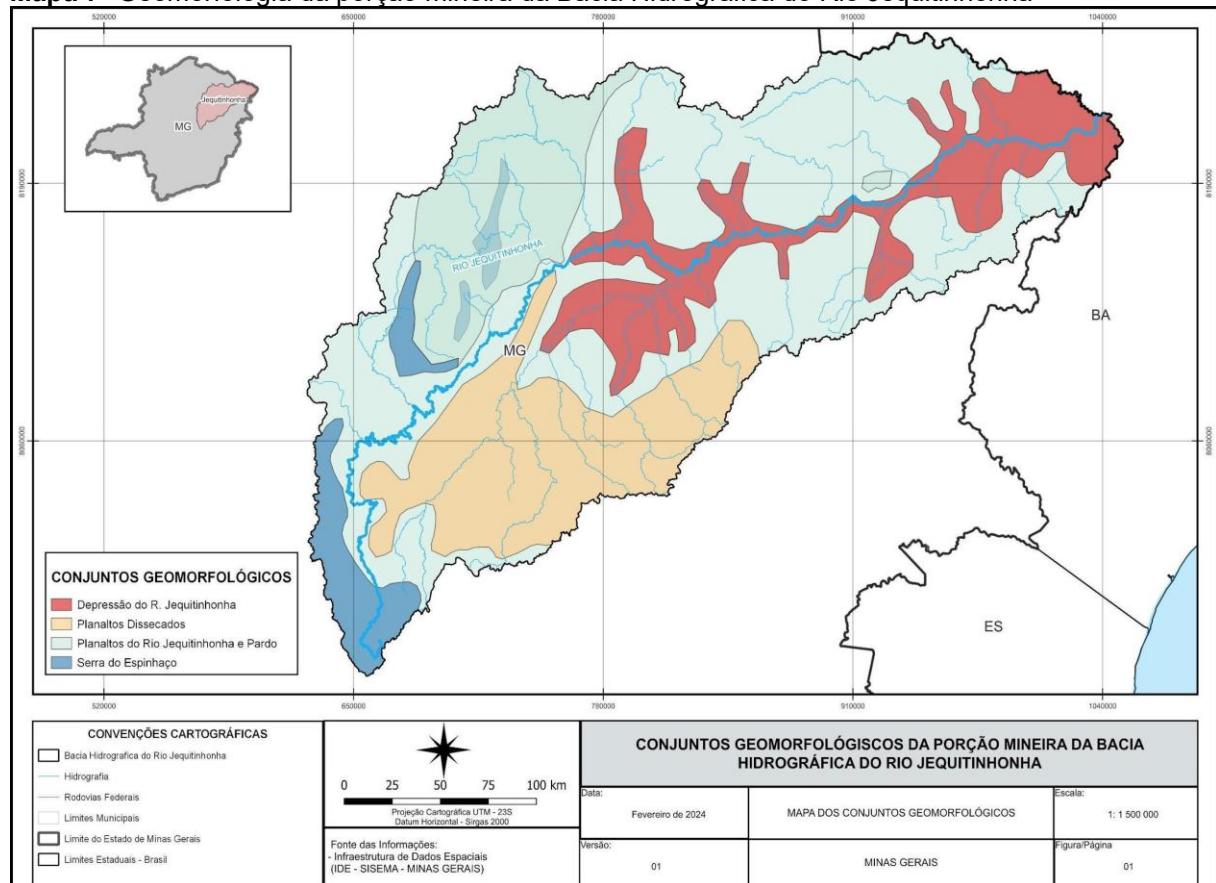
Quadro 3- Caracterização das rochas da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha

TIPO DE ROCHA	CARACTERÍSTICAS PREDOMINANTES
Quartzíticas	Relacionadas ao Supergrupo Espinhaço (parte occidental da Bacia) e, em menores proporções, no Grupo Macaúbas (setor septentrional da Serra) e no Complexo Jequitinhonha. Com alto grau de metamorfismo, comporta-se de forma semelhante às rochas gnássicas do ponto de vista hidrogeológico. De granulação média, grande dureza, contém mica e quartzo recristalizado, podendo ser porosa, resultante da metamorfização de arenitos siliciclosos e apresenta, geralmente, tom claro e superfície brilhante.
Xistosas	Presentes em vasta área da Bacia do Jequitinhonha, estão dispostas discordantemente sobre diversas unidades arqueanas e sobre rochas do Supergrupo Espinhaço. Diversas áreas de rochas xistosas estão cobertas pelas coberturas detritícias cenozóicas. De grande fissibilidade, grão muito fino e esfoliação fácil, o xisto resulta da metamorfização das argilas que endurecem e tomam aspecto lamelar.
Complexos gnássicos e rochas graníticas	Terrenos graníticos ocorrem em grandes extensões do setor médio da Bacia, em faixa relativamente extensa próximo ao divisor sul e em áreas da porção noroeste. Os gnaisses têm origem metamórfica, resultante da deformação de sedimentos arcólicos ou de granitos. Compostos por mais de 20% de feldspato potássico, plagioclásio, quartzo e biotita, jamais serão porosos. Os granitoides têm origem ígnea (ou magmática), originadas por cristalização em profundidade de um magma rico em sílica, constituídas, essencialmente, por quartzo e feldspato.
Depósitos aluviais	Predominante apenas em vales relativamente estreitos, não representados integralmente no mapa em função da escala, mas com papel importante em termos de aproveitamento hídrico. Com cascalhos e areias aparecendo nas bases dos depósitos, são depósitos sedimentares encontrados comumente sob condições de clima semiárido ou árido.
Coberturas detritícias, eventualmente lateríticas	As coberturas cenozóicas ocorrem em quase toda a porção mineira da Bacia, principalmente à montante da confluência com o Rio Araçuaí. Os depósitos de cobertura funcionam como divisores de água entre várias sub-bacias, e a maior parte dessas coberturas sedimentares aparece capeando as rochas predominantemente xistosas do Grupo Macaúbas. São rochas que têm, em geral, alta porosidade e permeabilidade elevada.

Fonte: Ferreira, V. O. (2007). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

A estrutura geológica é um fator de controle na evolução da superfície da Terra, podendo-se refletir em diversas características do ambiente natural e, por isso, é fundamental que se conheça os aspectos estruturais de uma área, pois, uma determinada variedade litológica poderá condicionar uma variedade geomorfológica. O relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, resultante da disposição estrutural das rochas associada a fatores exógenos, está compartimentado em quatro conjuntos geomorfológicos: Serra do Espinhaço, Planaltos do Rio Jequitinhonha, Planaltos dissecados do leste de Minas Gerais e Depressão do Jequitinhonha (Ferreira, 2007), assim como está apresentado no Mapa 7.

Mapa 7- Geomorfologia da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha



Fonte: IDE-SISEMA (Minas Gerais, 2024). **Elaborado por:** Soares, R. C. da S. (2024) em conjunto com Melo, M. P. de (2024).

O Quadro 4 interpreta cada um dos padrões de relevo compartimentados, demonstrados no mapa anterior. Os processos morfodinâmicos deixam sua impressão sobre as mais variadas formas de relevo e desenvolvem conjuntos próprios de feições morfológicas ou condições ambientais. Os agentes físicos e químicos pelos quais a superfície terrestre sofre modificações podem se originar no interior da Terra, tais como os produtos do tectonismo, e outros, na parte externa, tais como intemperismo e erosão. Nessa perspectiva, qualquer processo de atuação predominante, interna ou externamente, é responsável pela elaboração de um conjunto de formas de relevo específicas.

Quadro 4- Caracterização geomorfológica da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha

CONJUNTO GEOMORFOLÓGICO	CARACTERÍSTICAS PREDOMINANTES
Serra do Espinhaço 	<p>Em escala regional, a Serra do Espinhaço é subdividida em dois compartimentos de planaltos (partes sul e norte). O Planalto Meridional inicia nas nascentes do rio Cipó, alojadas na serra homônima, a aproximadamente 50km a norte de Belo Horizonte. A altitude média da superfície situa-se em torno de 1.200m, com ponto culminante em 2.062m, no Pico do Itambé. As formas de relevo resultantes são representadas, majoritariamente, por cristas, escarpas e vales profundos adaptados às direções tectônicas e estruturais. Em meio a este cenário de planalto descarnado, alojam-se uma série de áreas deprimidas. O Planalto Setentrional inicia-se logo a norte de Couto de Magalhães e estende-se além da fronteira de Minas Gerais com a Bahia. A morfologia inclui um platô subdividido em chapadas isoladas por vales, entre Francisco Sá (1.050m) e Leliveldia (800m); linhas de cristas quartzíticas de direção N-S, com altitude máxima de 1.467m (Serra da Samambaia, a S-W de Botumirim) formando um espião protuberante no meio do planalto; e uma zona ligeiramente deprimida em meio às cristas quartzíticas e ocupada por colinas gnáissicas entre Itacambira e Espinosa.</p>
Planaltos do Rio Jequitinhonha e Pardo 	<p>São caracterizados pela ocorrência de chapadas e elevações residuais da Serra do Espinhaço, na parte oeste, com altitudes médias de 950m e máximas que raramente excedem os 1000m. São delimitadas por vigorosos escarpamentos resultantes da profunda incisão fluvial estruturalmente controlada que os dissecam. Algumas destas chapadas apresentam-se basculadas para N-W, em direção ao vale do Rio Araçuaí, caracterizado por gradiente topográfico de 0,8%.</p>
Planaltos dissecados do leste de Minas Gerais 	<p>Ocorrem a partir de Almenara em direção à costa atlântica e, também, na porção sul da Bacia, próximo ao divisor com a Bacia do Rio Doce. São caracterizados por formas mais suaves, resultantes de intenso processo de dissecação fluvial e dentre as feições predominantes estão as colinas e cristas com vales encaixados ou de fundo chato, pontões e algumas poucas feições tabulares. Em geral, o conjunto coincide com manchas de relevo variando de ondulado a fortemente ondulado.</p>
Depressão do Jequitinhonha 	<p>Área relacionada aos vales dos rios Jequitinhonha, Mucuri e São Mateus, marcada por uma morfologia diferenciada com feições convexas, aguçadas e grandes extensões aplanadas. Tais características ocorrem em função dos diferentes períodos evolutivos do relevo, comandados pela dinâmica fluvial, considerando as fraquezas litológicas e as condições climáticas. A paisagem da região apresenta feições mais suaves, predominantemente ondulado e aplainado, com cotas entre 150 e 400m de altitude.</p>

Fonte: Saadi, A. (1995); Ferreira, V. O. (2007). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

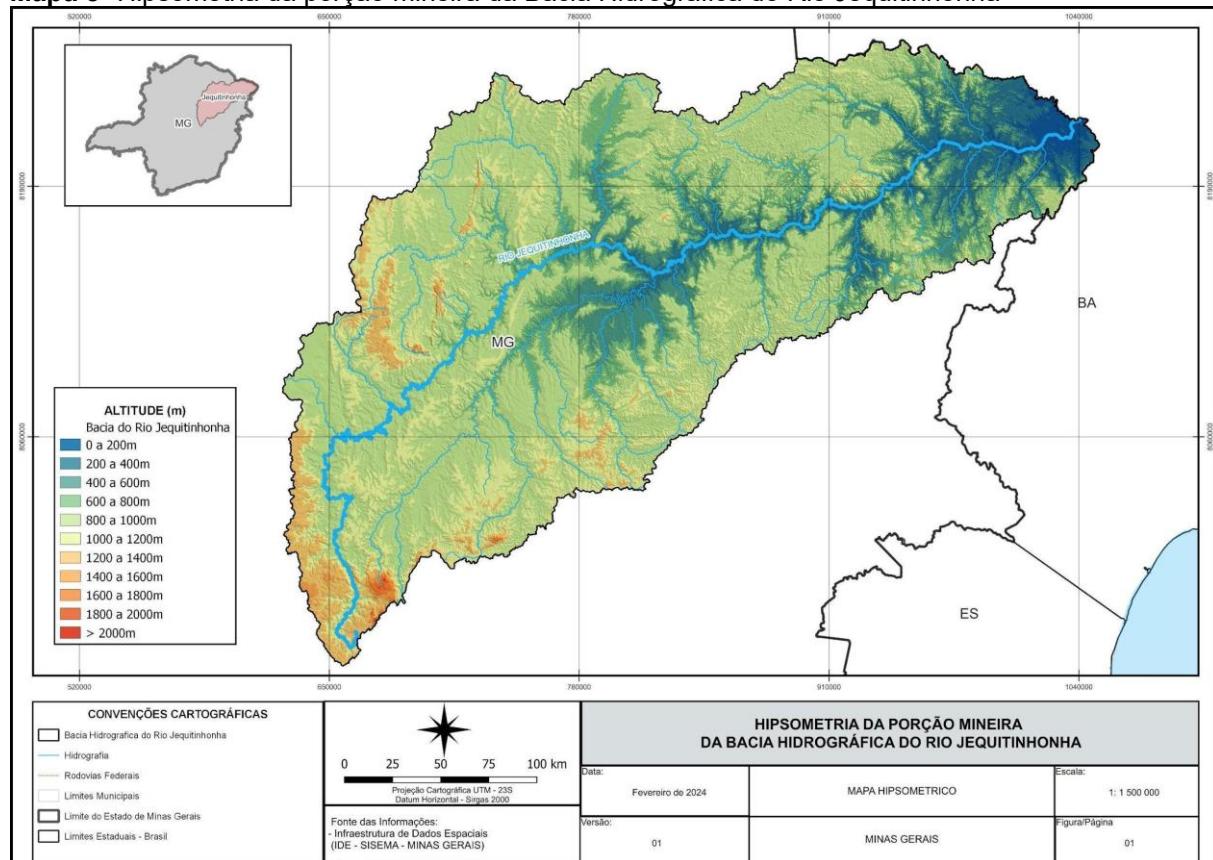
O Mapa 8 apresenta as classes altimétricas da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha e, de forma geral, é possível perceber que quanto mais forte a tonalidade de verde, até chegar em tons escuros de azul, mais baixa é a

altitude, entre 52 a 400m, justamente onde se encontra a área mais rebaixada do Rio Jequitinhonha (depressão).

Em escala regional, a Serra do Espinhaço é subdivisível em dois compartimentos de planaltos — ocupando as partes sul e norte desta — muito bem diferenciados e nitidamente separados por uma zona deprimida de direção NW-SE, passando por Couto de Magalhães, a norte de Diamantina. Estes serão aqui denominados, respectivamente, Planalto Meridional e Planalto Setentrional. (Saadi, 2011, p. 43).

De maneira oposta, os tons alaranjados, revelam, as maiores altitudes (1.400 a 2.049m), concentradas na parte sudoeste da Bacia, mais especificamente, na região da Serra do Espinhaço. Conforme Saadi (2011), a Serra do Espinhaço é um grande divisor hidrográfico interposto entre as bacias do centro-leste brasileiro e a do Rio São Francisco, constituindo em Minas Gerais, “um conjunto de terras altas, com forma de bumerangue de direção geral norte-sul e convexidade orientada para oeste.” (p.41).

Mapa 8- Hipsometria da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha

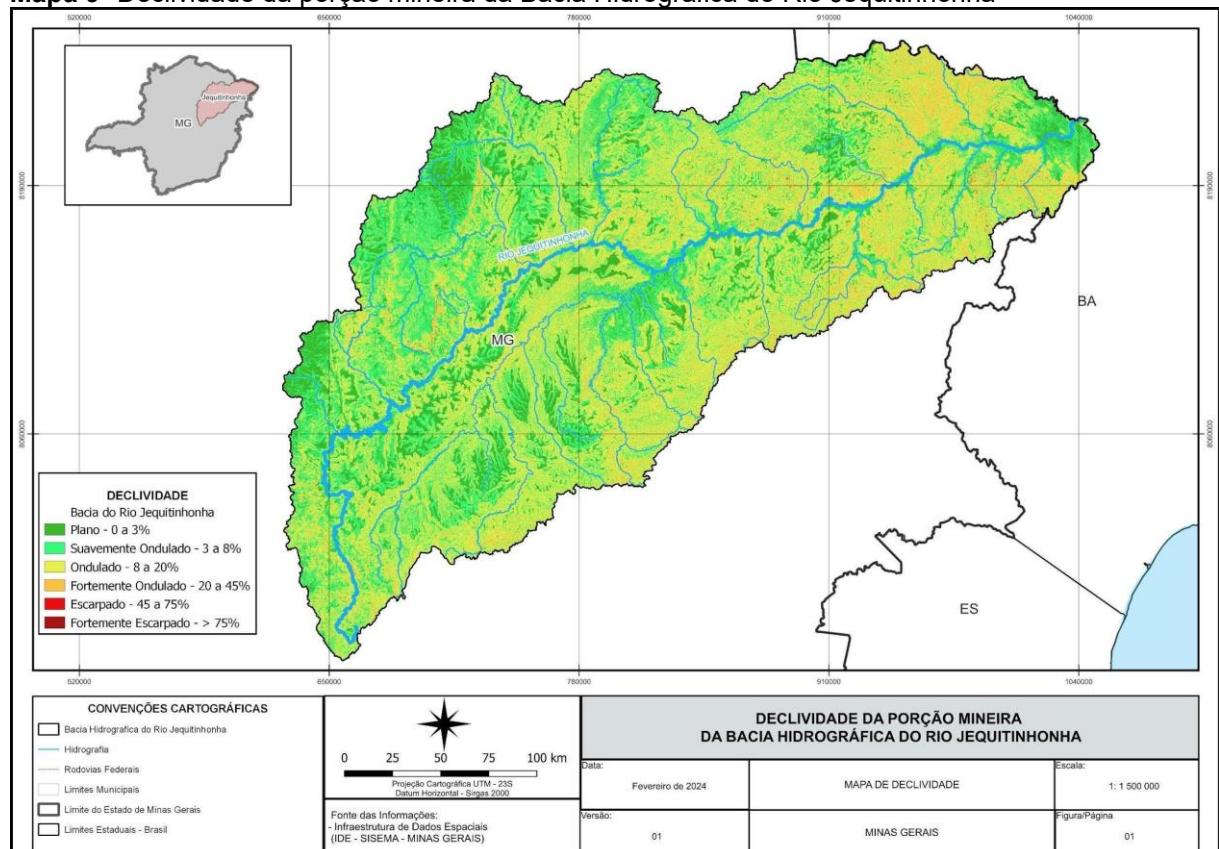


Fonte: IDE-SISEMA (Minas Gerais, 2024). **Elaborado por:** Soares, R. C. da S. (2024) em conjunto com Melo, M. P. de (2024).

Conforme evidencia o Mapa 9, as declividades da Bacia estão classificadas

entre planas (0 a 3%) a fortemente escarpadas (>75%), com as porções norte e central do alto Rio Jequitinhonha e Bacia do Rio Araçuaí em regiões de planaltos. Apresentam altitudes entre 750 a 1.500m, com manchas de relevo fortemente ondulado, entremeadas por áreas suavemente onduladas dos relevos tabulares das chapadas, conforme Maciel (2021 apud Ferreira, 2007). Já nas áreas do médio e baixo Rio Jequitinhonha, com planaltos a planaltos mais dissecados à leste da Bacia, as altitudes são menores, não ultrapassando 1.000m, com relevo variando de ondulado a forte ondulado.

Mapa 9- Declividade da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha



Fonte: IDE-SISEMA (Minas Gerais, 2024). **Elaborado por:** Soares, R. C. da S. (2024) em conjunto com Melo, M. P. de (2024).

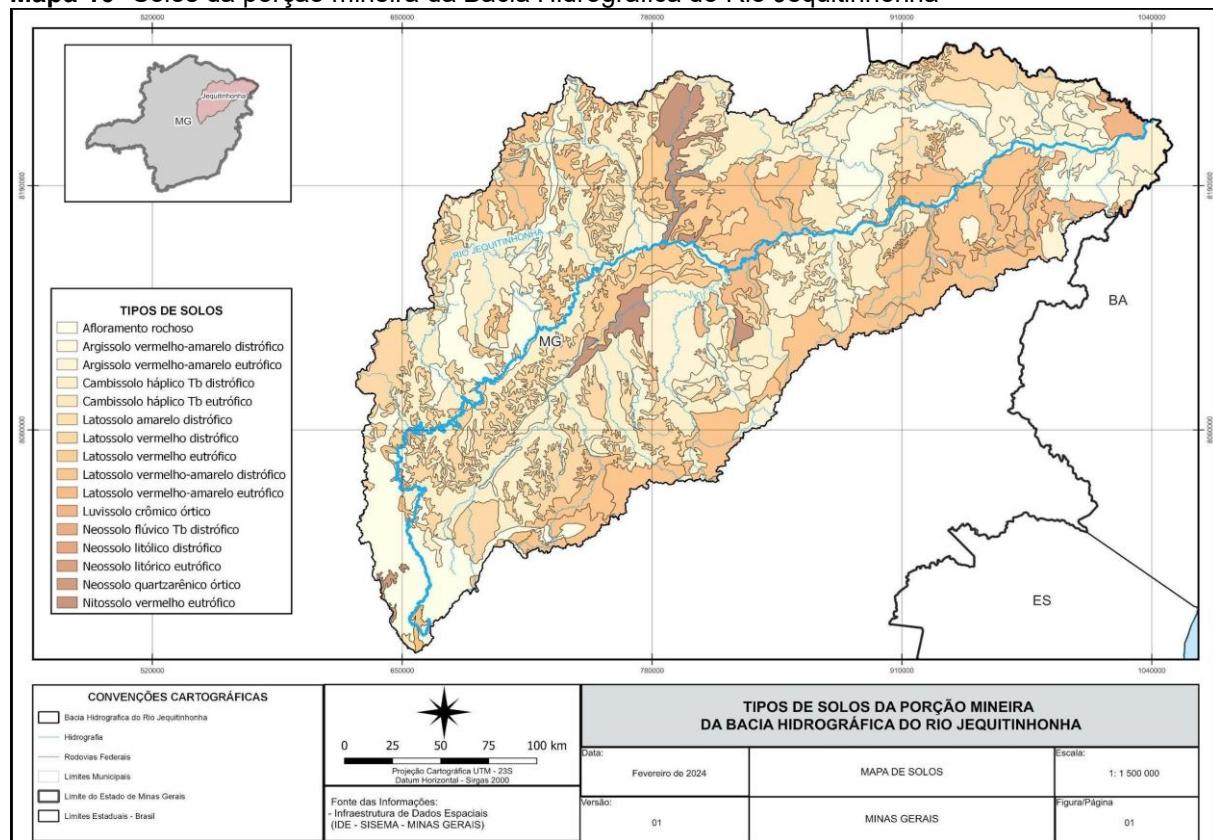
Em fragmentos localizados ao longo do vale do Rio Jequitinhonha e em alguns dos seus afluentes, além do baixo Jequitinhonha em direção ao oceano Atlântico, estão as porções de depressões na Bacia, com altitudes mais amenas, menores que 750 m (relevos planos a ondulados).

2.5 Tipologia de solos

Ligadas aos aspectos geológicos, às formas de relevo e aos processos geomorfológicos, estão as propriedades pedológicas, condicionantes, assim como as hidrológicas e climáticas, a biota e a ocupação do solo, para a análise de bacias hidrográficas, que, por sua vez, condicionam o regime hidrológico. A distribuição espacial dos solos nas paisagens da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha compreende a predominância de Argissolos, Latossolos, Cambissolos e Neossolos.

Alguns afloramentos rochosos, principalmente em áreas de exposição do Supergrupo Espinhaço, não foram representados devido às restrições de escala e, segundo Maciel (2021) os percentuais da Bacia concernentes a cada classe de solos compreendem 38% dominados por Argissolos, 33% por Latossolos, 12% por Cambissolos e 11% por Neossolos. O percentual restante (6%) abrange Luvissolos, Nitossolos, afloramentos rochosos e segundo Ferreira (2007), ocorrem, ainda, pequenas manchas de terra roxa, areias quartzosas e solos aluviais não representados no Mapa 10 devido às restrições da escala.

Mapa 10- Solos da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha



Fonte: IDE-SISEMA (Minas Gerais, 2024). **Elaborado por:** Soares, R. C. da S. (2024) em conjunto com Melo, M. P. de (2024).

Os solos predominantes na sub-bacia hidrográfica do Alto Jequitinhonha (JQ1) são os Cambissolos e Latossolos e, com menor representatividade, os Argissolos e Neossolos, ocorrendo afloramentos rochosos associados à região da Serra do Espinhaço. Já na sub-bacia do Rio Araçuaí (JQ2) ocorrem quatro tipos de solos definidos como: Podzólicos Vermelho-Amarelo e Vermelho-Escuro; Cambissolos; Latossolos Amarelo, Vermelho- Amarelo e Vermelho-Escuro; e Litossolos. Os solos dominantes de ocorrência na sub-bacia do Médio e Baixo Jequitinhonha (JQ3) são Argissolos, Cambissolos, Latossolos e, em menor proporção, Luvissolos e Neossolos Magalhães Júnior (2019).

Ferreira (2007) discorre sobre a ocorrência dos Latossolos predominantemente nos topos das chapadas, onde as declividades são próximas a 2% e os sedimentos argilo-arenosos das coberturas detriticas compõem o material de origem. São solos que também ocorrem agregados aos conjuntos litológicos gnáissicos e graníticos e, ainda, em menor extensão, aos quartzitos do Supergrupo Espinhaço.

Em termos de aproveitamento agrícola, os latossolos apresentam excelentes condições físicas e, apesar de apresentarem limitações quanto à fertilidade natural, podem ser transformados em ótimos solos produtivos desde que utilizados sob sistemas de manejo adequados, que incluem a correção da acidez, o aumento da fertilidade e o controle erosivo. (Ferreira, 2007, p. 75).

Na área de estudo os Latossolos são usufruídos, principalmente, para reflorestamento, apesar de ser possível uma ocupação agrícola sustentável, se adotados sistemas de manejo alternativos, o que contribui para a inclusão de pequenos agricultores ao setor produtivo comercial. Já os Argissolos ocupam principalmente a porção inferior das encostas onde o relevo é ondulado (12 a 24%) ou fortemente ondulado (24 a 45%), segundo Ferreira (2007). Segue no Quadro 5 a caracterização sucinta de cada tipo de solo citado.

Quadro 5- Caracterização pedológica da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha - continua

TIPO DE SOLO	CARACTERÍSTICAS PREDOMINANTES
Latossolos	<p>São solos constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, exceto hístico. São solos em avançado estádio de intemperização, muito evoluídos como resultado de energicas transformações no material constitutivo. Os solos são virtualmente destituídos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo. Variam de fortemente a bem drenados, embora ocorram solos que têm cores pálidas, de drenagem moderada ou até mesmo imperfeitamente drenada, o que é indicativo de formação em condições atuais ou pretéritas com um certo grau de gleização. São normalmente muito profundos, sendo a espessura raramente inferior a 1m. Têm sequência de horizontes A, B, C com pouca diferenciação de sub-horizontes e transições usualmente difusas ou graduais. De um modo geral, os teores da fração argila aumentam gradativamente com a profundidade ou permanecem constantes ao longo do perfil. São, em geral, solos fortemente ácidos, com baixa saturação por bases, distróficos ou alumínicos. Ocorrem, todavia, solos com saturação por bases média e até mesmo alta. Esses últimos são encontrados geralmente em zonas (semiáridas ou não) que apresentam estação seca pronunciada, ou ainda que apresentam influência de rochas básicas ou calcárias. Esses solos são típicos das regiões equatoriais e tropicais, ocorrendo também em zonas subtropicais, distribuídos, sobretudo, por amplas e antigas superfícies de erosão, pedimentos ou terraços fluviais antigos, normalmente em relevo plano e suave ondulado, embora possam ocorrer em áreas mais acidentadas, inclusive em relevo montanhoso. São originados a partir das mais diversas espécies de rochas e sedimentos sob condições de clima e tipos de vegetação os mais diversos.</p>
Argissolos	<p>Compreendem solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixa ou com caráter alumínico. O horizonte B textural (Bt) encontra-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico. Grande parte dos solos desta classe apresenta um evidente incremento no teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B, com ou sem decréscimo nos horizontes subjacentes. Os Argissolos são de profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados, de cores avermelhadas ou amareladas e mais raramente brunadas ou acinzentadas. A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt, sempre havendo aumento de argila daquele para este. São de forte a moderadamente ácidos, com saturação por bases alta ou baixa, predominantemente cauliníticos.</p>
Cambissolos	<p>Solos constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, desde que em qualquer dos casos não satisfaçam os requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas classes Vertissolos, Chernossolos, Plintossolos e Organossolos. Têm sequência de horizontes A ou hístico, Bi, C, com ou sem R. Devido à heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas, as características destes solos variam muito de um local para outro. Assim, a classe comporta desde solos fortemente até imperfeitamente drenados, de rasos a profundos, de cor bruna ou bruno-amarelada até vermelho-escura, de alta a baixa saturação por bases e atividade química da fração argila. Alguns solos desta classe possuem características morfológicas similares às dos Latossolos, mas distinguem-se destes por apresentarem, no horizonte B, uma ou mais características incompatíveis com solos muito evoluídos.</p>

Quadro 5- Caracterização pedológica da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha - conclusão

TIPO DE SOLO	CARACTERÍSTICAS PREDOMINANTES
Neossolos	Compreendem solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso que não apresenta alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, em razão de características inerentes ao próprio material de origem (como maior resistência ao intemperismo ou composição químico-mineralógica), ou em razão da influência dos demais fatores de formação (clima, relevo ou tempo), que podem impedir ou limitar a evolução dos solos. Esta classe admite diversos tipos de horizontes superficiais, incluindo horizonte O com menos de 20cm de espessura quando sobrejacente à rocha ou horizonte A húmico ou proeminente com mais de 50cm quando sobrejacente à camada R, C ou Cr. Alguns solos podem ainda apresentar horizonte B, mas com insuficiência de requisitos (espessura muito pequena, por exemplo) para caracterizar qualquer tipo de horizonte B diagnóstico.

Fonte: Embrapa (2018); Ferreira, V. O. (2007). Elaborado por Melo, M. P. de (2023).

Considerando o papel fundamental que o solo desempenha nos ecossistemas terrestres e na sustentabilidade global, a discussão sobre solos vulneráveis é crucial dentro do campo dos estudos ambientais e da geografia, especialmente. Solos vulneráveis referem-se a solos que estão suscetíveis a processos de degradação, erosão, desertificação, compactação, poluição e outros impactos negativos. Essa vulnerabilidade pode ser influenciada por uma série de fatores, incluindo características físicas, químicas e biológicas do solo, bem como atividades humanas e mudanças climáticas. A seguir é apresentada a suscetibilidade erosiva dos solos que compõem a porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha.

2.5.1 Suscetibilidade erosiva dos solos

A suscetibilidade erosiva dos solos refere-se à sua propensão a sofrer erosão, que é o processo natural de remoção e transporte de partículas de solo pela água, vento ou outras forças. A erosão do solo pode ter impactos significativos no ambiente, na produtividade agrícola e na qualidade da água, entre outros aspectos. Cada tipo de solo apresenta propriedades que os diferenciam de outros e que são responsáveis pela maior ou menor facilidade desse solo em ser erodido, ou seja, fatores pedológicos, geomorfológicos, geológicos e cobertura vegetal influenciam no grau de suscetibilidade erosiva, além do uso e ocupação que se faz das terras, práticas agrícolas realizadas e precipitação.

As características dos solos e seus atributos são ferramentas importantes para

estudos que buscam relacionar os mesmos com a superfície em que estão inseridos. Considerado como corpo tridimensional e dinâmico, a sua variação ao longo do tempo é acompanhada pelas mudanças na paisagem, apontando a relação mútua entre eles. Por tanto, os solos estão sujeitos a mudanças decorrentes das condições estabelecidas pelo local em que estão inseridos. Destas mudanças pode-se destacar as alterações no relevo, alternância hídrica superficial e de subsuperfície, e, também, não descartando as alterações impostas pela ação antrópica, muito atuante em regiões em que o solo é o componente fundamental para o desenvolvimento econômico, social, político e cultural.

O conhecimento dos solos presentes na paisagem permite identificar as melhores formas de uso dessas áreas, além de definir parâmetros que visam a sustentabilidade, principalmente de áreas preservadas. O conhecimento da qualidade do solo e das interrelações dos fatores pedoambientais efetivamente pode contribuir para a melhoria ou reformulação de alternativas de uso sustentável das terras, o que contribui para a redução de áreas degradadas pelo uso inadequado (Mendes, 2020).

A importância do planejamento do uso do solo para a gestão das águas em bacias hidrográficas tem sido resgatada em função das aceleradas e inadequadas práticas como o desmatamento, pastoreio, expansão da agricultura e crescimento urbano, que prejudicam as condições hídricas, resultando em inundações, perdas de solo e eutrofização.

Dessa forma, o papel do Estado na defesa ambiental deve traçar planos de ação por meio das políticas públicas, que abrangem etapas educativas, de coordenação e de realização, pois a simples existência de leis protetoras do meio ambiente não impede e nem resolvem os problemas construídos. É preciso que o debate se concretize por meio da implementação do direito ambiental, a partir de posições concretas a serem assumidas pelos atores a exercerem a ação participativa e comunicativa que a realidade exige (Duarte, 2003).

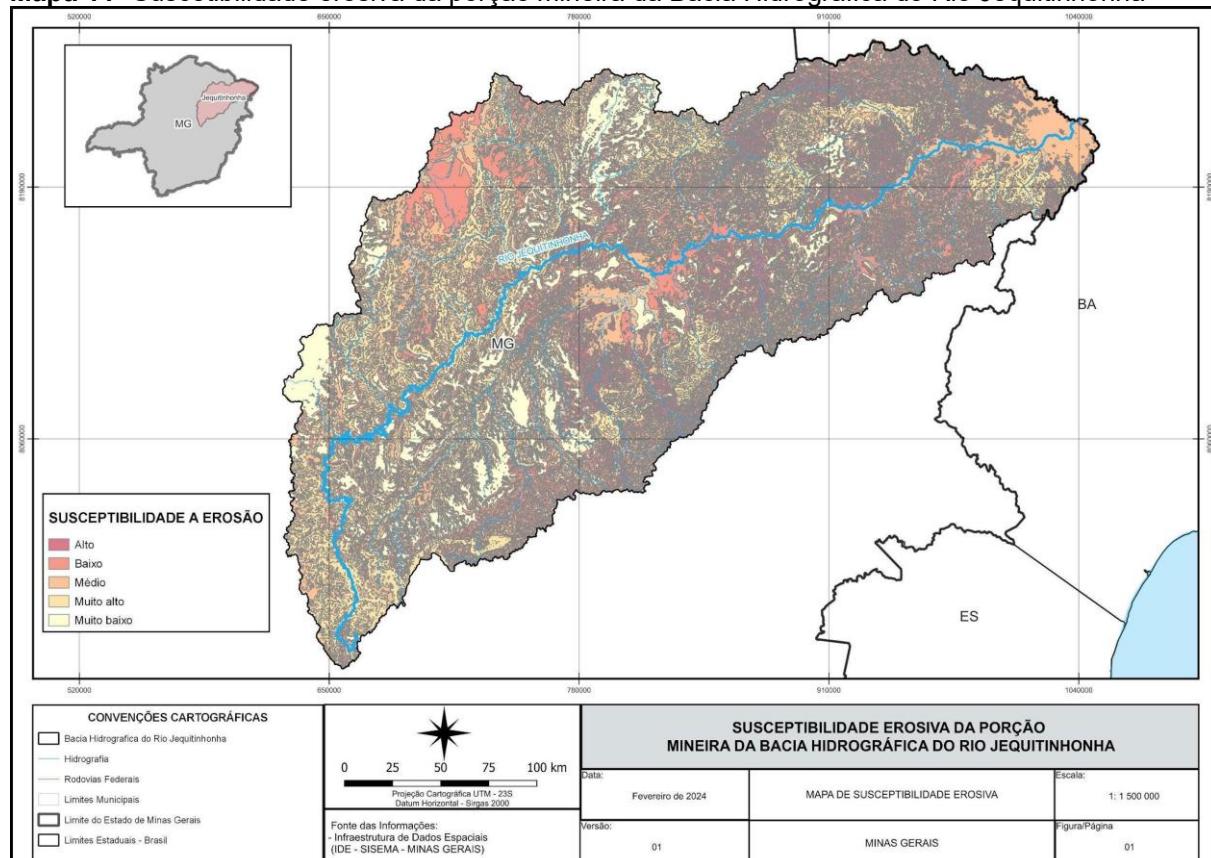
Neste sentido, o Brasil estabeleceu através do Decreto nº 94.076 (BRASIL, 1987), o Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas, que definiu os seguintes objetivos: a) Executar ações voltadas para a prática de manejo e conservação dos recursos naturais renováveis, evitando sua degradação e objetivando um aumento sustentado da produção e produtividade agropecuárias, bem como da renda dos produtores rurais; b) Estimular a participação dos produtores rurais e suas organizações nas atividades de que trata o item anterior; c) Promover a fixação das

populações no meio rural e reduzir os fluxos migratórios do campo para a cidade.

Segundo Ferreira (2007) o agravamento de processos erosivos nos solos da Bacia estudada ocorre devido à predominância de áreas com relevo fortemente ondulado com cobertura vegetal de Cerrado e Caatinga. Em áreas de chapadas e em alguns remanescentes de matas ou florestas, a suscetibilidade erosiva varia de ligeira a moderada, porém, no Alto Jequitinhonha, além dos fatores do meio físico, os totais anuais de pluviosidade superam os 1000mm, o que potencializa a ação erosiva.

De uma forma geral, todos os solos da região apresentam algum tipo de limitação que gera baixos níveis de produtividade. Quando explorados indevidamente, podem chegar a um nível de degradação cuja recuperação é inviável do ponto de vista econômico. (Ferreira, 2007, p. 75).

Mapa 11- Suscetibilidade erosiva da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha



Fonte: IDE-SISEMA (Minas Gerais, 2024). **Elaborado por:** Soares, R. C. da S. (2024) em conjunto com Melo, M. P. de (2024).

Os graus mais altos de suscetibilidade erosiva, conforme Mapa 11, ocorrem em áreas compostas por Latossolos, que, apesar de bastante férteis, quando em condições inadequadas de manejo, estão propensos a processos erosivos, assim como os Cambissolos que são mais comumente encontrados em encostas e áreas de

relevo mais íngreme na Bacia do Rio Jequitinhonha.

2.6 Cobertura vegetal e uso das terras

A cobertura vegetal na bacia do rio Jequitinhonha é diversificada e desempenha um papel crucial na regulação do ciclo hidrológico, conservação do solo, manutenção da biodiversidade e na sustentabilidade ambiental e socioeconômica da região. A vegetação nativa da bacia do rio Jequitinhonha inclui uma variedade de tipos de vegetação, que podem ser encontrados em diferentes biomas, como a Mata Atlântica, a Caatinga e o Cerrado.

A vegetação na sub-bacia do Alto Jequitinhonha (JQ1) é predominada pela Savana (cerrados, campos e campos rupestres) e Floresta Estacional distribuídas em fragmentos dispersos em chapadas, grotas e campos. Nas cabeceiras do Rio Jequitinhonha verifica-se a ocorrência dos campos rupestres e campos de altitude na Serra do Espinhaço com o predomínio dos estratos herbáceo e arbustivo (Ferreira, 2007).

A vegetação da sub-bacia do Rio Araçuaí (JQ2) é caracterizada pelo cerrado, campo cerrado, além de florestas deciduais e semideciduais. As áreas que possuem a ocorrência da vegetação natural são marcadas pela topografia, principalmente nos topo das serras e chapadas, onde o acesso e ocupação antrópica é mais restrita (Gama, 2010). A sub-bacia do Médio e Baixo Jequitinhonha (JQ3) apresenta formações pertencentes à Floresta Estacional Decidual, concentradas na porção central e oeste da sub-bacia, na região de Salto da Divisa, em estreitas faixas nas margens do Rio Jequitinhonha na porção centro e leste; áreas de contato da Savana com Floresta Estacional e formação de Savana Estépica (Gama, 2013).

A caatinga está localizada em pequenas áreas da referida Bacia, no trecho entre os municípios de Araçuaí (MG) até Jequitinhonha (MG), na região do Médio e Baixo Jequitinhonha (Gama, 2010). A cobertura vegetal foi descaracterizada ou completamente substituída por monoculturas de eucalipto, pastagens e culturas agrícolas sem técnicas adequadas de manejo (Ferreira, 2007).

O Domínio Fitoecológico da Floresta Estacional foi substituído por pastagens, restando apenas fragmentos em trechos de relevo mais dissecado, baixas encostas e fundos de vales. Já o Domínio da Savana apresenta-se descaracterizada graças à forte exploração da madeira para carvão. O plantio de eucalipto e pinus em áreas

planas das chapadas ocasionaram redução da vegetação natural. O Domínio da Caatinga apresenta antropização por parte das atividades relacionadas ao extrativismo da madeira, produção de carvão e desmatamento para introdução de pastagens (Ferreira, 2007; Gama, 2010; Gama, 2013).

A Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha está localizada em uma região ocupada desde o século XVIII, na qual os municípios mais antigos da região estão concentrados na área colonizada durante os ciclos do ouro e do diamante na porção à montante da Bacia, como Diamantina e Serro (Ferreira e Saadi, 2013). Com o declínio da exploração minerária, a agricultura passou a ser a principal atividade econômica dos moradores locais.

A pobreza atrelada à região ocorreu nas décadas de 1960 e 1970, no tempo do milagre econômico e dos programas de desenvolvimento (Ribeiro *et al.*, 2007), em que o Plano Mineiro de Desenvolvimento Econômico e Social, na década de 1970, incentivou a cafeicultura e a silvicultura na região do Alto Jequitinhonha (Ferreira e Saadi, 2013). Esse Plano foi desenvolvido em função das características de baixa produtividade agrícola e da precariedade dos indicadores sociais na região (Ribeiro *et al.*, 2007).

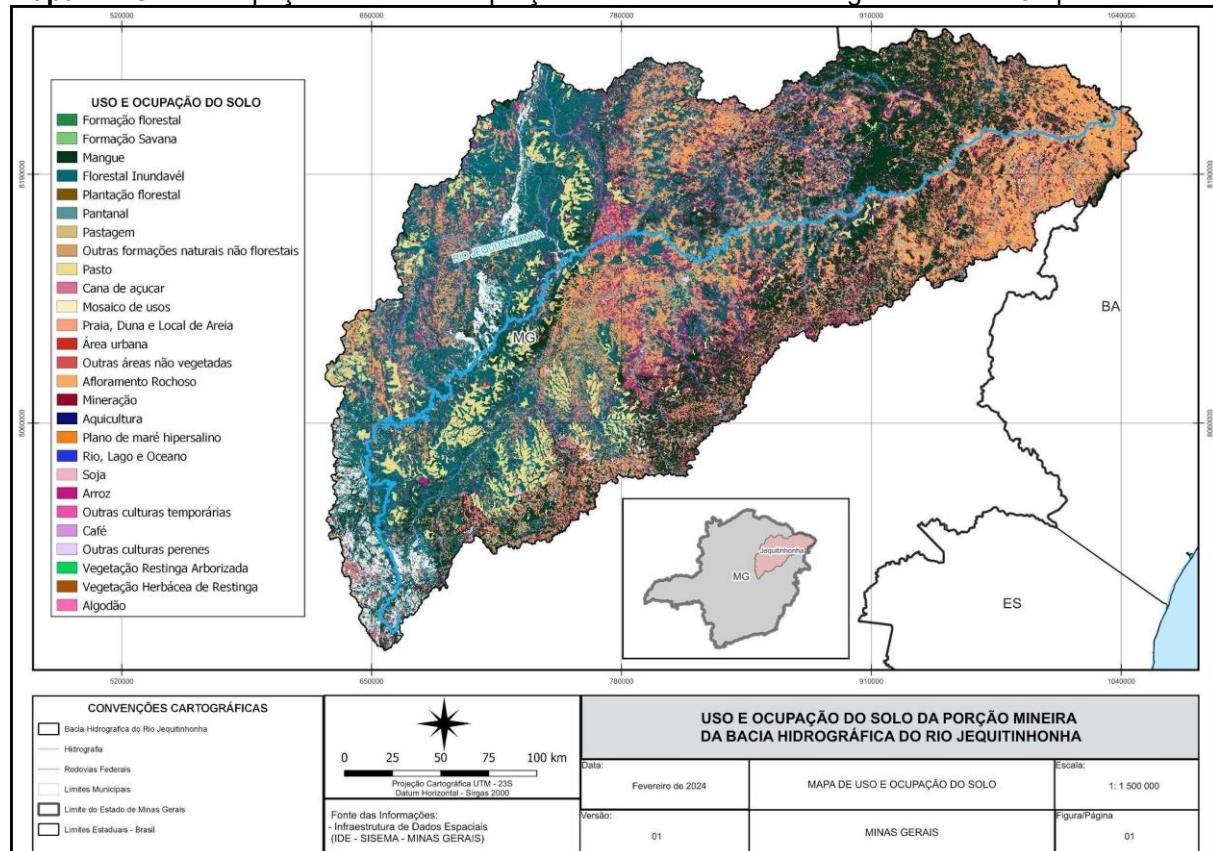
Sendo assim, conforme Mapa 12, a ocupação econômica na área de estudo tem sido marcada pela presença de atividades ligadas à mineração, pecuária extensiva e agricultura familiar, silvicultura, cafeicultura, turismo, artesanato e agroindústria. O desenvolvimento das atividades econômicas está baseado no setor primário, com a produção florestal e pecuária, no setor secundário, em menor escala, especialmente com a fabricação de aguardente e terciário com o destaque para o comércio (IGAM, 2017).

Além disso, a Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha é caracterizada pelos usos múltiplos dos recursos hídricos, com maior concentração no Alto e Médio Jequitinhonha, destacando-se o abastecimento público, irrigação e indústria (IGAM, 2017). O Alto Jequitinhonha, por exemplo, se caracteriza por apresentar um quadro econômico e social que o situa entre as regiões mais pobres do Estado, com graves problemas ambientais, em um espaço geográfico onde, desde o período colonial, são conhecidos e explotados jazimentos de diamante, ouro, manganês, cromo, ferro, cianita, quartzo e outros minérios (Scliar, 1995).

Esta realidade abrange 15 municípios filiados à Associação dos Municípios do Alto Jequitinhonha (AMAJE) que coincide, quase integralmente, com a Microrregião

Homogênea do Alto Jequitinhonha ou Mineradora de Diamantina. Os municípios pertencentes a AMAJE são: Capelinha, Carbonita, Coluna, Couto de Magalhães de Minas, Datas, Diamantina, Felício dos Santos, Gouveia, Itamarandiba, Minas Novas, Presidente Kubitschek, São Gonçalo do Rio Preto, Senador Modestino Gonçalves, Serro e Turmalina. Diversos e importantes estudos sobre os recursos minerais do Vale do Jequitinhonha foram desenvolvidos desde 1937, tomando como base o início das lavras de ouro nesta região, no final do século XVII (Scliar, 1995). O Mapa 13 demonstra a intensidade dos títulos minerários apresentados de 1999 a 2018 em toda a Bacia, englobando a porção mineira e baiana, por Sulzbacher, Lage e Lopes (2020).

Mapa 12- Uso e ocupação dos solos da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha



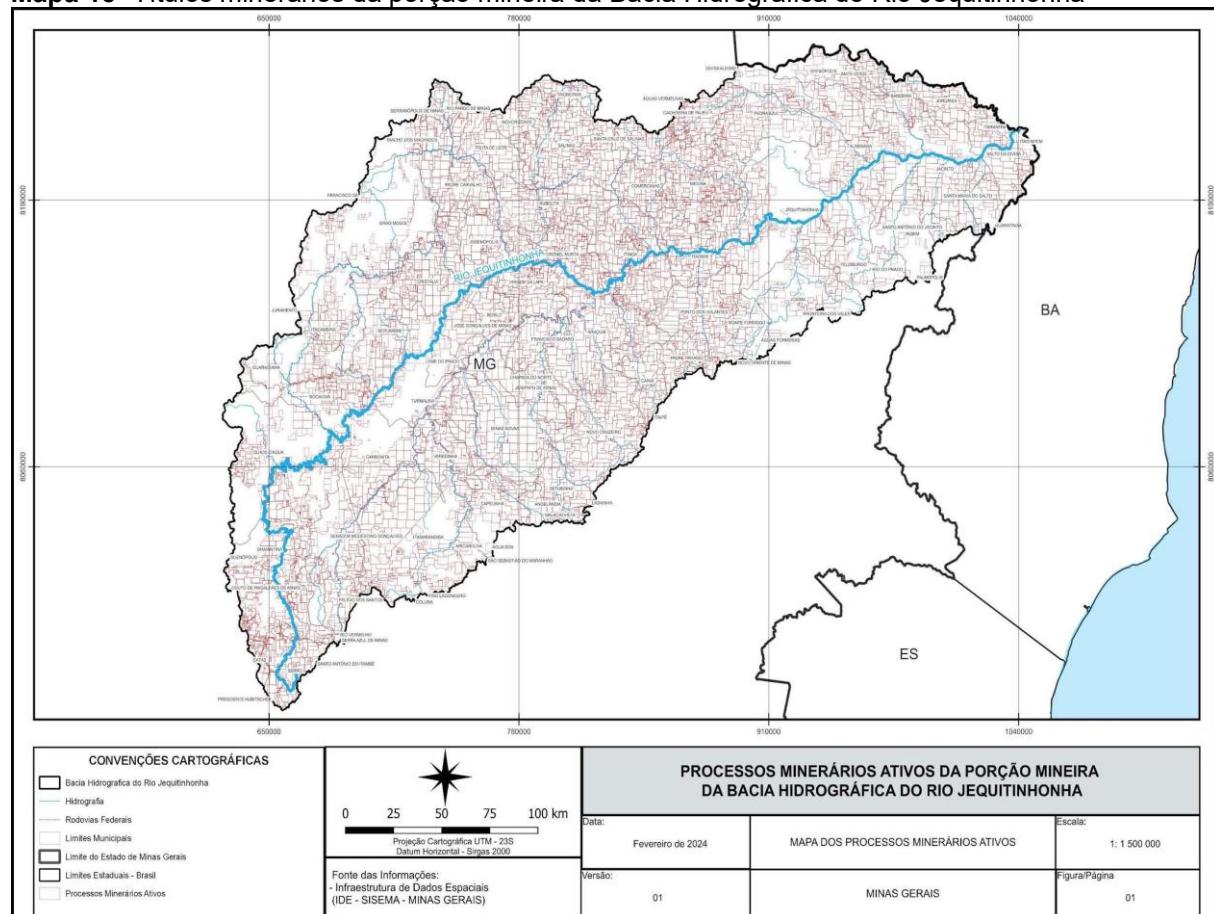
Fonte: IDE-SISEMA (Minas Gerais, 2024). **Elaborado por:** Soares, R. C. da S. (2024) em conjunto com Melo, M. P. de (2024).

A atividade minerária na Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha é significativa e tem impactos consideráveis sobre o meio ambiente, as comunidades locais e a qualidade da água na região. Por ser uma região que abriga depósitos minerais importantes, incluindo minério de ferro, diamantes, ouro e outros minerais, atrai operações de mineração e exploração mineral.

Os títulos minerários na região podem incluir concessões de pesquisa, licenças

de exploração e autorizações de lavra, entre outros. Esses títulos são emitidos pelo governo para empresas ou indivíduos que desejam explorar os recursos minerais da área, e incluem, principalmente, concessões de pesquisa mineral, licenças de exploração, autorizações de lavra, licenças de garimpo, permissões de pequena mineração, entre outros aspectos (DNPM, 2019).

Mapa 13- Títulos minerários da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha



Fonte: IDE-SISEMA (Minas Gerais, 2024). **Elaborado por:** Soares, R. C. da S. (2024) em conjunto com Melo, M. P. de (2024).

Tomando por base os dados levantados por Sulzbacher, Lage e Lopes (2020), a Tabela 7 apresenta a quantidade e a área tomada pelos títulos minerários em cada período analisado, considerando o início dos anos de 1930 até 2018:

Tabela 7- Quantidade de títulos minerários e área na Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, de 1935 a 2018 - continua

PERÍODO	QUANTIDADE DE TÍTULOS MINERÁRIOS REGISTRADOS	ÁREA (ha)
1935-1969	28	16.842,57
1970-1999	541	296.749,85

Tabela 7- Quantidade de títulos minerários e área na Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, de 1935 a 2018 - conclusão

PERÍODO	QUANTIDADE DE TÍTULOS MINERÁRIOS REGISTRADOS	ÁREA (ha)
2000-2018	5.068	3.726.904,26
Total	5.637	4.040.496,68

Fonte: Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2019 apud Sulzbacher, Lage e Lopes, 2020). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

É importante ressaltar que a obtenção de títulos minerários na Bacia do Jequitinhonha está sujeita a regulamentações específicas do governo, incluindo leis ambientais e de mineração. Além disso, é essencial que as empresas e indivíduos interessados estejam cientes dos direitos das comunidades locais e respeitem os processos de consulta e consentimento livre, prévio e informado.

2.7 Informações político-administrativas, socioeconômicas e demográficas

É comum a imagem do Vale do Jequitinhonha ser difundida nos meios de comunicação vinculada a indicadores sociais e econômicos por meio da veiculação de informações que, propensamente, ressaltam os problemas locais. Entretanto, a região não se limita ao estereótipo de carência social. Existem problemas socioeconômicos como apontam os indicadores, mas, por outro lado, também existe uma diversidade cultural que se revela nos modos e fazeres distintos da população.

O Vale do Jequitinhonha Oficial foi delimitado em 6 de junho de 1966, pelo Decreto nº 9.841, para efeito de atuação da CODEVALE, contemplando 52 municípios. Com as emancipações levadas a efeito em 1992 e em 1995, estes 52 municípios geraram outros 28, elevando-se para 80 o número de municípios (Nascimento, 2009). Serro foi o primeiro município a ser fundado, conforme mencionado anteriormente, e os últimos compreendem: Guaraciama, José Gonçalves de Minas, Josenópolis, Leme do Prado, Novorizonte, Olhos d'Água, Padre Carvalho, Santa Cruz de Salinas, Setubinha e Veredinha, instituídos em 1997. O Quadro 6 apresenta o ordenamento municipal da porção mineira da Bacia.

Quadro 6- Ordenamento municipal da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha - continua

MUNICÍPIOS INSERIDOS TOTALMENTE NA PORÇÃO MINEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JEQUITINHONHA					
Nº	MUNICÍPIO	Nº	MUNICÍPIO		
1	Almenara	26	Jordânia		
2	Angelândia	27	José Gonçalves de Minas		
3	Araçuaí	28	Josenópolis		
4	Bandeira	29	Leme do Prado		
5	Berilo	30	Mata Verde		
6	Botumirim	31	Medina		
7	Cachoeira de Pajeú	32	Minas Novas		
8	Capelinha	33	Monte Formoso		
9	Carbonita	34	Novo Cruzeiro		
10	Chapada do Norte	35	Novorizonte		
11	Comercinho	36	Olhos d'água		
12	Coronel Murta	37	Padre Carvalho		
13	Couto de Magalhães de Minas	38	Pedra Azul		
14	Cristália	39	Ponto dos Volantes		
15	Divisópolis	40	Rubelita		
16	Felício dos Santos	41	Rubim		
17	Francisco Badaró	42	Salinas		
18	Fruta de Leite	43	Salto da Divisa		
19	Grão Mogol	44	Santa Maria do Salto		
20	Itacambira	45	São Gonçalo do Rio Preto		
21	Itaobim	46	Senador Modestino Gonçalves		
22	Itinga	47	Setubinha		
23	Jacinto	48	Turmalina		
24	Jenipapo de Minas	49	Veredinha		
25	Jequitinhonha	50	Virgem da Lapa		
MUNICÍPIOS INSERIDOS PARCIALMENTE NA PORÇÃO MINEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JEQUITINHONHA					
Nº	MUNICÍPIO	% NA BACIA	Nº	MUNICÍPIO	% NA BACIA
50	Aricanduva	99,76	61	Padre Paraíso	99,60
51	Bocaiúva	32,99	62	Riacho dos Machados	47,44
52	Caraí	44,35	63	Rio do Prado	60,99
53	Datas	37,49	64	Rio Pardo de Minas	10,57

Quadro 6- Ordenamento municipal da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha - conclusão

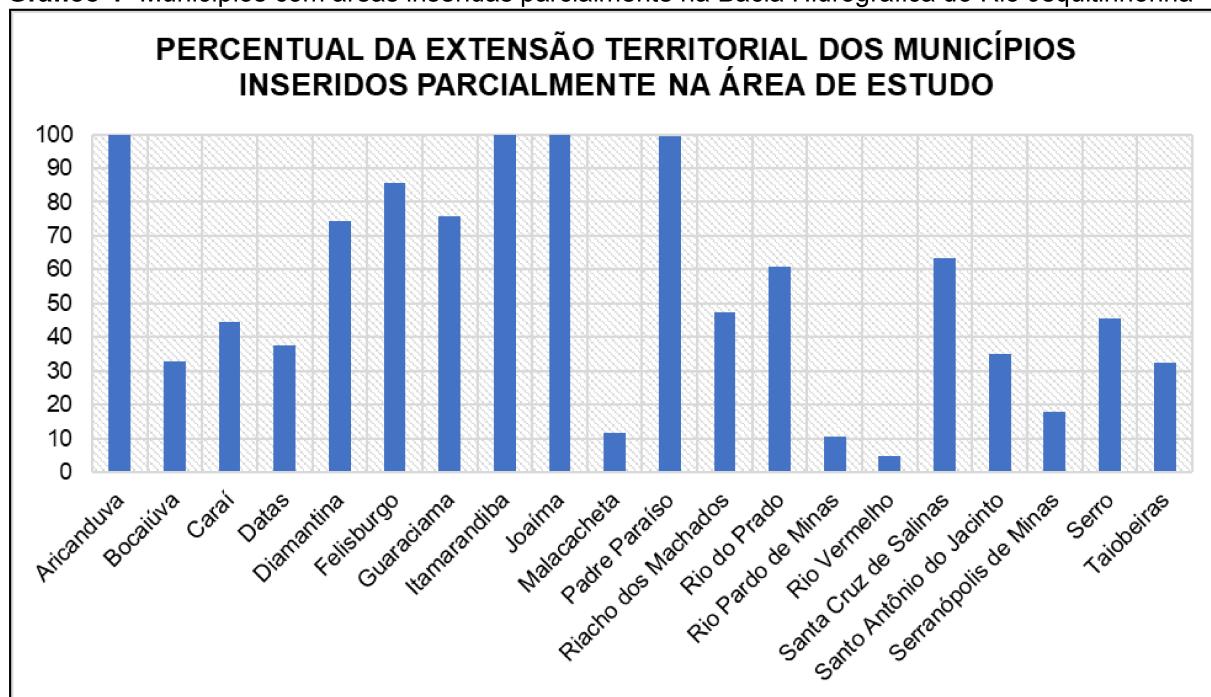
Nº	MUNICÍPIO	% NA BACIA	Nº	MUNICÍPIO	% NA BACIA
54	Diamantina	74,45	65	Rio Vermelho	4,84
55	Felisburgo	85,56	66	Santa Cruz de Salinas	63,53
56	Guaraciama	75,80	67	Santo Antônio do Jacinto	35,16
57	Itamarandiba	99,91	68	Serranópolis de Minas	17,94
58	Joaíma	99,88	69	Serro	45,56
59	Malacacheta	11,66	70	Taiobeiras	32,33

Fonte: IBGE (2020). Elaborador por Melo, M. P. de (2023).

Considerando os municípios inseridos apenas parcialmente na área de estudo, é importante ressaltar que os valores percentuais foram obtidos a partir do banco de dados das Áreas Territoriais do IBGE (2022), de acordo com o exposto no Quadro 6, com Aricanduva, Itamarandiba, Joaíma e Padre Paraíso detendo quase 100% de extensão territorial na porção mineira da Bacia, enquanto Rio Vermelho, Rio Pardo de Minas e Malacacheta somente entre 4 e 12%.

Para compilar as informações apresentadas pelo Quadro 6, o Gráfico 1 foi elaborado no intuito de demonstrar, exclusivamente, os 20 municípios com apenas parte de suas áreas inseridas na porção elegida para avaliação, com a cor azul representando as extensões territoriais de cada um deles (em %).

Gráfico 1- Municípios com áreas inseridas parcialmente na Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha

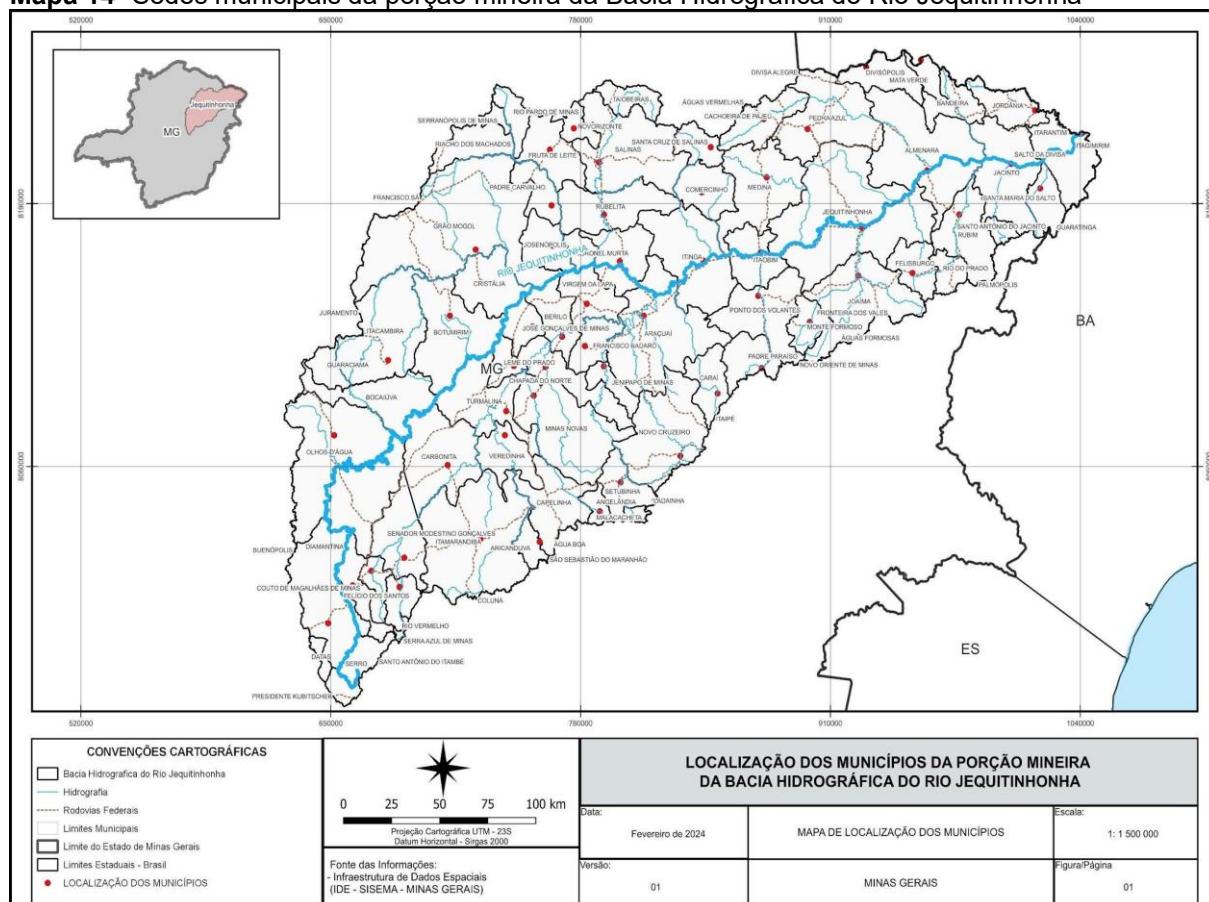


Fonte: IBGE (2020). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

É possível perceber no Mapa 14, a seguir, que não estão exibidas todas as sedes municipais da área de estudo, visto que o *shapefile* contemplou apenas as inseridas na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha.

Em termos de ocupação da região e atividades econômicas, o Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais (IEPHA-MG, 2017) relaciona o início da história da referida Bacia, no que tange o Alto Jequitinhonha, à abrangência em parte da Comarca do Serro Frio e Demarcação Diamantina, ocupada pelos europeus e seus descendentes a partir do século XVIII, devido à descoberta de ouro e diamante. Com a decadência da mineração ocorreu, então, a diversificação econômica da região que passou a se dedicar à criação de gado, ao cultivo de algodão e a agricultura de subsistência.

Mapa 14- Sedes municipais da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha



Fonte: IDE-SISEMA (Minas Gerais, 2024). **Elaborado por:** Soares, R. C. da S. (2024) em conjunto com Melo, M. P. de (2024).

Como o Rio Jequitinhonha passou a ser importante rota de escoamento de mercadorias entre o Médio e o Baixo Jequitinhonha e o sul da Bahia, a partir de 1811, com a instalação de quartéis guarnecidos por parte da Coroa Portuguesa e por Companhias de Dragões ao longo do rio – origem de vários povoados e cidades, segundo o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM, 2021), o uso do solo para atividades de extração mineral, em geral operadas de maneira irregular, resultou na degradação do leito do rio e das áreas de entorno.

Além da exploração de áreas para mineração, a região vivenciou, nas últimas décadas, assim como em grande parte do País, a supressão de vegetação para práticas agrícolas e florestais (França e Mucida, 2022). Uma iniciativa para preservação dessa Bacia tão relevante em termos culturais e ecológicos, foi a publicação da Lei Estadual nº 15.082, de 27 de abril de 2004, que dispõe sobre os rios de preservação permanente, como o Rio Jequitinhonha e seus afluentes, no trecho entre a nascente e a confluência com o Rio Tabatinga, em razão das características excepcionais de beleza, valor ecológico, histórico ou turístico (Minas Gerais, 2004). A Lei em questão também insere no mesmo contexto os cursos de outras bacias hidrográficas: Rio São Francisco, Rio Grande e seus afluentes, Rio Cipó e os rios Pandeiros e Peruaçu.

Contrapondo-se às peculiaridades anteriormente citadas, a região do Jequitinhonha possui um dos menores índices de desenvolvimento de Minas Gerais. Segundo dados do IBGE (2010), o Brasil apresentou Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,759, enquanto Minas Gerais 0,731. Para o mesmo ano, o IDH médio na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha foi 0,614 (Codevasf, 2021). Diamantina, com IDH de 0,716, foi o município com melhores condições de educação, saúde e renda. Já Monte Formoso deteve o pior índice do Estado, de 0,541.

Um estudo realizado por Maciel (2021) abordou a Esperança de Vida ao Nascer, que considera as condições de alimentação da população, os serviços de saneamento, os índices de criminalidade e violência, os serviços de saúde e educação e as políticas públicas de assistência aos idosos. Em 2010, no Brasil, este índice era de 73,5 anos. Em relação à Bacia do Jequitinhonha, apenas 15 dos 79 municípios mineiros superaram a média brasileira. Apesar das dificuldades enfrentadas pela população, a cultura regional prevalece por meio da música, verso e viola, artesanato,

que caracteriza o Jequitinhonha como patrimônio histórico-cultural para Minas Gerais e para o Brasil (UFMG, 2023).

Em relação às atividades econômicas desenvolvidas, destaca-se a mineração, pecuária extensiva e agricultura familiar, silvicultura, cafeicultura, turismo, artesanato e agroindústria, principalmente laticínios e produtos da cultura da cana-de-açúcar (Ferreira, 2007). O autor também apontou que 58% da demanda de água na região mineira da bacia destina-se ao abastecimento humano, sendo que desse total, 15,6% são consumidos pela população rural. Além do consumo humano, a dessedentação de animais e o uso industrial estão presentes, com demandas respectivas de 35,8% e 6,5%. Para fins de exemplificação, o consumo industrial da água abrange a fabricação de alimentos, bebidas, papel, celulose e produtos de papel, metalurgia, produtos químicos e biocombustíveis, e mineração, atualmente não tão ativa como antes. O consumo urbano inclui o uso da água pelas residências, escolas, entidades públicas e comércio.

A prestação dos serviços de abastecimento hídrico e esgotamento sanitário é realizada por entidades autônomas na Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, como ocorre nos municípios de Bocaiúva (MG) e Francisco de Sá (MG), e por prestadores regionais, Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) e Copasa Serviços de Saneamento Integrado do Norte e Nordeste de Minas Gerais (COPANOR), com a maior parcela dos municípios atendida por abastecimento domiciliar de água. No entanto, a falta de tratamento dos esgotos domésticos é fator comprometedor da qualidade hídrica; em média, 45% do esgoto gerado na Bacia é coletado, e, desse total, apenas 57% é destinado para tratamento, conforme Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MDR) (SNIS, 2020).

Tabela 8- População residente e indicadores de água e esgoto para os estados que compõem a Bacia do Rio Jequitinhonha

POPULAÇÃO TOTAL RESIDENTE	% MÉDIO DA POPULAÇÃO ATENDIDA COM ÁGUA TRATADA	% MÉDIO DE COLETA DE ESGOTO	% MÉDIO DO VOLUME COLETADO DE ESGOTO QUE É TRATADO
687.677	92,10	48,10	60,60

Fonte: MDR-SNIS (2020). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Na Bahia, 98,6% da população tem acesso à água tratada e o resultado em

Minas é menor, 92,1%. Entretanto, não há garantia que a água distribuída em todas as localidades seja potável, de acordo com os padrões de qualidade exigidos pelo Ministério da Saúde. Cabe citar que em áreas onde há ausência de rede de abastecimento de água, a população utiliza de soluções alternativas, como poços artesianos, bicas ou minas, aumentando o risco de disseminação de doenças de veiculação hídrica. Isso mostra como o saneamento básico impacta diretamente a saúde, a qualidade de vida e o desenvolvimento de determinada região.

O Programa Proágua Semiárido (2001-2008), que foi implementado no âmbito de Minas Gerais na área de estudo, a fim de auxiliar as comunidades quanto a estruturas para o abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto (IGAM, 2019), foi subdividido em dois sistemas independentes: a) Sistema Diamantina (executado entre 2004 e 2007), que implantou sistemas de abastecimento de água tratada e coleta e tratamento de esgotos em dez distritos de Diamantina (MG), beneficiando aproximadamente 4.400 famílias; b) Sistema São Francisco/Jequitinhonha (executado entre 2006 e 2008), com sistemas de abastecimento de água tratada e coleta e tratamento de esgotos em cinco sedes municipais (Montalvânia, São Francisco, Salinas, Taiobeiras e Medina) e oito distritos, localizados nas bacias dos rios São Francisco e Jequitinhonha, beneficiando aproximadamente 89.100 famílias.

Em levantamento realizado por meio de informações da Agência Brasileira de Regulação (ABAR, 2023), concluiu-se que em toda a referida Bacia estão atuando apenas duas agências reguladoras estaduais: Agência Reguladora de Saneamento Básico do Estado da Bahia (AGERSA) e Agência Reguladora dos Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais (ARSAE). São 76 municípios do Estado atendidos pela COPASA/COPANOR, o que equivale a 96% do total de municípios mineiros na Bacia. A COPASA é a maior companhia de saneamento do Estado e tem seus serviços regulados pela ARSAE. A agência já fiscalizou o serviço prestado pela COPASA/COPANOR em 42 municípios da Bacia e continua realizando as fiscalizações periodicamente.

Criada em 2009, a ARSAE-MG é responsável por normatizar e fiscalizar os serviços de água e de esgoto prestados pela COPASA, COPANOR e pelas autarquias municipais de Itabira, Passos (Serviço Autônomo de Água e Esgoto-SAAE) e Juiz de Fora (Companhia de Saneamento Municipal - CESAMA). Realiza ainda, para cada um desses prestadores, o cálculo para a revisão e o reajuste tarifário, além de atuar na mediação de conflitos entre prestadores e poder concedente (prefeituras) e no

atendimento ao usuário, através do serviço de ouvidoria (ARSAE, 2025).

Tabela 9- Panoramas municipais das prestações de serviços da COPASA/COPANOR na Bacia do Rio Jequitinhonha, em 2021 - continua

MUNICÍPIO	COPASA			COPANOR		
	POPULAÇÃO NA ÁREA DE CONCESSÃO	POPULAÇÃO ATENDIDA PELO ABASTECIMENTO DE ÁGUA	POPULAÇÃO ATENDIDA COM COLETA DE ESGOTO	POPULAÇÃO NA ÁREA DE CONCESSÃO	POPULAÇÃO ATENDIDA PELO ABASTECIMENTO DE ÁGUA	POPULAÇÃO ATENDIDA COM COLETA DE ESGOTO
Almenara	35.820	89,6%	84,3%	1.740	86,9%	Indisponível
Angelândia	-	-	-	5.396	79,9%	76,7%
Araçuaí	-	-	-	Indisponível	Indisponível	36,1%
Aricanduva	-	-	-	2.806	87,3%	71%
Bandeira	-	-	-	2.924	92,7%	72,2%
Berilo	-	-	-	Indisponível	Indisponível	46,8%
Bocaiúva	-	-	-	-	-	-
Botumirim	-	-	-	Indisponível	Indisponível	34,6%
Cachoeira de Pajeú	-	-	-	5.761	93,2%	Indisponível
Capelinha	31.486	92,5%	81,6%	2.087	86,4%	34%
Caraí	-	-	-	8.462	77,9%	13,9%
Carbonita	7.807	90,9%	70,6%	928	76,7%	12,2%
Chapada do Norte	-	-	-	6.814	88,4	3,6%
Comercinho	-	-	-	4.121	90,9%	53,6%
Coronel Murta	5.866	90%	57,5%	Indisponível	Indisponível	Indisponível
Couto de Magalhães de Minas	-	-	-	4.163	88,9%	81%
Cristália	3.148	83,3%	42,6%	-	-	-
Datas	3.711	91,4%	Indisponível	-	-	-
Diamantina	36.765	92,6%	75,2%	8.136	82,7%	55%
Divisópolis	8.374	91,6%	37,5%	-	-	-
Felício dos Santos	-	-	-	Indisponível	Indisponível	Indisponível
Felisburgo	-	-	-	5.801	90,4%	76,8%
Francisco Badaró	-	-	-	Indisponível	Indisponível	Indisponível
Fruta de Leite	-	-	-	Indisponível	Indisponível	Indisponível
Grão Mogol	5.197	87,9%	52,9%	Indisponível	Indisponível	Indisponível
Guaraciama	3.788	65,5%	-	-	-	-
Itacambira	-	-	-	Indisponível	Indisponível	Indisponível

Tabela 9- Panoramas municipais das prestações de serviços da COPASA/COPANOR na Bacia do Rio Jequitinhonha, em 2021 - continuação

MUNICÍPIO	24.174	91,9%	76,8%	3.142	91%	55,1%
	15.891	92,2%	44,9%	2.400	90,5%	Indisponível
	COPASA			COPANOR		
	POPULAÇÃO NA ÁREA DE CONCESSÃO	POPULAÇÃO ATENDIDA PELO ABASTECIMENTO DE ÁGUA	POPULAÇÃO ATENDIDA COM COLETA DE ESGOTO	POPULAÇÃO NA ÁREA DE CONCESSÃO	POPULAÇÃO ATENDIDA PELO ABASTECIMENTO DE ÁGUA	POPULAÇÃO ATENDIDA COM COLETA DE ESGOTO
Itinga	-	-	-	9.316	86,8%	54,4%
Jacinto	7.744	85,3%	56,5%	2.461	88,9%	44,2%
Jenipapo de Minas	-	-	-	Indisponível	Indisponível	51,5%
Jequitinhonha	16.367	90,6%	71,3%	2.357	87,7%	Indisponível
Joaíma	9.405	91,9%	75,6%	965	84,7	Indisponível
Jordânia	7.320	92,7%	-	Indisponível	Indisponível	Indisponível
José Gonçalves de Minas	-	-	-	Indisponível	Indisponível	68,3%
Josenópolis	-	-	-	Indisponível	Indisponível	49,2%
Leme do Prado	-	-	-	1.927	89,3%	67,2%
Mata Verde	9.838	88,4%	70,3%	-	-	-
Malacacheta	11.683	88,6%	79,5%	1.717	81,3%	69%
Medina	15.065	90%	84%	850	92,1%	49%
Minas Novas	12.796	91,5%	48,8%	4.677	81,8%	23%
Monte Formoso	-	-	-	2.294	84,1%	65,1%
Novo Cruzeiro	11.014	88,2%	63,3%	3.322	81,1%	58,4%
Novorizonte	-	-	-	Indisponível	Indisponível	Indisponível
Olhos d'água	-	-	-	3.961	90,4%	Indisponível
Padre Carvalho	-	-	-	Indisponível	Indisponível	40,9%
Padre Paraíso	12.459	87,9%	-	Indisponível	Indisponível	Indisponível
Pedra Azul	20.475	86,1%	79,9%	Indisponível	Indisponível	Indisponível
Ponto dos Volantes	-	-	-	5.525	87,6%	Indisponível
Rio dos Machados	4.232	91,2%	68,7%	-	-	-
Rio do Prado	-	-	-	3.256	89,7%	59,4%
Rio Pardo de Minas	12.168	89,6%	33,8%	-	-	-
Rio Vermelho	5.413	91,4%	-	-	-	-
Rubelita	-	-	-	Indisponível	Indisponível	29,1%
Rubim	7.217	92,4%	-	728	92,9%	Indisponível

Tabela 9- Panoramas municipais das prestações de serviços da COPASA/COPANOR na Bacia do Rio Jequitinhonha, em 2021 - conclusão

MUNICÍPIO	Salinas	33.437	90,9%	73,5%	Indisponível	Indisponível	25,6%
	Salto da Divisa	5.907	91,5%	-	-	-	-
	COPASA			COPANOR			
		POPULAÇÃO NA ÁREA DE CONCESSÃO	POPULAÇÃO ATENDIDA PELO ABASTECIMENTO DE ÁGUA	POPULAÇÃO ATENDIDA COM COLETA DE ESGOTO	POPULAÇÃO NA ÁREA DE CONCESSÃO	POPULAÇÃO ATENDIDA PELO ABASTECIMENTO DE ÁGUA	POPULAÇÃO ATENDIDA COM COLETA DE ESGOTO
Santa Cruz de Salinas	-	-	-	-	Indisponível	Indisponível	61,6%
Santa Maria do Salto	-	-	-	-	3.916	91,2%	81,7%
Santo Antônio do Jacinto	6.661	91,4%	-	-	Indisponível	Indisponível	Indisponível
São Gonçalo do Rio Preto	-	-	-	-	2.283	90,4%	44,3%
Senador Modestino Gonçalves	2.402	96,1%	-	-	-	-	-
Serranópolis de Minas	-	-	-	-	3.304	89,7%	-
Serro	11.321	92,8%	70,9%	1.948	93,5%	10,6%	
Setubinha	-	-	-	5.285	82,4%	40,9%	
Taiobeiras	27.021	86,6%	53,9%	Indisponível	Indisponível	Indisponível	
Turmalina	16.147	93,3%	73,2%	1.484	90,4%	2,4%	
Veredinha	-	-	-	4.538	92,7%	72,9%	
Virgem da Lapa	7.726	93,5%	-	Indisponível	Indisponível	Indisponível	

Fonte: ARSAE-MG (2021). Elaborado por MELO, M. P. de (2025).

Apesar das falhas nos dados disponíveis pela ARSAE (2021), a Tabela 9 aponta que os panoramas com maior abrangência de atendimento pelo sistema de abastecimento de água correspondem aos municípios em área de concessão pela COPASA/COPANOR de Capelinha, Diamantina, Itamarandiba e Salinas, por apresentarem um contingente populacional denso e percentual acima de 90% de assistência por água tratada e canalizada. Há municípios com populações menores e que também possuem percentual de até 96% assistidos, o que é tecnicamente esperado, visto que quanto menor a população, mais fácil é de atender a demanda.

Com relação à coleta de esgoto sanitário, Almenara e Capelinha são assistidos com pouco mais de 80% considerando o percentual de concessão pelas mesmas empresas mencionadas anteriormente, ao passo que Caraí, Chapada do Norte e Divisópolis estão entre os municípios menos beneficiados com a coleta. Vale ressaltar

que esta análise é superficial, e devido a existência de falhas e indisponibilidade de dados, não leva em conta outros aspectos apresentados pelos panoramas da ARSAE-MG, que são irrelevantes para o objetivo deste estudo.

Neste sentido, dando sequência à caracterização da Bacia, sua diversidade regional apontada por Nascimento (2009) é revelada nas manifestações culturais, que apresentam traços da cultura indígena e negra. Tais manifestações envolvem grupos folclóricos, conjuntos arquitetônicos e históricos e artesanatos. Sobre o artesanato regional, vale ressaltar que a sua variedade não se restringe à criatividade dos diversos objetos criados em cerâmica, comumente difundidos como característicos do Vale do Jequitinhonha. Além da cerâmica, a região apresenta variadas peças artesanais em palha, bambu, madeira e algodão, reservando a distintos municípios o domínio das técnicas e dos modos de produção da sua arte.

Em Itinga, destacam-se as esculturas em madeira; em Berilo, Virgem da Lapa e Minas Novas, a tecelagem; em Turmalina e Veredinha, os bordados em ponto cruz; em Diamantina, os tapetes Arrayolos; em Almenara, a cestaria; os trabalhos em couro, em Araçuaí e Jequitinhonha. Além da diversidade entre os municípios, onde cada um apresenta um produto artesanal de destaque, podemos observar também elementos recorrentes entre eles, como a técnica de produção de peças de cerâmica, que, por sua vez, se faz presente em várias cidades, como: Araçuaí, Caraí, Itaobim, Itinga, Joáima, Minas Novas, Padre Paraíso, Rio Pardo, Rubim, Salinas, Santana do Araçuaí, Taiobeiras e Turmalina. (Nascimento, 2009, p. 8).

Na região, são festejados o Divino, Nossa Senhora do Rosário, São Sebastião, Pastorinhas, Marujadas e Congado. Tais manifestações remontam às origens históricas da região. A seguir será apresentada a fundamentação teórica e conceitual que sustentam o presente estudo, orientando o desenho metodológico, a análise dos dados e a interpretação dos resultados. Como elementos essenciais, o próximo tópico contém a revisão de literatura, teorias e modelos conceituais, conceitos-chave, pressupostos e limitações, abordagens e implicações práticas e teóricas, fornecendo a estrutura do conhecimento necessário para o desenvolvimento e condução da pesquisa.

3 BASE TEÓRICA-CONCEITUAL

Para construção da base teórica e conceitual da pesquisa em torno da temática proposta, em um primeiro momento é discorrido sobre os processos físicos, químicos

e biológicos que influenciam a composição química da água, sua qualidade e sua capacidade de suportar vida aquática e atender às necessidades humanas. Para que haja gestão sustentável dos recursos hídricos, é indispensável a proteção da qualidade da água e a mitigação dos impactos ambientais causados por atividades humanas. Isso requer monitoramento contínuo, modelagem de processos hidrogeoquímicos e implementação de práticas de gestão integrada de bacias hidrográficas.

Neste sentido, parâmetros de qualidade da água são fundamentais para determinar se a água é adequada para diferentes usos, como consumo humano, recreação, agricultura, aquicultura, e para garantir a proteção dos ecossistemas aquáticos. Alguns dos principais parâmetros são: físicos, químicos, biológicos e bacteriológicos, e os específicos para cada uso que se faz da água. Os padrões aqui analisados para avaliação da qualidade das águas da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, contemplaram o Índice de Qualidade da Água (IQA), Contaminação por Tóxicos (CT) e Índice de Estado Trófico (IET).

Logo em seguida, estão descritos os indicadores de disponibilidade hídrica e vazão, como medida utilizada para avaliar a quantidade de água disponível na área de estudo em um determinado período. A disponibilidade hídrica leva em consideração fatores como precipitação, escoamento superficial e demanda humana, enquanto a vazão, além da precipitação, é influenciada por evaporação, infiltração, captação de água para abastecimento humano e liberação de reservatórios, dentre outros aspectos.

O monitoramento contínuo da disponibilidade hídrica e vazão é fundamental para identificar tendências de longo prazo, avaliar os efeitos das mudanças climáticas, prever eventos extremos, como secas e inundações, e garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos para as gerações futuras. Para quantificar a água utilizada para atender as diversas atividades humanas e setores econômicos, o levantamento de demanda hídrica é utilizado, a fim de garantir o uso eficiente e equitativo da água, bem como para proteger os ecossistemas aquáticos e assegurar o abastecimento humano e industrial. É um processo que envolve as seguintes etapas: identificação dos setores usuários, coleta de dados, análise da demanda atual, identificação de áreas críticas e desenvolvimento de estratégias de gestão.

Todos estes elementos auxiliam na avaliação do grau de vulnerabilidade das águas superficiais, ocasionada por influência, principalmente, da poluição, de

alterações no uso do solo, das mudanças climáticas e de pressão antropogênica. Alguns elementos-chave para que haja garantia do acesso à água, em face dos desafios e incertezas relacionados à disponibilidade, qualidade e gestão dos recursos hídricos, compreendem acesso físico, gestão integrada, eficiência no uso, resiliência às mudanças climáticas, equidade e justiça hídrica.

É um objetivo fundamental para o desenvolvimento sustentável e o bem-estar humano, e requer uma abordagem colaborativa e de longo prazo envolvendo governos, sociedade civil, setor privado, comunidades locais e instituições de pesquisa e desenvolvimento. É essencial promover uma cultura de uso responsável da água, proteção dos ecossistemas aquáticos e cooperação entre diferentes atores para garantir a segurança hídrica para todos.

Assim, a socio-hidrologia reconhece que as decisões relacionadas à água são influenciadas não apenas por processos hidrológicos, mas também por fatores sociais, culturais, econômicos e políticos, e que uma compreensão abrangente desses fatores é essencial para uma gestão eficaz e sustentável da água. Ao considerar as interações entre sistemas naturais e humanos, ela busca garantir que as decisões sobre a água sejam informadas, justas e eficazes na promoção do bem-estar humano e da sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos.

3.1 Dinâmica hidrogeoquímica e qualitativa de água

Por ser o único líquido inorgânico encontrado na natureza, a água é, também, o único composto químico que pode ser identificado, naturalmente, em todos os três estados físicos: sólido (gelo), líquido (água líquida) e gasoso (vapor). Isso ocorre devido à sua estrutura molecular dipolar, e por ser uma substância quimicamente muito ativa, é capaz de incorporar grandes quantidades de elementos, ao entrar em contato com os minerais constituintes dos solos e rochas, nos quais circula. Desta maneira, as características químicas da água se processam por dissolução e vários fatores podem influenciar na sua composição iônica, como: características geológicas, biológicas, climáticas e algumas influências antropogênicas.

O movimento contínuo e dinâmico que transporta água de um lugar para outro é mantido pela energia solar e pela gravidade por meio da evaporação, transpiração, evapotranspiração, sublimação, condensação, precipitação, infiltração, escoamento superficial, entre outros, de acordo com as leis físicas que dirigem essa ciclicidade

(Grotzinger & Jordan, 2013). As águas naturais atingem suas características químicas por resultado de reações químicas com sólidos, líquidos e gases com os quais tenham mantido contato durante as diferentes etapas do ciclo hidrológico.

Ao lixivar os elementos dos solos e das rochas, a água enriquece em sais minerais em solução, proveniente da dissolução dos minerais. Desta forma, o processo de dissolução é influenciado pelo pH, pela temperatura e pelo grau de saturação de cada elemento (Feitosa *et al.* 2008). A composição natural das águas superficiais é, então, controlada por processos naturais, os quais incluem: geológicos e pedológicos (espécies minerais, tipos de solos); químicos (solubilidade dos minerais); geomorfológicos (variações de relevo), climáticos (temperatura, precipitação, evaporação) e biológicos (cobertura vegetal, presença de organismos).

Para Fenzl (1986), as mudanças nas características químicas das águas naturais são resultantes de dois tipos de reações hidroquímicas: a dissolução da superfície das rochas e a precipitação de substâncias dissolvidas nas águas, ambas proveniente do intemperismo químico das rochas. Drever (1997) contribui com sua explicação sobre o fato de mudanças na composição química da água da chuva acontecerem no primeiro contato com a superfície da terra, pois antes mesmo de tocar o solo, a água pode captar solutos das plantas e uma boa parte da sua acidez pode ser neutralizada.

Para além destes fatores que alteram a composição química da água, somam-se os diversos problemas decorrentes das interferências antrópicas com relação ao uso que se faz do solo e ao contexto social, como desmatamento, águas residuárias industriais e domésticas, chorumes provenientes de depósitos de resíduos sólidos urbanos, descargas gasosas e de material particulado lançado na atmosfera pelas indústrias e veículos. O setor agrícola, por exemplo, altera profundamente a química da água através da atuação dos produtos e insumos químicos utilizados nas plantas e solos: inseticidas, herbicidas, adubos químicos, calcário, fertilizantes, entre outros.

A incidência dos metais pesados, como impurezas de fertilizantes e pesticidas aplicados aos solos agrícolas, está relacionada às adições mais significativas de Mn, Zn, Co e Pb, de acordo com Gimeno-García *et al.* (1996). Estes metais ainda compõem,ativamente,vários agrotóxicos e o uso de sais de Zn, arsenatos de Cu e de Pb, além de compostos metalorgânicos, elevam os níveis de contaminação do solo (Tiller, 1989 apud Lucon, 2018). Portanto, o acúmulo dos metais pesados nos solos agrícolas é frequentemente causado pelo uso repetido e excessivo de

fertilizantes, pesticidas e resíduos orgânicos.

Substâncias tóxicas concentradas em rejeitos oriundos de beneficiamento de minérios, como uma das atividades presentes na área estudada, também contaminam solo e águas e, devido a isso, a lama extraída é contida em barragens. Entretanto, algumas áreas acabam se tornando inutilizadas, visto que há substâncias que podem permanecer por tempo indeterminado no solo. A mineração do ouro, por exemplo, presente, principalmente, em Minas Gerais, Pará e Mato Grosso, usa mercúrio no processo de garimpagem, para auxiliar sua concentração na bateia (utensílio utilizado na mineração que ajuda na busca de minérios). Como é uma substância altamente volátil, o mercúrio pode ser oxidado e metilado, tornando-se, assim, tóxico, afetando a saúde humana e animal, e, se escoado para cursos d'água, compromete a ictiofauna e a qualidade hídrica.

Além do uso inadequado do mercúrio, os principais impactos provocados pela mineração do ouro envolvem: aumento expressivo da turbidez da água e rejeitos ricos em arsênio, especialmente na província aurífera do Quadrilátero Ferrífero, visto que Minas Gerais representa cerca de 67% das reservas minerais do país, segundo o Departamento Nacional de Produção de Minerais (DNPM, 2023), enquadrando-se como o maior produtor brasileiro de minérios (47% da produção). De acordo com o relatório Mineração e Meio Ambiente no Brasil, elaborado para o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2002), os principais minérios encontrados em Minas Gerais associados a impactos ambientais são o ferro, o ouro e o calcário.

Para Meissner *et al.* (1994), um outro fator que pode influenciar na distribuição das concentrações dos elementos químicos nas águas é a topografia: quanto maior o desnível topográfico da bacia de drenagem, menor é o acúmulo de matéria orgânica e, consequentemente, dos metais que se correlacionam com a água. Da mesma forma, é importante a velocidade do fluxo, que varia em função das amplitudes altimétricas, da declividade do canal, do regime hídrico e das diferentes regiões geomorfológicas de um rio, também incidindo na concentração dos elementos químicos (Fletcher, 1997). Além destes fatores, cada elemento químico apresenta um grau de mobilidade diferente, e, com isso, diferentes velocidades de transporte com relação ao material de origem.

Como a água representa o principal meio de conexão entre a geoquímica das rochas e solos e a fisiologia humana (Cunha & Machado 2004), vale reforçar a atenção especial dos serviços de saúde pública com relação às evidências toxicológicas,

expressas de forma aguda ou crônica, com potenciais danos à saúde humana, provenientes da contaminação dos cursos hídricos por elementos químicos oriundos das atividades antropogênicas, das rochas e de sedimentos.

Por este motivo, Tundisi (2008) explica que o monitoramento da qualidade da água deve ser visto como um processo essencial à implementação dos instrumentos de gestão das águas, já que permite a obtenção de informações estratégicas, o acompanhamento das condições dos corpos d'água, assim como a criação e atualização de bases de dados, imprescindíveis à execução de simulações preditivas por modelos computacionais. São ferramentas valiosas de gestão e uma das formas mais eficazes de enfrentar o problema de escassez hídrica, estresse e deterioração da qualidade da água.

A dinâmica das águas, definida pela sua forma de uso e pelas condições naturais da bacia (geomorfologia, relevo, ventos, precipitação), determina a qualidade dos recursos hídricos, e o consequente impacto que estes podem causar. O reconhecimento destas relações pode subsidiar a definição de um conjunto adequado de programas e medidas para compatibilizar a qualidade da água com os diferentes usos projetados.

No planejamento e gestão de bacias hidrográficas, a criação de ferramentas que possam indicar diretrizes a fim de permitir que os recursos naturais, bem como, as necessidades de uso comum sejam respeitadas, deve ser considerada. O monitoramento é uma atividade de caráter permanente, com vistas a realizar o acompanhamento e produzir informações sobre os aspectos qualitativos e quantitativos da água bruta, auxiliando, desta forma, a tomada de decisões nas unidades de bacia hidrográfica. Entretanto, compatibilizar disponibilidade/qualidade hídrica, cadastro de usuários e fiscalização é um desafio para o nosso País, que ainda não conseguiu implementar a outorga de modo que unifique todos os quesitos necessários para o real funcionamento da gestão hídrica.

A rede de monitoramento de qualidade das águas superficiais brasileiras iniciou nos anos 1970, quando foram implantadas as primeiras redes estaduais (ANA, 2019), operando de maneira independente, tendo cada uma sua própria frequência de monitoramento e seu próprio conjunto de parâmetros monitorados. Em virtude disso, os bancos de dados de qualidade gerados por cada rede estadual de monitoramento comprometem a realização de diagnósticos e estudos comparativos entre cursos d'água e suas respectivas bacias hidrográficas, pois não há padronização de

frequência de amostragem e os parâmetros adotados podem não ser os mesmos.

A ANA lançou em 2013 a Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade das Águas (RNQA) no âmbito do Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA), e em 2014 foi lançado o Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água (QUALIÁGUA). Estas iniciativas buscam o desenvolvimento das redes estaduais de monitoramento tentando amenizar as lacunas de informações de qualidade de água existentes no Brasil.

Em 2014, 17 estados realizavam monitoramento de qualidade de água em rios e reservatórios no país (ANA, 2016). Entretanto, desde o ano de 1997, acontece em Minas Gerais o monitoramento de qualidade das águas superficiais realizado pelo Instituto de Mineiro Gestão de Recursos Hídricos (IGAM), por meio do Programa Águas de Minas. A rede básica de monitoramento de Minas Gerais, em 2015, possuía 553 estações de amostragem distribuídas nas bacias hidrográficas dos rios São Francisco, Grande, Doce, Paranaíba, Paraíba do Sul, Mucuri, Jequitinhonha, Pardo, Buranhém, Itapemirim, Itabapoana, Itanhém, Itaúnas, Jucuruçu, Peruípe, São Mateus e Piracicaba/Jaguarí (IGAM, 2016).

Quadro 7- Parâmetros utilizados pelo monitoramento de qualidade de água em Minas Gerais

Alcalinidade Bicarbonato	Demanda Química de Oxigênio (DQO)*	Nitrogênio Ammoniacal Total*
Alcalinidade Total		Nitrogênio Orgânico
Alumínio Dissolvido	Densidade de Cianobactérias#	Óleos e Graxas
Arsênio Total	Dureza (Cálcio)	Oxigênio Dissolvido (OD)*
Bário Total	Dureza (Magnésio)	pH in loco*
Boro Total	Dureza Total	Potássio
Cádmio Total	Ensaio de Toxicidade Crônica#	Selênio Total
Cálcio	Estreptococos Fecais	Sódio
Chumbo Total	Fenóis Totais	Sólidos Dissolvidos*
Cianeto Livre	Feofitina*	Sólidos em Suspensão*
Cianotoxinas#	Ferro Dissolvido	Sólidos Totais*
Cloreto Total*	Fósforo Total*	Substâncias tensoativas
Clorofila a*	Macroinvertebrados bentônicos#	Sulfatos
Cobre Dissolvido	Magnésio Total	Sulfetos
Coliformes Termotolerantes/E. coli*	Manganês Total	Temperatura da Água*
Coliformes Totais*	Mercúrio Total	Temperatura do Ar*
Condutividade Elétrica in loco*	Níquel Total	Turbidez*
Cor Verdadeira	Nitrato*	Zinco Total
Cromo Total	Nitrito	
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)*		

* Parâmetros comuns a todos os pontos de monitoramento

Parâmetros analisados apenas em pontos específicos

Fonte: Adaptado de IGAM (2016). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Além disso, há 42 estações de monitoramento que compõem a rede administrada do Estado, distribuídas na sub-bacia da Pampulha, na Cidade Administrativa de Minas Gerais e no Parque Estadual Serra Verde (IGAM, 2016). O programa de monitoramento de Minas Gerais é uma importante fonte de informações para subsidiar pesquisas científicas, trabalhos dos comitês de bacias e todo planejamento e gestão dos recursos hídricos do Estado. As campanhas de amostragem são predominantemente trimestrais para a maioria das estações de monitoramento e são analisados 56 parâmetros de qualidade da água, conforme apresentado no Quadro 7.

Em alguns pontos de monitoramento são analisados pelo IGAM parâmetros específicos, como nitrogênio orgânico, densidade de cianobactérias, cianotoxinas, ensaios de toxicidade crônica e macroinvertebrados bentônicos. O parâmetro *Escherichia coli* começou a ser avaliado em substituição aos Coliformes Termotolerantes a partir da primeira campanha de 2013 (IGAM, 2016).

3.1.1 Índice de Qualidade de Água (IQA)

Dada a diversidade de informações que envolvem uma abordagem sistemica dos fenômenos ambientais que ocorrem em uma bacia hidrográfica, tem-se procurado formas de medir a sua qualidade. Para Bollmann & Marques (2000), estas formas baseiam-se na proposição de indicadores que agreguem essas informações e possibilitem a interpretação conjunta das variáveis consideradas mais importantes.

O Índice de qualidade de água (IQA) tem sido um critério de classificação utilizado para as águas superficiais, com base no uso de padrões de caracterização para um determinado fim. Autores como Pesce & Wunderlin (2000) e Jonnalagadda & Mhere (2001) descrevem este índice como um instrumento matemático usado para transformar grandes quantidades de dados de caracterização da água em um número, que represente o nível de qualidade.

Carvalho *et al.* (2000) e Bordalo *et al.* (2001) abordam o uso de IQA como uma prática que permite adequada classificação da qualidade da água. A determinação do índice requer uma etapa de normalização, onde cada parâmetro é transformado dentro de uma escala de 0-100, e 100 representa a máxima qualidade. A etapa seguinte é a aplicação de um fator peso de acordo com a importância do parâmetro como um indicador da qualidade.

Ott (1978), que apresentou os primeiros estudos relacionando o nível de pureza com a poluição da água, realizados na Alemanha em 1848, procurava sintetizar os dados de qualidade da água, através da relação entre o nível de pureza da água e a poluição, com a ocorrência de determinadas comunidades de organismos aquáticos. Em lugar de um valor numérico, a qualidade da água era categorizada por uma classe, entre várias, de poluição.

Nos últimos 130 anos, de acordo com Meireles (2007), vários países da Europa desenvolveram e aplicaram variados sistemas para classificar a qualidade da água. Os sistemas usualmente utilizados eram relativos à quantidade de poluição detectada e/ou aqueles relativos à vida de comunidades de organismos macro e microscópicos, como por exemplo, peixes, organismos bentônicos e plantas. Nos Estados Unidos (EUA), diversos estudos e revisões literárias sobre indicadores foram realizados, principalmente na década de 1970. O primeiro, desenvolvido em 1974, por Landwehr, tratou da construção e análise de IQA's. Logo depois, alguns índices foram construídos por meio da técnica de pesquisa de opinião, em um largo painel de especialistas em qualidade da água, como os desenvolvidos por Prati, Mcduffie, Dinius e Dunnette e citados por Ott (1978).

O precursor e pesquisador alemão, Robert K. Horton, realizou, em 1965, a primeira apresentação formal de um IQA, para a Ohio River Valley Water Sanitation Comission (ORSANCO), referindo-se aos índices como ferramenta para a avaliação dos programas de redução da poluição e para informação pública (Derídio, 1992 apud CPRH, 2003). Seu índice usa uma função de agregação de soma linear, consistindo basicamente em um somatório ponderado de subíndices, divididos pelo somatório dos pesos, multiplicado por dois coeficientes que consideram a temperatura e a poluição evidente de um curso d'água (Meireles, 2007).

Posteriormente ao modelo de Horton, inúmeros índices de qualidade de água vêm sendo desenvolvidos, adaptados e utilizados de forma regular para controle da qualidade da água em várias partes do mundo. Brown *et al.* (1970 apud Meireles, 2007) apresentaram, em sua estrutura, um índice de qualidade de água bastante similar ao de Horton, desenvolvido pela National Sanitation Foundation (NSF), baseando-se em uma pesquisa de opinião pelo método Delphi, realizado com 142 especialistas em qualidade de águas superficiais.

É um método que consiste na aplicação de questionários a especialistas de determinado assunto, e que não devem conhecer a composição do grupo nem tão

pouco devem trocar informações entre si, tentando, desta forma, evitar tendenciosidades e influências. Consideraram nove parâmetros: oxigênio dissolvido, coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitratos, fosfatos, temperatura, turbidez e sais totais. Sendo assim, pode-se classificar a qualidade das águas brutas em escala de 0 – 100: a) 0-25 = péssima; b) 26-50 = ruim; c) 51-70 = regular; d) 71-90 = boa e 91-100 = ótima.

No Brasil, foi a partir de 1972, que aumentou o interesse por índices, quando o Conselho Nacional de Meio Ambiente, por meio de seu relatório anual, manifestou a necessidade da utilização dos mesmos. Existem diversos tipos de índices, específicos para ambientes lênticos², lóticos³, estuários, estritamente biológicos ou para águas subterrâneas, dentre outros. Para Ott (1978), existem três tipos básicos de índices: 1) Índices de qualidade de água elaborados a partir da opinião de especialistas; 2) Índices baseados em métodos estatísticos; e 3) Índices biológicos.

O uso de um IQA é prático e é uma diretriz de condução, pois qualquer programa de acompanhamento de qualidade da água gera um grande número de dados analíticos que precisam ser apresentados em um formato sintético, para que descrevam e representem de forma comprehensível e significativa o estado atual e as tendências da qualidade da água (Ferreira e Ide, 2001).

Existem, ainda, índices derivados de outros índices, como o da NSF, que foi adaptado e utilizado pela Companhia de Saneamento Ambiental de São Paulo (CETESB), e que é o mais difundido e aplicado por diversos órgãos ambientais como ferramenta de avaliação da qualidade da água de diversas regiões, fato que promove a comparação de diferentes áreas por meio dos estudos já realizados. De modo geral, pode-se afirmar que os índices estão atrelados ao uso que se deseja fazer da água em um determinado curso e, geralmente, são elaborados a partir de opiniões de especialistas e/ou métodos estatísticos.

3.1.2 Contaminação por Tóxicos (CT)

Como os índices elaborados pela NSF não contemplavam parâmetros tóxicos, Brown *et al.* (1970) sugeriram o emprego do Índice de Toxidez (IT) para preencher

² Referentes a ambientes de água parada, como reservatórios, lagos e lagoas.

³ Derivados de águas continentais moventes, como rios e córregos.

esta lacuna, que é complementar ao IQA. O IT se encaixa entre 0 ou 1, ou seja, quando substâncias tóxicas (cádmio, chumbo, cobre, mercúrio, cromo total, níquel e zinco) são encontradas acima do Valor Máximo Permitido (VMP) o IT é 0 e, dessa forma, o valor do IQA é anulado. Quando substâncias tóxicas não são encontradas acima do VMP o IT é 1, confirmando assim o seu valor.

Em ambientes aquáticos, os sedimentos desempenham um importante papel como fonte de alimento e hábitat para diversas espécies. Ocorre que grande parte dos compostos tóxicos se encontra também armazenada nessa matriz, representando riscos aos organismos presentes na microfauna aquática (Schepis *et al.* 2016; Eraso *et al.* 2017). Como menciona Calmon, Ferreira e Rosa (2020), os cursos d'água sofrem descarga de diversas substâncias tóxicas provenientes de derrames de produtos químicos, poluição urbana advinda do escoamento superficial, transporte atmosférico de poluentes, agrotóxicos e insumos utilizados na agricultura, entre outras fontes.

Na busca por ferramentas eficientes para avaliação de toxicidade no meio aquático, diversas técnicas de análise têm sido utilizadas nos últimos anos, tais como cromatografia líquida e gasosa e bioensaios com crustáceos, peixes e bactérias (Boehler *et al.* 2017; Blanco *et al.* 2018). Os bioensaios apresentam maior facilidade de execução, menor tempo de operação e custo, e foram, portanto, introduzidos para superar as limitações associadas a outros métodos de análises. Os bioensaios são utilizados para analisar o efeito tóxico de resíduos químicos, bem como a qualidade das matrizes ambientais quanto à toxicidade para organismos bioindicadores (Albinati *et al.* 2016). Entre esses se destaca o bioensaio com a bactéria *Vibrio fischeri*, com boa reproduzibilidade, rapidez e simplicidade de execução, que levaram vários países do mundo a adotar o seu uso como bioindicador no monitoramento de sedimentos e águas (Rosa *et al.* 2016).

3.1.3 Índice de Estado Trófico (IET)

O estudo limnológico das águas superficiais, sobretudo na região do semiárido, face as características climáticas e hidrológicas que lhe são peculiares, se faz necessário para o correto gerenciamento desses recursos hídricos. Como ferramenta de gestão ambiental, a classificação do grau de trofia, ou Índice do Estado Trófico (IET), desenvolvido por Carlson (1977) é um dos mais utilizados pelos limnólogos – podem-se citar os autores Leal (2006), Vilar (2009), Oliveira (2009), entre outros –,

pois oferece inúmeras vantagens em função da utilização de parâmetros de fácil determinação e baixo custo, além de facilitar o repasse e o entendimento das informações qualitativas.

Lamparelli (2004) alerta sobre a importância de se considerar que o IET não foi especificamente desenvolvido para águas de regiões tropicais, e que a interpretação dos dados obtidos para sistemas lênticos da região semiárida, merece maior atenção em função de: a) águas com temperaturas mais altas e, consequentemente, ocorrência mais intensa de produção primária e decomposição de matéria orgânica; b) correlação dos parâmetros utilizados na composição deste índice, visto que os ecossistemas aquáticos do semiárido têm características completamente distintas dos ecossistemas de onde foi baseado o IET na sua origem (Dantsenko, 1999).

Na construção deste índice, Carlson (1977) estudou e comprovou a conexão entre os parâmetros de fósforo total, clorofila “a” e transparência da água (através da leitura do disco de Secchi), como expressões do fenômeno da eutrofização. Vale ressaltar que em função das condições hidrológicas de sistemas lacustres existentes no semiárido, principalmente em reservatórios artificiais, esses parâmetros podem apresentar um comportamento completamente distinto, quando comparados aos ecossistemas aquáticos de regiões de clima temperado e até mesmo tropical, e/ou quando comparados a cursos hídricos superficiais. Neste caso, as correlações que esses parâmetros mantêm entre si podem manifestar-se de maneira completamente distintas acerca de regiões com outras características, podendo inclusive deixar de existir.

Tundisi (2006) refere-se à eutrofização como sendo o resultado do enriquecimento por nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, despejados de forma dissolvida e particulada em lagos, represas e rios, transformados em partículas orgânicas, matéria viva vegetal, pelo metabolismo das plantas. Para Mota (2008), este fenômeno tem como uma de suas consequências a proliferação excessiva da flora aquática. É um processo que pode se apresentar em um corpo hídrico de forma natural e também como resultante das atividades antrópicas desenvolvidas nas áreas de influência de um manancial.

Von Sperling (1996) explica que, mesmo em condições livres da interferência humana, a eutrofização pode ocorrer de maneira natural em função da decomposição de material sedimentado, embora em baixa quantidade, podendo alterar os níveis de nutrientes do meio, fazendo com que haja um aumento na população de macrófitas

aquáticas e outros organismos, porém, ocorrendo de maneira lenta e contínua.

Por outro lado, quando ocorre como resultante de ações antrópicas, acelera o aumento da matéria orgânica nos ecossistemas aquáticos, e, consequentemente, produz concentrações indesejáveis de fitoplâncton e macrófitas aquáticas. São atribuídos como principais fontes do enriquecimento por nutrientes, as descargas de esgotos domésticos e industriais dos centros urbanos e a poluição difusa oriundas das regiões agricultáveis (Tundisi *et al.*, 2006; Branco, Azevedo e Tundisi, 2006).

Conhecer e entender o comportamento das variáveis limnológicas relacionadas ao fenômeno da eutrofização é de suma importância para determinar seu estado trófico e, a partir de sua classificação, elaborar ações adequadas de gerenciamento. A importância do fósforo para os seres vivos dá-se pelo fato deste elemento ter participação fundamental na formação do seu metabolismo, tais como armazenamento de energia e estruturação da membrana celular (Esteves e Panosso, 2011). Mas como elemento indispensável para o crescimento de algas, o fósforo, quando em elevadas concentrações em corpos d'água, propicia um crescimento exagerado desses organismos, desencadeando desequilíbrio no ambiente (Von Sperling, 1996).

Diferente do nitrogênio, o fósforo não tem troca com a atmosfera. Neste caso, a partir do mapeamento e detecção das fontes originárias deste elemento dentro da bacia hidrográfica, ações de controle da introdução do macronutriente aos sistemas aquáticos podem ser desencadeadas, minimizando, assim, os impactos ambientais advindos.

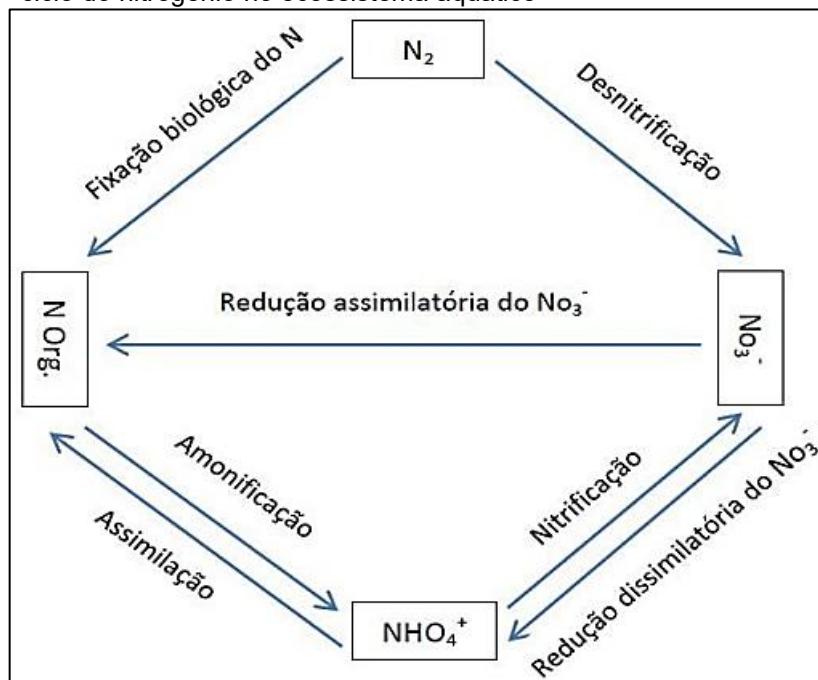
O nitrogênio, assim como o fósforo, é considerado um dos macronutrientes mais importantes para o desenvolvimento da vida aquática, constituinte das células de todos os seres vivos. Embora seja um elemento relativamente abundante, 99,9% são encontrados na forma de gás nitrogênio (N_2) (Enrich-Prast, Bento e Santoro, 2008). Na biosfera, dentro do seu ciclo, o nitrogênio se alterna entre as seguintes formas: nitrogênio molecular (N_2); nitrogênio orgânico, dissolvido ou em suspensão; amônia; nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-).

Naturalmente, suas principais fontes são as chuvas, material orgânico introduzido ao meio e à própria fixação de nitrogênio molecular dentro do próprio corpo hídrico. Artificialmente, pode ser incorporado ao meio aquático através de despejos domésticos e industriais, excremento de animais e fertilizantes como resultado de atividades antrópicas desenvolvidas no entorno de mananciais hídricos (Esteves e

Amado, 2011 e Von Sperling, 1996).

Dentre seus principais processos, descritos, detalhadamente, por Enrich-Prast, Bento e Santoro (2008), estão: a) fixação biológica; b) amonificação ou mineralização; c) assimilação; d) nitrificação; e) desnitrificação; f) redução dessimilatória; e g) oxidação anaeróbia da amônia, conforme demonstra a Figura 2.

Figura 2- Esquema em que se apresentam as principais etapas do ciclo do nitrogênio no ecossistema aquático



Fonte: Adaptado de Enrich-Prast (2005).

Outra variável indicativa de trofia é a clorofila-a, que representa, aproximadamente, 1 a 2% do peso seco do material orgânico em todas as algas planctônicas, por meio da presença de material vivo existente em um corpo hídrico num dado espaço de tempo, conhecida como biomassa algal. A clorofila-a é a mais conhecida das clorofilas (a, b, c e d) e para a construção do IET, Carlson (1977) utilizou as medidas de clorofila a como peça-chave para sua composição, sendo a ela atribuído o status de principal variável para a classificação trófica de corpos hídricos, conforme o autor.

Por fim, a luminosidade proveniente do sol, utilizada biologicamente nos processos fotossintéticos, fundamental para o metabolismo dos ecossistemas aquáticos, também modifica a estrutura térmica do corpo hídrico, interferindo na circulação e estratificação da água. As medidas de transparência da água de um determinado corpo hídrico podem variar entre poucos centímetros e alguns metros, e

o que determina esse valor é a capacidade do meio em atenuar a radiação subaquática.

A transparência da água pode ser facilmente medida através de um equipamento conhecido como disco de Secchi. Carlson (1977), inclusive, considerou que existe uma estreita relação entre o aumento da densidade das algas com a limitação de luz no ambiente aquático. Porém, é necessário que se faça uma ressalva baseada nas condições climáticas da área onde o estudo foi originalmente realizado, visto que lugares de clima temperado possuem características bastante distintas do semiárido brasileiro. Para Von Sperling (1996), corpos hídricos tropicais, em sua grande maioria, apresentam baixa transparência, e isso se deve mais aos carreamentos superficiais do solo marginal do que ao elevado grau de produtividade biológica do meio aquático.

3.2 Indicadores de disponibilidade hídrica

A disponibilidade hídrica superficial é a quantidade de água disponível em determinado local por determinado tempo para um uso. Ela está associada a componentes sociais, econômicos, políticos e ambientais na qual é expressa em função de uma vazão de referência. Segundo Ribeiro, Marques e Silva (2005), o conhecimento da disponibilidade hídrica no âmbito de uma bacia hidrográfica é parte fundamental dos estudos hidrológicos. Pode-se compreender a bacia hidrográfica como sendo a unidade, onde são modelados os processos físicos sob a perspectiva de gestão dos recursos hídricos e do planejamento urbano e regional.

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é, assim, determinado por inúmeros fatores que influenciam o escoamento das águas. A geomorfologia, a forma da bacia, o tipo e o uso que se faz do solo, a geologia, a distribuição temporal e intensidade das chuvas, a forma do canal, produzem uma imensa variabilidade de vazões ao longo do tempo, bem como no espaço. Por isso, o ciclo hidrológico contém duas variáveis regionais que caracterizam a gênese das águas: as precipitações e a evapotranspiração, sendo o escoamento superficial e a infiltração essenciais, também, no entendimento do balanço hídrico.

Dentre os fatores climáticos citados, destacam-se a intensidade e a duração da precipitação, pois quanto maior a intensidade, mais rápido o solo atinge a sua capacidade de infiltração, provocando um excesso de precipitação que escoará

superficialmente. A duração também é diretamente proporcional ao escoamento, pois para chuvas de intensidade constante, haverá maior oportunidade de escoamento quanto maior for a duração. Outro fator climático importante é o da precipitação antecedente, pois uma precipitação que ocorre quando o solo está úmido devido a uma chuva anterior, terá maior facilidade de escoamento.

Perdas naturais na vazão são significativamente alteradas por ação antrópica, seja por captação de água subterrânea, drenagem artificial, desflorestamento, entre uma variedade de outros efeitos que podem influenciar a oferta de água. Obras hidráulicas, por exemplo, construídas em bacias hidrográficas, tal como uma barragem, faz com que o acúmulo de água em seu reservatório reduza as vazões máximas do escoamento superficial e retarda a sua propagação. De forma contrária, a retificação de um curso d'água intensifica a velocidade do escoamento superficial.

Pelo fato de a disponibilidade hídrica (DH) superficial, assim como a subterrânea, de uma determinada bacia depender de alguns fatores físico-geográficos, ressalta-se que sua variabilidade ao longo do tempo e espaço, depende de outros aspectos: ambientais, políticos, hidrológicos, sociais e econômicos, essenciais para sua determinação, apesar de estarem associados a incertezas de difícil quantificação (Câmara, 2003; Cruz, 2001).

Em Minas Gerais, o sistema do Monitoramento Remoto Integrado das Águas (MIRA), instituído pela Portaria IGAM nº 12, de 22 de março de 2023 (Dia Mundial da Água) acompanha, em tempo real, a disponibilidade e demanda hídrica das captações outorgadas pelo Estado. O sistema conta com informações atualizadas das estações fluviométricas e telemétricas pertencentes às 36 bacias hidrográficas mineiras. A plataforma utiliza a telemetria para o recebimento dos dados monitorados de forma automática relativos à vazão e ao fluxo residual dos corpos d'água, com as informações disponíveis no portal EcoSistemas, que agrupa os serviços digitais oferecidos pelo Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SISEMA).

Os dados são enviados a partir das 78 estações telemétricas instaladas em diversas regiões de Minas Gerais e apresentados por meio de bases cartográficas e mapas georreferenciados interativos, incluindo áreas com restrições de uso e situação de escassez hídrica declaradas pelo IGAM. É uma ferramenta importante para o monitoramento e fornecimento de informações para a tomada de decisões, permitindo ações preventivas, como melhoria da conscientização e envolvimento da comunidade, a fim de se obter um uso mais eficiente e sustentável dos recursos hídricos em

períodos de escassez.

De certa maneira, cada corpo hídrico possui um regime hidrológico, que é o resultado da integração dos diferentes processos citados. O regime é caracterizado por uma série temporal de vazões, representada pelo fluviograma que representa a assinatura hidrológica do corpo hídrico na seção considerada (Cruz, 2001). De acordo com Santos *et al.* (2011) as vazões de referência são o limite máximo em que a água pode ser utilizada em um curso d'água. No Brasil, essas vazões estão relacionadas com a individualidade de cada bacia hidrográfica na qual está inserida, fazendo com que ocorram diferentes padrões adotados para as vazões de referência.

A disponibilidade hídrica pode ser definida como o total da vazão de reposta de uma bacia hidrográfica, à medida que parte é utilizada pela sociedade para seu desenvolvimento e outra parcela é mantida na bacia visando à conservação da integridade de seu sistema ambiental, bem como para atender os usos que não necessitam extrair ou derivar de curso natural, como por exemplo, a navegação e a recreação (Cruz, 2001 apud Maciel, 2021, p. 74).

A máxima disponibilidade hídrica de uma bacia é a vazão média, porque esta é a maior vazão que pode ser regularizada em um curso d'água. A estimativa da vazão média de uma bacia permite avaliar os limites superiores do uso da água de um manancial para as diferentes finalidades. A relação entre a disponibilidade hídrica máxima, representada pela vazão média, e a mínima, representada por uma vazão característica da série, é um indicador da necessidade de regularização de um rio. A vazão mínima está relacionada com uma duração, já que o uso da água não se dá de forma instantânea. Existem alguns valores de vazões mínimas características que são utilizados em projetos de recursos hídricos e que são indicadores das condições de estiagens de um rio.

Geralmente, são utilizadas como vazão de referência a Q_{90} e a Q_{95} (vazões de permanência) ou a $Q_{7,10}$ (vazão mínima). Cada Estado e comitês estabelecem a vazão de referência para a concessão de outorga. A vazão $Q_{7,10}$ pode ser entendida como o valor anual da média de 7 vazões diárias consecutivas que pode se repetir, em média, uma só vez a cada dez anos, ou seja, período de retorno de 10 anos (Von Sperling, 2007). Indica uma situação de estado mínimo (Tucci, 2003). Esta vazão mínima espelha o comportamento da contribuição dos aquíferos ao escoamento de base dos rios, em períodos climáticos secos. Segundo este autor, a principal vantagem do uso

deste valor é a de não sofrer tanta influência de erros operacionais e intervenções humanas, e de ser mais minuciosa que a vazão mínima mensal.

Fixou-se a duração de sete dias porque deste modo há um intervalo de tempo que abrange as variações de consumo de dias úteis e finais de semana, possibilitando que os reservatórios absorvam os impactos das variações ocorridas durante a semana. Já o tempo de retorno foi definido como sendo de dez anos pois representa uma probabilidade de 10% de que a vazão fique abaixo do valor mínimo, o que se julgou aceitável (Mendes, 2007).

Dentre os estudos recentes sobre a vazão $Q_{7,10}$ destacam-se os trabalhos desenvolvidos por Ribeiro, Marques e Silva (2005) na bacia do Rio Doce; Silva *et al.* (2006) na região do Alto Rio Grande em Minas Gerais; Pereira *et al.* (2007) na bacia do Rio Dourados; e Reis *et al.* (2008) na bacia hidrográfica do Rio Itabapoana. Em outras palavras, essa vazão de referência estipula a vazão que ocorre a maior parte do tempo, em um curso d'água, independente se for períodos de seca ou de chuva. É considerada mais criteriosa em relação ao quesito segurança, se comparada à Q_{90} . Apesar disso, as formas de determinação das ambas são semelhantes.

Para o cálculo da $Q_{7,10}$ é recomendada a obtenção de séries históricas com pelo menos trinta anos de registros de vazões diárias. Nos meses de estiagem é importante que não haja falhas nos dados, visto que isto pode prejudicar os resultados. A $Q_{7,10}$ tem caráter bastante restritivo pois reflete uma situação de severa escassez, mas, mesmo assim, alguns estados fixam como máxima vazão outorgável apenas uma porcentagem da $Q_{7,10}$, assumindo uma postura mais conservadora (Mendes, 2007).

O Plano Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais (PERH-MG) define a $Q_{7,10}$ (vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência) como a vazão de referência para emissão de outorga no Estado e a Portaria IGAM nº 48/2019 define os percentuais aplicáveis da vazão de referência para as Circunscrições Hidrográficas, sendo o limite máximo outorgável em 50% da $Q_{7,10}$ para a maioria das bacias hidrográficas mineiras, exceto para as CH's Rio Pará, Rio Paraopeba, Rio das Velhas, Rios Jequitaí e Pacuí, Rio Urucuia, Rio Pandeiros e Rio Verde Grande que o limite máximo outorgável em condições naturais é 30% da $Q_{7,10}$.

Segundo Smakhtin (2001), conhecer o comportamento das vazões mínimas é importante para planejar o abastecimento de água, para o projeto de armazenamento de reservatórios, assim como para a manutenção da quantidade e qualidade hídrica.

Heicher e Hirschel (apud Smakhtin, 2001) mostram como os valores de vazões mínimas podem ser usados para identificar problemas existentes e potenciais de oferta de água, para selecionar o período de menor ocorrência de vazão na série histórica, e para determinar, entre outras consequências, o déficit potencial de água de abastecimento durante um período persistente de ocorrência de vazões baixas.

A vazão de referência estabelece um valor de vazão limite de captação da água de mananciais. É com base neste valor que são implementados os sistemas de outorga (Ribeiro, 2000; Câmara, 2003). A aplicação do critério de vazão de referência, segundo Harris *et al.* (2000), é um procedimento adequado para a proteção dos rios, pois as alocações são feitas, geralmente, a partir de uma vazão de base de alta permanência. A outorga de direito de uso dos recursos hídricos deve ser solicitada ao órgão gestor para a captação de água ou realização de intervenções no curso d'água como barragens, dragagens, desvios e outras. Este instrumento serve para garantir uma vazão de água para a realização de atividades, como a agricultura irrigada, reduzindo os riscos aos outros usuários. (Schvartzman, Nascimento e Von Sperling, 2002).

A outorga de direito de uso de recursos hídricos tem como objetivos “[...] assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água”, conforme disposto no Art. 11 da Lei Federal nº 9.433 (Brasil, 1997). Ainda, segundo a mesma Lei 9433, Art. 7º, parágrafo III, a outorga deve estar vinculada a estudos referentes ao “balanço entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais”.

A vazão de referência estabelece um valor de vazão limite de captação da água de mananciais. É com base neste valor que são implementados os sistemas de outorga (Ribeiro, 2000; Câmara, 2003). A aplicação do critério de vazão de referência, segundo Harris *et al.* (2000), é um procedimento adequado para a proteção dos rios, pois as alocações são feitas, geralmente, a partir de uma vazão de base de alta permanência.

O inventário de cadastros e outorgas (autorizações) de uso da água é útil para diversas aplicações, mas não garante precisão quanto aos volumes efetivamente utilizados, visto que o valor outorgado tende a um limite máximo de abastecimento, e, por isso, não será utilizado nesta pesquisa. Teoricamente, este instrumento serve para garantir uma vazão de água para a realização de atividades, como a agricultura

irrigada, reduzindo os riscos aos outros usuários (Schvartzman, Nascimento e Von Sperling, 2002).

Vale ressaltar que a disponibilidade hídrica para outorga não corresponde ao fluviograma, que reproduz a variação da vazão em relação ao tempo, mas a uma parcela do mesmo, vinculada a uma certa garantia, compatível com a responsabilidade intrínseca do poder outorgante, frente aos direitos concedidos aos usuários junto à outorga (Cruz, 2001).

Além disso, a disponibilidade não se refere apenas à quantidade de água, mas a condições relativas aos parâmetros qualitativos, que podem indicar maior ou menor capacidade de diluição de poluentes. Isto significa, que, apesar de haver a possibilidade de uma vazão ou volume razoável para suprir as necessidades dos usuários, essa água pode estar com sua qualidade comprometida, de modo que, dependendo do uso, essa quantidade não é utilizada.

Por outro lado, a informação quantitativa relativa aos recursos hídricos é a informação básica, inclusive para avaliação dos aspectos qualitativos. No entanto, o conhecimento da mesma é dependente do conhecimento da vazão natural do rio e dos parâmetros de qualidade (Cruz, 2001, p. 6).

Cruz e Tucci (2008) definem a disponibilidade hídrica como a parcela da vazão que pode ser utilizada pela sociedade para o seu desenvolvimento, sem que o meio ambiente aquático seja prejudicado. Desta forma, o que ficar destinado à vazão resultante no rio, por exemplo, após o uso da água, é nomeado como vazão remanescente. Na literatura inglesa, vazões mínimas são frequentemente denominadas *instream flows minimum requirements* (Paulo, 2007).

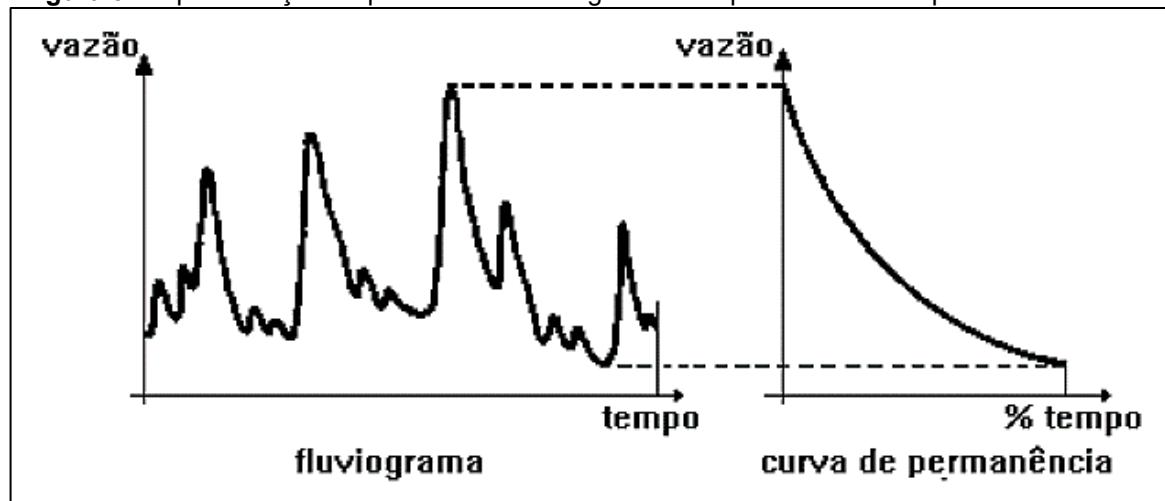
Cruz (2001) discorre sobre um estudo americano, o Texas Natural Resource Conservation Commision (TNRCC), com relação ao modelo de avaliação de disponibilidades hídricas, considerando para o balanço hídrico vazões naturais reconstituídas. Como a vazão natural é uma grandeza de difícil avaliação devido à ação antrópica, provoca e desenvolve modificações na superfície do solo, alterando, assim, suas condições de permeabilidade, as características hidráulicas e o processo de separação dos escoamentos. Neste sentido, a definição de vazão natural reconstituída para o TNRCC representa escoamentos históricos que teriam ocorrido na bacia se a mesma não fosse afetada por captações, despejos e/ou obras de regularizações. O procedimento baseia-se no conhecimento de registros históricos de

vazões, de obras de regularização e reservação com suas regras operativas, de evaporação e de demanda, que, no caso do Texas, são considerados a totalidade dos direitos de água emitidos.

No entanto, ainda existem lacunas que precisam ser sanadas e instrumentos e ferramentas de gestão a serem fortalecidos, para que a gestão integrada aconteça efetivamente como caminho para alcançar a segurança hídrica. No Brasil, os problemas de disponibilidade hídrica decorrem fundamentalmente da combinação do crescimento exagerado de demandas localizadas (urbanas e às vezes pela irrigação) e da degradação da qualidade das águas. Torna-se, portanto, necessário estabelecer controle eficaz sobre estes usos, visto que as principais fontes de incertezas na determinação de vazões estão relacionadas às amostras das informações, aos dados de entrada e saída do modelo, à estrutura e parâmetros do modelo.

Os dados fluviométricos que são fonte de informação para disponibilidade hídrica, entre outros fatores, têm sido alvo de estudos que procuram estabelecer probabilidades associadas a cada magnitude de vazão. Porém, em geral, os estudos fixam-se em análise de incerteza nos parâmetros de modelos, na calibração da curva-chave da estação fluviométrica e nos dados pluviométricos, por exemplo. Além do mais, os valores observados em estações fluviométricas não representam a produção hídrica real da bacia, mas um valor afetado da demanda exercida, quando a mesma é significativa.

Figura 3- Representação esquemática do fluviograma e respectiva curva de permanência



Fonte: Quimpo e McNally (1983).

A curva de permanência representa a relação entre vazão e frequência diária, semanal, mensal, ou de algum intervalo de tempo para uma determinada bacia hidrográfica. A curva fornece uma estimativa do percentual de tempo em que uma determinada vazão foi igualada ou ultrapassada ao longo de um período histórico. Tem-se assim uma visão simples, porém abrangente, da variabilidade histórica associada à vazão em uma bacia (Vogel e Fennessey, 1994).

O valor da vazão passível de ser outorgada é influenciado pelo método utilizado para a sua obtenção, sendo que diversas metodologias se encontram disponíveis para essa finalidade (Moreira *et al.* 2010). Segundo Schwartzman, Nascimento e Von Sperling (2002), no estado de Minas Gerais as outorgas são emitidas em função dos usos a que se destinam, podendo ter validade de 20 anos, no caso de uma concessão destinada a abastecimento público, e 5 ou 3 anos para autorização e permissão, respectivamente, para utilização de recursos hídricos com fins privados. Este documento é também necessário no processo de licenciamento de diversas atividades, no requerimento de financiamentos junto a instituições financeiras e na obtenção de certificação de qualidade em empreendimento industriais.

Isto significa que uma parcela importante da incerteza, contida na caracterização da disponibilidade hídrica, é oriunda de outras incertezas, relativas à demanda. Nem mesmo em estados com prática de emissão de licenças de uso, como é o exemplo do Texas, é possível conhecer, com exatidão o passado. Neste rol de incertezas, o quadro abaixo, apresenta, suscintamente, alguns argumentos:

Quadro 8- Incertezas quanto à caracterização da disponibilidade hídrica - continua

INCERTEZA	CARACTERIZAÇÃO	AUTOR
Amostra das informações	As séries temporais das variáveis hidrológicas são imprevisíveis sobre um longo horizonte de tempo, até aqui inherentemente incerto e desconhecido, o que caracteriza a aleatoriedade.	Kundzewicz (1995)
	As características estatísticas das séries hidrológicas nunca são conhecidas, porque as observações ou medidas são estimativas ou amostras finitas dos valores verdadeiros das características desconhecidas. Além disso, os valores observados na série histórica, em determinado período de tempo, são apenas uma realização dentre um número infinito de possibilidades que pode ocorrer durante aquele período de observação. Sendo assim, as amostras são variáveis aleatórias e, portanto, contêm incertezas.	Salas <i>et al.</i> (1985)

Quadro 8- Incertezas quanto à caracterização da disponibilidade hídrica - continuação

INCERTEZA	CARACTERIZAÇÃO	AUTOR
Dados de entrada e de saída do modelo	<p>As incertezas decorrem de três causas que se referem a: a) erros e imprecisão nas medidas; b) inadequada rede de postos pluviométricos e fluviométricos, de dados de solo, de dados de vegetação, entre outros, acarretando falta de dados necessários à modelagem; e c) inabilidade na operação da rede. Pode-se, também, explicitar como outras causas de incertezas, nos dados, a representatividade do tamanho da amostra e os tratamentos a que estes são submetidos para serem utilizados nos modelos (como fórmulas de cálculo da vazão transversal, métodos de interpolação utilizados para extrapolar dados para locais sem dados, métodos de cálculos de médias temporais e espaciais).</p>	Melching <i>et al.</i> (1990)
	<p>As incertezas na estrutura do modelo referem-se à habilidade do modelo em refletir a verdade física do processo de escoamento na bacia. Pode-se acrescentar incertezas devido ao desconhecimento parcial de determinados processos físicos, assim como simplificações adotadas na concepção do modelo.</p>	Beck (1987)
Estrutura do modelo para gerar as vazões	<p>Os processos que determinam as vazões mínimas, preponderantemente oriundas do escoamento dito de base e importantes para a problemática da outorga, envolvem infiltração, armazenamento na camada superior do solo e no aquífero e suas relações com a sustentabilidade das vazões mínimas. Em climas altamente sazonais, o escoamento de vazões mínimas pode ser gerado por processos físicos diferentes em cada estação. Esses processos, plenos de complexidade, dificultam a sua expressão matemática na estruturação dos modelos.</p>	Smakhtin (2001)
	<p>Esse entendimento de mudança nas escalas é muito importante ao estabelecer a estimativa das vazões mínimas, pois essa compreensão deve orientar a escolha do método mais adequado para a estimativa, sempre embasado por dados medidos nas pequenas bacias.</p>	Silveira (1997); Silva Jr. (2001).
	<p>Muitos processos podem ser modelados a partir de equações bastante complexas, que só podem ser equacionadas através de utilização de métodos numéricos. Esses métodos trazem embutidos diversos tipos de erros decorrentes da precisão de trabalho, do esquema numérico escolhido e de critérios de discretização temporal e espacial⁴.</p>	Lanna (1993a)

⁴ Para Lanna (1993a) a *discretização temporal* diz respeito ao grau de incerteza na modelação com relação aos objetivos, sob influência de utilização das vazões diárias ou mensais na construção das

Quadro 8- Incertezas quanto à caracterização da disponibilidade hídrica - conclusão

INCERTEZA	CARACTERIZAÇÃO	AUTOR
Parâmetros do modelo	As incertezas nos parâmetros dos modelos devem-se a inadequações nas técnicas para sua estimativa, representatividade limitada dos dados e imperfeições na estrutura do modelo. Quando determinado processo hidrológico não é representado, ou é modelado de forma simplificada, outros componentes do modelo e seus parâmetros são forçados a compensar isso para o modelo apresentar bons resultados. O mesmo problema acontece em função de erro nos dados.	(Silveira, 1997)
	Dois diferentes profissionais podem selecionar distintos conjuntos de parâmetros a partir de um mesmo conjunto de dados e determinado modelo, enquanto um mesmo pesquisador pode ajustar diferentes valores para os parâmetros se utilizar o mesmo modelo, mas diferentes amostras de dados observados. Os parâmetros estimados podem, então, ser tratados como variáveis aleatórias.	Haan (1989)

Fonte: Cruz (2001). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Cabe destacar aqui que a conceituação de Lanna (1993) para discretização temporal relaciona as bacias pequenas à variabilidade das vazões muito alta, devido à sensibilidade dos escoamentos superficiais. Assim, as amplitudes entre picos de vazões altas e mínimas são proporcionalmente maiores que nas grandes bacias, onde os picos de cheia são menos frequentes, pois dependem da ocorrência de chuvas simultâneas em toda a bacia. Este fato, somado ao armazenamento nas calhas e regularização dos aquíferos, explica a menor variabilidade relativa das vazões em grandes bacias. Ao calcular as vazões médias mensais, por exemplo, os erros de arredondamento suavizam os fluiogramas, ocultando valores de picos e de vales e atenuam, consequentemente, as declividades das curvas de permanência. No que se refere às pequenas bacias, esse erro altera sobremaneira a forma da curva de permanência.

curvas de permanência de vazões. A *discretização espacial*, pode ser a simples divisão de uma bacia hidrográfica em pequenas sub-bacias, em função da homogeneidade de suas características hidrológicas, que permitam minimizar os erros de um modelo concentrado, ou a divisão em trechos de uma calha de rio em um modelo vazão-vazão.

Sobre a discretização espacial, a mesma autora menciona que quanto menor ela for, maior a simplificação. Entretanto, quando a discretização é maior, é necessário maior número de parâmetros, em função do número de parcelas, além de maior número de dados. Muitas vezes, os dados de entrada dos modelos necessitam ser interpolados para adaptar-se à discretização, de modo que neste processo geram-se também incertezas dos processos de interpolação.

Resumidamente, do estudo das séries temporais de vazões associado às probabilidades de ocorrência, é que provêm as informações relativas à disponibilidade hídrica, obtidas por diferentes métodos ou funções. Vale lembrar que algumas características de séries hidrológicas devem ser consideradas em estudos, como aleatoriedade, homogeneidade e representatividade dos dados.

Em Minas Gerais, nos últimos 21 anos, houve um evidente desenvolvimento do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SEGRH), com a ampliação e fortalecimento das instituições que o compõem. Nessas duas décadas, foram criadas 36 Unidades de Planejamento e Gestão (UPGRH's), atualmente denominadas Circunscrições Hidrográficas (CH's), como já mencionado anteriormente, e seus respectivos comitês de bacias. Foi também criado o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) e aprovadas 5 entidades equiparadas à Agências de bacias, que atendem 12 bacias hidrográficas com cobrança implementada (IGAM, 2019).

De 36 CH's, 33 contam com seu Plano Diretor de Recursos Hídricos e as demais estão em fase de elaboração. A outorga de direito de uso da água já foi implementada em todo o Estado e estudos de aprimoramento para o instrumento estão em elaboração, além de vários programas e projetos propostos e executados com participação social, destacando-se:

- Projeto Estruturador Revitalização da Bacia do Rio das Velhas;
- Programa Águas de Minas, com o monitoramento da qualidade das águas do Estado;
- Programa Água Doce, para a dessalinização de água para o atendimento de comunidades nos 91 municípios do semiárido mineiro;
- Projeto Águas do Norte, para avaliação das disponibilidades hídricas subterrâneas das regiões norte, nordeste e noroeste do estado;
- Programa de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas (Progestão);
- Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água (Qualiágua), em parceria com a Agência Nacional de Águas, que vêm contribuindo para o avanço

da implementação das Políticas Estadual e Nacional de Recursos Hídricos de maneira integrada com a União, dentre outras iniciativas.

Buscando-se adotar uma cultura voltada para a segurança hídrica, foi criado em 2017, o Grupo de Acompanhamento da Situação Hídrica (GSH), no âmbito do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Sisema), integrando os órgãos ambientais IGAM, FEAM, IEF e SEMAD, CERH, Comitês de bacias e instituições de Ensino e Pesquisa. Além disso, foram editadas normativas para aprimoramento dos mecanismos de gestão diante dos cenários de incertezas e para o gerenciamento de crises.

3.3 Levantamentos de demanda hídrica

O Brasil é um país privilegiado quanto à disponibilidade hídrica total, no entanto a ocorrência da água é desigual no território e durante o ano, bem como a demanda por sua utilização e a infraestrutura hídrica adequada para o seu aproveitamento e conservação. A Agência Nacional de Águas (ANA), em âmbito federal, é a entidade responsável pela implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e pela coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH).

No processo de gestão compartilhada e integrada dos recursos hídricos, a ANA é o órgão responsável por regular o acesso a água, promovendo seu uso sustentável em benefício das atuais e futuras gerações. Neste sentido, atendendo às suas prerrogativas, este órgão, desde a sua criação, tem aprimorado as estimativas de balanço hídrico em todo o território nacional, tanto sob a perspectiva da oferta quanto da demanda hídrica. A base de demanda hídrica foi produzida no âmbito do Manual de Usos Consuntivos (ANA, 2019) que estimou as vazões municipais de retirada, consumo e retorno de água por setor usuário.

O Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil é parte de um estudo abrangente, que contemplou a definição de métodos, a construção de bases de dados e a produção, armazenamento e disponibilização de resultados de estimativas de usos consuntivos da água para todos os municípios brasileiros, acompanhando a evolução da malha territorial desde 1931 (1.365 municípios) até a atualidade (5.570 municípios). Também foram realizadas projeções das demandas até 2030, totalizando, portanto, 100 anos de investigação sobre os usos da água (ANA, 2019).

As categorias de usos da água consideradas são: abastecimento humano (urbano e rural); abastecimento animal; indústria de transformação; mineração; termoelectricidade; e irrigação. Adicionalmente, foi realizado um diagnóstico da evaporação líquida de reservatórios artificiais que, individualmente, podem estar associados a um uso específico da água (irrigação, aquicultura, abastecimento público, geração de energia, entre outros) ou atender usos múltiplos.

O Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil (ANA, 2019), explana que o ideal seria contabilizar os volumes retirados e consumidos baseados no inventário e séries históricas medidas. Entretanto, em virtude da indisponibilidade e consistência de dados, usualmente se utilizam estimativas indiretas para a avaliação e projeção das demandas.

As demandas para os usos não consuntivos são caracterizadas como aquelas que não resultaram em retiradas de vazões ou volumes de água do corpo hídrico, mas, excepcionalmente, irão alterar as suas características naturais. Já os usos consuntivos são aqueles quando a água retirada é consumida, parcial ou totalmente, no processo a que se destina, não retornando diretamente ao corpo d'água, considerados para este estudo.

Para cada uso são caracterizadas as vazões de retirada (montante captado no corpo hídrico), de consumo (fração da retirada que não retorna ao corpo hídrico) e de retorno (fração da retirada que retorna ao corpo hídrico) (ANA, 2019). A apreensão com relação ao aumento da demanda e a carência de recursos hídricos, no contexto da sustentabilidade ambiental discutida na Eco-92, gerou a necessidade de definir critérios e parâmetros de avaliação da disponibilidade hídrica de uma região ou país, de forma a hierarquizar as demandas e disponibilidades regionais, além de subsidiar as políticas públicas de gestão dos recursos hídricos e de desenvolvimento social.

A demanda por água no Brasil é crescente, com aumento estimado de aproximadamente 80% no total retirado nas últimas duas décadas. A previsão é de que ocorra um aumento de 24% na demanda até 2030 (ANA, 2019), com evolução da atividade de irrigação projetada para 1.313 m³/s/ano, abastecimento urbano 553 m³/s/ano, indústria 305 m³/s/ano, uso animal 219 m³/s/ano, termelétrica 94 m³/s/ano, mineração 56 m³/s/ano e abastecimento rural 32 m³/s/ano.

Em situações de escassez, a Lei das Águas (Lei nº 9.433/1997) reconhece o abastecimento humano e a dessedentação animal como usos prioritários da água,

sendo que o abastecimento engloba o uso doméstico ou residencial (urbano e rural) e nos setores comercial e de serviços.

3.3.1 Abastecimento humano

A demanda para abastecimento humano refere-se à quantidade de água necessária para suprir as necessidades de consumo e uso diário de uma população em uma determinada área. Essa demanda é um dos aspectos fundamentais no planejamento e gestão de recursos hídricos, já que ela define as necessidades mínimas de água para garantir a saúde, o bem-estar e o saneamento da população. Esta demanda pode ser dividida em diferentes componentes:

a) Demanda de consumo direto: refere-se à quantidade de água utilizada para o consumo de bebidas, preparo de alimentos e outras necessidades diretas. Em média, considera-se uma demanda de 100 a 150 litros de água por pessoa por dia para o consumo direto em regiões urbanas;

b) Demanda para higiene e saneamento: necessária para banhos, lavagem de roupas, limpeza doméstica, higiene pessoal, e para atividades relacionadas ao esgoto e tratamento de águas residuais. Esse valor pode variar dependendo dos hábitos da população, mas pode somar de 100 a 200 litros por pessoa por dia;

c) Demanda para atividades públicas: utilizada em escolas, hospitais, prédios públicos, praças e outros serviços coletivos. A demanda desses estabelecimentos também é considerada no planejamento do abastecimento;

d) Demanda para indústria e comércio: embora não seja uma demanda diretamente associada ao consumo humano, muitas vezes se inclui a demanda de água de indústrias e comércios que dependem de água potável em processos de produção, limpeza, entre outros aspectos.

Dentre os fatores que influenciam a demanda de água neste tópico, podem ser citados o crescimento populacional, o estilo de vida e hábitos, as condições climáticas, a eficiência do sistema de distribuição e o uso racional, para garantir que os recursos hídricos sejam suficientes para atender à população sem comprometer o meio ambiente. Neste sentido, dados da ONU indicam que o consumo diário de água por habitante deveria ser da ordem de 110 litros, quantidade considerada necessária para uma pessoa viver confortavelmente. No entanto, segundo informações do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento), o consumo médio do brasileiro

girava em torno de 153,56 litros por pessoa, em 2017, sendo que, em algumas cidades, o consumo médio era de apenas 5,1 litros diários, enquanto em outras chegava a 1.628 por habitante.

É importante lembrar que o consumo per capita não é o consumo real de cada pessoa, mas o consumo total dividido pela população, o que inclui a água usada no comércio, nas escolas, hospitais, bares, restaurantes, condomínios e na limpeza urbana. De qualquer maneira, a desigualdade é flagrante e coerente com a história do país. Como grandes números do uso da água para abastecimento humano, estima-se que em 2017 foram retirados 496,2 m³/s para abastecimento urbano e 34,5 m³/s para uso rural. Esses valores representam 23,8% e 1,7% do uso consuntivo total do País, desconsiderando a evaporação líquida de reservatórios artificiais (ANA, 2019).

A demanda de abastecimento rural vem decrescendo nacionalmente em função da retração da população no campo. Entretanto, ainda responde pelo abastecimento de 30 milhões de pessoas, que muitas vezes se concentram em regiões de baixa disponibilidade hídrica (ANA, 2019). Em Minas Gerais, as vazões de retirada para abastecimento humano urbano em 2017 foram da ordem de pouco mais de 40 m³/s e para o rural quase 4 m³/s.

3.3.2 Abastecimento animal

Os maiores usos consuntivos da água, em escala global, são agropecuários. No Brasil, que possui alguns dos maiores rebanhos do mundo, a demanda de água nas estruturas de dessedentação, criação e ambiência de animais é elevada. O consumo de água diário varia significativamente em função da espécie e tipo do animal, idade e peso, atividade e produção, temperatura ambiente e clima, dieta e saúde do animal. O planejamento adequado dessa demanda é essencial para garantir a saúde animal e a produtividade nas propriedades rurais.

Além das necessidades específicas dos animais (dessedentação), discretizadas por tipo de rebanho, as demandas atuais para abastecimento animal consideram o uso da água de forma mais ampla, como para operações lácteas, limpeza de animais e de instalações e outras necessidades de manutenção de estruturas rurais. Para esta pesquisa, o rebanho bovino representa o tipo de maior registro para a área em questão.

3.3.3 Abastecimento industrial

A década de 70 pode ser considerada como a última tentativa do desenvolvimentismo brasileiro em completar seu parque industrial. Neste sentido, o estado de Minas Gerais foi um grande beneficiário, apresentando um crescimento econômico acima da média nacional e, também, acima dos seus principais concorrentes (RS, PR). Assiste-se neste período ao que Garcia e Andrade (2007) chamam de processo de desconcentração industrial, no qual Minas e outros estados tornam-se mais complementares à economia paulista, consolidando um verdadeiro mercado nacional⁵.

A década de 80, por sua vez, foi marcada pela crise da dívida e exaustão da capacidade do Estado Nacional em conduzir o processo de crescimento/desenvolvimento da economia. Assim como qualquer outro estado, Minas Gerais sofre o impacto da crise, apresentando uma nítida descontinuidade no seu crescimento. Mesmo assim, a economia mineira consegue crescer acima da média nacional e teve um desempenho semelhante à economia paulista, o que pode demonstrar a maior complementaridade das duas economias. Este período também é caracterizado pelo arrefecimento no processo de desconcentração da indústria, abrindo o debate sobre uma possível reconcentração industrial em São Paulo (Garcia; Andrade, 2007, p.156).

Já a partir da década de 1990, com as políticas de cunho neoliberal em seu bojo, a capacidade do Estado Nacional ou dos estados subnacionais em retomar para si a condução do processo de crescimento econômico foi destruída. Além disso, houve o fator significante de privatização no contexto capitalista mundial, abrindo espaço para que a lógica de mercado, a partir de então, determinasse a distribuição espacial dos investimentos.

3.3.3.1 Economia mineira na década de 1970

Alguns elementos marcaram Minas Gerais na década de 1970 e são importantes para o entendimento da conjuntura deste período: a) infraestrutura disponível (malha rodoviária e sistema de energia) e aparato institucional (Banco de

⁵ Deve-se advertir para o fato de que não houve uma reversão da polarização, uma vez que São Paulo continuou sendo o principal centro de acumulação da economia brasileira. O que houve foi um processo de espraiamento da indústria localizada na Região Metropolitana de São Paulo em direção ao seu interior e a outros Estados, sendo Minas Gerais uma opção de localização privilegiada. Há a partir daí uma maior complementaridade entre a economia paulista e a dos demais Estados.

Desenvolvimento de Minas Gerais - BDMG, Instituto de Desenvolvimento Integrado de Minas Gerais - INDI, Certificado de Depósito Interbancário - CDI e Fundação João Pinheiro - FJP); b) abundância de recursos naturais (minerais, principalmente ferro); c) proximidade com São Paulo (principal centro dinâmico do país) e Rio de Janeiro; e d) posição geográfica favorável (ligação de São Paulo e da Região Sul com Brasília e com o Nordeste do país).

São elementos que favoreceram a atração de investimentos internos e externos, públicos e privados, podendo, ainda, acrescentar as intenções do II Plano de Desenvolvimento Nacional (II PND), que coincidiam com as principais características da economia mineira, por sua base de recursos naturais, complementando a indústria paulista, de bens intermediários e de outras capitais brasileira, onde se iniciaria um processo de desconcentração do setor.

A função estratégica assumida por Minas Gerais demonstra dentro do processo nacional de modernização recuperadora, por obra de um projeto consistente de suas elites, foi a de fornecer matérias-primas minerais e bens intermediários semi-industrializados às regiões já industrializadas ou em industrialização do país e do mundo (Carneiro, 2003). Entre outros fatores em relação ao setor agropecuário, agrícola e do setor terciário, todo o processo de transformação da economia mineira foi acompanhado pela elevação da taxa de investimento, bem acima da média nacional, neste período.

Para Fernandes (1997), a inserção de novas tecnologias no campo resultou em profundas transformações na estrutura populacional mineira, reduzindo os residentes em zona rural, e na concentração da propriedade agrícola, expulsando o trabalhador pela incorporação tecnológica e incorporando novas áreas de reflorestamento, o que caracterizou o Estado como grande dispersor da população para São Paulo, Rio de Janeiro e Paraná, mesmo com todo investimento realizado na região.

3.3.3.2 Inflexão da economia mineira na década de 1980

Neste período, o intenso crescimento econômico que Minas Gerais passou na década de 1970, sofre descontinuidade, visto que o cenário da economia brasileira neste período é de crise geral, com a perda de capacidade do Estado Nacional em conduzir o processo de desenvolvimento do país. Mesmo em meio às dificuldades, conseguiu crescer acima da média nacional, por ser exportador frente à crise de

dívida, e a o setor de bens intermediários mantem sua hegemonia, com a metalurgia ocupando a maior participação na estrutura industrial mineira.

Com a expansão da fronteira mineral para Bahia, Goiás e Pará, e da entrada em escala comercial do projeto Carajás, nota-se um decréscimo da participação de Minas Gerais na produção nacional de minerais, especialmente minério de ferro (Dulci, 1999). No setor agropecuário, além da maior concorrência de outros estados (principalmente região Centro-Oeste), houve a queda dos preços de leite e café e o fim dos programas governamentais de crédito agrícola. Por fim, a participação do Estado nas exportações totais brasileiras ocorreu com a expansão da metalurgia dentro da pauta concentrada em poucos produtos.

3.3.3.3 Década de 1990 e influências da liberalização econômica

A introdução do receituário neoliberal, o Plano Real, o baixo crescimento econômico, resultantes das transformações ocorridas na década de 1990, contribuíram para o baixo dinamismo da economia mineira, mesmo mantendo uma taxa de crescimento superior à média nacional. A indústria de transformação mineira continuou ampliando sua participação no Valor da Transformação Industrial (VTI) nacional, enquanto o setor agropecuário manteve tendência de queda e elevação apenas após os anos 2000. O setor de metalurgia básica perdeu sua preeminência, ao passo que o de produtos alimentícios e bebidas, e de veículos automotores crescem (Diniz, 1981).

Dessa forma, mesmo com a perda da atratividade para novos investimentos, Minas Gerais amplia o setor de autopeças, recebe a instalação da Mercedes-Benz, e o processo de desconcentração paulista potencializa, consolidando sua posição como segundo maior estado exportador. O êxodo rural se manteve com a formação de novas cidades, mas o fluxo migratório diminuiu pelo maior poder de retenção do Estado influenciado por sua infraestrutura urbana, e menor influência atrativa de outras regiões do País que também apresentaram baixo dinamismo econômico.

Apesar do Brasil ser um dos países mais industrializados do mundo, a Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha não acompanhou a intensificação e maturidade deste setor. Desta forma, será apresentado no próximo capítulo, um panorama geral e uma síntese das estimativas de uso da água para o setor industrial, que constituem o foco para este trabalho.

3.4 Segurança hídrica e vulnerabilidade de águas superficiais

O estado de Minas Gerais possui 853 municípios, totalizando uma área de 586.521,123 km². Com população estimada de 21,2 milhões (IBGE, 2020), a taxa de urbanização no Estado é alta, com cerca de 85,3% (Minas Gerais, 2020). Entretanto, a área urbanizada é da ordem de 2.571,6 km², onde se concentram 16,7 milhões de pessoas. Ou seja, a população urbana (85,28%) ocupa 0,44% do território mineiro, e 26,3% da população está em cidades com menos de 20.000 habitantes (Tucci, 2018).

É um estado caracterizado por diversidade climática, ecossistêmica e de uso e ocupação do solo, devido à sua extensão. Há uma diversidade social e cultural muito forte nas diversas regiões, assim como potencialidades econômicas na agricultura, indústria e serviços. Além disso, possui importância estratégica no fluxo de águas no País, já que seus principais rios drenam ou fazem limite com outras unidades da federação.

Para que seja possível realizar o planejamento e a gestão dos recursos hídricos no Brasil, são necessárias informações concretas sobre o balanço hídrico, ou seja, sobre a relação entre a disponibilidade e a demanda hídrica. A cultura da abundância hídrica tem sido progressivamente substituída pela ideia da água como bem finito e dotado de valor econômico, tornando as análises do balanço entre usos e oferta hídrica cada vez mais importantes, ao revelar regiões de déficits de acesso à água e risco aos setores produtivos.

De acordo com o conceito da Organização das Nações Unidas (ONU), a Segurança Hídrica existe quando há disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficientes para o atendimento às necessidades humanas, à prática das atividades econômicas e à conservação dos ecossistemas aquáticos, acompanhada de um nível aceitável de risco relacionado a secas e cheias, devendo ser consideradas as suas dimensões como balizadoras do planejamento da oferta e do uso da água em um país. O conceito de segurança hídrica utilizado neste relatório é o consolidado pela ONU/PNUD (2014), definido como

A capacidade da população ter acesso sustentável à água em quantidade e qualidade adequadas para a manutenção da vida e do bem-estar humano, garantindo o desenvolvimento das atividades econômicas, garantindo a proteção contra doenças de veiculação hídrica e desastres associadas à água, bem como a preservação dos ecossistemas. (ONU/PNUD, 2014).

O conceito de segurança hídrica é o objetivo central da PNRH, visto que os objetivos da conhecida Lei das Águas (Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997) são:

- I - Assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;
- II - A utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
- III - A prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais;
- IV - Incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais.

Quadro 9- Indicadores do Índice de Segurança Hídrica

DIMENSÃO	INDICADOR
Humana	Garantia de água para abastecimento
	Cobertura da rede de abastecimento
Econômica	Garantia de água para irrigação e pecuária
	Garantia de água para atividade industrial
Ecossistêmica	Quantidade adequada de água para usos naturais
	Qualidade adequada de água para usos naturais
	Segurança de barragens de rejeito de mineração
Resiliência	Reservação artificial
	Reservação natural
	Potencial de armazenamento subterrâneo
	Variabilidade pluviométrica

Fonte: ANA (2017). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

O conceito de segurança hídrica também se alinha inteiramente com a AGENDA ONU 2030, cujas metas são erradicar a pobreza, proteger o planeta, garantir a paz e a prosperidade. O Índice de Segurança Hídrica (ISH) foi concebido no âmbito

do Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH) para retratar as diferentes dimensões da segurança hídrica dentro do território brasileiro. As ações propositivas e necessárias para construir a segurança hídrica, na qual se insere integralmente os serviços de saneamento, podem ser estruturadas em quatro componentes:

- 1) o acesso à água em quantidade e qualidade adequados para garantir a vida e o bem-estar humano, que em essência é o papel do serviço de saneamento;
- 2) o acesso à água para o desenvolvimento das atividades produtivas;
- 3) o controle da poluição e compatibilização da água para diversos fins; e
- 4) a redução dos riscos associados aos eventos críticos.

Cada componente é composto por um ou mais indicadores (Quadro 9), capazes de quantificar aspectos pertinentes à segurança hídrica, e cada indicador é formado por uma combinação de variáveis ou atributos mensuráveis. A Agenda ONU 2030 contém 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) com 169 metas. Os 17 objetivos são integrados e indivisíveis. As ações para ampliar a segurança hídrica brasileira estão em sintonia com a Agenda 2030, especialmente o objetivo 6, embora também tenham desdobramentos em outras metas, conforme se observa no quadro que segue (ONU, 2014).

Quadro 10- Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Agenda ONU 2030

1 Erradicar a pobreza	2 Erradicar a fome	3 Saúde de qualidade	4 Educação de qualidade	5 Igualdade de gênero	6 Água potável e saneamento
7 Energias renováveis acessíveis	8 Trabalho digno e crescimento econômico	9 Industria, inovação e infraestruturas	10 Reducir as desigualdades	11 Cidades e comunidades sustentáveis	12 Produção e consumo sustentáveis
13 Ação climática	14 Proteger a vida marinha	15 Proteger a vida terrestre	16 Paz, justiça e instituições eficazes	17 Parcerias para implementações dos objetivos	

Fonte: ONU (2014). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

O Objetivo 6 (Água potável e saneamento) contém sete metas, apresentadas no quadro abaixo, estabelecendo que, até 2030, a qualidade da água deve ser melhorada, a poluição reduzida, os despejos eliminados e a liberação de produtos químicos e materiais perigosos minimizados, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores.

Além disso, cabe assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água, apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento, reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez hídrica, aumentar substancialmente a reciclagem e reutilização de água, entre outras ações.

Quadro 11- Metas e indicadores do ODS 6

METAS	INDICADORES
6.1 Até 2030, alcançar o acesso universal e equitativo a água potável e segura para todos;	Proporção da população (%) servida por um serviço eficiente e regular de oferta de água.
6.2 Até 2030, alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos para todos, e acabar com a defecação a céu aberto, com especial atenção para as necessidades das mulheres e meninas e daqueles em situação de vulnerabilidade;	Proporção da população (%) servida por um serviço eficiente e regular de saneamento, que inclua, inclusive em escolas, banheiros com água e sabão para lavar as mãos.
6.3 Até 2030, melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente;	Proporção de corpos de água (%) em boas condições ambientais.
6.4 Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água, e reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água;	Stress hídrico (%): Proporção entre retirada de água e a disponibilidade hídrica.
6.5 Implementação da gestão integradas dos recursos hídricos;	Grau (%) de implantação das ações de gestão integradas dos recursos hídricos.
6.6 Até 2020, proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água, incluindo montanhas, florestas, zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos;	Proporção de ecossistemas (%) em boas condições.
6.7a Até 2030, ampliar a cooperação internacional e o apoio à capacitação para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados à água e saneamento, incluindo a coleta de água, a dessalinização, a eficiência no uso da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e as tecnologias de reuso;	Desembolso de recursos do orçamento do poder público (R\$) em ações correlatas ao serviço de saneamento.
6.7b Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento;	Proporção de administrações locais (%) que promovam a participação das comunidades.

Fonte: ONU (2014). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

É inerente às metas e indicadores apresentados anteriormente que a segurança na oferta hídrica é indispensável para a produção de alimentos, assim

como para o alcance do Objetivo 2 (erradicar a fome). Sistemas de saneamento com ampla cobertura e eficiência são essenciais para os Objetivos 3 (saúde de qualidade) e 6 (água potável e saneamento). Além disso, sem água é impossível que haja o funcionamento das indústrias e a criação de novos empregos (Objetivos 7 - energia renováveis e acessíveis e 8 - trabalho digno e crescimento econômico).

Qualquer um dos Objetivos 13 (ação climática), 14 (proteger a vida marinha) e 15 (proteger a vida terrestre) não serão alcançados sem que haja quantidade e qualidade hídrica para preservar a sustentabilidade dos ecossistemas. Desta forma, por ser essencial a vários ODS, a segurança hídrica é um elo fundamental para o alcance da Agenda 2030 e para que seja realizável sua ampliação a longo prazo, é preciso conhecer a exposição e a sensibilidade de cada região a um determinado conjunto de impactos e a formulação de respostas na forma de políticas e investimento, visando reduzir essas vulnerabilidades (World Bank, 2011). O enfrentamento dos impactos da baixa segurança hídrica exige ações que podem ser agrupadas em três pilares:

Figura 4- Pilares de atuação que ampliam a segurança hídrica



Fonte: ONU (2014).

Conforme proposto por (Beck, 1986 apud Mendes, 2015) em sua Teoria da Sociedade do Risco, o mundo atravessa o período histórico da modernização reflexiva. De forma muito resumida, esta modernização refere-se às críticas às bases do desenvolvimento tecnológico e científico que têm pautado a história moderna, que

trouxe em seu bojo um conjunto de riscos que não podem ser contidos espacial ou temporalmente. Eles são de responsabilidade difusa e estimação desafiadora dada a dificuldade de seu cálculo.

O risco pode ser considerado um estágio intermediário entre segurança e destruição e sua percepção determina o pensamento e a ação (Mendes, 2015). Por seu turno, a vulnerabilidade diz respeito à exposição ao risco. Proteger e conservar os recursos ambientais, em geral, e hídricos, de forma específica, é um exercício de compreensão de sua dinâmica bem como de estabelecer elementos estratégicos do sistema a ser protegido. Só assim, as perspectivas que constituem os pilares da segurança hídrica poderão ser atendidas.

As vulnerabilidades incluem os eventos extremos de secas e cheias, que arrasam regiões do Estado em estações distintas. De acordo com Tucci (2018) são 168 municípios incluídos na área de seca da SUDENE, correspondente aos municípios do vale do Jequitinhonha e Mucuri, além do São Francisco na região norte de Minas Gerais. Por outro lado, diversos centros urbanos enfrentam as cheias nos períodos chuvosos e os problemas decorrentes como inundações, deslizamento de terras, ocasionando perdas, inclusive de vidas humanas.

A Gestão do Risco reduz a exposição às ameaças decorrentes dos extremos hidrológicos, que podem advir de desastres naturais ou ações antrópicas, a fim de evitar a gestão da crise. A gestão de risco concentra-se em identificar vulnerabilidades e implementar medidas de forma sistemática e interativa para diminuir os potenciais impactos associados aos eventos extremos. Inclui ações como alerta precoce, monitoramento, planejamento, mitigação e o desenvolvimento de políticas nacionais de gestão da crise (ONU, 2014).

Para eventos de seca, por exemplo, muito comuns na Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, o conceito de gestão de risco associado à preparação para as épocas de estiagem baseia-se em três etapas: a) monitoramento e previsão precoce; b) avaliação de vulnerabilidades, de resiliência e de impactos; e c) planejamento e medidas de mitigação e resposta à seca.

A Gestão da Oferta pode ser entendida pela expansão do investimento em saneamento, universalizando o atendimento de água, e o binômio coleta-tratamento de esgoto, com a melhoria na eficiência da prestação do serviço. A eficiência do serviço de saneamento é central para a segurança hídrica da população e das empresas do setor industrial, do comércio e de serviços localizados em áreas urbanas

ou periurbanas atendidas pelas companhias existentes (ONU, 2014).

Quadro 12- Pilares para gestão do risco a eventos de seca

MONITORAMENTO E PREVISÃO/ALERTA PRECOCE	AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADES, RESILIÊNCIA E IMPACTOS	PLANEJAMENTO E MEDIDAS DE MITIGAÇÃO E RESPOSTA
Fundamento de um plano de seca	Identifica quem e o que está em risco e explica por que	Programas pré-seca e ações para reduzir riscos (curto e longo prazo)
Índices/indicadores ligados a impactos e gatilhos de ação	Envolve monitoramento/arquivo de impactos para melhoria da caracterização da seca	Plano de resposta operacional bem desenhado para quando a seca iniciar
Alimenta o desenvolvimento/entrega de informações e ferramentas de apoio à tomada de decisão		Rede de segurança e programas sociais, pesquisa e extensão

Fonte: ONU (2014). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Por fim, a Gestão da Demanda condiz com a adoção de mecanismos de alocação de água com foco em setores de maior valor agregado e maior eficiência no uso da água. Dentre as soluções, a racionalização/redução do uso, o reuso e os mecanismos de alocação negociada de água são algumas das opções mais comuns para redução da vulnerabilidade da sociedade quanto à escassez hídrica. O reuso dos esgotos urbanos tratados como fonte de água para a indústria e para a irrigação se apresenta com uma das opções com maior viabilidade. Entretanto, o preço da água de reuso e a segurança jurídica onde se inscrevem os contratos nesse setor, ainda são desafios importantes para que essa prática seja disseminada (ONU, 2014).

Em outras palavras, a exposição e a vulnerabilidade a determinado evento são os elementos-chave quando se estuda risco ou segurança. Se de um lado tem-se uma população que depende da água para sua sobrevivência e para suas atividades econômicas, em determinada região, portanto, exposta à ocorrência de eventos extremos, do outro, caberiam medidas de engenharia e de gestão de risco para reduzir tal vulnerabilidade.

No contexto do PNSH, o risco iminente é progressivamente maior à medida que o resultado da relação entre demanda e disponibilidade hídrica se aproxima de 100%. Após se concretizar o déficit, uma parte da população ainda permanece em risco iminente enquanto outra parte se encontra no risco pós déficit. Nesse caso, o risco

iminente decresce à medida que aumenta o risco pós-déficit (Castro, 2022). Efetivamente existem regiões onde a disponibilidade hídrica é menor do que em outras áreas e só com a adoção de medidas de gerenciamento adequadas, as necessidades hídricas da população serão atendidas.

Rezende (2005) menciona que em uma avaliação de atendimento populacional pelos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, é necessário destacar as assimetrias com que ocorre. Estas podem ser verificadas segundo várias dimensões: além da desigualdade de acesso estar associada ao local de moradia, urbana ou rural, apresenta, também, uma relação com a renda, em que os mais pobres são os mais excluídos. Ademais, estudos vêm mostrando que o porte das cidades e seu nível de desenvolvimento humano associam-se positivamente com a possibilidade de terem serviços com maior cobertura.

A avaliação da Vulnerabilidade Hídrica (VH), segundo Grosbois e Plummer (2015 apud Moura *et al.*, 2020) contribui para uma sinalização mais direta acerca das insuficiências, das ausências ou das fragilidades relacionadas aos recursos hídricos e à sua correlação com outros sistemas em uma determinada região. O conceito de vulnerabilidade pode ser considerado como uma ferramenta analítica eficiente para descrever estado de vulnerabilidade ao dano, prejuízo e impotência de sistemas socioecológicos (Adger, 2006 apud Moura *et al.*, 2020).

De acordo com Rotava (2014), muitos são os obstáculos e as implicações no que diz respeito à obtenção de um conceito geral para a vulnerabilidade. Apesar da multidimensionalidade da vulnerabilidade e a evolução do conceito ao longo do tempo, ainda perpassa por dois desafios: a) conceitual, em apreender a multidimensionalidade deste conceito polissêmico e multivariado e b) consensual, para conceituar vulnerabilidade e, consequentemente, a sua operacionalização (Almeida, 2012).

Marandola Jr. e D'antona (2014) problematizam o conceito de vulnerabilidade apontando os principais entraves para a sua operacionalização e potenciais aplicações, especialmente em políticas públicas. Os autores destacam a importância dos estudos sobre vulnerabilidade, seja na tradição dos estudos ambientais, seja nos estudos sobre saúde ou sobre pobreza, para a compreensão e o enfrentamento de questões relacionadas à segurança humana e a sustentabilidade. O termo vulnerabilidade, muitas vezes, se confunde com definições anteriores de risco, e da mesma forma, parece ter problema na conexão entre o nível teórico e o operacional

(Rotava, 2014).

Em se tratando especificamente da vulnerabilidade hídrica, Perveen e James (2011, p. 321 apud Moura *et al.*, 2020) conceituam o termo como a “vulnerabilidade de uma região resultante da disponibilidade limitada de recursos hídricos e uso intensivo da água”. De acordo com Garrick e Hall (2014 apud Moura *et al.*, 2020), o risco não é diretamente observável, devendo, portanto, ser avaliado em função de suas componentes perigo, exposição e vulnerabilidade, às quais se conceituam da seguinte forma:

- Perigo: Fenômenos com potencial de causar danos ou prejuízos - como secas, inundações, abastecimento/saneamento inadequado, qualidade prejudicial da água;
- Exposição: Pessoas, meios de subsistência, infraestrutura e ativos socioeconômicos que podem sofrer danos causados por eventos perigosos;
- Vulnerabilidade: Propensão a sofrer danos. (Garrick e Hall, 2014 apud Moura *et al.*, 2020, p. 133).

Conforme Varis, Keskinen e Kummu (2017 apud Moura *et al.*, 2020), ao se tratar de segurança hídrica, a temática vulnerabilidade deve ser considerada, visto que pode fornecer enquadramentos e elementos úteis para aprimorar os vínculos entre segurança hídrica e desenvolvimento sustentável. O novo paradigma da gestão de recursos hídricos pressupõe que a chamada estrutura de governança, ou institucional, seja analisada como reflexo da cultura, do regime político e organizacional de um país.

Este trabalho considera o conceito de segurança hídrica definido como a disponibilidade adequada de quantidade e qualidade de água para meios de vida, saúde, ecossistemas e produção. Sabendo que o conceito de vulnerabilidade hídrica aqui neste estudo perpassa pela avaliação de uma série histórica quanto às dimensões de qualidade (parâmetros IQA, CT e IET) e demanda (vazão específica e Q_{7,10}), as mudanças climáticas interferem, consequentemente, na análise dos impactos frente à segurança hídrica, além dos fatores de acessibilidade, seguridade e governança.

Rodriguez e Pereira (2022) reforçam que a variabilidade da oferta de água, em especial os episódios de secas prolongadas, comprometem a qualidade da água e diminuem as vazões a ponto de reduzir, drasticamente, o armazenamento de água nos reservatórios e mananciais. E, também, adiciona mais uma camada de vulnerabilidade aos sistemas que já funcionam na capacidade limite. Tais situações, que passaram a ser mais evidentes com os episódios das crises hídricas ocorridas a

partir de 2012, impactam diretamente na qualidade de vida da população, com consequências para a saúde pública.

Além disso, episódios de secas hidrológicas são considerados gatilhos para a geração ou intensificação de conflitos pelo uso da água, mesmo em regiões que não são naturalmente marcadas por condições de déficit hídrico. Por exemplo, as intermitências e interrupções no fornecimento de água levam a situações de descontrole na gestão da água. A estocagem de água de forma autônoma pela população aumenta as chances de consumo de água contaminada e, em muitos casos, a proliferação de vetores causadoras de doenças, como o *Aedes aegypti*.

Os episódios de secas hidrológicas também influenciam no custo final do tratamento de água, pois os valores de turbidez, sólidos totais, pH, condutividade elétrica, fósforo total, clorofila, entre outros indicadores de qualidade de água são diretamente proporcionais à capacidade de diluição dos corpos hídricos. As condições de uso das terras nas áreas urbanas, com predominância de áreas impermeabilizadas e a ausência de áreas verdes, em especial de vegetação nas margens dos rios, reduzem as condições da qualidade das águas.

A segurança hídrica é um tema complexo, cujo leque de conceitos pode ser amplo, a depender do propósito, do enfoque e da escala de análise. Porém, a necessidade de atendimento às demandas essenciais para a sobrevivência humana, em termos da garantia de quantidade e qualidade de água é o ponto em comum desta pesquisa.

Acredita-se que um passo importante no sentido de promover a segurança hídrica no Estado seja o fortalecimento da interação, integração, comprometimento e responsabilidade de entes públicos em todas as esferas governamentais, da sociedade civil e dos setores produtivos que dependem da água como insumo. É importante, ainda, o papel de cada cidadão na compreensão da água como recurso vital e estratégico para a vida e da força que todos podem exercer, conjuntamente, para promover a mudança de comportamento necessária à superação dos desafios deste século XXI.

3.5 Conflito pelo uso das águas

Conflitos pelo uso das águas são situações em que diferentes usuários ou partes interessadas disputam o acesso, controle ou gestão dos recursos hídricos de

uma determinada região. Esses conflitos podem surgir devido a uma série de fatores, incluindo escassez de água, competição por recursos limitados, divergências de interesses e prioridades, mudanças climáticas, pressões demográficas, desenvolvimento econômico e questões políticas, sociais e culturais.

De acordo com Vieira (2008), os conflitos em recursos hídricos começaram a ter uma maior relevância durante o século XX, pela alteração nas mudanças de percepção sobre segurança, utilização dos recursos naturais e meio ambiente. No Brasil, a distribuição de água entre os diversos setores usuários ainda ocorre de maneira desequilibrada e ineficiente, proporcionando quadros de escassez hídrica em diversas bacias hidrográficas. Dentre as regiões submetidas à falta de água para os diversos usos, destacam-se as que estão situadas em ambientes áridos e semiáridos, como é o caso de parte da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, área de estudo desta pesquisa.

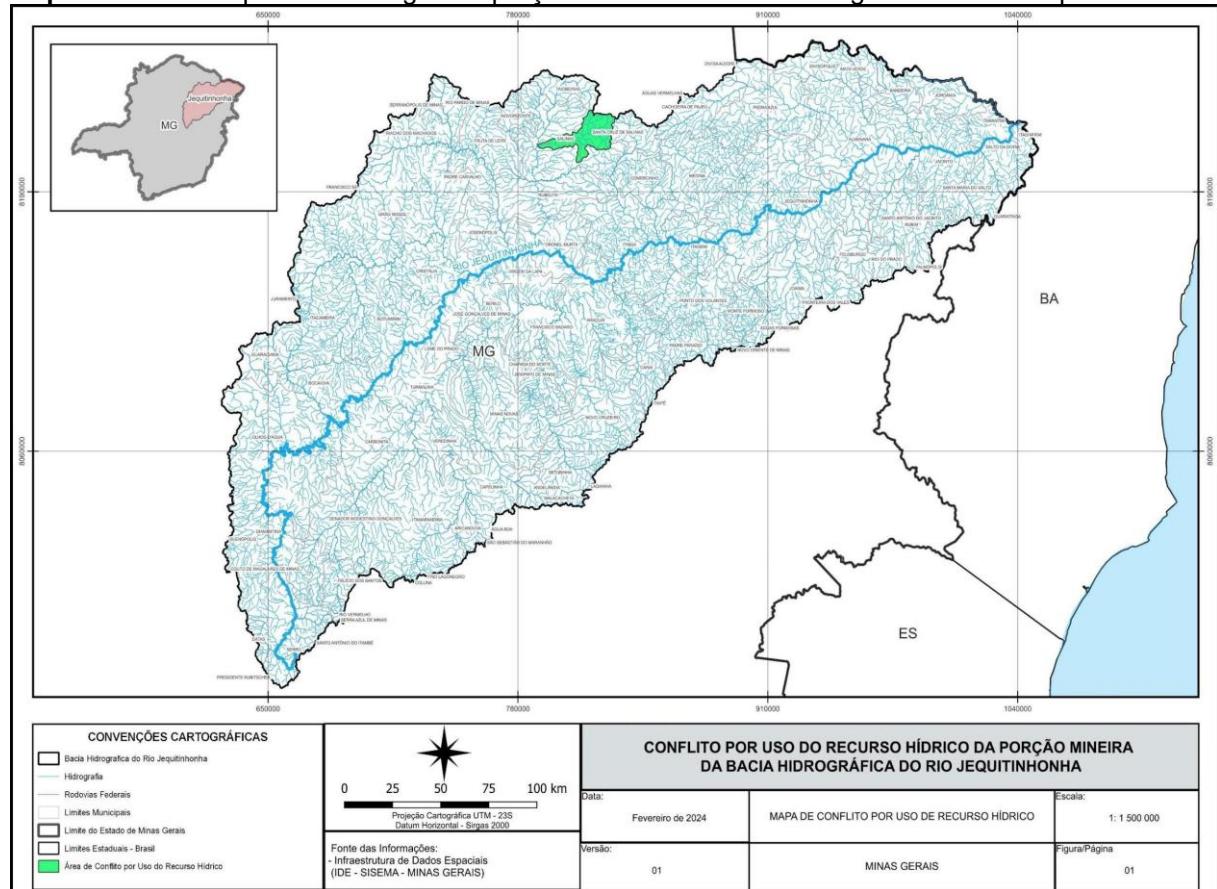
São ambientes que apresentam irregularidade intensa no regime de chuvas, longo período de estiagem anual e altas taxas de evapotranspiração, o que de certa forma, abre margem para reflexões e trabalhos quanto à escassez hídrica destas unidades territoriais e sua repercussão em cenários de pobreza (Maciel, 2021). Concomitante a este processo, na maioria dos casos, têm-se ainda a ineficiente gestão das águas, que geralmente ocorre de forma setorial e com superposição de atuações entre órgãos e planos governamentais, mesmo tendo como premissa a política recente que orienta o gerenciamento de forma sistêmica e participativa.

O Decreto 47.705, de 4 de setembro de 2019 aponta que as bacias hidrográficas podem ter situações de indisponibilidade hídrica após aferição do balanço hídrico das vazões outorgadas, em que a demanda de água é superior à vazão outorgável, no caso 50% da Q_{7,10}. Quando ocorre indisponibilidade hídrica, configura-se um conflito pelo uso da água, o que gera uma Declaração de Área de Conflito (DAC). Apesar de a Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha contemplar várias regiões que padecem com a situação de escassez hídrica, o Mapa 15 demonstra que a única área com conflito declarado por uso de água é a Bacia Hidrográfica do Rio Bananal, afluente do Rio Salinas.

A gestão eficaz dos conflitos pelo uso das águas requer uma abordagem integrada e colaborativa que promova o diálogo, a cooperação e a busca de soluções compartilhadas. Isso pode envolver a criação de instituições de gestão de água transparentes e participativas, o estabelecimento de acordos e tratados bilaterais ou

multilaterais entre partes interessadas, o uso de mecanismos de resolução de disputas e a promoção de práticas sustentáveis de uso da água que levem em consideração as necessidades de todos os envolvidos. É por este motivo que a socio-hidrologia é apresentada a seguir, lembrando que a abordagem preventiva também é importante, buscando evitar conflitos por meio do planejamento integrado e da gestão sustentável dos recursos hídricos.

Mapa 15- Conflitos pelo uso de água da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha



Fonte: IDE-SISEMA (Minas Gerais, 2024). Elaborado por: Soares, R. C. da S. (2024) em conjunto com Melo, M. P. de (2024).

3.6 Socio-hidrologia no contexto das análises integradas e tomadas de decisões

O diagnóstico relacionado à disponibilidade e qualidade das águas superficiais deve constituir uma etapa elementar para um efetivo planejamento e gestão dos recursos hídricos de uma determinada bacia hidrográfica. Os dados quantitativos e qualitativos, quando analisados de forma integrada, podem servir como uma importante ferramenta de tomada de decisão para aquelas bacias hidrográficas que

possuem comitês e agências de bacia hidrográfica. É importante que os dados referentes aos recursos hídricos sejam observados espacialmente por meio de produtos cartográficos, reforçando a importância da Geografia nos estudos de caráter ambiental.

A construção da socio-hidrologia, em uma tentativa de compreender o todo, definiu a metodologia analítica com base nas propostas de Galileu Galilei e René Descartes. Com base nestas propostas, percebeu-se que a divisão e subdivisão da totalidade em partes facilita a investigação individualizada para, posteriormente, entender a completude pelo somatório do conhecimento obtido parte a parte.

A partir da segunda metade do século XX, diferentes áreas científicas têm se desenvolvido aplicando a interdisciplinaridade (Thiesen, 2008), que denota o estabelecimento de relação recíproca entre as disciplinas (partes), e a integração, comunicação e confrontamento entre os conhecimentos das partes. Nesse sentido, a hidrologia é uma das partes cujo objeto de estudo é a água. Segundo definição da Unesco (1964), a hidrologia é uma ciência que trata sobre a água, em termos de ocorrência, circulação e distribuição no planeta, suas propriedades físicas e químicas e suas interações com os ambientes físicos e biológicos, incluindo suas respostas às atividades humanas. Resumidamente, pode-se definir que a hidrologia é o estudo das águas em aspectos quantitativos e qualitativos, considerando a influência unidirecional da sociedade sobre este recurso natural. Entretanto, não inclui a influência da água no ser humano.

De forma complementar, a sociologia tem a vida social humana, os grupos e as sociedades como objetos de estudo (Giddens, 2005) e aborda o desenvolvimento, a estrutura, a interação e o comportamento coletivo de grupos organizados de indivíduos. Contudo, apesar da influência entre a sociedade e a água ocorrer mutuamente, os limites das disciplinas hidrologia e sociologia dificultam essa compreensão (Vanelli e Kobiyama, 2019). A interdisciplinaridade entre a hidrologia e a sociologia proporciona a contribuição necessária para a constituição da interface para o desenvolvimento de ambas.

Portanto, a socio-hidrologia se refere ao desenvolvimento de um conhecimento com base na interação bidirecional sociedade e água, envolve múltiplas escalas, setores e agentes como objeto de estudo, resultando em uma relação que é o desafio central para se atingir a sustentabilidade. O crescente interesse no estudo da socio-hidrologia se deve à necessidade de incorporar explicitamente o comportamento e

decisões humanas em estudos hidrológicos. Na hidrologia tradicional, os seres humanos são conceituados como um agente externo ao sistema em estudo ou considerados como condições de contorno.

No entanto, a sociedade não é estática, e a socio-hidrologia indaga a respeito das interações multidirecionais que envolvem água e sociedade como parte de um único sistema dinâmico (Vanelli *et al.*, 2021). Diante dos crescentes desafios socioambientais globais, a democratização da ciência e a descentralização na tomada de decisões para impacto local/regional são cada vez mais exigidas, mas com uma visão global. Para alcançar um maior impacto social e contribuir a nível regulatório, as correntes que tratam das interações homem-ambiente devem contemplar e apoiar estes avanços nas metodologias participativas no domínio da sustentabilidade, não só no domínio da investigação, mas também no domínio social.

É fundamental esclarecer que, embora a socio-hidrologia ainda esteja em fase de consolidação, o seu enfoque está bem delimitado ao estudo das interações entre a sociedade e o sistema hidrológico, entendido como um sistema integrado ao longo do tempo e do espaço. Mediante este cenário, a pluralidade de características naturais e sociais existentes no Brasil oferece uma grande oportunidade para a compreensão do sistema acoplado ser humano-água, evidenciando, aqui neste estudo, as potencialidades e os desafios existentes para estímulo ao desenvolvimento de uma metodologia participativa que beneficie áreas que ainda sofrem as consequências da escassez hídrica.

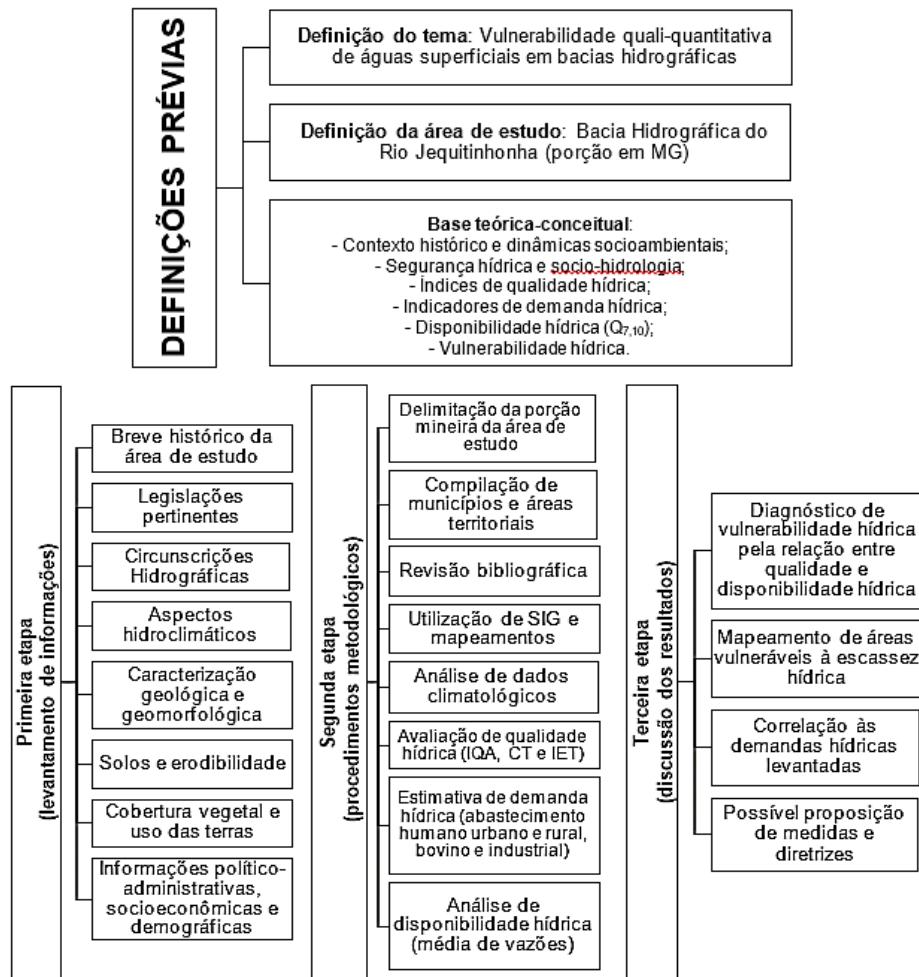
Muito mais que coletar informações e propor soluções, situações de risco iminente podem a ser identificadas e entendidas com maior facilidade, agilidade e proximidade se a comunidade estiver integrada às ferramentas e dispositivos. Dessa forma, quando da ocorrência de qualquer eventualidade em um ambiente, esse conhecimento contribui para a segurança dos indivíduos e maior qualidade na informação associada, o que torna as análises dos processos hidrológicos e hidrodinâmicos mais completas e precisas.

4 ROTEIRO METODOLÓGICO

A pesquisa é um processo de investigação para solucionar, responder ou aprofundar sobre uma indagação no estudo de um fenômeno, tendo, neste caso, a porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha como o universo escolhido

para análise, com base em conhecimento prévio de problemas de acesso hídrico por parte de algumas regiões inseridas nesta área. Com o intuito de conhecer tal realidade, uma reflexão crítica acerca dos aspectos envolvidos resultou no levantamento de dados que fundamenta a problematização e busca atender os objetivos propostos desta pesquisa, seguindo a sequência de etapas a seguir:

Fluxograma 1- Etapas desenvolvidas na pesquisa



Fonte: Melo, M. P. de (2024).

Com base nas etapas do roteiro metodológico apresentado, os próximos tópicos abrangem o detalhamento pertinente a cada um dos métodos, materiais, procedimentos e técnicas utilizados para apreensão, compreensão e síntese das informações coletadas e selecionadas para cada passo da presente pesquisa.

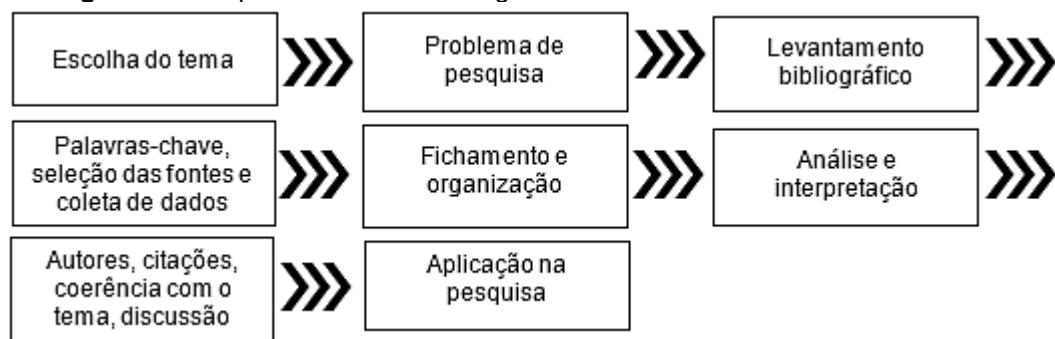
4.1 Base bibliográfica preliminar

A revisão de literatura é uma etapa dinâmica e contínua. À medida que se avança na pesquisa, novas descobertas podem exigir ajustes ou adições ao levantamento bibliográfico inicial. Além disso, fornece uma base teórica sólida, identifica lacunas no conhecimento existente e contextualiza o problema de pesquisa, contribuindo para o desenvolvimento de habilidades críticas de avaliação e síntese de conhecimento na área de pesquisa.

Consultar obras já publicadas, relevantes para conhecer e analisar o tema problema da pesquisa a ser realizada, auxilia a escolha de um método adequado por meio de instrumentos como: livros, artigos científicos, teses, dissertações, anuários, revistas, leis e outros tipos de fontes escritas que já foram publicadas. Como é uma pesquisa que se baseia no estudo da teoria já publicada, é fundamental que o pesquisador se aproprie no domínio da leitura do conhecimento e sistematize todo o material analisado.

As fontes de pesquisa podem ser classificadas em: a) fontes primárias: são informações do próprio pesquisador, bibliográfica básica. Exemplos: artigos, teses, anais, dissertações, periódicos e outros; b) fontes secundárias: são bibliografias complementares, que facilitam o uso do conhecimento desordenado e trazem o conhecimento de modo organizado. Exemplo: enciclopédias, dicionários, bancos de dados, livros e outros; c) fontes terciárias: são as guias das fontes primárias, secundárias e outros. Exemplos: catálogos de bibliotecas, diretórios, revisões de literatura e outros.

Fluxograma 2- Etapas da consulta bibliográfica



Fonte: Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

A etapa da revisão bibliográfica incluiu a investigação em livros, e-books,

artigos, dissertações e teses acerca da caracterização histórica, fisiográfica e socioeconômica da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, com sobreposição de componentes físico-geográficos relacionados à qualidade e disponibilidade natural de águas superficiais e segurança hídrica, sob a ótica da vulnerabilidade da área de estudo elegida. Tal procedimento teve por intuito embasar teoricamente as discussões relacionadas à falta de acesso à água por algumas regiões dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, norteada pelos conceitos mais atuais de planejamento, desenvolvimento, distribuição e administração eficiente dos recursos hídricos.

4.2 Análise documental

A análise documental pode ser desenvolvida a partir de várias fontes, de diferentes documentos, não somente o texto escrito, uma vez que excluindo materiais com tratamento analítico, é ampla a definição do que se entende por documentos. A proposta metodológica pode ser utilizada como método qualitativo e/ou quantitativo e tem como preocupação buscar informações concretas nos diversos documentos selecionados como corpo da pesquisa.

Destaca-se, portanto, a pesquisa qualitativa como percurso metodológico do presente estudo, entendida como instrumento de compreensão detalhada, em profundidade dos fatos que estão sendo investigados. É necessário deixar claro que o uso da análise documental - que busca identificar informações factuais nos documentos a partir de questões e hipóteses de interesse - utiliza o documento como objeto de estudo.

Os diferentes documentos, entre eles leis, fotos, imagens, revistas, filmes, vídeos, postagens e mídias sociais, entre outros, são definidos por não terem sofrido um tratamento. Entretanto, permite acrescentar a dimensão do tempo à compreensão do social, como um método de coleta de dados que elimina, ao menos em parte, a eventualidade de qualquer influência – presença ou intervenção do pesquisador – do conjunto das interações, acontecimentos ou comportamentos pesquisados, anulando a possibilidade de reação do sujeito à operação de medida.

Tanto a pesquisa documental como a pesquisa bibliográfica têm o documento como objeto de investigação. No entanto, o conceito de documento ultrapassa a ideia de textos escritos e/ou impressos. Esses documentos são utilizados como fontes de

informações, indicações e esclarecimentos que trazem seu conteúdo para elucidar determinadas questões e servir de prova para outras, de acordo com o interesse do pesquisador (Figueiredo, 2007). Tendo em vista essa dimensão fica claro existir diferenças entre pesquisa documental e pesquisa bibliográfica.

Para este estudo as consultas documentais foram pautadas em legislações, resoluções e portarias federais, estaduais e municipais, referentes a recursos hídricos, além de planos, projetos e programas governamentais de apoio à gestão da água, elaborados a partir da articulação dos órgãos, entidades, agências e organismos colegiados de instância política-administrativa, compostos por poder público, usuários da água e sociedade civil.

4.3 Materiais, softwares e arquivos digitais

Estudos geossistêmicos de bacias hidrográficas necessitam da utilização de ferramentas computacionais de análise, capazes de manipular os dados e gerar novas informações para tomadas de decisões e gerenciamento dos recursos hídricos. Nesse sentido, para esta pesquisa utilizaram-se algumas técnicas do geoprocessamento para demonstração dos resultados e discussões.

Para o desenvolvimento dos mapas temáticos dos componentes físico-geográficos e ambientais da presente pesquisa, foram utilizados softwares e arquivos diversos disponíveis gratuitamente em endereços eletrônicos governamentais. O software SIG QGIS 3.4.13 *with* GRASS 7.6.1 (software livre com código aberto) foi empregado, assim como o Google Earth Pro (versão 7.3) para auxílio e conferência em imagens de satélite. Os principais arquivos e dados digitais consultados e baixados em pelo menos uma etapa do trabalho estão apresentados no Quadro 13.

Para elaboração dos mapas-síntese, conclusivos para os tópicos finais de vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais da área de estudo, procedimentos de sobreposição foram empregados, com os pesos destinados à classificação adotada para cada componente, inseridos nas tabelas de atributos dos arquivos vetoriais e, em seguida, convertidos em imagens *raster* no QGis 3.8. A vulnerabilidade resultou da média entre os valores dos temas: 1) disponibilidade de águas superficiais; 2) áreas de conflito pelo uso da água; e 3) qualidade hídrica superficial, contextualizados às demandas hídricas levantadas, nos moldes da adaptação metodológica apresentada por Rosa e Ferreira (2002).

Quadro 13- Arquivos e dados digitais utilizados para confecção dos mapas desta pesquisa

TIPO DE ARQUIVO	DADOS DIGITAIS
Arquivos vetoriais <i>(shapefiles)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Malhas territoriais, com divisas estaduais e limites municipais (IBGE, 2023); - Rodovias (DNIT, 2024); - Circunscrições Hidrográficas de Minas Gerais (IDE-SISEMA, 2022); - Temas geologia, geomorfologia e pedologia, escala 1:250.000 (IBGE, 2023); - Rede drenagem do estado de Minas Gerais, escala 1:100.000 (IDE-SISEMA, 2022); - Uso e cobertura da terra – Projeto MapBiomass, escala 1:250.000 (IDE-SISEMA, 2023); - Áreas de conflito pelo uso da água (IDE-SISEMA, 2023); - Base hidrográfica Ottocodificada (trechos de drenagem, áreas de contribuição hidrográfica, cursos d'água, escala 1:100.000 (Hidroweb-ANA, 2017).
Imagens de satélite <i>(gratuitas)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Imagens SRTM para obtenção da hipsometria e declividade, resolução espacial de 90 m (IDE-SISEMA, 2022); - Imagem <i>raster</i> da cobertura e uso do solo do estado de Minas Gerais a partir de imagens de satélites Landsat 8, resolução espacial de 30 m, referente ao ano de 2023 (IDE-SISEMA, 2023); - Auxílio do Google Earth Pro, versão 7.3.
Dados diversos	<ul style="list-style-type: none"> - Mapa geológico do estado de Minas Gerais elaborado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM – Serviço Geológico do Brasil) e Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG), escala 1:1.000.000 (IDE-SISEMA, 2023); - Dados pluviométricos obtidos junto ao portal ANA/HidroWeb, referente ao período 1988- 2023 (ANA, 2023); - Dados de qualidade das águas superficiais, referente ao período de 2014 a 2021 (IGAM, 2021); - Dados de disponibilidade hídrica (Hidroweb-ANA, 1985 a 2021); - Dados de demanda hídrica industrial (CNAE 2.0) (CNI, 2021; IBGE, 2015; SNIRH-ANA, 2021); - Dados de demanda hídrica bovina (IBGE-PPM, 2020); - Dados de demanda hídrica populacional – Censo (IBGE, 2010).

Fonte: Elaborado por Melo, M. P. de (2025).

4.4 Levantamento de disponibilidade hídrica de vazões de referência

Para além do referencial teórico-conceitual com enfoque nos principais conceitos, abordagens, interrelações cabíveis e aparatos metodológicos adotados das referidas temáticas, a etapa de seleção de dados inclui uma base com disponibilidade temporal e qualidade de distribuição que garante a integração das variáveis selecionadas. No Brasil, a Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), administrada pela ANA, é a principal fornecedora de dados hidrológicos. O Portal HidroWeb é uma ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos

(SNIRH) e oferece o acesso ao banco de dados que contém todas as informações coletadas pela RHN, reunindo dados de níveis fluviais, vazões, chuvas, climatologia, qualidade da água e sedimentos.

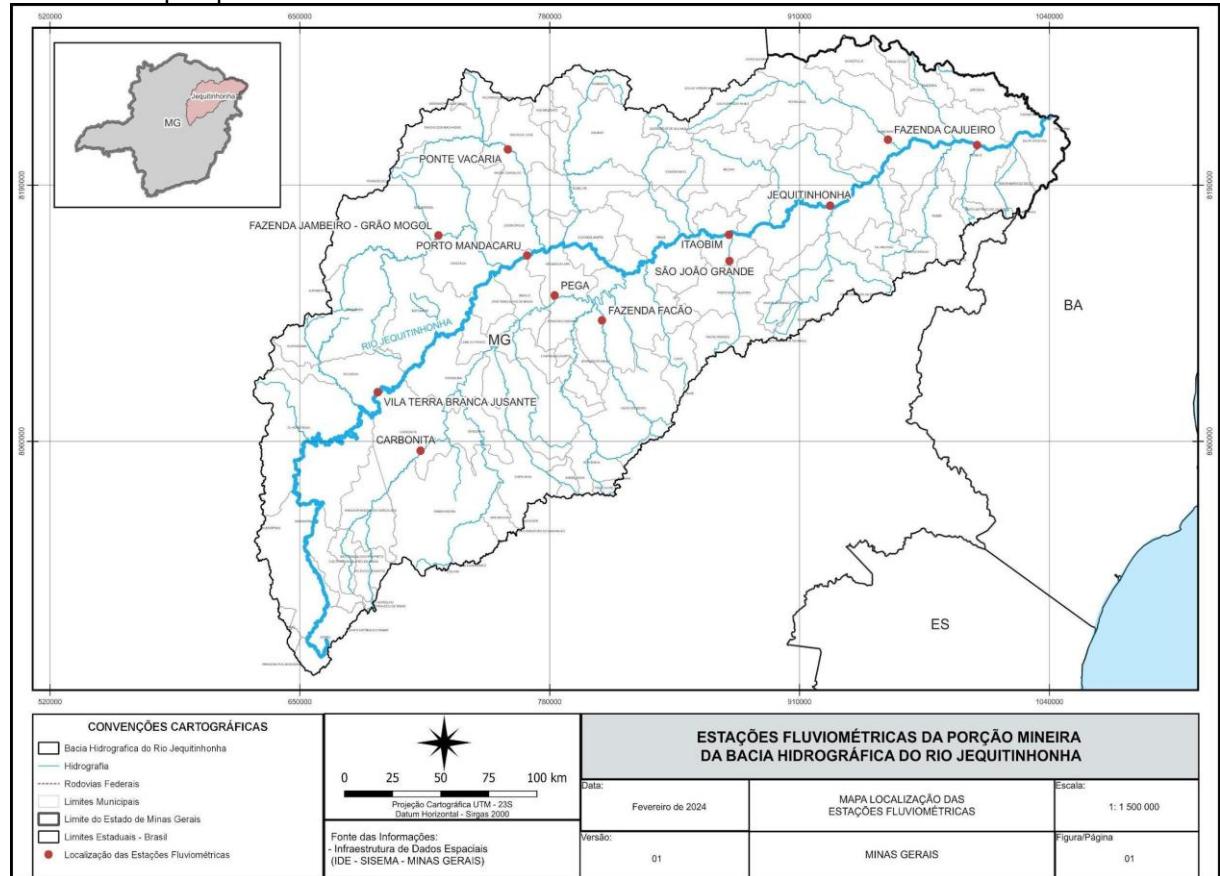
Os dados disponíveis no Portal HidroWeb se referem à coleta convencional de dados hidrometeorológicos, por meio de registros diários feitos pelos observadores e medições feitas em campo pelos técnicos em hidrologia e engenheiros hidrólogos. De posse dessas informações é possível, também, acompanhar a ocorrência de eventos hidrológicos considerados críticos, inundações e secas, para, então, planejar medidas de mitigação dos impactos decorrente desses eventos.

As bases de informações do Portal Hidroweb (ANA, 2017), organizadas em arquivos do tipo *shapefile* - GEOFT_INFO_GERAL_FLUVIOMETRICA, trazem um conjunto amplo de informações relacionadas às estações fluviométricas disponíveis atualmente. Em relação às informações oriundas do inventário de estações e as que foram incorporadas à esta pesquisa, considerou-se: o código, o nome, o rio, a data inicial do primeiro registro, a data final do último registro, se a estação está em operação, a área de drenagem, o percentual de dados brutos, o percentual de dados consistidos, o percentual de falha, o número de anos sem falha nos dados e o número de anos sem falha nos dados considerando uma tolerância de 10% de falhas.

Já em relação às principais características hidrológicas dos registros históricos das estações fluviométricas, foram analisadas: média (q_{mlt}), mínima (q_{min}), máxima (q_{max}), valores da curva de permanência, coeficiente de variação anual, coeficiente de variação sazonal, permanências com 90% (Q_{90}) e 95% (Q_{95}) para cada mês, a vazão média (q_{mlt}) de cada mês, as vazões mínimas de 7 e 30 dias com tempo de retorno de 10 anos, o mês inicial do ano hidrológico e os meses mais úmidos e secos.

Para este estudo, foram selecionados 12 postos fluviométricos para análise dos dados de vazão, baixados e transferidos para o Sistema de Informações Hidrológicas (Hidro.MDB) Versão 1.4 (compilação 1.4.0.83) 2018 – SGH/ANA, onde foram exportados para planilhas de Excel e refinados, levando-se em conta a consistência dos dados disponíveis, principalmente, aqueles que apresentaram um menor número de falhas e séries históricas mais longas, visando, portanto, uma maior representatividade e veracidade dos resultados.

Mapa 16- Postos fluviométricos elegidos da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha adotados na pesquisa



Fonte: IDE-SISEMA (Minas Gerais, 2024). **Elaborado por:** Soares, R. C. da S. (2024) em conjunto com Melo, M. P. de (2024).

De posse de todos os dados dos postos fluviométricos, trabalhados, anteriormente, em planilhas de Excel, com a confecção de gráficos que refletem as vazões ocorridas em épocas secas e chuvosas, considerando o período de 1985 a 2021, houve, ainda, a transposição dos dados para o Sistema Computacional para Análise Hidrológica (SisCAH 1.0). É um software desenvolvido por uma rede de pesquisa coordenada pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH), da Universidade Federal de Viçosa (UFV), que utiliza como base de dados os arquivos nos formatos txt e mdb, disponibilizados na internet pela ANA, por meio do Portal Hidroweb.

Pelo SisCAH foram importados os arquivos de séries históricas de vazão, realizado o pré-processamento da série, obtidas as estimativas de vazões mínimas ($Q_{7,10}$, Q_{95} , Q_{90}) e as curvas de permanência, possibilitando o acompanhamento da capacidade de fornecimento hídrico, como funcionalidade que se integra a outros sistemas e base de dados.

Tabela 10- Relação e localização dos postos fluviométricos utilizados da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha

Nº	CURSO D'ÁGUA	MUNICÍPIO INSTALAÇÃO	NOME DO POSTO	CÓDIGO DO POSTO	LAT. (S)	LONG. (W)	ALTIT. (m)
1	Rio São Francisco	Almenara	Fazenda Cajeiro	54770000	16°07'12"	40°44'21"	200
2	Rio Gravataí	Araçuaí	Fazenda Facão	54485000	16°58'16"	42°06'56"	350
3	Rio Jequitinhonha	Bocaiúva	Vila Terra Branca – Jusante	54010005	17°18'46"	43°12'28"	599
4	Rio Araçuaí	Carbonita	Carbonita	54230000	17°34'45"	42°59'43"	602
5	Rio Itacambiruçu	Grão Mogol	Fazenda Jambeiro	54110002	16°35'29"	42°55'06"	750
6	Rio Jequitinhonha	Grão Mogol	Porto Mandacaru	54150000	16°40'44"	42°29'08"	273
7	Rio Jequitinhonha	Itaobim	Itaobim	54580000	16°34'09"	41°30'11"	238
8	Ribeirão São João	Itaobim	São João Grande	54590000	16°41'22"	41°29'55"	400
9	Rio Jequitinhonha	Jacinto	Jacinto	54780000	16°08'09"	40°18'22"	160
10	Rio Jequitinhonha	Jequitinhonha	Jequitinhonha	54710000	16°25'39"	41°00'49"	208
11	Rio Vacaria	Salinas	Ponte Vacaria	54165000	16°11'36"	42°35'06"	600
12	Rio Araçuaí	Virgem da Lapa	Pega	54390000	16°51'36"	42°20'54"	290

Fonte: ANA (2018); Maciel, S. A. (2018). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

A fim de compreender a produção hídrica ao longo da Bacia optou-se por utilizar as médias das vazões mínimas de cada posto pertencente às áreas de contribuição selecionadas na área de estudo, para representação espacial e mapeamento. Por isso, a curva de permanência, que relaciona valores das vazões observadas às porcentagens com que eles foram superados durante um período de observações,

serve de destaque para a identificação da frequência de ocorrência de um valor ao longo de todo o período. Os resultados da relação chuva-vazão, ilustrados por meio de gráficos, permitem a avaliação das variáveis quanto aos aspectos de variabilidade temporal, das periodicidades anuais, do comportamento nas estações secas e úmidas, dentre outras análises.

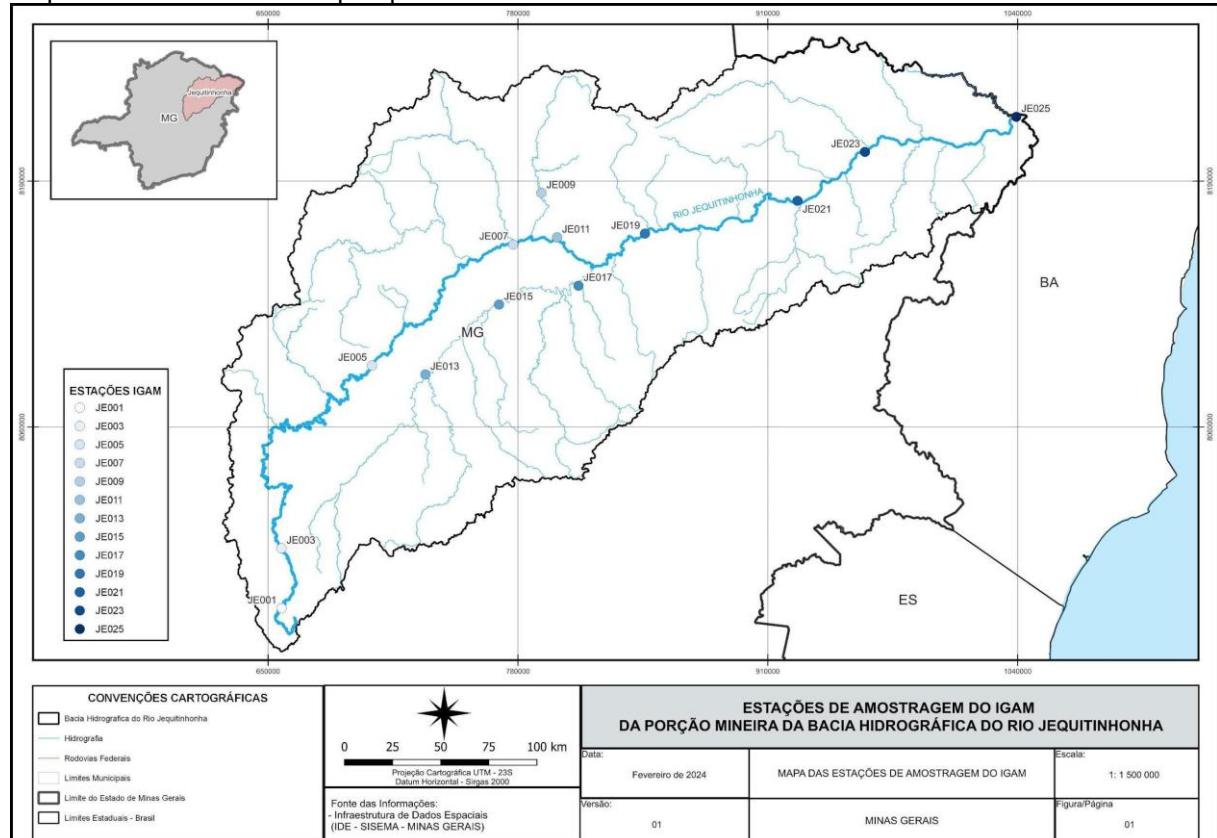
De posse, então, do aporte metodológico para estimar a disponibilidade hídrica superficial da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, para analisar o atendimento às demandas de água por parte da população urbana e rural, atividades industriais e rebanho bovino, envolvendo variabilidade temporal, quantidade média em áreas de contribuição dos postos fluviométricos, usos e ocupações atuais, o Tópico 4.5., a seguir, apontará os caminhos para avaliação das águas, por meio de índices específicos.

4.5 Levantamento de qualidade hídrica e indicadores de contaminação

O levantamento da qualidade das águas superficiais na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha é realizado por meio da avaliação das alterações nas características físico-químicas e hidrobiológicas pelo IGAM, em articulação com os demais órgãos e entidades do SEGRH-MG. Por isso, trabalha-se com uma média dos índices, para cada uma das campanhas (seca e chuvosa), em pontos de amostragem selecionados, de forma a obter uma síntese qualitativa (panorama) a cada ano.

Os indicadores de qualidade das águas superficiais foram criados no intuito de traduzir de forma concisa e objetiva para a sociedade a influência que as atividades ligadas aos processos de desenvolvimento provocam na dinâmica ambiental dos ecossistemas aquáticos. Os resultados da série histórica elegida, de 2014 a 2021, compreenderam 13 estações de amostragem da rede básica de monitoramento (Mapa 17), e estão descritos em tabelas e representados em gráficos no Capítulo 5, para melhor compreensão da avaliação, seguindo as etapas metodológicas abaixo para todos os indicadores de qualidade levantados, considerando os relatórios anuais do período citado.

Mapa 17- Estações de amostragem elegidas do IGAM da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha adotados na pesquisa



Fonte: IGAM (Minas Gerais, 2024). **Elaborado por:** Soares, R. C. da S. (2024) em conjunto com Melo, M. P. de (2024).

Dentre os parâmetros utilizados para medir a condição dos corpos hídricos da área de estudo, foram considerados o IQA, CT e IET, dispostos nos tópicos seguintes (4.5.1, 4.5.2 e 4.5.3), essenciais para gestão e monitoramento das águas, auxiliando na identificação de elementos e cargas poluidoras, prevenção de riscos para a saúde pública e meio físico, além de orientação e ações corretivas quando necessário, preservando a qualidade hídrica.

4.5.1 Índice de Qualidade das Águas (IQA)

Para avaliar a qualidade hídrica na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha foi utilizado o Índice de Qualidade de Água (IQA), composto por vários parâmetros, e que consiste em uma metodologia norte-americana, refletindo a sua contaminação por ações humanas, tais como esgoto doméstico, resíduos industriais ou agropecuários.

Para elaboração, aplicação e compreensão de um IQA é importante que se

conheça os fatores que irão interferir nos resultados. Também é preciso identificar as facilidades e limitações dos IQA's disponíveis, para que se possa fazer uma seleção apropriada, capaz de refletir do melhor modo a realidade dos recursos hídricos de uma determinada bacia hidrográfica.

O tratamento dos dados da mencionada pesquisa cumpre o padrão estabelecido pelo IGAM, definido pelo conjunto dos parâmetros considerados mais representativos para a caracterização da qualidade das águas conforme demonstrado abaixo. A cada parâmetro é atribuído um peso (Quadro 14), de acordo com a sua importância relativa no cálculo do IQA. Em 2013, o valor do parâmetro coliformes termotolerantes foi substituído pelo de *Escherichia coli*.

Quadro 14- Pesos atribuídos aos parâmetros para cálculo do IQA

PARÂMETRO	CLASSE
Oxigênio dissolvido – OD (%ODSat)	0,17
Coliformes termotolerantes*(NMP/100mL)	0,15
pH	0,12
Demandra bioquímica de oxigênio – DBO (mg/L)	0,10
Nitratos (mg/L NO ₃ -)	0,10
Fosfato total (mg/L PO ₄ ⁻²)	0,10
Variação da temperatura (°C)	0,10
Turbidez (UNT)	0,08
Sólidos totais (mg/L)	0,08

Fonte: Resumo Executivo Anual - IGAM (2017). Elaborado por Melo, M. P. de (2023).

Como o IQA é particularmente sensível à contaminação por esgotos, sendo um índice de referência normalmente associado à qualidade da água bruta captada para o abastecimento público após o tratamento, reflete a interferência por esgotos domésticos e outros materiais orgânicos, nutrientes e sólidos. Dessa forma, o Quadro 15 foi elaborado a partir dos dados do IGAM (2017), para caracterizar a classificação adotada, a fim de enquadrar os valores de IQA às suas destinações apropriadas.

Quadro 15- Classes do Índice de Qualidade da Água

VALOR IQA	CLASSE	SIGNIFICADO
90 < IQA ≤ 100	Excelente	
70 < IQA ≤ 90	Bom	Águas apropriadas para tratamento convencional visando ao abastecimento público.
50 < IQA ≤ 70	Médio	
25 < IQA ≤ 50	Ruim	Águas impróprias para tratamento convencional visando ao abastecimento público, sendo necessários tratamentos mais avançados.
IQA ≤ 25	Muito ruim	

Fonte: Resumo Executivo Anual - IGAM (2017). Elaborado por Melo, M. P. de (2023).

Espera-se que os parâmetros físicos, químicos e biológicos usados no cálculo do IQA, que consistem em indicadores de contaminação, especialmente pela ação antrópica, reflitam os efeitos de vários processos ao longo do percurso dos cursos fluviais e as influências recebidas, tanto em estação seca como chuvosa. Esta análise de atributos permitirá evidenciar se a qualidade hídrica superficial à jusante dos pontos de amostragem e da Bacia em estudo como um todo está comprometida, ou não, desde sua nascente, por atividades agropecuárias ou por lançamento de esgotos domésticos, que potencializam os impactos socioambientais.

4.5.2 Contaminação por Tóxicos (CT)

O índice de Contaminação por Tóxicos (CT), adotado pelo IGAM, avalia a presença de 13 substâncias tóxicas nos corpos hídricos, quais sejam: arsênio total, bário total, cádmio total, chumbo total, cianeto livre, cobre dissolvido, cromo total, fenóis totais, mercúrio total, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacial total e zinco total. Estes contaminantes podem ser de origem industrial, de mineração e, também, contaminação difusa. 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 Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais (CERH-MG), na Deliberação Normativa Conjunta nº 01, de 05 de maior de 2008.

Segundo esta normativa, a CT é caracterizada como Baixa, Média ou Alta. Comparam-se os valores analisados com os limites definidos nas classes de

enquadramento dos corpos de água, dispostos nos Art. 13 a 16 da Seção II. A denominação Baixa refere-se à ocorrência de substâncias tóxicas em concentrações que excedam em até 20% o limite de classe de enquadramento do trecho do corpo de água onde se localiza a estação de amostragem. A contaminação Média refere-se à faixa de concentração que ultrapasse os limites mencionados no intervalo de 20% a 100%, enquanto a contaminação Alta refere-se às concentrações que excedem em mais de 100% os limites.

Quadro 16- Classes da Contaminação por Tóxicos

Valor CT em relação à classe de enquadramento	CLASSE	SIGNIFICADO
Concentração ≤ 1,2 P	Baixa	Refere-se à ocorrência de substâncias tóxicas em concentrações que excedem em até 20% o limite de classe de enquadramento do trecho do corpo de água onde se localiza a estação de amostragem.
1,2 P < Concentração ≤ 2 P	Média	Refere-se à faixa de concentração que ultrapasse os limites mencionados no intervalo de 20% a 100%.
Concentração > 2P	Alta	Refere-se às concentrações que excedem em mais de 100% os limites.

Fonte: Resumo Executivo Anual - IGAM (2017). Elaborado por Melo, M. P. de (2023).

Neste sentido, a pior situação identificada no conjunto total de resultados das campanhas de amostragem, para qualquer parâmetro tóxico, define a faixa de contaminação do período em consideração. Portanto, se apenas um dos parâmetros tóxicos em uma dada estação de amostragem mostrar-se com valor acima de 100%, isto é, o dobro da sua concentração limite apontada na Deliberação Normativa Conjunta, citada anteriormente, em pelo menos uma das campanhas do ano, a Contaminação por Tóxicos naquela estação de amostragem será considerada Alta no ano em análise.

4.5.3 Índice de Estado Trófico (IET)

O crescente aumento dos níveis de clorofila-a e nutrientes, especialmente de fósforo total, nos corpos de água monitorados em Minas Gerais, tem alertado para o desenvolvimento de estudos que contribuam para um melhor entendimento da relação

causa-efeito entre os processos produtivos e seu impacto ambiental em ecossistemas aquáticos. Portanto, a partir do ano de 2008, o Programa Águas de Minas passou a utilizar o IET para contribuir na avaliação da qualidade das águas.

O IGAM recomenda, como uma das formas de classificar corpos hídricos em diferentes graus de trofia, em sua metodologia, os parâmetros de clorofila a e fósforo total, uma vez que os valores de transparência muitas vezes não são representativos do estado de trofia, pois esta pode ser afetada pela elevada turbidez decorrente de material mineral em suspensão e não apenas pela densidade de organismos planctônicos, além de muitas vezes não se dispor desses dados. Desse modo, a transparência é desconsiderada no cálculo do IET. Seguem os estados de trofia no Quadro 17.

Quadro 17- Classes do Índice de Estado Trófico

VALOR IET	CLASSE	SIGNIFICADO
IET ≤ 47 47 < IET ≤ 52	Ultraoligotrófica	Corpos de água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que acarretam prejuízos aos usos da água.
	Oligotrófica	Corpos de água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre o uso da água, decorrentes da presença de nutrientes.
52 < IET ≤ 59	Mesotrófica	Corpos de água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade de água, em níveis aceitáveis, na maioria dos casos.
59 < IET ≤ 63	Eutrófica	Corpos de água com alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos.
63 < IET ≤ 67	Supereutrófica	Corpos de água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem com frequência alterações indesejáveis na qualidade da água, como a ocorrência de episódios de florações de algas, e interferências nos seus múltiplos usos.
IET > 67	Hipereutrófica	Corpos de água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a episódios de florações de algas ou mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.

Fonte: Resumo Executivo Anual - IGAM (2017). Elaborado por Melo, M. P. de (2023).

Como a eutrofização é um fenômeno natural que pode ser acelerado por atividades humanas, como agricultura intensiva, lançamento de efluentes domésticos e industriais e desmatamento, ele pode ser usado para identificar áreas onde são necessárias medidas de controle da poluição e para avaliar a eficácia das ações tomadas para reduzir a eutrofização e melhorar a qualidade da água.

Encerrando a estrutura metodológica para os índices de qualidade das águas da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, são descritas, a seguir, no Tópico 4.6, as demandas de água efetivamente consumidas ou perdidas de maneira irreversível, sem retorno imediato para o sistema hídrico. Os componentes abordados ao longo deste levantamento incluem o consumo humano (urbano e rural), indústria e rebanho bovino, identificados por meio de fontes de demanda, Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e cálculos de estimativas, como prática importante para garantir que as águas sejam utilizadas de maneira eficiente e sustentável.

4.6 Levantamento de demanda hídrica consuntiva

Um levantamento de demanda hídrica consuntiva é uma avaliação que visa determinar a quantidade de água necessária para atender às diferentes atividades humanas e setores econômicos em uma determinada região. Alguns passos envolvem este levantamento: a) identificação dos setores de uso da água; b) coleta de dados sobre o uso de cada setor; c) cálculo da demanda consuntiva; d) análise dos resultados; e) desenvolvimento de estratégias de gestão das águas, em função da estimativa de demandas futuras.

Os Tópicos 4.6.1, 4.6.2 e 4.6.3, demonstram como o consumo consuntivo de água foi analisado e calculado para a referida Bacia, ressaltando que os métodos não atingem a máxima precisão, em razão de ajustes e aproximações nos valores utilizados, determinando, então, mesmo que em função de dados prontos, estimativas para entender a gestão deste consumo.

4.6.1 Empreendimentos industriais

A demanda hídrica na indústria é uma das atribuições da ANA, produzindo e atualizando informações sobre o balanço hídrico quantitativo nacional, que é a relação entre as demandas de uso dos diferentes setores usuários e a disponibilidade de água.

Com vistas ao melhor planejamento e gestão dos recursos hídricos no âmbito do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), esforços têm sido empenhados para aprimorar as informações e bases cadastrais em articulação com as representações setoriais, a exemplo do Portal da Indústria, plataforma desenvolvida pela Confederação Nacional da Indústria (CNI).

A ausência de bases cadastrais de vazões sistematizadas, inconsistências em bancos de dados de outorgas e incompatibilidade de conceitos, métodos e dados disponíveis fazem com que as estimativas indiretas surjam como alternativa necessária, notadamente em escalas regionais e nacional. Assim, a ANA apresenta o estudo Água na Indústria: Uso e Coeficientes Técnicos, como parte dos esforços para produção e disseminação de informações sobre estimativas de demanda hídrica da indústria de transformação brasileira.

É um trabalho que estima coeficientes técnicos a partir dos dados do Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH-ANA), que engloba usuários de recursos hídricos de domínio da União e dos Estados, consolidando uma amostra da indústria de transformação que permite a obtenção das relações entre volume de água captado (volume médio anual) e o número de empregados, por tipologia industrial. Para consideração das tipologias industriais, foi utilizada a Classificação Nacional de Atividades Econômicas, versão 2.0 (CNAE), ordenada de forma hierarquizada em cinco níveis: seção, divisão, grupo, classe e subclasse, de modo que a estrutura completa contempla 21 seções, 87 divisões, 285 grupos, 673 classes e 1.301 subclasses.

A CNAE permite uma organização hierárquica e detalhada das atividades econômicas, visto que cada código corresponde à uma atividade específica, facilitando a organização tributária, fiscal e econômica do Brasil. A estrutura da CNAE 2.0 é composta por um código numérico com sete dígitos, e sua divisão hierárquica é a seguinte:

- 1 Divisão (2 dígitos): Refere-se ao segmento geral da atividade econômica;
- 2 Grupo (4 dígitos): Refina as atividades dentro de uma divisão;
- 3 Classe (5 dígitos): Especifica ainda mais as atividades dentro de um grupo;
- 4 Subclasse (7 dígitos): A categoria mais detalhada, que descreve de maneira precisa a atividade econômica.

Para este estudo, o foco se concentrou na evolução da demanda hídrica por município, de 1970 a 2024, com relação às atividades industriais, conforme

metadados disponibilizados pelo SNIRH-ANA em planilha de Excel, reorganizada de acordo com o consumo total anual municipal, em m³/s, com auxílio de gráficos. Assim, as maiores demandas e os municípios que mais consomem água, foram representados e analisados em contexto socioambiental e econômico.

4.6.2 Rebanho bovino

Para a estimativa da demanda hídrica bovina recorreu-se a coeficientes adotados no Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste do Brasil (PLIRHINE-SUDENE, 1980) e ao Censo Agropecuário, com dados extraídos da Produção da Pecuária Municipal (PPM) para o ano de 2020, disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

O consumo diário de água por animais varia conforme a espécie - uma vez que a maior parte está relacionada às demandas fisiológicas dos animais - o tamanho e estágio de desenvolvimento, fatores determinantes na demanda hídrica per capita, também influenciada pelas condições ambientais e de manejo. Por isso, a maioria das metodologias aplicadas em trabalhos desta natureza utilizam, de maneira simplificada, informações de contagem de rebanhos para estimativa do uso consuntivo de água. Os dados de outorgas não indicam a demanda real porque há usos clandestinos e propriedades que não se enquadram na obrigatoriedade de obtê-las. Além disso, as propriedades regularizadas podem estar consumindo além ou aquém dos volumes outorgados.

Para quantificar, então, o rebanho bovino (número de cabeças), foram consideradas as informações sobre os efetivos da pecuária existentes nos municípios mineiros da área de estudo na data de referência do levantamento, 31 de dezembro, bem como outras variáveis sobre a produção de origem animal e o seu respectivo valor no ano em questão. Esta constitui a principal fonte de estatísticas sobre o tema, não só para o planejamento público e privado desse segmento econômico, como também para a comunidade acadêmica e o público em geral. Os mamíferos quantificados foram representados pelas espécies *Bos indicus* (boi indiano) ou *Bos taurus* (boi europeu), independentemente de sexo, idade, raça ou finalidade (corte, leite ou trabalho), conforme PPM (IBGE, 2020).

Para a construção deste trabalho, além deste levantamento, foram considerados os coeficientes técnicos aplicados por Ferreira e Saadi (2011), baseados

em estudos internacionais, sobre disponibilidade e demanda hídrica animal nesta mesma área de estudo. Segundo estes autores, para o cálculo do total de água per capita consumido na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, deve-se considerar o coeficiente de 50 litros por cabeça de gado bovino por dia.

4.6.3 População urbana e rural

Como a modelagem do consumo humano de água é um instrumento imprescindível para o planejamento e fundamental à gestão do saneamento, oferecendo condições de projetar o futuro com base no comportamento observado no passado, concede, portanto, oportunidade de moldar as tendências futuras. Por esta razão, a realização da estimativa de demanda hídrica para o abastecimento, tornou-se necessária.

A compilação dos dados censitários e a elaboração da projeção das populações urbanas e rurais de cada município alocado dentro da Bacia Hidrográfica em estudo, para os anos de 2010 e 2022, tiveram como base os censos geográficos realizados pelo IBGE, indicador sociodemográfico que constitui a principal fonte de metadados estatísticos, não só para alimentar as bases de informações de Ministérios e Secretarias Estaduais e Municipais da área social, mas para implementar políticas públicas e avaliar seus respectivos programas.

Associando aos coeficientes adotados como parâmetro por pessoa, em litros, ao dia, para estimar a quantidade média de água consumida, segundo Ferreira e Saadi (2011), a Tabela 11 considera a demanda em função da quantidade de habitantes dos municípios.

Tabela 11- Coeficientes de demanda hídrica humana aplicáveis à porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha

DEMANDA HÍDRICA PARA ABASTECIMENTO HUMANO	DEMANDA EM LITROS/HAB/DIA
Municípios até 5.000 habitantes	100
Municípios de 5.000 a 20.000 habitantes	150
Municípios de 20.000 a 100.000 habitantes	175
População rural	70

Fonte: ANA (2015); Ferreira, V. O. e Saadi, A. (2011). Elaborado por Melo, M. P. de (2023).

Neste sentido, após a realização dos cálculos por este enquadramento apresentado na Tabela 11, os resultados atribuídos foram organizados em tabelas, por município, caracterizando e estimando o uso da água para as populações urbanas e rurais, de forma distinta.

4.7 Relação entre disponibilidade e demanda hídrica

Para avaliar a sensibilidade da Bacia à pressão sobre seus recursos hídricos, especialmente em relação ao aumento ou escassez de água relacionada a fatores como mudanças climáticas, crescimento populacional, padrões de uso da água e variabilidade da oferta hídrica, o Índice de Disponibilidade Hídrica (IDH) torna-se útil para identificar áreas vulneráveis, aliado à análise qualitativa. Como mede a relação entre a oferta hídrica (ou volume de água disponível) e a demanda hídrica, a expressão pode ser representada pela seguinte razão:

$$\text{Índice de Disponibilidade Hídrica (IDH)} = \frac{\text{Oferta}}{\text{Demanda}}$$

Neste sentido,

- Se o IDH > 1: a disponibilidade de água é maior do que a demanda, indicando uma situação de não escassez hídrica;
- Se o IDH = 1: a oferta de água é igual à demanda, o que pode indicar uma situação de equilíbrio, mas pode ser vulnerável a variações na oferta ou na demanda;
- Se o IDH < 1: a demanda supera a oferta, indicando uma situação de escassez hídrica.

No Brasil, o IDH é utilizado para medir a disponibilidade de água nas várias regiões e entender as disparidades entre diferentes partes do país. O IBGE e a ANA, juntamente com o Plano Nacional de Recursos Hídricos, utilizam dados de bacias hidrográficas e de consumo para calcular e monitorar a disponibilidade hídrica em todo o território nacional.

A disponibilidade hídrica é frequentemente medida em metros cúbicos de água por pessoa por ano ($\text{m}^3/\text{pessoa/ano}$), enquanto a demanda hídrica pode ser medida de acordo com o consumo total estimado pela população ou os setores econômicos de uma determinada região. Portanto, a interpretação é dada segundo os critérios

definidos na Tabela 12:

Tabela 12- Coeficientes de Índice de Disponibilidade Hídrica (IDH) aplicável à porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha

ÍNDICE DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA (IDH)	CLASSE DE IDH	INTERPRETAÇÃO DO IDH
> 1.000 m ³ /pessoa/ano	Alta	Volume de água suficiente para suprir a demanda.
500 a 1.000 m ³ /pessoa/ano	Moderada	Disponibilidade hídrica razoável, mas que já pode ser desafiadora em algumas áreas ou durante períodos de seca.
200 a 500 m ³ /pessoa/ano	Baixa	A escassez de água começa a ser um problema significativo, e a gestão hídrica se torna fundamental.
< 200 m ³ /pessoa/ano	Crítica	Grave escassez de água e um risco elevado de crises hídricas.

Fonte dos dados: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2025).

Para a classe Alta de IDH, pressupõe-se que o curso hídrico é abundante e atende as necessidades de seus habitantes e setores econômicos; para a classe Moderada, é possível que haja necessidade de gestão mais eficiente dos recursos hídricos, a fim de se evitar a escassez; para a classe Baixa, pode haver racionamento de água ou necessidade de importação de outras regiões; e para a Crítica, a região, provavelmente, enfrenta sérias dificuldades para suprir as necessidades de água da população, rebanho e setores econômicos.

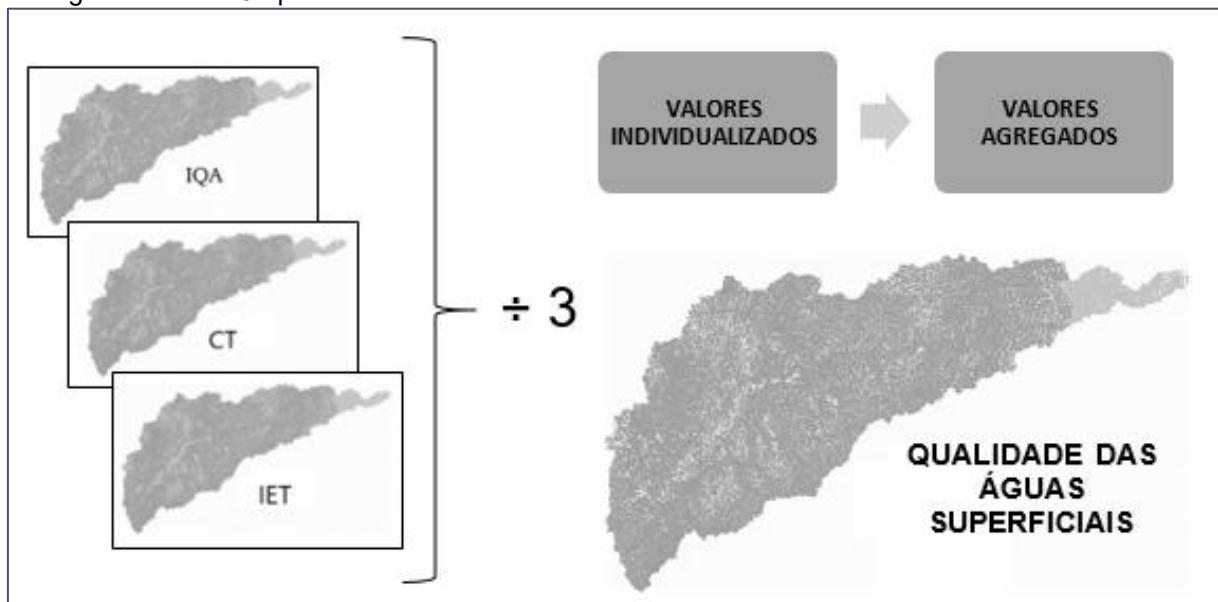
Portanto, ao entender a quantidade de água disponível, caracterizado pela somatória da média de vazão Q_{7,10} ao longo do período histórico analisado, em relação à demanda, refletida pela média de água consumida pelo gado bovino, população das zonas urbana e rural, e pelas indústrias, é possível estimar áreas de escassez hídrica. Com estes dados, propõe-se a conferência com os resultados provenientes da qualidade das águas.

4.8 Vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais

O processo metodológico foi baseado no mapeamento de vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais da Bacia escolhida para esta pesquisa, correlacionada à demanda consuntiva, utilizando-se da associação espacial, temporal e documental dos fatores socioeconômicos, físico-geográficos e hidroclimáticos

envolvidos. A metodologia proposta foi dividida em: a) levantamento, *download* da base de dados e organização das informações; b) análise da qualidade hídrica; c) análise da disponibilidade hídrica; d) análise da demanda hídrica; e) análise de áreas em conflito declarado por água; f) síntese dos dados e espacialização da vulnerabilidade, com a construção de mapas para avaliação dos resultados pertinentes e do contexto de cenários ao longo das séries históricas.

Figura 5- Esquema representativo de vulnerabilidade hídrica qualitativa da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha



Fonte: Rosa e Ferreira (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2025).

A definição da qualidade hídrica superficial, componente da vulnerabilidade, foi reproduzida pelos indicadores de IQA, CT e IET, analisados pelo IGAM (2014 a 2021), serviu para a espacialização dos resultados na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha. Após obtenção dos pesos e classes destinados aos graus de vulnerabilidade, houve a inserção nas tabelas de atributos dos *shapefiles* dos temas a serem convertidos para imagens *raster*, no software QGIS 3.4.13 *with GRASS 7.6.1*, e, na sequência, efetuado o cálculo da equação abaixo para reprodução do cenário analisado.

$$V = \frac{(IQA + CT + IET)}{3}$$

Onde:

V = vulnerabilidade;

IQA = valores de vulnerabilidade do indicador Índice de Qualidade das Águas;

CT = valores de vulnerabilidade do indicador Contaminação por Tóxicos;

IET = valores de vulnerabilidade do indicador Índice de Estado Trófico.

Assim, o esquema de sobreposição dos indicadores de qualidade hídrica utilizado nesta pesquisa é similar ao de Rosa e Ferreira (2021), conforme Figura 5. A variação dos valores de vulnerabilidade de 1,0 a 3,0 fundamenta-se no fato de que quanto mais próximo de 3,0, pior é a qualidade das águas superficiais, e, portanto, caracterizada na classe “Muito ruim”, ao passo que, quanto mais próximo de 1,0, a classe torna-se “Excelente” e maior é a qualidade. Segue Tabela 13 com a descrição dos parâmetros adotados:

Tabela 13- Classificação de vulnerabilidade hídrica qualitativa da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha

INDICADORES	VALORES DE VULNERABILIDADE	CLASSES
IQA	1,0	Excelente ($90 < \text{IQA} \leq 100$)
	1,5	Bom ($70 < \text{IQA} \leq 90$)
	2,0	Médio ($50 < \text{IQA} \leq 70$)
	2,5	Ruim ($25 < \text{IQA} \leq 50$)
	3,0	Muito ruim (≤ 25)
CT	1,2	Baixa ($\leq 20\% \text{ acima do limite legal}$)
	2,0	Média ($> 20\% \text{ e } \leq 100\% \text{ acima do limite legal}$)
	2,8	Alta ($> 100\% \text{ acima do limite legal}$)
IET	1,0	Ultraoligotrófico (≤ 47)
	1,4	Oligotrófico ($47 < \text{IET} \leq 52$)
	1,8	Mesotrófico ($52 < \text{IET} \leq 59$)
	2,2	Eutrófico ($59 < \text{IET} \leq 63$)
	2,6	Supereutrófico ($63 < \text{IET} \leq 67$)
	3,0	Hipereutrófico (> 67)

Fonte: Rosa e Ferreira (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2025).

Deste modo, com os valores agregados dos três indicadores (IQA, CT e IET), resultado da sobreposição entre eles, os graus de qualidade das águas superficiais definidos na Tabela 14 foram indicados para compilação e elaboração do mapa síntese final, compondo o diagnóstico e os resultados da presente proposta.

Tabela 14- Graus de vulnerabilidade da qualidade das águas superficiais com valores agregados da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha

VALORES DE VULNERABILIDADE AGREGADOS	GRAUS DE QUALIDADE
3,0, 2,9, 2,8, 2,7	Muito alta
2,6, 2,5, 2,4, 2,3	Alta
2,2, 2,1, 2,0, 1,9, 1,8	Média
1,7, 1,6, 1,5, 1,4	Baixa
1,3, 1,2, 1,1, 1,0	Muito baixa

Fonte: Ferreira e Rosa (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2025).

Após a etapa de definição da vulnerabilidade qualitativa, os critérios indicados na Tabela 15 representam os níveis de classificação adotados para análise da disponibilidade hídrica dos postos fluviométricos localizados na Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, considerando as médias das vazões $Q_{7,10}$, de 1985 a 2021. Tais valores foram considerados por ser referência para outorgas de direito de uso dos recursos hídricos de Minas Gerais, e por demonstrarem, com maior exatidão, as ofertas mínimas dos cursos superficiais nos pontos elegidos (Hidroweb, ANA, 2021). As áreas de conflito pelo uso da água, definidas com base nas bacias hidrográficas que possuem, ou não, tal declaração, atingem grau de vulnerabilidade maior em caso positivo de conflito ou menor quando de sua ausência (IDE-SISEMA, 2019).

Tabela 15- Graus de vulnerabilidade da disponibilidade das águas superficiais com valores agregados da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha

VALORES DE VULNERABILIDADE AGREGADOS	GRAUS DE DISPONIBILIDADE
$\leq 3 \text{ m}^3/\text{s}$	Muito baixa
$3 \text{ m}^3/\text{s} < Q_{7,10} \leq 6$	Baixa
$6 \text{ m}^3/\text{s} < Q_{7,10} \leq 9$	Média
$9 \text{ m}^3/\text{s} < Q_{7,10} \leq 12$	Alta
> 12	Muito alta

Fonte: Ferreira e Rosa (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2025).

Portanto, quanto mais baixo o valor de vulnerabilidade agregado, maior é o grau de oferta hídrica da bacia hidrográfica. Após obtenção dos pesos e classes destinados aos graus de vulnerabilidade, houve a inserção nas tabelas de atributos dos *shapefiles* dos temas a serem convertidos para imagens *raster*, no software QGIS 3.4.13 with GRASS 7.6.1, e, na sequência, efetuado o cálculo da equação abaixo para reprodução do cenário analisado e síntese da proposta.

$$V = \frac{(DAS + QAS)}{2}$$

Onde:

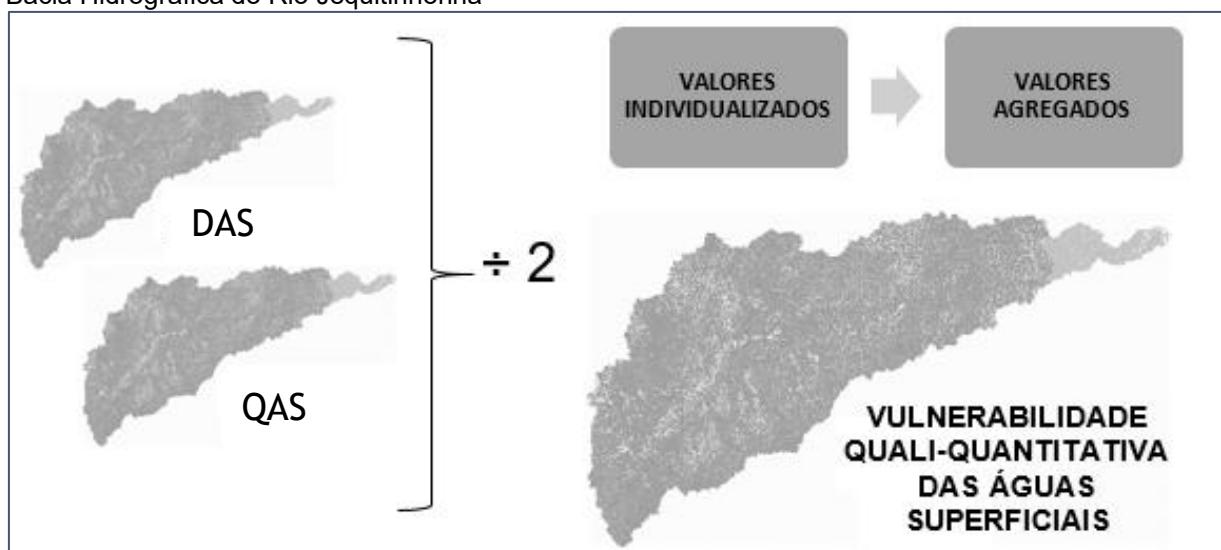
V = vulnerabilidade;

DAS = valores de vulnerabilidade do tema disponibilidade das águas superficiais;

QAS = valores de vulnerabilidade do tema qualidade das águas superficiais.

A sobreposição dos dois componentes finais apresenta possibilidades que variam de 1,0 (menor vulnerabilidade) a 3,0 (maior vulnerabilidade). Com o cálculo da fórmula anteriormente descrita, é determinado o resultado dos valores individualizados, posteriormente agregados, e estabelecidos os graus de vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais. A Figura 6 esquematiza, assim, a elaboração desta etapa do procedimento.

Figura 6- Esquema representativo de vulnerabilidade hídrica quali-quantitativa da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha



Fonte: Rosa e Ferreira (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2025).

Para interpretação do esquema representativo, a Tabela 16 fornece os critérios utilizados para definição dos valores agregados e graus de vulnerabilidade quali-quantitativa elencados para classificar o nível da Bacia à exposição e capacidade de resistir ou se recuperar dos riscos de escassez.

Tabela 16- Graus de vulnerabilidade hídrica quali-quantitativa da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha

VALORES DE VULNERABILIDADE AGREGADOS	GRAUS DE DISPONIBILIDADE
3,0, 2,9, 2,8, 2,7	Muito alta
2,6, 2,5, 2,4, 2,3	Alta
2,2 2,1, 2,0, 1,9, 1,8	Média
1,7, 1,6, 1,5, 1,4	Baixa
1,3, 1,2, 1,1, 1,0	Muito baixa

Fonte: Ferreira e Rosa (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2025).

Apesar de terem ocorrido alterações ao longo do andamento da avaliação dos resultados, a hipótese é, essencialmente, a de investigar, por meio da coleta de todos os dados, o real motivo e as possibilidades de algumas áreas dentro da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha não desfrutarem do acesso à água, um bem natural e de direito a todos.

Neste sentido, o Tópico 5 fornece o diagnóstico da região, marcado por uma análise multidisciplinar das condições físico-geográficas, ambientais e socioeconômicas, para que diretrizes e medidas estruturais cabíveis sejam propostas, caso necessário, na intenção de promover ou garantir a segurança hídrica e a sustentabilidade ambiental.

5 DIAGNÓSTICO MULTITEMPORAL E PROPOSIÇÃO DE DIRETRIZES

A análise comparativa e contrastante de dados coletados em diferentes momentos e fontes ao longo do tempo para identificar as tendências, mudanças e padrões quali-quantitativos da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, faz-se necessária para entender as condições atuais de distribuição e qualidade da água da área de estudo.

Por esta razão, as etapas metodológicas empregadas para a realização desta

tese foram propostas no intuito de subsidiar os objetivos apresentados. A sondagem dos resultados que concluiu o diagnóstico da área elegida incluiu vertentes tomando por base o período de análise disponível em dados, para que se pudesse estabelecer um quadro comparativo satisfatório.

5.1 Demanda hídrica consuntiva

Com base na conceituação de demanda de água pela ANA, que corresponde à estimativa da vazão de retirada, ou melhor, à água captada destinada a atender os diversos usos consuntivos, é importante salientar dois apontamentos previamente à apresentação dos resultados obtidos: a) uma parcela dessa água captada é devolvida ao ambiente após o uso, denominada vazão de retorno (obtida a partir da vazão de retirada, multiplicando esta por um coeficiente de retorno característico de cada tipo de uso); b) a água não devolvida, ou vazão de consumo, é calculada pela diferença entre a vazão de retirada e a vazão de retorno. São aspectos não considerados nesta pesquisa.

Os resultados iniciais alcançados com a presente pesquisa, a partir de informações secundárias de diversas fontes, dizem respeito ao levantamento do uso consuntivo da água pelo rebanho bovino, pela indústria e pela população urbana e rural na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha. As conclusões abarcaram, respectivamente, como referência para o diagnóstico aqui construído, o período de 2020 para a pecuária (rebanho bovino); de 1970 a 2024 para o setor industrial; e dados censitários de 2010 e estimados para 2022 quanto à população urbana e rural, conforme apresentado na metodologia.

Tabela 17- Vazões de retirada, consumo e retorno e percentuais nas regiões hidrográficas brasileiras em 2000 - continua

REGIÃO HIDROGRÁFICA	RETIRADA		CONSUMO		RETORNO
	m³/s	% do total	m³/s	% do total	m³/s
Amazônica	47	3	27	3	20
Tocantins/Araguaia	55	3	33	4	22
Atlântico Nordeste Ocidental	15	1	6	1	9
Parnaíba	19	1	11	1	8
Atlântico Nordeste Oriental	170	11	100	12	70
São Francisco	166	10	105	13	61

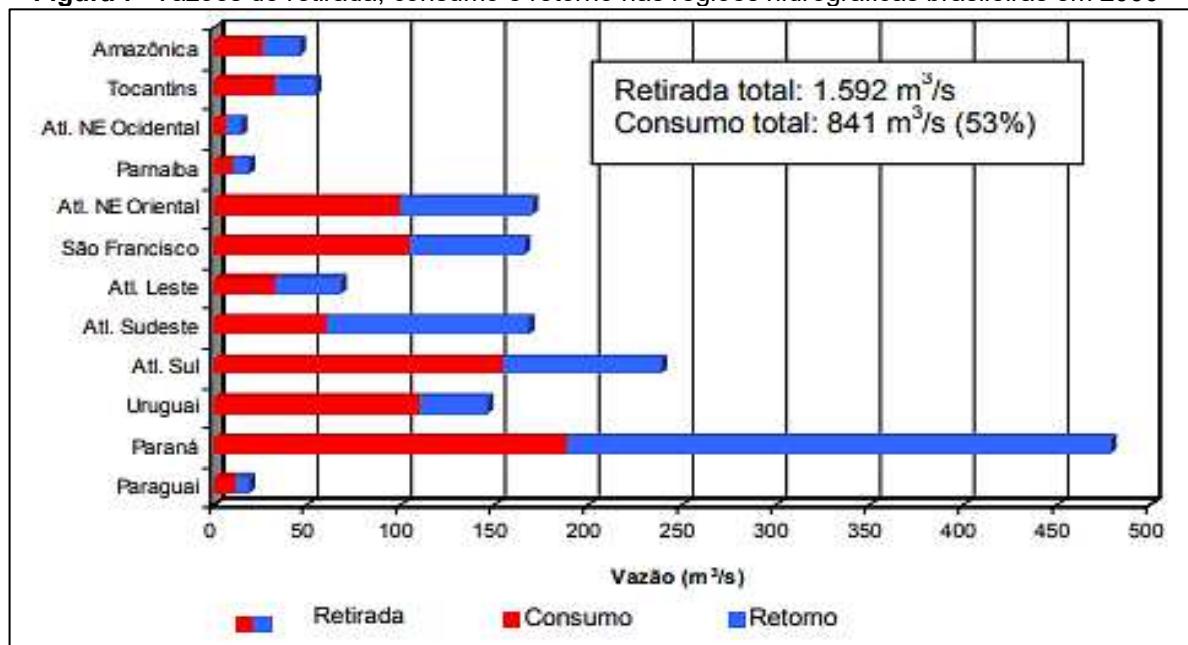
Tabela 17- Vazões de retirada, consumo e retorno e percentuais nas regiões hidrográficas brasileiras em 2000 - conclusão

REGIÃO HIDROGRÁFICA	RETIRADA		CONSUMO		RETORNO
	m ³ /s	% do total	m ³ /s	% do total	
Atlântico Leste	68	4	33	4	35
Atlântico Sudeste	168	11	61	7	107
Atlântico Sul	240	15	155	18	85
Uruguai	146	9	109	13	37
Paraná	479	30	189	23	290
Paraguai	19	1	12	1	7
Brasil	1.592	100	841	100	751

Fonte: ANA (2000). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Em 2000, segundo o Caderno de Recursos Hídricos da ANA, que trata da disponibilidade e demandas por água no Brasil, a vazão de retirada para usos consuntivos era de 1.592 m³/s, com cerca de 53% deste total (841 m³/s) efetivamente consumidos e 751 m³/s retornando às bacias hidrográficas. A Região Hidrográfica Atlântico Leste, em que está localizada a porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, contemplava, à essa época, 68 m³/s de retirada (ou 4% do total); consumo de 33 m³/s e retorno de 35 m³/s, de acordo com a Tabela 17.

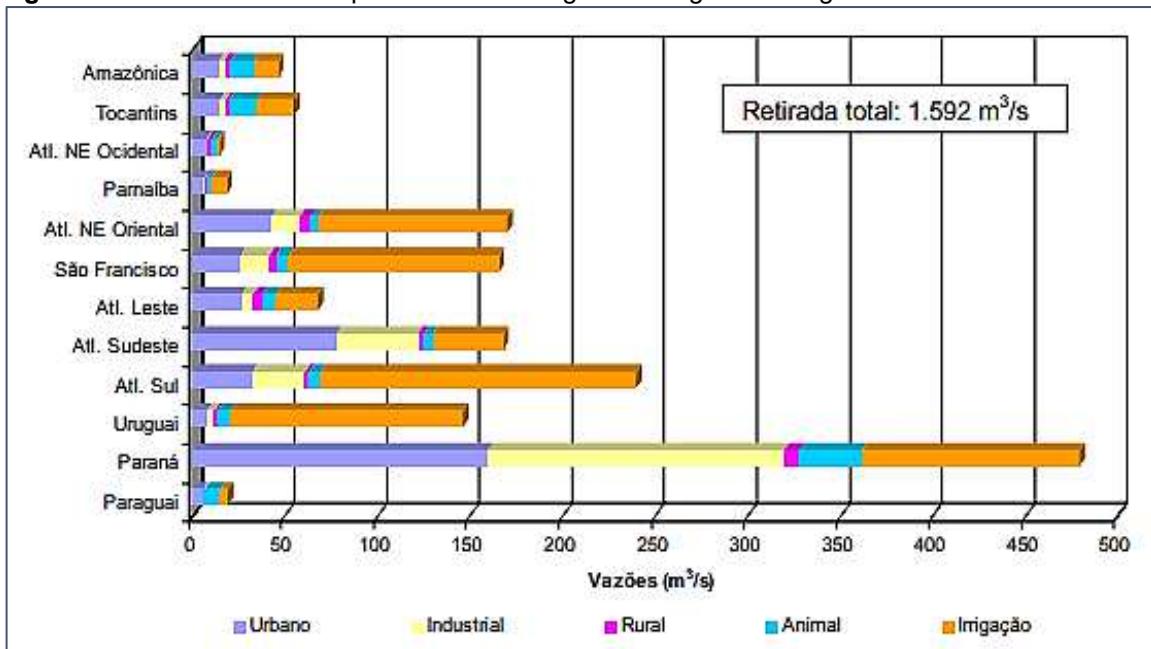
Figura 7- Vazões de retirada, consumo e retorno nas regiões hidrográficas brasileiras em 2000



Fonte: ANA (2000). Adaptado por Melo, M. P. de (2024).

As informações Tabela 17 também podem ser visualizadas na Figura 7, que revela as vazões de retirada, consumo e retorno em cada uma das 12 regiões hidrográficas. O perfil apresentado demonstra que a vazão de consumo, em quase todas as RH's, é maior que a de retorno, considerando a irrigação como atividade responsável pelas maiores retiradas de água, com exceção das regiões hidrográficas Amazônica, Tocantins, Atlântico Nordeste Ocidental, Atlântico Leste, Atlântico Sudeste e Paraná, em que predomina o uso urbano, e Paraguai, o uso animal, como mostra a Figura 8.

Figura 8- Vazões de retirada para os usos de água nas regiões hidrográficas brasileiras em 2000

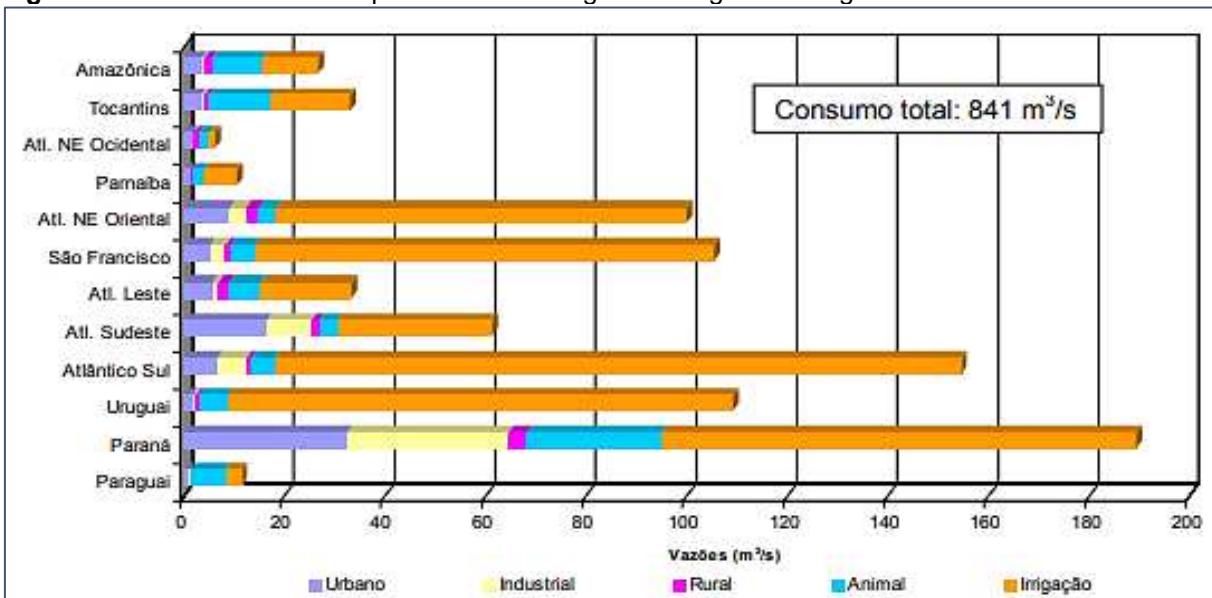


Fonte: ANA (2000). Adaptado por Melo, M. P. de (2024).

Nota-se que a vazão de retirada para o setor industrial só é significativa, com relação aos outros usos, na RH do Paraná, uma das mais populosas e economicamente desenvolvidas do Brasil, abrangendo os estados de São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Goiás, Santa Catarina e Distrito Federal. Outra função importante para as águas de seus rios é a produção de eletricidade, por meio da instalação de usinas hidrelétricas (ANA, 2020).

A retirada para uso urbano é expressiva nas regiões Atlântico Sudeste e Atlântico Nordeste Ocidental. Já as RH's Amazônica, Tocantins, Parnaíba e Paraguai, apresentam maior equilíbrio entre suas retiradas totais de água, ao passo que é evidente o predomínio da irrigação em regiões como Atlântico Nordeste Oriental, São Francisco, Atlântico Sul e Uruguai.

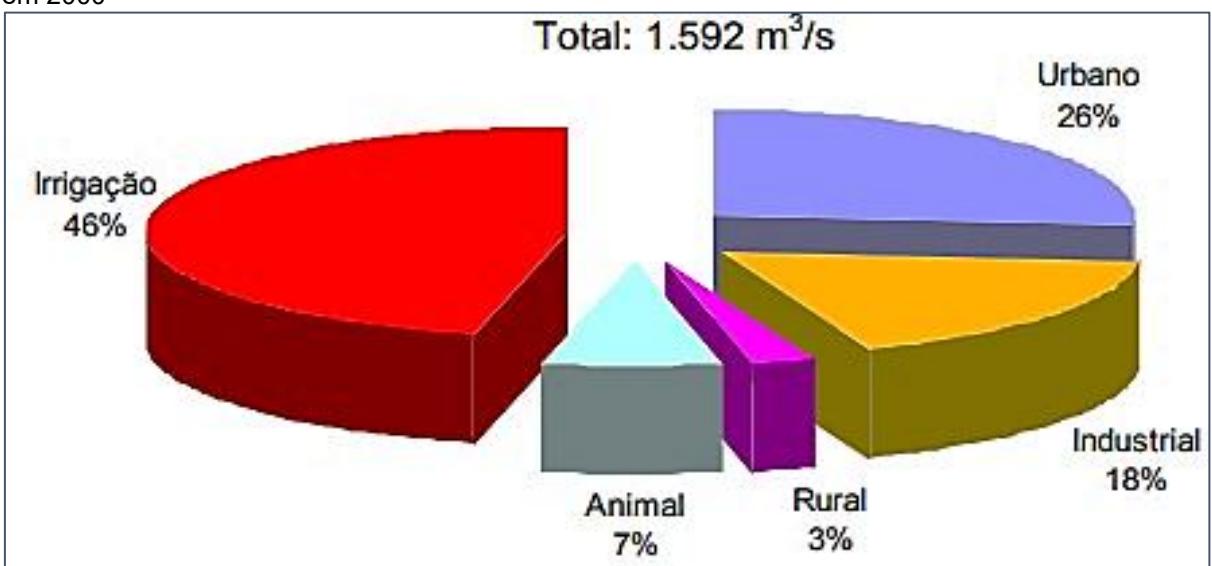
Figura 9- Vazões de consumo para os usos de água nas regiões hidrográficas brasileiras em 2000



Fonte: ANA (2000). Adaptado por Melo, M. P. de (2024).

Cerca de 46% das vazões de retirada no País são destinadas à irrigação, como mostra a Figura 10; 26% são para abastecimento urbano; 18% para indústria; 7% para animal; e apenas 3% para abastecimento rural.

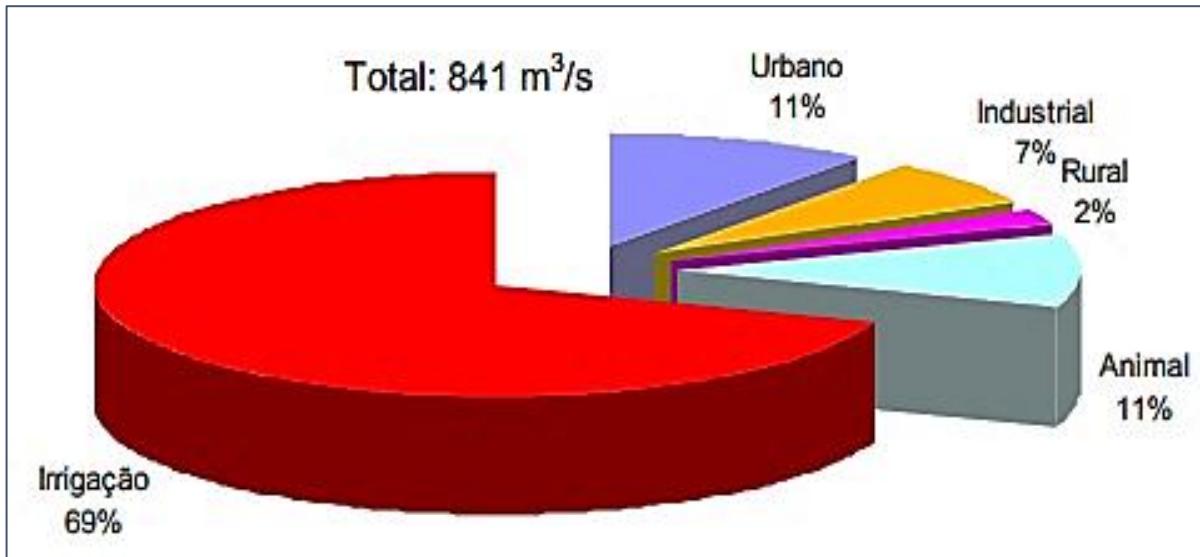
Figura 10- Percentual de vazões de retirada para os usos de água nas regiões hidrográficas brasileiras em 2000



Fonte: ANA (2000). Adaptado por Melo, M. P. de (2024).

Já em relação às vazões efetivamente consumidas, 69% são destinadas à irrigação, como mostra a Figura 11. O abastecimento urbano representa 11%, o abastecimento animal 11%, o industrial 7% e o abastecimento rural 2%.

Figura 11- Percentual de vazões de consumo para os usos de água nas regiões hidrográficas brasileiras em 2000



Fonte: ANA (2000). Adaptado por Melo, M. P. de (2024).

Projeções da ONS (2003), revelaram que em 2000, a área irrigada brasileira consistia em torno de 3,7 milhões de hectares, enquanto em 1996, de acordo com o Censo Agropecuário de IBGE, a área irrigada no País era de pouco mais de 3,1 milhões de hectares, menos de 6% da área plantada de 55 milhões de hectares. Entre os Censos Agropecuários de 2006 e 2017, houve aumento de 17.609.779 hectares na área total dos estabelecimentos, ou seja, acréscimo de 5,8%, com a utilização das terras por grandes grupos, compreendidos pela redução das lavouras permanentes e, consequentemente, aumento das temporárias; redução das pastagens naturais e intensificação das plantadas.

O panorama dos usos hídricos, divulgado anualmente no Relatório Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, por meio do Boletim do SNIRH nº 1, de julho de 2022, mostrou a evolução expressiva das últimas décadas, o que não representa nenhuma novidade. Entretanto, a expansão da retirada para usos setoriais, que entre 1940 e 1980 era de 536 bilhões de litros médios anuais, acelerou para 781 bilhões entre 1980 e 2000 e para 1 trilhão e 189 bilhões entre 2000 e 2021. Estima-se, assim, uma expansão de uso de 1 trilhão e 290 bilhões de litros ao ano até 2040. A Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, de acordo com o Portal de Dados Abertos da ANA, em 2021, contemplava as seguintes vazões de retirada:

Tabela 18- Uso da água na Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha – Vazão de Retirada em 2021 e Projeção para 2040

CÓDIGO	VAZÃO RETIRADA	VOLUME EM m ³ /s (2021)	VOLUME EM m ³ /s (2040)
VZHURM3S	Humano Urbano	0,991	1,122
VZHRUM3S	Humano Rural (m ³ /s)	0,402	0,34
VZINDM3S	Indústria de Transformação	0,108	0,142
VZMINM3S	Mineração	0,041	0,081
VZTERM3S	Termelétrica	0	0
VZANIM3S	Animal	0,973	1,075
VZIRRM3S	Agricultura Irrigada	6,571	10,777
VZTOTM3S	Vazão Retirada Total	9,087	13,537

Fonte: ANA (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

As águas retiradas e consumidas, parcial ou totalmente, nos processos a que se destinam, não retornando diretamente ao corpo d'água, assim como ocorre em quase todo o território brasileiro, são mais expressivas, respectivamente, aos setores da agricultura irrigada, consumo humano urbano e animal, de acordo com o diagnóstico de 2021 e o prognóstico de 2040.

Neste sentido, é apresentado, nos próximos tópicos, o diagnóstico dos usos consuntivos para cada um dos setores usuários de água elegidos para esta pesquisa, iniciando pela demanda da pecuária, em seguida industrial e, por fim, populacional, englobando área urbana e rural.

5.1.1 Demanda da pecuária

A partir da metodologia proposta, a quantificação dos rebanhos (IBGE, 2020) é expressa na Tabela 19, contendo os valores totais de cabeça de gado bovino proporcionais à área de atuação de cada um dos 70 municípios que compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, considerando apenas os que estão inseridos no estado de Minas Gerais para a análise.

Tabela 19- Levantamento bovino municipal da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha em 2020 - continua

ORDEM	MUNICÍPIO (MG)	Nº DE ANIMAIS	ORDEM	MUNICÍPIO (MG)	Nº DE ANIMAIS
1	Almenara	551.847	36	José Gonçalves de Minas	3.465

Tabela 19- Levantamento bovino municipal da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha em 2020 - continuação

ORDEM	MUNICÍPIO (MG)	Nº DE ANIMAIS	ORDEM	MUNICÍPIO (MG)	Nº DE ANIMAIS
2	Angelândia	2.850	37	Josenópolis	1.801
3	Araçuaí	165.408	38	Leme do Prado	1.750
4	Aricanduva	6.934	39	Malacacheta	32.188
5	Bandeira	23.836	40	Mata Verde	11.176
6	Berilo	7.672	41	Medina	29.816
7	Bocaiúva	133.147	42	Minas Novas	10.620
8	Botumirim	9.980	43	Monte Formoso	9.515
9	Cachoeira de Pajeú	13.811	44	Novo Cruzeiro	30.717
10	Capelinha	122.061	45	Novorizonte	2.011
11	Caraí	22.100	46	Olhos d'água	12.290
12	Carbonita	4.300	47	Padre Carvalho	1.587
13	Chapada do Norte	8.540	48	Padre Paraíso	9.996
14	Comercinho	12.649	49	Pedra Azul	98.394
15	Coronel Murta	13.578	50	Ponto dos Volantes	15.395
16	Couto de Magalhães de Minas	2.192	51	Riacho dos Machados	11.762
17	Cristália	4.882	52	Rio do Prado	22.122
18	Datas	2.112	53	Rio Pardo de Minas	14.462
19	Diamantina	14.184	54	Rio Vermelho	34.331
20	Divisópolis	13.746	55	Rubelita	17.088
21	Felício dos Santos	5.558	56	Rubim	43.736
22	Felisburgo	20.280	57	Salinas	173.124
23	Francisco Badaró	10.154	58	Salto da Divisa	60.111
24	Fruta de Leite	3.758	59	Santa Cruz de Salinas	9.761
25	Grão Mogol	46.354	60	Santa Maria do Salto	14.712
26	Guaraciama	6.720	61	Santo Antônio do Jacinto	30.071
27	Itacambira	12.348	62	São Gonçalo do Rio Preto	2.526
28	Itamarandiba	35.274	63	Senador Modestino Gonçalves	8.680
29	Itaobim	10.088	64	Serranópolis de Minas	10.694
30	Itinga	26.444	65	Serro	32.264
31	Jacinto	58.449	66	Setubinha	6.500
32	Jenipapo de Minas	6.199	67	Taiobeiras	13.704
33	Jequitinhonha	54.512	68	Turmalina	3.683

Tabela 19- Levantamento bovino municipal da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha em 2020 - conclusão

ORDEM	MUNICÍPIO (MG)	Nº DE ANIMAIS	ORDEM	MUNICÍPIO (MG)	Nº DE ANIMAIS
34	Joaíma	61.183	69	Veredinha	3.700
35	Jordânia	33.691	70	Virgem da Lapa	13.321

TOTAL DE CABEÇAS DE GADO BOVINO: 2.323.914

Fonte: Produção da Pecuária Municipal, IBGE (2020). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Em termos gerais, o município que deteve o maior rebanho em 2020 foi Almenara, com 551.847 cabeças. Considerando que os municípios em destaque na cor cinza estão inseridos apenas parcialmente dentro da porção mineira da referida Bacia, o quantitativo total de cabeças de gado foi recalculado de acordo com as proporções adequadas e dispostas na Tabela 20.

Tabela 20- Levantamento bovino municipal com áreas inseridas parcialmente na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha em 2020 - continua

ORDEM	MUNICÍPIO (MG)	Nº DE ANIMAIS	% DE ÁREA NA BACIA	Nº DE ANIMAIS NA BACIA	% DE ÁREA FORA DA BACIA	Nº DE ANIMAIS FORA DA BACIA
1	Aricanduva	6.934	99,76	6.917	0,24	17
2	Bocaiúva	133.147	32,99	43.925	67,01	89.222
3	Caraí	22.100	44,35	9.801	55,65	12.299
4	Datas	2.112	37,49	792	62,51	1.320
5	Diamantina	14.184	74,45	10.560	25,55	3.624
6	Felisburgo	20.280	85,56	17.352	14,44	2.928
7	Guaraciama	6.720	75,80	5.094	24,2	1.626
8	Itamarandiba	35.274	99,91	35.242	0,09	32
9	Joaíma	61.183	99,88	61.110	0,12	73
10	Malacacheta	32.188	11,66	3.753	88,34	28.435
12	Padre Paraíso	9.996	99,60	9.956	0,4	40
13	Riacho dos Machados	11.762	47,44	5.580	52,56	6.182
14	Rio do Prado	22.122	60,99	13.492	39,01	8.630
15	Rio Pardo de Minas	14.462	10,57	1.529	89,43	12.933
16	Rio Vermelho	34.331	4,84	1.662	95,16	32.669
17	Santa Cruz de Salinas	9.761	63,53	6.201	36,47	3.560
18	Santo Antônio do Jacinto	30.071	35,16	10.573	64,84	19.498

Tabela 20- Levantamento bovino municipal com áreas inseridas parcialmente na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha em 2020 - conclusão

ORDEM	MUNICÍPIO (MG)	Nº DE ANIMAIS	% DE ÁREA NA BACIA	Nº DE ANIMAIS NA BACIA	% DE ÁREA FORA DA BACIA	Nº DE ANIMAIS FORA DA BACIA
19	Serranópolis de Minas	10.694	17,94	1.919	82,06	8.775
20	Serro	32.264	45,56	14.699	54,44	17.565
21	Taiobeiras	13.704	32,33	4.431	67,67	9.273
TOTAL DE CABEÇAS DE GADO:		523.289		264.588		258.701

Fonte: IBGE (2020, 2022); Ferreira, V. O. (2011); Maciel, S. A. (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Visto que aproximadamente 258.701 cabeças de gado estão fora da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, 2.065.213 indivíduos estão, proporcionalmente, inseridos internamente na Bacia, do total de 2.323.914 animais levantados na Tabela 18. Para explicitar, então, o uso consuntivo da água demandada pelo gado bovino na área analisada, considerando a porção de Minas Gerais, a Tabela 21 estima a quantidade de cabeças para cada um dos municípios e, também, o total estimado, em litros, de consumo hídrico diário (50 litros/cabeça).

Tabela 21- Demanda hídrica bovina da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha em 2020 - continua

ORDEM	MUNICÍPIO (MG)	Nº DE ANIMAIS INSERIDOS NA BACIA	DEMANDA HÍDRICA DIÁRIA (LITROS)	DEMANDA HÍDRICA DIÁRIA (m ³ /s)
1	Almenara	551.847	27.592.350	0,32
2	Angelândia	2.850	142.500	0,002
3	Araçuaí	165.408	8.270.400	0,1
4	Aricanduva	6.917	345.850	0,004
5	Bandeira	23.836	1.191.800	0,01
6	Berilo	7.672	383.600	0,004
7	Bocaiúva	43.925	2.196.250	0,03
8	Botumirim	9.980	499.000	0,006
9	Cachoeira de Pajeú	13.811	690.550	0,008
10	Capelinha	122.061	6.103.050	0,07
11	Caraí	9.801	490.050	0,006
12	Carbonita	4.300	215.000	0,002

Tabela 21- Demanda hídrica bovina da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha em 2020 - continuação

ORDEM	MUNICÍPIO (MG)	Nº DE ANIMAIS INSERIDOS NA BACIA	DEMANDA HÍDRICA DIÁRIA (LITROS)	DEMANDA HÍDRICA DIÁRIA (m ³ /s)
13	Chapada do Norte	8.540	427.000	0,005
14	Comercinho	12.649	632.450	0,007
15	Coronel Murta	13.578	678.900	0,008
16	Couto de Magalhães de Minas	2.192	109.600	0,001
17	Cristália	4.882	244.100	0,003
18	Datas	792	39.600	0,0005
19	Diamantina	10.560	528.000	0,006
20	Divisópolis	13.746	687.300	0,008
21	Felício dos Santos	5.558	277.900	0,003
22	Felisburgo	17.352	867.600	0,01
23	Francisco Badaró	10.154	507.700	0,006
24	Fruta de Leite	3.758	187.900	0,002
25	Grão Mogol	46.354	2.317.700	0,03
26	Guaraciama	5.094	254.700	0,003
27	Itacambira	12.348	617.400	0,007
28	Itamarandiba	35.242	1.762.100	0,02
29	Itaobim	10.088	504.400	0,006
30	Itinga	26.444	1.322.200	0,02
31	Jacinto	58.449	2.922.450	0,03
32	Jenipapo de Minas	6.199	309.950	0,004
33	Jequitinhonha	54.512	2.725.600	0,03
34	Joaíma	61.110	3.055.500	0,04
35	Jordânia	33.691	1.684.550	0,02
36	José Gonçalves de Minas	3.465	173.250	0,002
37	Josenópolis	1.801	90.050	0,001
38	Leme do Prado	1.750	87.500	0,001
39	Malacacheta	3.753	187.650	0,002
40	Mata Verde	11.176	558.800	0,006
41	Medina	29.816	1.490.800	0,02
42	Minas Novas	10.620	531.000	0,006
43	Monte Formoso	9.515	475.750	0,005
44	Novo Cruzeiro	30.717	1.535.850	0,02

Tabela 21- Demanda hídrica bovina da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha em 2020 - conclusão

ORDEM	MUNICÍPIO (MG)	Nº DE ANIMAIS INSERIDOS NA BACIA	DEMANDA HÍDRICA DIÁRIA (LITROS)	DEMANDA HÍDRICA DIÁRIA (m ³ /s)
45	Novorizonte	2.011	100.550	0,001
46	Olhos d'água	12.290	614.500	0,007
47	Padre Carvalho	1.587	79.350	0,0009
48	Padre Paraíso	9.956	497.800	0,006
49	Pedra Azul	98.394	4.919.700	0,06
50	Ponto dos Volantes	15.395	769.750	0,009
51	Riacho dos Machados	5.580	279.000	0,003
52	Rio do Prado	13.492	674.600	0,008
53	Rio Pardo de Minas	1.529	76.450	0,0009
54	Rio Vermelho	1.662	83.100	0,001
55	Rubelita	17.088	854.400	0,01
56	Rubim	43.736	2.186.800	0,03
57	Salinas	173.124	8.656.200	0,1
58	Salto da Divisa	60.111	3.005.550	0,03
59	Santa Cruz de Salinas	6.201	310.050	0,004
60	Santa Maria do Salto	14.712	735.600	0,009
61	Santo Antônio do Jacinto	10.573	528.650	0,006
62	São Gonçalo do Rio Preto	2.526	126.300	0,001
63	Senador Modestino Gonçalves	8.680	434.000	0,005
64	Serranópolis de Minas	1.919	95.750	0,001
65	Serro	14.699	734.950	0,009
66	Setubinha	6.500	325.000	0,004
67	Taiobeiras	4.431	221.550	0,003
68	Turmalina	3.683	184.150	0,002
69	Veredinha	3.700	185.000	0,002
70	Virgem da Lapa	13.321	666.050	0,008
TOTAL:		2.065.213	103.260.450	1,2

Fonte: IBGE (2020); Ferreira, V. O. (2007); Maciel, S. A. (2021); Ferreira, V. O.; Saadi, A. (2011). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

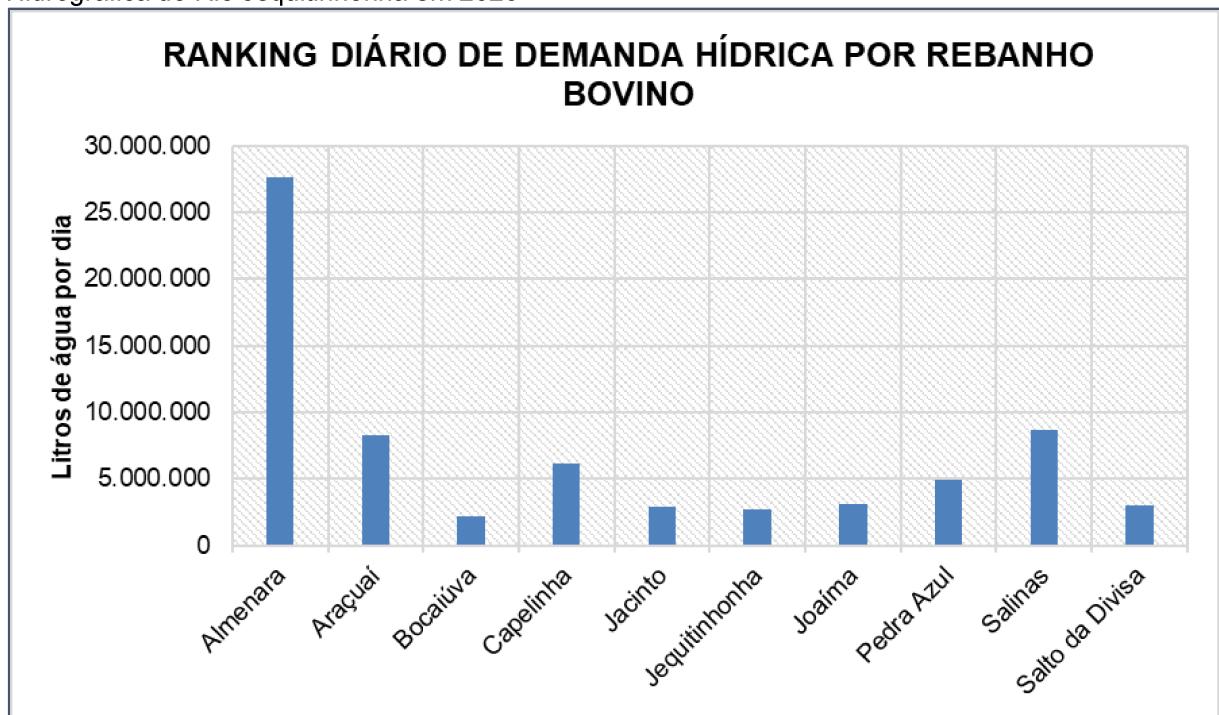
Por se tratar de proporção, os valores foram aproximados, visto que não é possível considerar casas decimais na contagem de cabeças de gado. Portanto, as

casas decimais dos cálculos proporcionais foram desconsideradas quando abaixo de cinco após a vírgula e aproximadas a maior quando acima de cinco depois da vírgula.

Atendendo ao coeficiente de 50 litros por cabeça de gado bovino por dia, conforme PLIRHINE (SUDENE, 1980 apud Ferreira e Saadi, 2011), a Tabela 21 indicou um total de 103.260,45 m³, ou 1,2 m³/s, de água demandada para os animais existentes na porção mineira da Bacia elencada, em um período de 24 horas, sendo que em Almenara ocorreu o maior volume hídrico consumido (27.592,35 m³), ao passo que Datas demandou apenas 39,6 m³/dia. O Gráfico 2 demonstra os dez municípios que mais consumiram água diariamente em 2020 pelo gado bovino na Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha em sua parcela correspondente à Minas Gerais.

O ranking dos maiores consumidores diárias de água pelo gado bovino em 2020, traz em primeiro lugar o município de Almenara, como já mencionado; em segundo, Salinas; em terceiro, Araçuaí; em quarto, Capelinha; em quinto, Pedra Azul; em sexto, Joaíma; em sétimo, Salto da Divisa; em oitavo, Jacinto; em nono, Jequitinhonha; e em décimo, Bocaiúva, mesmo estando parcialmente inserido na porção mineira da Bacia, fechando a demanda compilada.

Gráfico 2- Ranking das maiores demandas hídricas bovinas diárias da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha em 2020



Fonte: IBGE (2020, 2022); Ferreira, V. O. (2007); Maciel, S. A. (2021); Ferreira, V. O.; Saadi, A. (2011). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

A problemática relacionada à escassez de água, em função da irregularidade pluviométrica e outros fatores no semiárido brasileiro posiciona a cadeia produtiva da pecuária em um dos setores mais prejudicados. O alto consumo de água pelo rebanho bovino em uma região com disponibilidade hídrica reduzida, tanto para a dessedentação como para os usos indiretos na vegetação de consumo, tem proporcionado, ainda, queda nos valores nutricionais das forragens, favorecendo a baixa produtividade e a sazonalidade na produção animal.

Além disso, fatores como o sabor e odor da água (características organolépticas), as características físico-químicas (pH, sólidos totais dissolvidos e dureza), a presença de componentes tóxicos (metais pesados, por exemplo), a presença de bactérias patogênicas (a exemplo de coliformes fecais), o excesso de minerais (como sódio, sulfatos e ferro, dentre outros) e de componentes que quando em altas concentrações podem causar intoxicações (nitratos, por exemplo), devem ser mensurados para determinação da qualidade da água a ser fornecida aos animais.

Características raciais, consumo de matéria seca (CMS) e composição da dieta, peso corporal e estado fisiológico e variáveis climáticas são fatores que influenciam no consumo de água pelo rebanho bovino, tornando-se impossível listar as necessidades hídricas com muita precisão devido às inúmeras condições que influenciam suas necessidades. Mesmo assim, consideram-se válidos os resultados apresentados nesta pesquisa, visto que é uma forma de mensurar, ainda que inexata, a demanda consuntiva por rebanho bovino em uma área que, até o momento, não dispunha de tais dados compilados e refinados para este fim.

5.1.2 Demanda industrial

A configuração do setor industrial apresenta disparidade regional uma vez que as indústrias se encontram irregularmente distribuídas no território nacional. Além disso, a intensidade do uso da água depende de vários fatores, dentre eles o tipo de processo e de produtos, das tecnologias empregadas, boas práticas e maturidade da gestão. Em caráter nacional, de acordo com a Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2023), a indústria de transformação representou 9% do total de água retirada em 2022, e Minas Gerais, juntamente com Rio de Janeiro, destacaram-se pela maior concentração na siderurgia.

Retiradas significativas pela indústria extrativa mineral também ganham importância para a produção de minério de ferro, seguida por outros metálicos não ferrosos e não metálicos, destacando-se os estados de Minas Gerais e do Pará. Outros usos consuntivos da água não foram considerados nestes resultados de perfil industrial, por não apresentarem índices relevantes e/ou por não estarem correlacionados às atividades deste setor previstas para o repertório desta seção.

A composição do perfil industrial de Minas Gerais, fornecida pelo Portal da Indústria (CNI, 2021), contemplando o percentual do setor no Valor de Transformação Industrial nas indústrias extrativa e de transformação, revela o seguinte resultado, exposto na Tabela 22:

Tabela 22- Pesquisa Industrial de Minas Gerais, Região Sudeste e Brasil em 2022 - continua

SETOR	MINAS GERAIS (%)	REGIÃO SUDESTE (%)	BRASIL (%)
Construção	18,7	16,8	17,9
Extração de Minerais Metálicos	17,2	4,8	6,8
Alimentos	12,6	9,3	11,2
Metalurgia	12,3	5,1	3,9
Serviços Industriais e Utilidade Pública	11,5	10,8	13,9
Químicos	3,6	6,1	5,2
Derivados de Petróleo e Biocombustíveis	3,4	8,5	7,1
Minerais não-metálicos	2,2	2,1	2,0
Veículos Automotores	2,1	3,2	2,8
Bebidas	1,9	1,5	1,8
Produtos de Metal	1,8	1,8	1,9
Celulose e Papel	1,3	1,8	2,2
Máquinas e Equipamentos	1,1	2,7	2,4
Farmacêuticos	1,1	2,3	1,5
Máquinas e Materiais Elétricos	1,0	1,4	1,5
Manutenção e Reparação	0,9	1,0	0,8
Borracha e Material Plástico	0,9	2,2	2,1
Informática, Eletrônicos e Ópticos	0,8	1,1	1,2
Vestuário	0,7	0,8	1,0
Fumo	0,7	0,2	0,3
Móveis	0,7	0,5	0,7

Tabela 22- Pesquisa Industrial de Minas Gerais, Região Sudeste e Brasil em 2022 - conclusão

SETOR	MINAS GERAIS (%)	REGIÃO SUDESTE (%)	BRASIL (%)
Têxteis	0,7	0,7	0,9
Couros e Calçados	0,7	0,3	0,7
Extração e Minerais não-metálicos	0,6	0,4	0,5
Produtos Diversos	0,5	0,8	0,7
Madeira	0,3	0,3	0,7
Outros Equipamentos de Transporte	0,2	0,7	0,6
Impressão e Reprodução	0,1	0,3	0,3
Extração de Petróleo e Gás Natural	-	11,0	6,3
Atividades de Apoio à Extração de Minerais	-	1,8	1,0
Extração de Carvão Mineral	-	0,0	0,0

Fonte: CNI (2021); IBGE (2015); ANA (2024). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Sendo assim, os principais setores com participação percentual no PIB industrial do Estado, são, respectivamente, o da construção, seguido de extração de minerais metálicos, alimentos, siderurgia e serviços industriais de utilidade pública. Neste mesmo sentido, os produtos resultantes das atividades industriais com maior valor adicionado bruto em 2021, demonstraram as tipologias divididas pela estrutura da CNAE 2.0 (IBGE, 2015), assim como as conclusões divulgadas pela ANA (2024), sobre o consumo médio de água referente à série histórica de 1970 a 2024, em que houve retiradas brutas para cada um dos municípios da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha.

Tabela 23- Demanda hídrica industrial da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha (1970 a 2024) - continua

ORDEM	MUNICÍPIO (MG)	VAZÃO MÉDIA DE RETIRADA (m ³ /s)	DENOMINAÇÃO CNAE 2.0 (2021)	SEÇÃO	DIVISÃO
1	Almenara	0,001167	Demais serviços	S	94, 95, 96
2	Angelândia	0,000082	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
3	Araçuaí	0,001283	Demais serviços	S	94, 95, 96

Tabela 23- Demanda hídrica industrial da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha (1970 a 2024) - continuação

ORDEM	MUNICÍPIO (MG)	VAZÃO MÉDIA DE RETIRADA (m ³ /s)	DENOMINAÇÃO CNAE 2.0 (2021)	SEÇÃO	DIVISÃO
4	Aricanduva	0,0000021	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
5	Bandeira	0,000003	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
6	Berilo	0,0000022	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
7	Bocaiúva	0,081719	Demais serviços	S	94, 95, 96
8	Botumirim	0,000448	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
9	Cachoeira de Pajeú	0,000072	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
10	Capelinha	-	Demais serviços	S	94, 95, 96
11	Caraí	0,000153	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
12	Carbonita	0,000692	Produção florestal	A	02
			Pesca e aquicultura		03
13	Chapada do Norte	0,000026	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
14	Comercinho	0,000143	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
15	Coronel Murta	0,000104	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86

Tabela 23- Demanda hídrica industrial da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha (1970 a 2024) - continuação

ORDEM	MUNICÍPIO (MG)	VAZÃO MÉDIA DE RETIRADA (m ³ /s)	DENOMINAÇÃO CNAE 2.0 (2021)	SEÇÃO	DIVISÃO
16	Couto de Magalhães de Minas	0,000056	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
17	Cristália	0,000013	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
18	Datas	0,000059	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
19	Diamantina	0,013059	Demais serviços	S	94, 95, 96
20	Divisópolis	0,000037	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
21	Felício dos Santos	0,000011	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
22	Felisburgo	0,000008	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
23	Francisco Badaró	0,000004	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
24	Fruta de Leite	0,000000	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
25	Grão Mogol	0,000767	Eletricidade e gás	D	35
			Água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	E	36, 37, 38, 39
26	Guaracama	0,000024	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86

Tabela 23- Demanda hídrica industrial da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha (1970 a 2024) - continuação

ORDEM	MUNICÍPIO (MG)	VAZÃO MÉDIA DE RETIRADA (m ³ /s)	DENOMINAÇÃO CNAE 2.0 (2021)	SEÇÃO	DIVISÃO
27	Itacambira	0,000211	Administração, defesa e seguridade social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
28	Itamarandiba	0,000498	Produção florestal	A	02
			Pesca e aquicultura		03
29	Itaobim	0,004007	Demais serviços	S	94, 95, 96
30	Itinga	0,000045	Administração, defesa e seguridade social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
31	Jacinto	0,000024	Administração, defesa e seguridade social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
32	Jenipapo de Minas	0,000008	Administração, defesa e seguridade social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
33	Jequitinhonha	0,000235	Administração, defesa e seguridade social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
34	Joaíma	0,000235	Administração, defesa e seguridade social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
35	Jordânia	0,000005	Administração, defesa e seguridade social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
36	José Gonçalves de Minas	0,000004	Administração, defesa e seguridade social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
37	Josenópolis	0,000083	Administração, defesa e seguridade social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
38	Leme do Prado	0,000034	Administração, defesa e seguridade social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86

Tabela 23- Demanda hídrica industrial da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha (1970 a 2024) - continuação

ORDEM	MUNICÍPIO (MG)	VAZÃO MÉDIA DE RETIRADA (m ³ /s)	DENOMINAÇÃO CNAE 2.0 (2021)	SEÇÃO	DIVISÃO
39	Malacacheta	0,000506	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
40	Mata Verde	0,000026	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
41	Medina	0,001014	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
42	Minas Novas	0,000514	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
43	Monte Formoso	0,000009	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
44	Novo Cruzeiro	0,000201	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
45	Novorizonte	0,000301	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
46	Olhos d'água	0,003950	Produção florestal	A	02
			Pesca e aquicultura		03
47	Padre Carvalho	0,000023	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
48	Padre Paraíso	0,000235	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
49	Pedra Azul	0,001983	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86

Tabela 23- Demanda hídrica industrial da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha (1970 a 2024) - continuação

ORDEM	MUNICÍPIO (MG)	VAZÃO MÉDIA DE RETIRADA (m³/s)	DENOMINAÇÃO CNAE 2.0 (2021)	SEÇÃO	DIVISÃO
50	Ponto dos Volantes	0,000002	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
51	Riacho dos Machados	0,000061	Indústrias extractivas	B	07, 08, 09
52	Rio do Prado	0,000000	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
53	Rio Pardo de Minas	0,000686	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
54	Rio Vermelho	0,000035	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
55	Rubelita	0,000002	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
56	Rubim	0,000071	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
57	Salinas	0,005586	Demais serviços	S	94, 95, 96
58	Salto da Divisa	0,000330	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
59	Santa Cruz de Salinas	0,000000	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
60	Santa Maria do Salto	0,000259	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
61	Santo Antônio do Jacinto	0,000027	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86

Tabela 23- Demanda hídrica industrial da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha (1970 a 2024) - conclusão

ORDEM	MUNICÍPIO (MG)	VAZÃO MÉDIA DE RETIRADA (m ³ /s)	DENOMINAÇÃO CNAE 2.0 (2021)	SEÇÃO	DIVISÃO
62	São Gonçalo do Rio Preto	0,000056	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
63	Senador Modestino Gonçalves	0,000032	Produção florestal	A	02
			Pesca e aquicultura		03
64	Serranópolis de Minas	0,000000	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
65	Serro	0,001163	Demais serviços	S	94, 95, 96
66	Setubinha	0,000040	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
67	Taiobeiras	0,005380	Demais serviços	S	94, 95, 96
68	Turmalina	0,002580	Produção florestal	A	02
			Pesca e aquicultura		03
69	Veredinha	0,000081	Produção florestal	A	02
			Pesca e aquicultura		03
70	Virgem da Lapa	0,000101	Administração, defesa e segurança social	O	84
			Educação	P	85
			Saúde pública	Q	86
TOTAL MUNICIPAL		0,130616 m³/s entre 1970 e 2024			

Fonte: IBGE (2015, 2021); ANA (2024). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

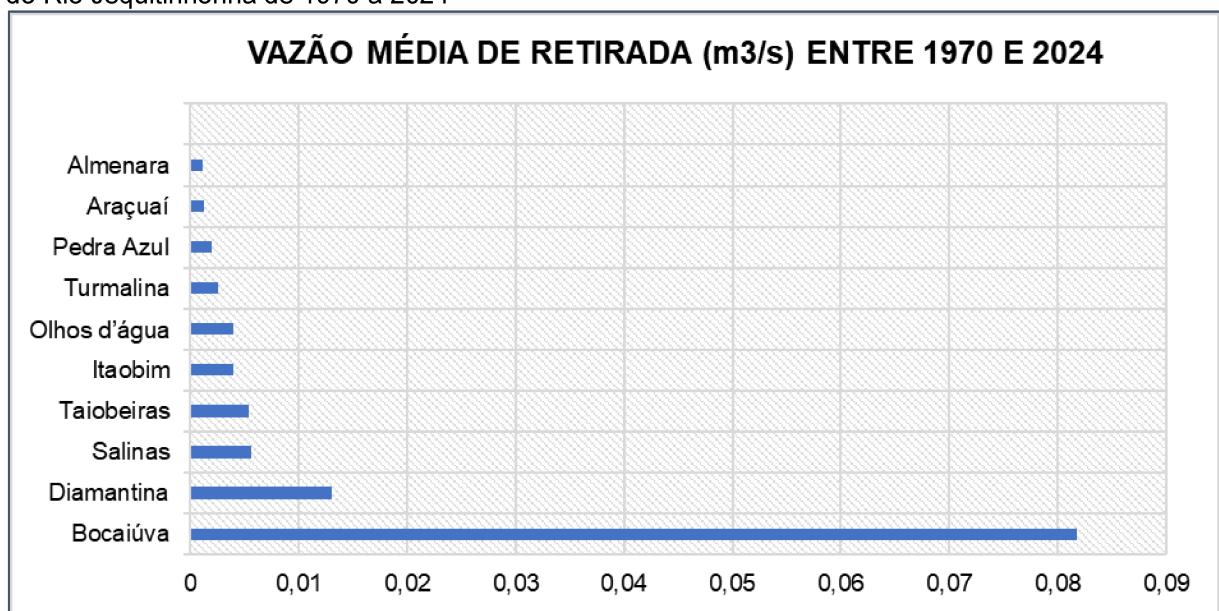
A Tabela 23 representa, apenas a título de conhecimento, o potencial industrial fornecido por cada um dos municípios pertencentes à porção mineira da Bacia em questão, por categorização e classificação das atividades econômicas de acordo com suas características, exceto para Capelinha que não teve sua vazão de retirada divulgada pela ANA (2024). Todavia, não revela com precisão as captações, por cada uma das atividades, nos cursos hídricos que formam a área de estudo e a região hidrográfica como um todo, justamente por ser uma área carente neste setor e pela inexistência de dados específicos.

Mesmo assim, vale associar a média da vazão mínima histórica sintetizada com o perfil industrial de maior relevância dos municípios partícipes, pois este comparativo

revelou, por conseguinte, que esta é uma localidade que requer um baixo nível de água para execução de suas atividades e serviços. Do total de $0,130616\text{ m}^3/\text{s}$ médios de água demandada por todos os 70 municípios, não convém calcular o percentual de vazão daqueles que estão apenas parcialmente inseridos na parte mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, visto que o total é insuficiente para aprofundar estes dados relacionados ao uso industrial. O Gráfico 3 expõe o ranking das maiores vazões médias de retirada da série histórica analisada.

É possível perceber que Bocaiúva, localizada ao norte de Minas Gerais, limítrofe a Montes Claros (cód.310006), está, disparadamente, no topo do maior consumidor hídrico do setor industrial, com PIB per capita a preços correntes de R\$24.252,97 em 2021 (IBGE, 2021). As atividades com maior valor adicionado bruto enquadram-se em: a) Demais Serviços (Seção S, Divisão 94, 95 e 96 da CNAE 2.0); b) Administração, Defesa e Seguridade Social (Seção O, Divisão 84); c) Educação (Seção P, Divisão 85); d) Saúde Pública (Seção Q, Divisão 86); e e) Indústrias de Transformação (Seção C, Divisões 10 a 33).

Gráfico 3- Ranking das maiores demandas médias industriais da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha de 1970 a 2024



Fonte: IBGE (2015, 2021); ANA (2024). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

A região em que este Município está inserido é conhecida por suas atividades de metalurgia, mineração, agricultura e reflorestamento, mas a principal é a produção e comercialização de ligas de silício e magnésio pela Rima Industrial, um grupo líder e único produtor de magnésio primário do Hemisfério Sul. O projeto que esta Empresa

tem em Bocaiúva consiste em substituir o óleo combustível fóssil por biomassa renovável (pó de carvão vegetal) na planta industrial.

Vale salientar que Bocaiúva está parcialmente dentro da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, com a outra parte de sua extensão territorial na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, mas, mesmo assim, proporcionalmente à área, sua demanda industrial continua à frente dos outros municípios do ranking demonstrado, pois o percentual de 32,99% inseridos em Minas Gerais, corresponderiam a 0,027 m³/s de média de retirada bruta industrial na série elegida, do total de, aproximadamente, 0,082 m³/s. Neste sentido, segue abaixo o Gráfico 4, como panorama das informações acima descritas.

Gráfico 4- Demandas médias industriais de Bocaiúva (MG) de 1970 a 2024



Fonte: IBGE (2015, 2024); CNI (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Localizado entre os rios Jequitinhonha, Jequitaí e Verde Grande, o Município pertence à área mineira da SUDENE, possuindo dois distritos - Terra Branca e Alto Belo; e cinco vilas - Pedregulho, Cordeiro, Machado, Camilo Prates e Sentinela. O quartzo se destaca por sua alta qualidade, sendo utilizado na construção de aeronaves, e é o responsável pela implantação do alto forno da Rima Industrial. Outros minerais como ouro, calcário, dolomita, argila e diamante são encontrados (CPRM, 2004).

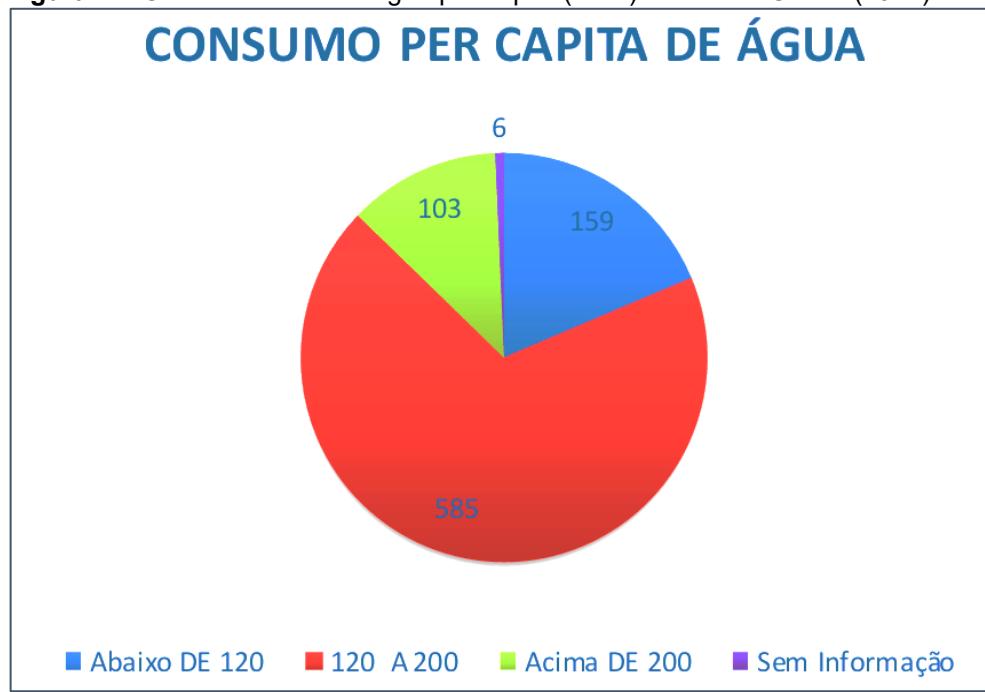
5.1.3 Demanda da população urbana e rural

A análise de dados secundários, assim como foi levantado para o tópico anterior, se deu por meio de fontes de informações do IBGE (2010), demonstrando a avaliação do consumo médio de água da população dos municípios mineiros inseridos na Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, assim como a estimativa para o ano de 2022, baseada no percentual projetado para atendimento urbano e rural, separadamente.

De acordo com o Panorama de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário (Minas Gerais, 2021), as CH's JQ1, JQ2 e JQ3 estão anexadas em uma área cujo percentual de população atendida por abastecimento hídrico varia entre 0 e 80%, sendo que de 0 a 50% a quantidade de municípios é baixa e de 51 a 80%, a maior parte. Ao divisar a fração urbana, este atendimento passa a apresentar melhores resultados, com variações entre 0 a 100%, com mais de 80% da população atendida.

A COPASA é a empresa que presta serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário na maior parte do Estado, atendendo cerca de 640 municípios. Minas Gerais possuía 873 estações de tratamento de água em 2021, com 103 cidades consumindo acima de 200 litros diários de água por habitante.

Figura 12- Consumo diário de água per capita (litros) em Minas Gerais (2021)



Fonte: Minas Gerais (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Tomando por base a população da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, foi construída a Tabela 24, constando o total do contingente populacional geral em 2010, assim como urbano e rural para o mesmo ano, junto aos percentuais correspondentes.

Tabela 24- População geral, urbana e rural da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, em 2010 - continua

QT.	CÓDIGO E NOME DO MUNICÍPIO	POPULAÇÃO GERAL (IBGE, 2010)	POPULAÇÃO URBANA (IBGE, 2010)	% POP. URBANA (IBGE, 2010)	POPULAÇÃO RURAL (IBGE, 2010)	% POP. RURAL (IBGE, 2010)
1	3101706 Almenara	38.779	31.751	81,88%	7.028	18,12%
2	3102852 Angelândia	8.003	4.036	50,43%	3.967	49,57%
3	3103405 Araçuaí	36.041	23.430	65,01%	12.611	34,99%
4	3104452 Aricanduva	4.770	1.697	35,58%	3.073	64,42%
5	3105202 Bandeira	4.988	2.378	47,67%	2.610	52,33%
6	3106507 Berilo	12.307	3.892	31,62%	8.415	68,38%
7	3107307 Bocaiúva	46.595	36.597	78,54%	9.998	21,46%
8	3108503 Botumirim	6.497	3.470	53,41%	3.027	46,59%
9	3102704 Cachoeira de Pajeú	8.962	4.457	49,73%	4.505	50,27%
10	3112307 Capelinha	34.803	24.710	71%	10.093	29%
11	3113008 Caraí	22.343	7.190	32,18%	15.153	67,82%
12	3113503 Carbonita	9.158	6.744	73,64%	2.414	26,36%
13	3116100 Chapada do Norte	15.165	5.702	37,60%	9.463	62,40%
14	3117009 Comercinho	8.309	3.555	42,78%	4.754	57,22%
15	3119500 Coronel Murta	9.117	6.693	73,41%	2.424	26,59%
16	3120102 Couto de Magalhães de Minas	4.204	3.835	91,22%	369	8,78%
17	3120300 Cristália	5.760	3.053	53,00%	2.707	47,00%
18	3121001 Datas	5.210	3.092	59,35%	2.118	40,65%
19	3121605 Diamantina	45.884	40.062	87,31%	5.822	12,69%
20	3122454 Divisópolis	8.970	6.404	71,39%	2.566	28,61%
21	3125408 Felício dos Santos	5.137	2.229	43,39%	2.908	56,61%
22	3125606 Felisburgo	6.887	5.092	73,94%	1.795	26,06%
23	3126505 Francisco Badaró	10.244	3.194	31,18%	7.050	68,82%
24	3127073 Fruta de Leite	5.940	2.036	34,28%	3.904	65,72%
25	3127800 Grão Mogol	15.026	5.392	35,88%	9.634	64,12%
26	3128253 Guaraciama	4.719	3.027	64,14%	1.692	35,86%

Tabela 24- População geral, urbana e rural da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, em 2010 – continuação

QT.	CÓDIGO E NOME DO MUNICÍPIO	POPULAÇÃO GERAL (IBGE, 2010)	POPULAÇÃO URBANA (IBGE, 2010)	% POP. URBANA (IBGE, 2010)	POPULAÇÃO RURAL (IBGE, 2010)	% POP. RURAL (IBGE, 2010)
27	3132008 Itacambira	4.982	1.006	20,19%	3.976	79,81%
28	3132503 Itamarandiba	32.177	21.991	68,34%	10.186	31,66%
29	3133303 Itaobim	21.001	15.779	75,13%	5.222	24,87%
30	3134004 Itinga	14.407	6.554	45,49%	7.853	54,51%
31	3134707 Jacinto	12.134	9.197	75,80%	2.937	24,20%
32	3135456 Jenipapo de Minas	7.117	2.882	40,49%	4.235	59,51%
33	3135803 Jequitinhonha	24.179	17.065	70,58%	7.114	29,42%
34	3136009 Joaíma	14.930	10.275	68,82%	4.655	31,18%
35	3136504 Jordânia	10.319	7.220	69,97%	3.099	30,03%
36	3136520 José Gonçalves de Minas	4.577	1.141	24,93%	3.436	75,07%
37	3136579 Josenópolis	4.566	2.444	53,53%	2.122	46,47%
38	3138351 Leme do Prado	4.814	1.764	36,64%	3.050	63,36%
39	3139201 Malacacheta	18.787	11.828	62,96%	6.959	37,04%
40	3140555 Mata Verde	7.880	6.392	81,12%	1.488	18,88%
41	3141405 Medina	21.037	15.105	71,80%	5.932	28,20%
42	3141801 Minas Novas	30.803	12.590	40,87%	18.213	59,13%
43	3143153 Monte Formoso	4.664	1.700	36,45%	2.964	63,55%
44	3145307 Novo Cruzeiro	30.726	10.523	34,25%	20.203	65,75%
45	3145372 Novorizonte	4.953	1.717	34,67%	3.236	65,33%
46	3145455 Olhos d'Água	5.264	2.865	54,43%	2.399	45,57%
47	3146255 Padre Carvalho	5.834	3.462	59,34%	2.372	40,66%
48	3146305 Padre Paraíso	18.852	11.523	61,12%	7.329	38,88%
49	3148707 Pedra Azul	23.843	20.997	88,06%	2.846	11,94%
50	3152170 Ponto dos Volantes	11.345	4.031	35,53%	7.314	64,47%
51	3154507 Riacho dos Machados	9.360	4.499	48,07%	4.861	51,93%
52	3155108 Rio do Prado	5.213	2.726	52,29%	2.487	47,71%
53	3155603 Rio Pardo de Minas	29.075	11.701	40,24%	17.374	59,76%
54	3156007 Rio Vermelho	13.645	5.484	40,19%	8.164	59,83%
55	3156502 Rubelita	7.777	2.516	32,35%	5.261	67,65%
56	3156601 Rubim	9.908	7.700	77,71%	2.208	22,29%

Tabela 24- População geral, urbana e rural da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, em 2010 – conclusão

QT.	CÓDIGO E NOME DO MUNICÍPIO	POPULAÇÃO GERAL (IBGE, 2010)	POPULAÇÃO URBANA (IBGE, 2010)	% POP. URBANA (IBGE, 2010)	POPULAÇÃO RURAL (IBGE, 2010)	% POP. RURAL (IBGE, 2010)
57	3157005 Salinas	39.182	30.718	78,40%	8.464	21,60%
58	3157104 Salto da Divisa	6.862	5.751	83,81%	1.111	16,19%
59	3157377 Santa Cruz de Salinas	4.397	1.152	26,20%	3.245	73,80%
60	3158102 Santa Maria do Salto	5.293	3.749	70,83%	1.544	29,17%
61	3160306 Santo Antônio do Jacinto	11.780	6.366	54,04%	5.414	45,96%
62	3125507 São Gonçalo do Rio Preto	3.039	1.952	64,23%	1.087	35,77%
63	3165909 Senador Modestino Gonçalves	4.574	1.803	39,42%	2.771	60,58%
64	3166956 Serranópolis de Minas	4.425	1.728	39,05%	2.697	60,95%
65	3167103 Serro	20.833	12.895	61,90%	7.938	38,10%
66	3165552 Setubinha	10.885	2.802	25,74%	8.083	74,26%
67	3168002 Taiobeiras	30.894	25.042	81,06%	5.852	18,94%
68	3169703 Turmalina	18.046	12.913	71,56%	5.133	28,44%
69	3171071 Veredinha	5.533	3.757	67,90%	1.776	32,10%
70	3171600 Virgem da Lapa	13.625	6.842	50,22%	6.783	49,78%
TOTAL		940.601	572.733		367.871	
			60,89%		39,11%	

Fonte: IBGE (2010). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Entretanto, para que fosse possível estimarmos, com maior exatidão, as informações relacionadas à demanda hídrica humana, sabendo que os dados sofreram alterações a partir de 2010, e que o último Censo do IBGE (2022) não publicou até o presente momento de elaboração destes resultados, a separação entre população urbana e rural, apenas a população total dos municípios analisados, foi construída uma nova tabela (Tabela 25), para que, proporcionalmente ao Censo de 2010, fosse possível estimar com maior exatidão os índices propostos.

Tabela 25- População geral, urbana e rural estimada para a porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, em 2022 - continua

QT.	CÓDIGO E NOME DO MUNICÍPIO	POP. GERAL ESTIMADA PARA 2022	POP. URBANA ESTIMADA PARA 2022	POP. RURAL ESTIMADA PARA 2022	POP. URBANA ESTIMADA PARA 2022 (ÁREA NA BACIA)	POP. RURAL ESTIMADA PARA 2022 (ÁREA NA BACIA)
1	3101706 Almenara	40.364	33.049	7.315	33.049	7.315
2	3102852 Angelândia	7.718	3.892	3.826	3.892	3.826
3	3103405 Araçuaí	34.297	22.296	12.001	22.296	12.001
4	3104452 Aricanduva	4.719	1.679	3.040	1.675	3.033
5	3105202 Bandeira	4.741	2.260	2.481	2.260	2.481
6	3106507 Berilo	9.826	3.107	6.719	3.107	6.719
7	3107307 Bocaiúva	48.032	37.726	10.306	12.446	3.400
8	3108503 Botumirim	5.790	3.092	2.698	3.092	2.698
9	3102704 Cachoeira de Pajeú	9.110	4.531	4.579	4.531	4.579
10	3112307 Capelinha	34.803	24.710	10.093	24.710	10.093
11	3113008 Caraí	19.548	6.291	13.257	2.790	5.880
12	3113503 Carbonita	8.512	6.268	2.244	6.268	2.244
13	3116100 Chapada do Norte	10.337	3.887	6.450	3.887	6.450
14	3117009 Comercinho	6.660	2.849	3.811	2.849	3.811
15	3119500 Coronel Murta	8.200	6.020	2.180	6.020	2.180
16	3120102 Couto de Magalhães de Minas	4.245	3.872	373	3.872	373
17	3120300 Cristália	5.121	2.714	2.407	2.714	2.407
18	3121001 Datas	5.465	3.243	2.222	1.216	833
19	3121605 Diamantina	47.702	41.649	6.053	31.008	4.506
20	3122454 Divisópolis	10.213	7.291	2.922	7.291	2.922
21	3125408 Felício dos Santos	5.133	2.227	2.906	2.227	2.906
22	3125606 Felisburgo	6.489	4.798	1.691	4.105	1.447
23	3126505 Francisco Badaró	7.366	2.297	5.069	2.297	5.069
24	3127073 Fruta de Leite	4.647	1.593	3.054	1.593	3.054
25	3127800 Grão Mogol	13.901	4.988	8.913	4.988	8.913
26	3128253 Guaraciama	5.051	3.240	1.811	2.456	1.373
27	3132008 Itacambira	4.252	859	3.393	859	3.393
28	3132503 Itamarandiba	32.948	22.518	10.430	22.498	10.421
29	3133303 Itaobim	19.151	14.389	4.762	14.389	4.762
30	3134004 Itinga	13.745	6.253	7.492	6.253	7.492

Tabela 25- População geral, urbana e rural estimada para a porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, em 2022 - continuação

QT.	CÓDIGO E NOME DO MUNICÍPIO	POP. GERAL ESTIMADA PARA 2022	POP. URBANA ESTIMADA PARA 2022	POP. RURAL ESTIMADA PARA 2022	POP. URBANA ESTIMADA PARA 2022 (ÁREA NA BACIA)	POP. RURAL ESTIMADA PARA 2022 (ÁREA NA BACIA)
31	3134707 Jacinto	11.042	8.369	2.673	8.369	2.673
32	3135456 Jenipapo de Minas	6.100	2.470	3.630	2.470	3.630
33	3135803 Jequitinhonha	24.007	16.944	7.063	16.944	7.063
34	3136009 Joaíma	13.888	9.558	4.330	9.546	4.325
35	3136504 Jordânia	10.304	7.210	3.094	7.210	3.094
36	3136520 José Gonçalves de Minas	3.969	989	2.980	989	2.980
37	3136579 Josenópolis	3.630	1.943	1.687	1.943	1.687
38	3138351 Leme do Prado	4.341	1.591	2.750	1.591	2.750
39	3139201 Malacacheta	17.516	11.028	6.488	1.286	757
40	3140555 Mata Verde	9.112	7.391	1.721	7.391	1.721
41	3141405 Medina	20.156	14.472	5.684	14.472	5.684
42	3141801 Minas Novas	24.405	9.975	14.430	9.975	14.430
43	3143153 Monte Formoso	4.381	1.597	2.784	1.597	2.784
44	3145307 Novo Cruzeiro	26.975	9.238	17.737	9.238	17.737
45	3145372 Novorizonte	4.571	1.585	2.986	1.585	2.986
46	3145455 Olhos d'Água	5.385	2.931	2.454	2.931	2.454
47	3146255 Padre Carvalho	5.058	3.002	2.056	3.002	2.056
48	3146305 Padre Paraíso	17.334	10.595	6.739	10.553	6.712
49	3148707 Pedra Azul	24.410	21.496	2.914	21.496	2.914
50	3152170 Ponto dos Volantes	10.883	3.867	7.016	3.867	7.016
51	3154507 Riacho dos Machados	8.756	4.209	4.547	1.997	2.157
52	3155108 Rio do Prado	4.639	2.426	2.213	1.480	1.350
53	3155603 Rio Pardo de Minas	28.271	11.377	16.894	1.203	1.786
54	3156007 Rio Vermelho	12.641	5.080	7.563	246	366
55	3156502 Rubelita	5.679	1.837	3.842	1.837	3.842
56	3156601 Rubim	10.298	8.003	2.295	8.003	2.295
57	3157005 Salinas	40.178	31.499	8.679	31.499	8.679
58	3157104 Salto da Divisa	6.110	5.121	989	5.121	989
59	3157377 Santa Cruz de Salinas	3.910	1.024	2.886	651	1.833
60	3158102 Santa Maria do Salto	4.755	3.368	1.387	3.368	1.387

Tabela 25- População geral, urbana e rural estimada para a porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, em 2022 - conclusão

QT.	CÓDIGO E NOME DO MUNICÍPIO		POP. GERAL ESTIMADA PARA 2022	POP. URBANA ESTIMADA PARA 2022	POP. RURAL ESTIMADA PARA 2022	POP. URBANA ESTIMADA PARA 2022 (ÁREA NA BACIA)	POP. RURAL ESTIMADA PARA 2022 (ÁREA NA BACIA)
61	3160306	Santo Antônio do Jacinto	10.327	5.581	4.746	1.962	1.669
62	3125507	São Gonçalo do Rio Preto	3.032	1.948	1.084	1.948	1.084
63	3165909	Senador Modestino Gonçalves	4.008	1.580	2.428	1.580	2.428
64	3166956	Serranópolis de Minas	4.399	1.718	2.681	308	481
65	3167103	Serro	21.952	13.588	8.364	6.191	3.811
66	3165552	Setubinha	9.917	2.553	7.364	2.553	7.364
67	3168002	Taiobeiras	33.050	26.790	6.260	8.661	2.024
68	3169703	Turmalina	20.000	14.311	5.689	14.311	5.689
69	3171071	Veredinha	5.181	3.518	1.663	3.518	1.663
70	3171600	Virgem da Lapa	11.804	5.928	5.876	5.928	5.876
TOTAL		934.460	581.298	353.164	479.458	288.807	

Fonte: IBGE (2010). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

As linhas em destaque na cor cinza apresentam as estimativas populacionais de 2022 conforme a proporção territorial de cada um destes municípios dentro da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha. Em comparação ao total geral da população, correspondente ao valor de 934.460 indivíduos, tanto em zona urbana quanto em rural, o somatório das áreas parcialmente inseridas no território analisado totaliza 768.265 pessoas, o que resulta em uma diferença de 166.195 na população geral.

Almenara, Bocaiúva, Diamantina e Salinas, tanto no Censo de 2010, quanto na estimativa construída para 2022, integram o ranking de municípios mais populosos em seus totais gerais; Itacambira, José Gonçalves de Minas, Santa Cruz de Salinas e Setubinha, possuem índice populacional em zona rural maior que urbana nos mesmos períodos analisados. É conclusivo, então, que, tomando por base o total geral urbano estimado (581.298) e o proporcional de mesma zona (479.458), a diferença de 101.840 pessoas é quase metade da diferença, de mesma paridade, à zona rural, que decorre em 64.357 pessoas.

Tomando por base os coeficientes apresentados na metodologia da pesquisa e a Tabela 23, que identifica o total populacional dentro da Bacia Hidrográfica do Rio

Jequitinhonha, em Minas Gerais, a quantidade de água consumida pelas populações urbana e rural, por município, ao dia, é apresentada na Tabela 26 a seguir, considerando as estimativas previstas para 2022.

Tabela 26- Demanda hídrica populacional estimada para a porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, em 2022 - continua

QT.	CÓDIGO E NOME DO MUNICÍPIO		POP. URBANA ESTIMADA PARA 2022 (ÁREA NA BACIA)	DEMANDA HÍDRICA URBANA PARA 2022 (l/dia)	POP. RURAL ESTIMADA PARA 2022 (ÁREA NA BACIA)	DEMANDA HÍDRICA RURAL PARA 2022 (l/dia)	DEMANDA HÍDRICA GERAL PARA 2022 (l/dia)	DEMANDA HÍDRICA GERAL PARA 2022 (m ³ /s)
1	3101706	Almenara	33.049	5.783.575	7.315	512.050	6.295.625	0,07
2	3102852	Angelândia	3.892	389.200	3.826	267.820	657.020	0,008
3	3103405	Araçuaí	22.296	3.901.800	12.001	840.070	4.741.870	0,05
4	3104452	Aricanduva	1.675	167.500	3.033	212.310	379.810	0,004
5	3105202	Bandeira	2.260	226.000	2.481	173.670	399.670	0,005
6	3106507	Berilo	3.107	310.700	6.719	470.330	781.030	0,009
7	3107307	Bocaiúva	12.446	1.866.900	3.400	238.000	2.104.900	0,02
8	3108503	Botumirim	3.092	309.200	2.698	188.860	498.060	0,006
9	3102704	Cachoeira de Pajeú	4.531	453.100	4.579	320.530	773.630	0,009
10	3112307	Capelinha	24.710	4.324.250	10.093	706.510	5.030.760	0,06
11	3113008	Caraí	2.790	279.000	5.880	411.600	690.600	0,008
12	3113503	Carbonita	6.268	940.200	2.244	157.080	1.097.280	0,01
13	3116100	Chapada do Norte	3.887	388.700	6.450	451.500	840.200	0,01
14	3117009	Comercinho	2.849	284.900	3.811	266.770	551.670	0,006
15	3119500	Coronel Murta	6.020	903.000	2.180	152.600	1.055.600	0,01
16	3120102	Couto de Magalhães de Minas	3.872	387.200	373	26.110	413.310	0,005
17	3120300	Cristália	2.714	271.400	2.407	168.490	439.890	0,005
18	3121001	Datas	1.216	121.600	833	58.310	179.910	0,002
19	3121605	Diamantina	31.008	5.426.400	4.506	315.420	5.741.820	0,07
20	3122454	Divisópolis	7.291	1.093.650	2.922	204.540	1.298.190	0,02
21	3125408	Felício dos Santos	2.227	222.700	2.906	203.420	426.120	0,005
22	3125606	Felisburgo	4.105	410.500	1.447	101.290	511.790	0,006
23	3126505	Francisco Badaró	2.297	229.700	5.069	354.830	584.530	0,007
24	3127073	Fruta de Leite	1.593	159.300	3.054	213.780	373.080	0,004
25	3127800	Grão Mogol	4.988	498.800	8.913	623.910	1.122.710	0,01
26	3128253	Guaraciama	2.456	245.600	1.373	96.110	341.710	0,004

Tabela 26- Demanda hídrica populacional estimada para a porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, em 2022 - continuação

QT.	CÓDIGO E NOME DO MUNICÍPIO		POP. URBANA ESTIMADA PARA 2022 (ÁREA NA BACIA)	DEMANDA HÍDRICA URBANA PARA 2022 (l/dia)	POP. RURAL ESTIMADA PARA 2022 (ÁREA NA BACIA)	DEMANDA HÍDRICA RURAL PARA 2022 (l/dia)	DEMANDA HIDRICA GERAL PARA 2022 (l/dia)	DEMANDA HÍDRICA GERAL PARA 2022 (m ³ /s)
27	3132008	Itacambira	859	85.900	3.393	237.510	323.410	0,004
28	3132503	Itamarandiba	22.498	3.937.150	10.421	729.470	4.666.620	0,05
29	3133303	Itaobim	14.389	2.158.350	4.762	333.340	2.491.690	0,03
30	3134004	Itinga	6.253	937.950	7.492	524.440	1.462.390	0,02
31	3134707	Jacinto	8.369	1.255.350	2.673	187.110	1.442.460	0,02
32	3135456	Jenipapo de Minas	2.470	247.000	3.630	254.100	501.100	0,006
33	3135803	Jequitinhonha	16.944	2.541.600	7.063	494.410	3.036.010	0,04
34	3136009	Joaíma	9.546	1.431.900	4.325	302.750	1.734.650	0,02
35	3136504	Jordânia	7.210	1.081.500	3.094	216.580	1.298.080	0,02
36	3136520	José Gonçalves de Minas	989	98.900	2.980	208.600	307.500	0,004
37	3136579	Josenópolis	1.943	194.300	1.687	118.090	312.390	0,004
38	3138351	Leme do Prado	1.591	159.100	2.750	192.500	351.600	0,004
39	3139201	Malacacheta	1.286	128.600	757	52.990	181.590	0,002
40	3140555	Mata Verde	7.391	1.108.650	1.721	120.470	1.229.120	0,01
41	3141405	Medina	14.472	2.170.800	5.684	397.880	2.568.680	0,03
42	3141801	Minas Novas	9.975	1.496.250	14.430	1.010.100	2.506.350	0,03
43	3143153	Monte Formoso	1.597	159.700	2.784	194.880	354.580	0,004
44	3145307	Novo Cruzeiro	9.238	1.385.700	17.737	1.241.590	2.627.290	0,03
45	3145372	Novorizonte	1.585	158.500	2.986	209.020	367.520	0,004
46	3145455	Olhos d'Água	2.931	293.100	2.454	171.780	464.880	0,005
47	3146255	Padre Carvalho	3.002	300.200	2.056	143.920	444.120	0,005
48	3146305	Padre Paraíso	10.553	1.582.950	6.712	469.840	2.052.790	0,02
49	3148707	Pedra Azul	21.496	3.761.800	2.914	203.980	3.965.780	0,05
50	3152170	Ponto dos Volantes	3.867	386.700	7.016	491.120	877.820	0,01
51	3154507	Riacho dos Machados	1.997	199.700	2.157	150.990	350.690	0,004
52	3155108	Rio do Prado	1.480	148.000	1.350	94.500	242.500	0,003
53	3155603	Rio Pardo de Minas	1.203	120.300	1.786	125.020	245.320	0,003
54	3156007	Rio Vermelho	246	24.600	366	25.620	50.220	0,0006
55	3156502	Rubelita	1.837	183.700	3.842	268.940	452.640	0,005
56	3156601	Rubim	8.003	1.200.450	2.295	160.650	1.361.100	0,02

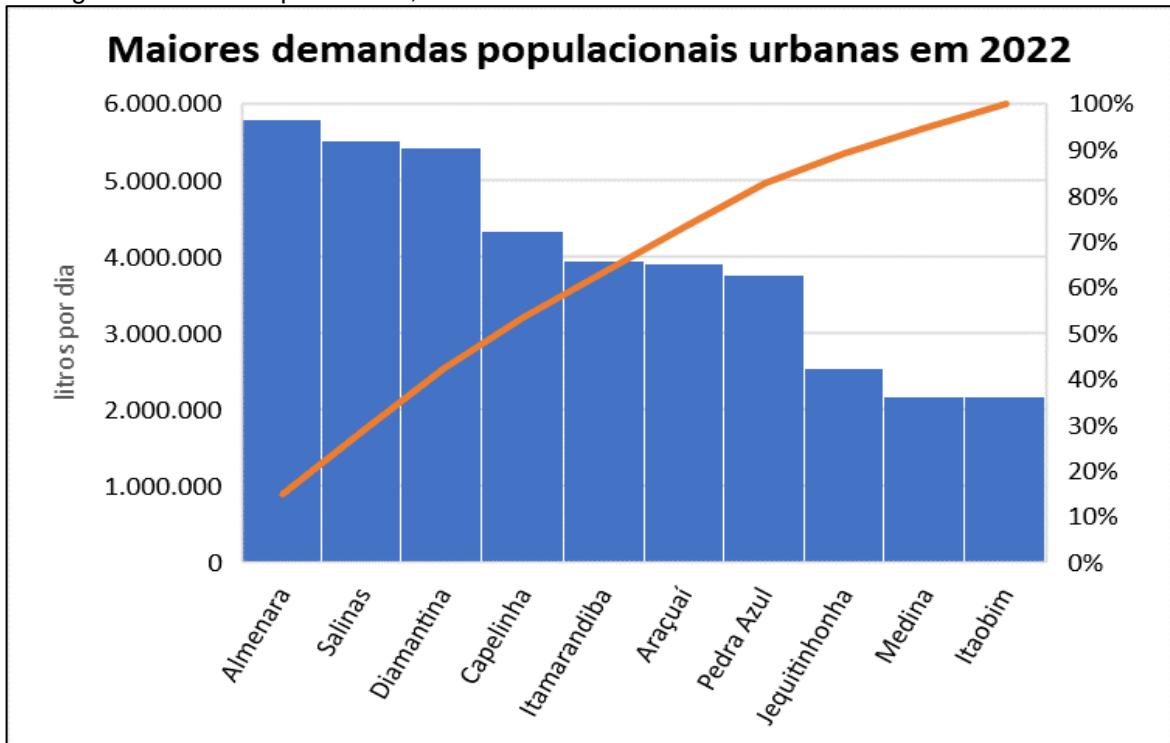
Tabela 26- Demanda hídrica populacional estimada para a porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, em 2022 - conclusão

QT.	CÓDIGO E NOME DO MUNICÍPIO		POP. URBANA ESTIMADA PARA 2022 (ÁREA NA BACIA)	DEMANDA HÍDRICA URBANA PARA 2022 (l/dia)	POP. RURAL ESTIMADA PARA 2022 (ÁREA NA BACIA)	DEMANDA HÍDRICA RURAL PARA 2022 (l/dia)	DEMANDA HÍDRICA GERAL PARA 2022 (l/dia)	DEMANDA HÍDRICA GERAL PARA 2022 (m³/s)
57	3157005	Salinas	31.499	5.512.325	8.679	607.530	6.119.855	0,07
58	3157104	Salto da Divisa	5.121	768.150	989	69.230	837.380	0,01
59	3157377	Santa Cruz de Salinas	651	65.100	1.833	128.310	193.410	0,002
60	3158102	Santa Maria do Salto	3.368	336.800	1.387	97.090	433.890	0,005
61	3160306	Santo Antônio do Jacinto	1.962	196.200	1.669	116.830	313.030	0,004
62	3125507	São Gonçalo do Rio Preto	1.948	194.800	1.084	75.880	270.680	0,003
63	3165909	Senador Modestino Gonçalves	1.580	158.000	2.428	169.960	327.960	0,004
64	3166956	Serranópolis de Minas	308	30.800	481	33.670	64.470	0,0007
65	3167103	Serro	6.191	928.650	3.811	266.770	1.195.420	0,01
66	3165552	Setubinha	2.553	255.300	7.364	515.480	770.780	0,009
67	3168002	Taiobeiras	8.661	1.299.150	2.024	141.680	1.440.830	0,02
68	3169703	Turmalina	14.311	2.146.650	5.689	398.230	2.544.880	0,03
69	3171071	Veredinha	3.518	351.800	1.663	116.410	468.210	0,005
70	3171600	Virgem da Lapa	5.928	889.200	5.876	411.320	1.300.520	0,02
TOTAL			479.458	71.666.500	288.807	20.216.490	91.882.990	1,07

Fonte: IBGE (2010). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Diante dos resultados levantados, os municípios de Almenara, Diamantina e Salinas detêm as maiores demandas hídricas, considerando o total agregado das populações urbana e rural, em 2022, enquanto Rio Vermelho foi o município que menos demandou, por apresentar o menor índice populacional. O Gráfico 5 representa, então, o *ranking* dos municípios com maiores demandas urbanas e rurais pelos municípios população da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, em Minas Gerais.

Gráfico 5- Ranking da demanda hídrica populacional urbana na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, em 2022

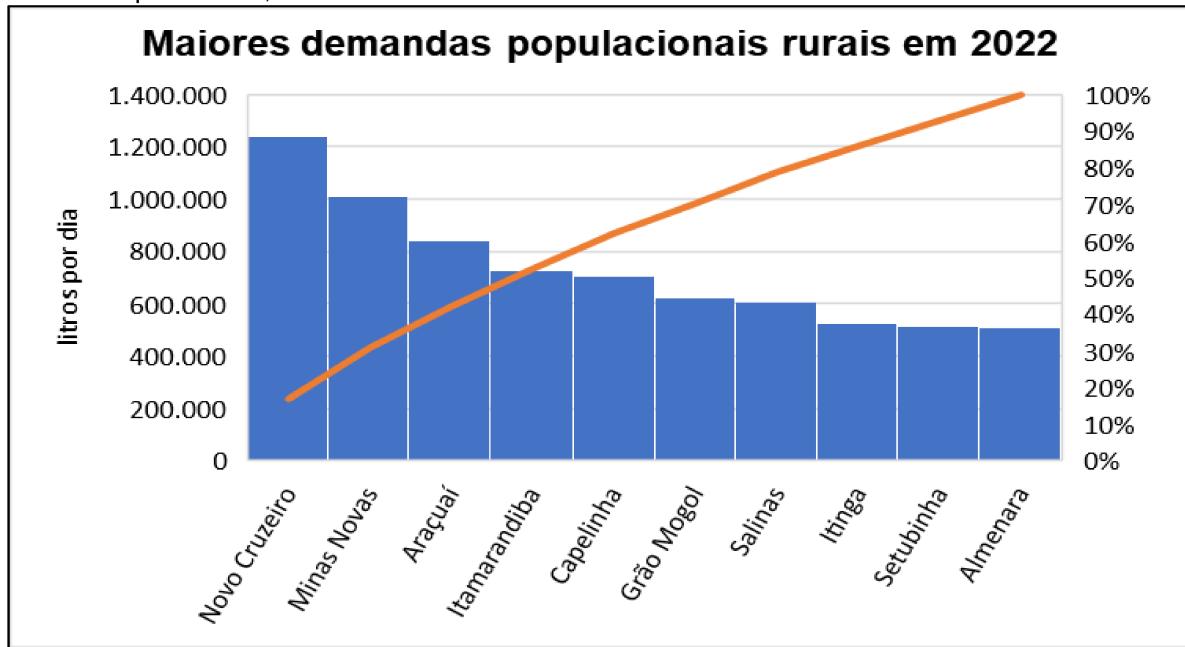


Fonte: Elaborado por Melo, M. P. de (2025).

Analizando o Gráfico 5 é possível perceber que, entre os dez municípios com maior demanda hídrica por parte da população urbana, Almenara ocupou o primeiro lugar, com quase $0,07 \text{ m}^3/\text{s}$ ao dia, totalizando $25,55 \text{ m}^3/\text{s}$ no ano de 2022, ao passo que Salinas e Diamantina consumiram, cada um, aproximadamente $21,9 \text{ m}^3/\text{s}$ no mesmo ano. Itamarandiba, Araçuaí e Pedra Azul se mantiveram pariformes com consumo aproximado de $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$ ao dia, o que correspondeu a $14,6 \text{ m}^3/\text{s}/\text{ano}$. Jequitinhonha demandou $10,95 \text{ m}^3/\text{s}/\text{ano}$, enquanto Medina e Itaobim foram os menores consumidores de água em área urbana, com cerca de $7,3 \text{ m}^3/\text{s}$ em 2022.

Já o Gráfico 6, que demonstra o mesmo *ranking* para a demanda hídrica populacional rural, teve seus resultados apontando para Novo Cruzeiro como o maior consumidor, com $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$ ao dia e, anualmente, $3,65 \text{ m}^3/\text{s}$. Todos os outros municípios demandaram abaixo desta marca em 2022.

Gráfico 6- Ranking da demanda hídrica populacional rural na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, em 2022



Fonte: Elaborado por Melo, M. P. de (2025).

No Tópico 5.2 a seguir é possível acompanhar os resultados referentes à disponibilidade de água conforme resultados apurados dos postos fluviométricos elegidos para levantamento da vazão Q_{7.10}, considerando a série histórica analisada para a área de estudo.

5.2 Disponibilidade hídrica superficial

Variações espaço-temporais relacionadas com aspectos climáticos, assim como a padrões de cobertura e uso da terra, afetam os recursos hídricos, com a possibilidade de aumento ou diminuição do volume e degradação da qualidade de água, resultando em possíveis conflitos de uso do recurso. Assim, o levantamento da disponibilidade hídrica é importante para a análise do potencial de uso da água e autorização de outorgas para diversas finalidades de uso antrópico no âmbito da Bacia.

De acordo com a Embrapa (2024), em seu diagnóstico multidisciplinar sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, durante a década de 1940, o Rio Jequitinhonha mantinha vazões cerca de 30% superiores às atuais durante o período de estiagem, indicando que havia maiores taxas de infiltração da água das chuvas no solo e menores perdas por escorramento superficial.

A disponibilidade natural das águas superficiais da Bacia deste estudo depende, basicamente, do tamanho das áreas de contribuição, visto que não possui diferenças significativas em relação ao contexto físico-geográfico de sua extensão. Aspectos sobre disponibilidade hídrica da área de estudo foram analisados pela base de regime fluviométrico (estação chuvosa e seca) a partir dos dados do Portal Hidroweb (ANA, 2022), dos 12 postos de controle disponíveis, de 1985 a 2021, como mostram as Tabelas 27 a 50 e os Gráficos 7 a 18, considerando as vazões mínimas e médias, em m³/s.

Em síntese, na área de estudo, há um padrão de variabilidade intra-anual, onde têm-se dois períodos bem definidos, um de cheia e outro de estiagem, o que demonstra a sazonalidade marcada. Salienta-se que as vazões máximas foram omitidas deste estudo, visto que para o entendimento de quadros de escassez hídrica e vulnerabilidade, estes dados não somam com o objetivo proposto. São apontados apenas para estimar a maior vazão que pode ser atingida em um curso d'água em pico máximo num evento de precipitação, e este não é o caso do que está em avaliação.

Tabela 27- Vazão mínima mensal do Posto Fluviométrico Fazenda Cajueiro, para as estações chuvosa e seca, de 1985 a 2021

Nº	CURSO D'ÁGUA	NOME DO POSTO					CÓDIGO DO POSTO
1	Rio São Francisco	Fazenda Cajueiro					54770000
ESTAÇÃO CHUVOSA							
MÊS	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	0,53	1,08	3,05	2,23	2,29	1,49	10,67
ESTAÇÃO SECA							
MÊS	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	1,71	1,31	0,98	0,85	0,70	0,58	6,14

Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

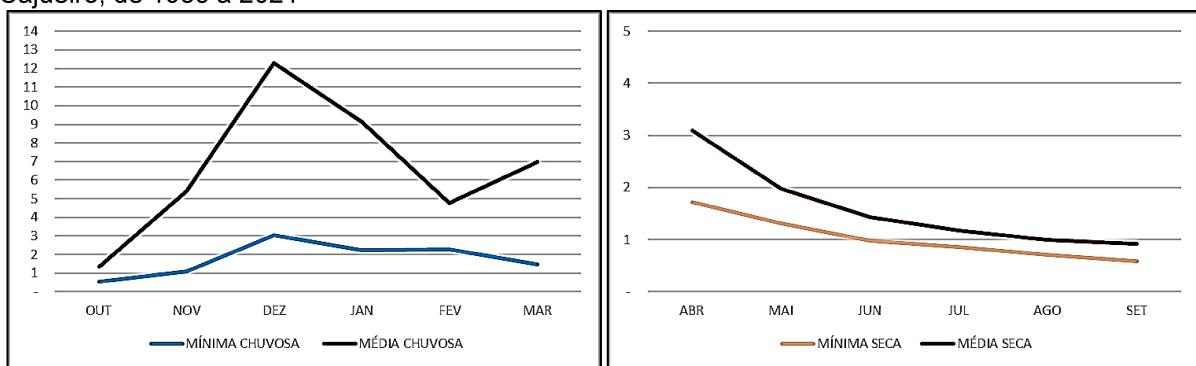
Tabela 28- Vazão média mensal do Posto Fluviométrico Fazenda Cajueiro, para as estações seca e chuvosa, de 1985 a 2021

Nº	CURSO D'ÁGUA	NOME DO POSTO				CÓDIGO DO POSTO	
1	Rio São Francisco	Fazenda Cajueiro				54770000	
ESTAÇÃO CHUVOSA							
MÊS	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	1,34	5,41	12,29	9,14	4,77	6,98	39,93
ESTAÇÃO SECA							
MÊS	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	3,10	1,97	1,43	1,17	0,99	0,92	9,58

Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

É possível perceber que as vazões mínimas na estação chuvosa e seca, para o Posto Fluviométrico da Fazenda Cajueiro, atingiram, no máximo, 3 m³/s, com as médias maiores em dezembro (12,29 m³/s), mascarando o remanescente necessário para garantir e manter as funções, processos e componentes mínimos de preservação e conservação dos ecossistemas, além dos usos de recursos hídricos. Esta seção fluviométrica do Rio São Francisco, que leva esse nome em homenagem ao Velho Chico, nasce no município de Cachoeira de Pajeú, e passa por Pedra Azul, desaguando no Rio Jequitinhonha em Almenara.

Gráfico 7- Vazões mínimas e médias para as estações chuvosa e seca do Posto Fluviométrico Fazenda Cajueiro, de 1985 a 2021



Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

É justamente por este motivo que a conferência das médias junto às mínimas se faz importante, para facilitar a compreensão da probabilidade de ocorrência de vazões iguais ou menores que um determinado limite. Na estação seca, as mínimas e as médias entre junho e setembro se mantiveram abaixo de 1 m³/s, dentro do período elegido para este Posto.

As vazões médias anuais diminuem consideravelmente desde 2007, atingindo em 2015 apenas 0,71 m³/s, em 2019, 0,39 m³/s e, em 2021, 0,68 m³/s. O maior pico de escoamento anual registrado aconteceu em 1992 (15,18 m³/s), que, segundo Maciel (2021), esteve em consonância com a precipitação anual de 1.632,8 mm, representando uma anomalia em relação à média central de 672,9 mm. Em 1993 e 1994 ocorreu uma queda significativa no volume de chuvas, consequentemente, uma diminuição nas descargas do referido Rio. A seguir, estão registrados os valores referentes às medições do Posto da Fazenda Facão.

Tabela 29- Vazão mínima mensal do Posto Fluviométrico Fazenda Facão, para as estações chuvosa e seca, de 1985 a 2021

Nº	CURSO D'ÁGUA		NOME DO POSTO				CÓDIGO DO POSTO
2	<i>Rio Gravatá</i>		<i>Fazenda Facão</i>				54485000
ESTAÇÃO CHUVOSA							
MÊS	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	0,53	0,92	1,77	1,44	1,30	1,32	7,28
ESTAÇÃO SECA							
MÊS	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	1,22	1,07	0,98	0,88	0,77	0,64	5,55

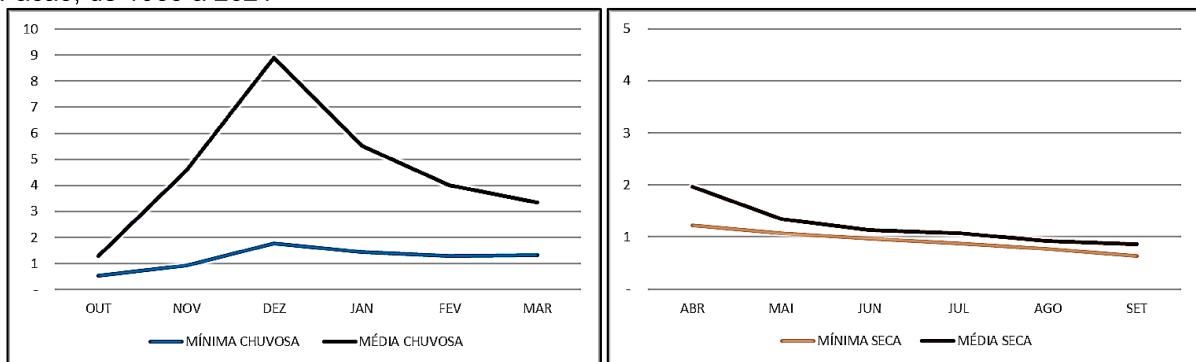
Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Tabela 30- Vazão média mensal do Posto Fluviométrico Fazenda Facão, para as estações seca e chuvosa, de 1985 a 2021

Nº	CURSO D'ÁGUA		NOME DO POSTO				CÓDIGO DO POSTO
2	<i>Rio Gravatá</i>		<i>Fazenda Facão</i>				54485000
ESTAÇÃO CHUVOSA							
MÊS	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	1,29	4,58	8,90	1,44	1,30	1,32	18,82
ESTAÇÃO SECA							
MÊS	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	1,96	1,35	1,14	1,07	0,93	0,87	7,31

Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Gráfico 8- Vazões mínimas e médias para as estações chuvosa e seca do Posto Fluviométrico Fazenda Facão, de 1985 a 2021



Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

O Posto da Fazenda Facão, localizado no Rio Gravatá, afluente da margem direita da sub-bacia do Araçuaí, abrange os municípios de Jenipapo de Minas e Novo Cruzeiro, e o Gráfico 8 demonstra que as vazões mínimas em outubro e novembro, não chegaram a $1 m^3/s$; de janeiro a março ficaram entre 1 e $1,50 m^3/s$; e em dezembro, atingiram $1,77 m^3/s$. Durante a estiagem, as vazões mínimas e médias mantiveram valores abaixo de $2 m^3/s$, porém em quase todos os meses a predominância foi entre 0 a $1 m^3/s$.

Por outro lado, as médias chuvosas de dezembro são de quase $9 m^3/s$, um cenário na região do Vale do Jequitinhonha que não condiz com o previsto, pois, segundo Araújo *et al.* (2023), a partir da década de 1980, a vegetação nativa cedeu lugar às vastas lavouras de eucaliptos, nas proximidades da nascente do Rio Gravatá, em Novo Cruzeiro. Por isso, o fluxo de água em redução gradativa pode ameaçar a vazão do canal em volume e qualidade, com pré-requisito de escassez hídrica.

Tabela 31- Vazão mínima mensal do Posto Fluviométrico Vila Terra Branca - Jusante, para as estações chuvosa e seca, de 1985 a 2021

Nº	CURSO D'ÁGUA	NOME DO POSTO				CÓDIGO DO POSTO	
3	Rio Jequitinhonha	Vila Terra Branca - Jusante				54010005	
ESTAÇÃO CHUVOSA							
MÊS	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	TOTAL
VALOR (m^3/s)	12,56	23,49	53,13	49,73	46,56	44,45	229,92
ESTAÇÃO SECA							
MÊS	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
VALOR (m^3/s)	35,05	25,28	20,87	17,49	15,15	12,88	126,72

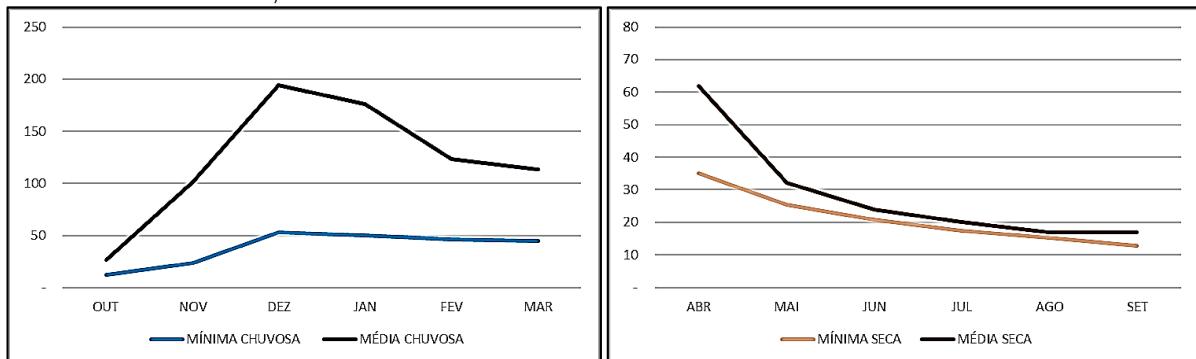
Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Tabela 32- Vazão média mensal do Posto Fluviométrico Vila Terra Branca - Jusante, para as estações seca e chuvosa, de 1985 a 2021

Nº	CURSO D'ÁGUA	NOME DO POSTO				CÓDIGO DO POSTO	
3	Rio Jequitinhonha	Vila Terra Branca - Jusante				54010005	
ESTAÇÃO CHUVOSA							
MÊS	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	26,86	101,76	194,43	175,92	123,15	113,62	735,74
ESTAÇÃO SECA							
MÊS	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	61,96	32,15	24,05	20,06	16,98	16,97	172,17

Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Gráfico 9- Vazões mínimas e médias para as estações chuvosa e seca do Posto Fluviométrico Vila Terra Branca - Jusante, de 1985 a 2021



Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Diferentemente dos gráficos de vazões mínimas e médias dos dois postos fluviométricos analisados anteriormente, o do Rio Jequitinhonha deteve maiores valores de remanescente no corpo hídrico, visto que é um rio que percorre toda a bacia hidrográfica da área deste estudo. Sendo assim, houve variação conforme o fluxo de drenagem fluvial dos cursos d'água, além de contrastes físicos e diferenças socioeconômicas para cada território representado pelas associações de seus municípios.

Apesar de configurar uma rede hídrica composta por afluentes importantes, o Rio Jequitinhonha evidenciou, pelo Gráfico 9, que as médias em época chuvosa ultrapassaram, desmedidamente, as mínimas. Em dezembro, dentro da série histórica, a vazão média que ficou próxima de 200 m³/s, contrasta com o valor mínimo de pouco mais de 50 m³/s. Na estiagem, as mínimas e médias se comportaram, na maior parte dos meses, entre 12 e 21 m³/s.

A maior concentração dos usos múltiplos dos recursos hídricos deste Rio está

localizada no Alto e Médio Jequitinhonha, com destaque para o abastecimento público, irrigação e indústria (IGAM, 2010). Ferreira (2007) justifica o uso e ocupação do solo inadequado em algumas porções da Bacia, em função do desmatamento da vegetação natural associado à susceptibilidade a processos erosivos em diversas áreas, gerando o assoreamento dos rios e carreamento de produtos agroquímicos aos corpos hídricos.

Tabela 33- Vazão mínima mensal do Posto Fluviométrico Carbonita, para as estações chuvosa e seca, de 1985 a 2021

Nº	CURSO D'ÁGUA	NOME DO POSTO				CÓDIGO DO POSTO	
4	Rio Araçuaí	Carbonita				54230000	
ESTAÇÃO CHUVOSA							
MÊS	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	6,18	10,36	16,37	18,40	16,20	15,20	82,72
ESTAÇÃO SECA							
MÊS	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	13,26	11,15	9,57	8,53	7,41	6,46	56,38

Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Tabela 34- Vazão média mensal do Posto Fluviométrico Carbonita, para as estações seca e chuvosa, de 1985 a 2021

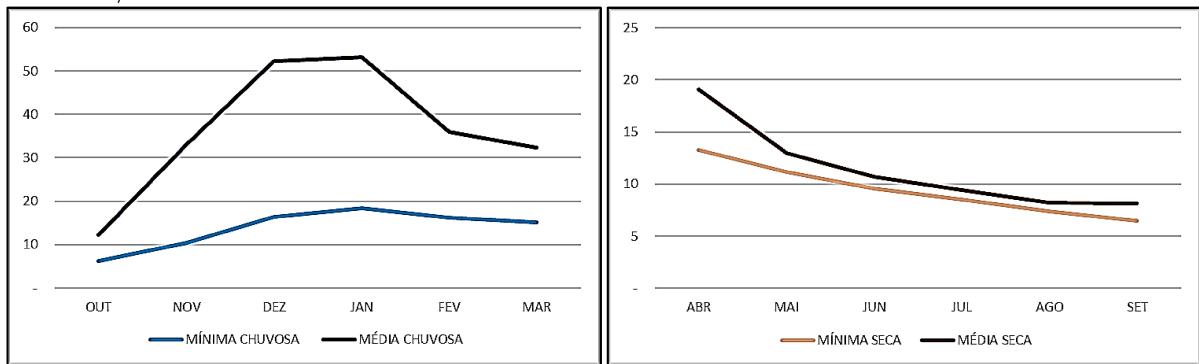
Nº	CURSO D'ÁGUA	NOME DO POSTO				CÓDIGO DO POSTO	
4	Rio Araçuaí	Carbonita				54230000	
ESTAÇÃO CHUVOSA							
MÊS	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	12,22	33,02	52,35	53,12	35,98	32,31	219,01
ESTAÇÃO SECA							
MÊS	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	19,07	13,00	10,68	9,39	8,24	8,18	68,56

Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Pelo exposto, houve reduzida vazão advinda do escoamento superficial proveniente da água precipitada na bacia, visto que, de outubro a dezembro, a média em épocas chuvosas, que ultrapassou 50 m³/s, contrafez as mínimas que, atingiram, no máximo, a marca de 18 m³/s. Já no início do período de estiagem, em abril e maio, as mínimas se comportaram entre 13 e 11 m³/s, respectivamente, e as médias, entre

19 a 13 m³/s, enquanto os outros meses (junho a setembro) apresentaram, de forma linear e decrescente, valores de 10 a 6 m³/s.

Gráfico 10- Vazões mínimas e médias para as estações chuvosa e seca do Posto Fluviométrico Carbonita, de 1985 a 2021



Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

O Rio Araçuaí, principal afluente da margem direita do Rio Jequitinhonha, corta os municípios de Araçuaí, Angelândia, Aricanduva, Berilo, Capelinha, Carbonita, Chapada do Norte, Felício dos Santos, Francisco Badaró, Itamarandiba, Jenipapo de Minas, José Gonçalves de Minas, Leme do Prado, Minas Novas, Novo Cruzeiro, São Gonçalo do Rio Preto, Senador Modestino Gonçalves, Turmalina, Veredinha, Virgem da Lapa, somando-se ainda dois outros municípios de outra região administrativa, que estão ao sul e leste da bacia, Rio Vermelho e Setubinha, respectivamente.

Como já relatava Diniz *et al.* (1998), o déficit hídrico resultante e o solo pouco fértil tornam difíceis as condições de sobrevivência no meio rural desta região, e devido à baixa disponibilidade recursos hídricos superficiais, as reservas subterrâneas são a principal fonte de suprimento de água. As descargas somente apresentam contribuições mais significativas de outubro a março, em que ocorrem precipitações com mais frequência, porém, são pequenas. Já entre fevereiro e outubro, a descarga deste afluente provavelmente proveio da contribuição dos aquíferos freáticos, mantendo o Rio na condição de perene.

Tabela 35- Vazão mínima mensal do Posto Fluviométrico Fazenda Jambeiro, para as estações chuvosa e seca, de 1985 a 2021

Nº	CURSO D'ÁGUA	NOME DO POSTO				CÓDIGO DO POSTO	
5	Rio Itacambiruçu	Fazenda Jambeiro				54110002	
ESTAÇÃO CHUVOSA							
MÊS	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	1,28	3,75	12,59	11,57	11,18	10,59	50,97
ESTAÇÃO SECA							
MÊS	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	8,26	5,48	3,89	2,89	2,04	1,42	23,98

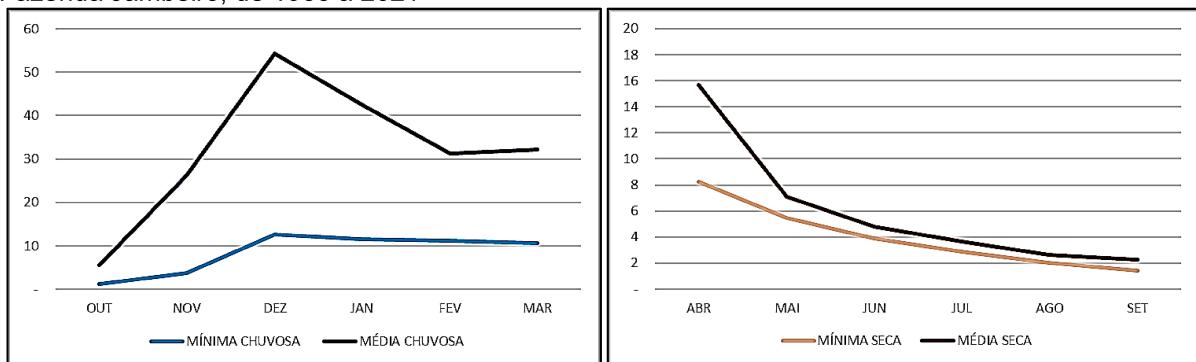
Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Tabela 36- Vazão média mensal do Posto Fluviométrico Fazenda Jambeiro, para as estações seca e chuvosa, de 1985 a 2021

Nº	CURSO D'ÁGUA	NOME DO POSTO				CÓDIGO DO POSTO	
5	Rio Itacambiruçu	Fazenda Jambeiro				54110002	
ESTAÇÃO CHUVOSA							
MÊS	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	5,53	26,21	54,24	42,51	31,32	32,23	192,04
ESTAÇÃO SECA							
MÊS	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	15,69	7,09	4,77	3,66	2,61	2,27	36,10

Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Gráfico 11- Vazões mínimas e médias para as estações chuvosa e seca do Posto Fluviométrico Fazenda Jambeiro, de 1985 a 2021



Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

O Gráfico 11 exibe tendências mínimas no período chuvoso de até 13 m³/s, com picos maiores em dezembro e março, em desacordo com as médias que atingem um pouco mais de 54 m³/s em dezembro. No período seco, as vazões mínimas se

mantiveram, na maior parte dos meses, abaixo de 5 m³/s, assim como as médias, que só atingiram a faixa de 15 m³/s no mês de abril, quando ainda não estava no ápice da estiagem.

O Rio Itacambiruçu localiza-se no nordeste de Minas Gerais, em Grão Mogol, passando pelos limites de Itacambira, Cristália e Josenópolis, originada na confluência do Ribeirão dos Veados e do Rio Congonhas, e a área de interesse, na porção superior da bacia deste Rio, está inserida, também, em Bocaiúva e Botumirim. É um rio com alto potencial hidrelétrico, conforme Silva (2016), de acordo com a quantidade de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's) e da Hidrelétrica Santa Marta ao longo do próprio Rio Itacambiruçu.

Além disso, o uso e ocupação do solo com plantações de eucalipto já substitui uma área expressiva de Campo Cerrado, tornando-se a principal interferência antrópica na região. Feições de agropecuária, agricultura e área urbana não foram consideradas, visto que estas não apresentaram área significativa (Silva, 2016). A seguir, tem-se a análise das vazões mínimas e médias do Posto Fluviométrico do Porto Mandacaru, o segundo referente ao Rio Jequitinhonha, de um total de quatro.

Tabela 37- Vazão mínima mensal do Posto Fluviométrico Porto Mandacaru, para as estações chuvosa e seca, de 1985 a 2021

Nº	CURSO D'ÁGUA	NOME DO POSTO					CÓDIGO DO POSTO
6	Rio Jequitinhonha	Porto Mandacaru					54150000
ESTAÇÃO CHUVOSA							
MÊS	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	40,84	54,35	73,62	81,14	74,87	65,55	390,36
ESTAÇÃO SECA							
MÊS	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	58,29	44,67	42,92	41,45	43,72	42,36	273,42

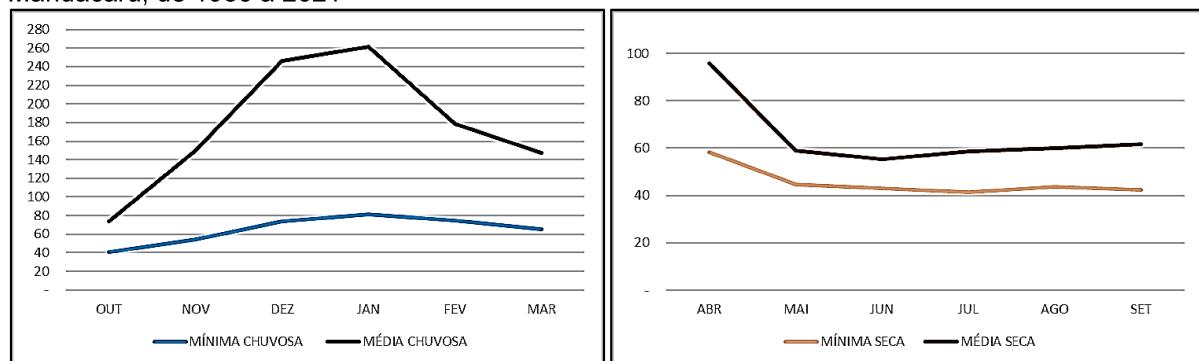
Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Tabela 38- Vazão média mensal do Posto Fluviométrico Porto Mandacaru, para as estações seca e chuvosa, de 1985 a 2021

Nº	CURSO D'ÁGUA	NOME DO POSTO				CÓDIGO DO POSTO	
6	Rio Jequitinhonha	Porto Mandacaru				54150000	
ESTAÇÃO CHUVOSA							
MÊS	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	73,50	149,64	246,35	261,52	178,71	147,09	1.056,81
ESTAÇÃO SECA							
MÊS	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	95,86	58,98	55,16	58,65	59,99	61,47	390,13

Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Gráfico 12- Vazões mínimas e médias para as estações chuvosa e seca do Posto Fluviométrico Porto Mandacaru, de 1985 a 2021



Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Nota-se que as vazões mínimas, mesmo em época de estiagem, são maiores que 40 m³/s, ultrapassando 81 m³/s em janeiro, com médias chegando a 261 m³/s em janeiro na estação das chuvas. Em contrapartida, as mínimas e médias no período da seca, se mantiveram entre 41 e 58 m³/s.

Tabela 39- Vazão mínima mensal do Posto Fluviométrico Itaobim, para as estações chuvosa e seca, de 1985 a 2021

Nº	CURSO D'ÁGUA	NOME DO POSTO				CÓDIGO DO POSTO	
7	Rio Jequitinhonha	Itaobim				54580000	
ESTAÇÃO CHUVOSA							
MÊS	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	57,20	81,49	165,49	155,23	140,37	119,50	719,28
ESTAÇÃO SECA							
MÊS	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	103,54	84,01	76,78	72,59	66,03	59,09	462,04

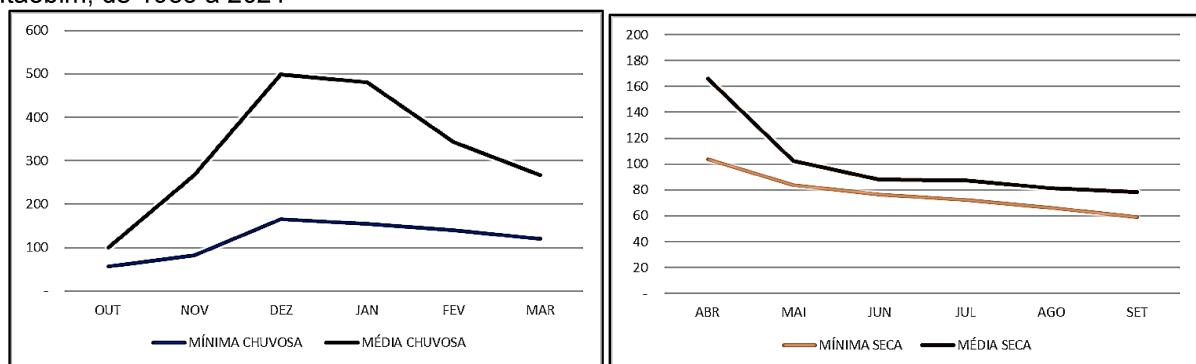
Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Tabela 40- Vazão média mensal do Posto Fluviométrico Itaobim, para as estações seca e chuvosa, de 1985 a 2021

Nº	CURSO D'ÁGUA	NOME DO POSTO				CÓDIGO DO POSTO	
7	Rio Jequitinhonha	Itaobim				54580000	
ESTAÇÃO CHUVOSA							
MÊS	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	100,91	266,41	498,35	480,32	342,44	266,07	1.954,50
ESTAÇÃO SECA							
MÊS	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	166,12	102,30	88,06	87,14	81,31	78,31	603,23

Fonte: Hidroweb (2021). Adaptado por Melo, M. P. de (2024).

Gráfico 13- Vazões mínimas e médias para as estações chuvosa e seca do Posto Fluviométrico Itaobim, de 1985 a 2021



Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Itaobim (MG) está inserido na região nordeste do Estado, na região do médio vale do Rio Jequitinhonha, e, segundo o IBGE (2000), suas principais atividades econômicas são agropecuárias e industriais; os produtos com maior destaque são a

laranja, a cana-de-açúcar, a mandioca e tomate; e os maiores efetivos são de galináceos, bovinos, suínos e equinos. As principais drenagens são os ribeirões São João e São Roque e o Rio Jequitinhonha.

Percebe-se, então, que na época chuvosa, os valores médios de vazão quase atingiram a marca de 500 m³/s no mês de dezembro, e as mínimas entre 165 e 119 m³/s, de dezembro a março. Já na estiagem, as mínimas se concentraram no intervalo de 59 a 103 m³/s em todo o período, e as médias, no mês de abril, que representa o final das chuvas, ainda atingiu 166 m³/s, com os outros meses permanecendo entre 100 e 78 m³/s.

Tabela 41- Vazão mínima mensal do Posto Fluviométrico São João Grande, para as estações chuvosa e seca, de 1985 a 2021

Nº	CURSO D'ÁGUA	NOME DO POSTO					CÓDIGO DO POSTO
8	Ribeirão São João	São João Grande					54590000
ESTAÇÃO CHUVOSA							
MÊS	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	0,77	1,30	2,32	2,19	2,29	1,94	10,80
ESTAÇÃO SECA							
MÊS	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	1,89	1,58	1,47	1,35	1,18	0,93	8,40

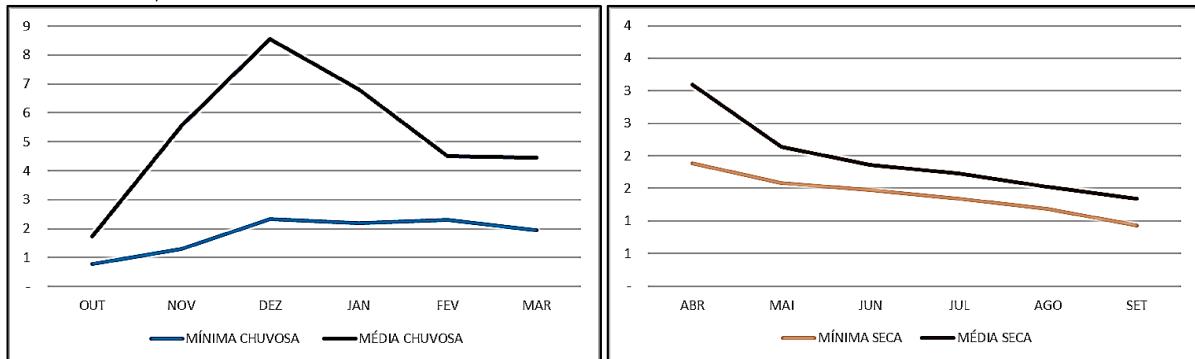
Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Tabela 42- Vazão média mensal do Posto Fluviométrico São João Grande, para as estações seca e chuvosa, de 1985 a 2021

Nº	CURSO D'ÁGUA	NOME DO POSTO					CÓDIGO DO POSTO
8	Ribeirão São João	São João Grande					54590000
ESTAÇÃO CHUVOSA							
MÊS	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	1,74	5,53	8,56	6,81	4,50	4,45	31,59
ESTAÇÃO SECA							
MÊS	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	3,10	2,14	1,86	1,73	1,52	1,34	11,69

Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Gráfico 14- Vazões mínimas e médias para as estações chuvosa e seca do Posto Fluviométrico São João Grande, de 1985 a 2021



Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

O Ribeirão São João é um curso hídrico que circula pelo município de Padre Paraíso (MG) e deságua no Rio Jequitinhonha, com sua nascente no Morro do Peão, em Sete Lagoas (MG), desenvolvendo seu curso à noroeste até encontrar o Rio Paraopeba (Avellar, Castro e Hadad, 2008). Situa-se na Zona Metalúrgica de Minas Gerais, mesorregião de Belo Horizonte (MG), uma área de grande pressão antrópica e industrial, representada pelas atividades de mineração extrativista e siderúrgica.

A baixa disponibilidade hídrica é percebida pelo Gráfico 14, que aponta valores abaixo de 2,50 m³/s de vazões mínimas chuvosas, secas e médias secas (somente em abril atingiu 3,10 m³/s na média da estiagem, representando o final do período chuvoso). A única variação significativa é verificada no pico pluviométrico em dezembro, com vazão média que quase atingiu 9 m³/s.

Tabela 43- Vazão mínima mensal do Posto Fluviométrico Jacinto, para as estações chuvosa e seca, de 1985 a 2021

Nº	CURSO D'ÁGUA	NOME DO POSTO					CÓDIGO DO POSTO
9	Rio Jequitinhonha	Jacinto					54780000
ESTAÇÃO CHUVOSA							
MÊS	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	66,33	96,11	192,57	180,54	176,74	152,28	864,57
ESTAÇÃO SECA							
MÊS	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	135,98	105,06	90,69	86,01	74,97	67,29	560,00

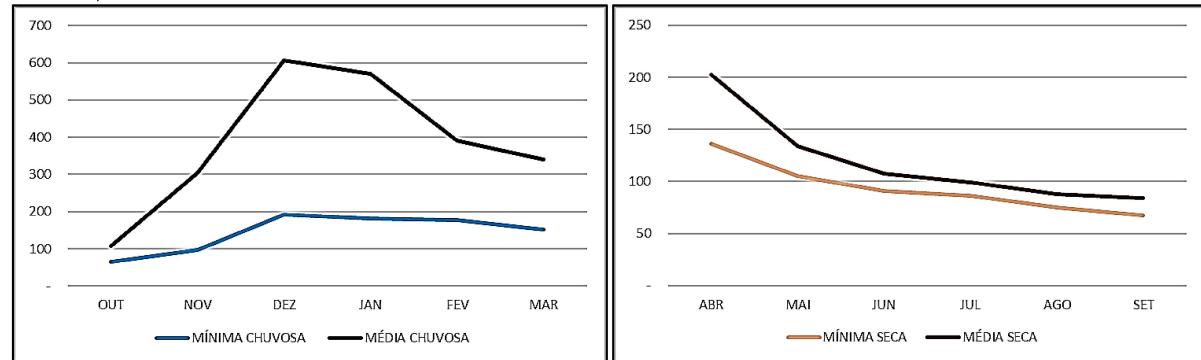
Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Tabela 44- Vazão média mensal do Posto Fluviométrico Jacinto, para as estações seca e chuvosa, de 1985 a 2021

Nº	CURSO D'ÁGUA	NOME DO POSTO				CÓDIGO DO POSTO	
9	Rio Jequitinhonha	Jacinto				54780000	
ESTAÇÃO CHUVOSA							
MÊS	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	108,02	304,58	605,94	571,06	391,11	339,76	2.320,46
ESTAÇÃO SECA							
MÊS	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	202,29	133,94	107,78	99,52	87,89	84,24	715,67

Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Gráfico 15- Vazões mínimas e médias para as estações chuvosa e seca do Posto Fluviométrico Jacinto, de 1985 a 2021



Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

O Posto Fluviométrico Jacinto pertence à região do Baixo Jequitinhonha, a 40 km da divisa com a Bahia, envolto à uma das áreas com maior extensão ocupada por pastagens, segundo a Embrapa (2024). As vazões mínimas na estação chuvosa alcançaram a marca de 192 m³/s em dezembro, enquanto as médias ultrapassaram 605 m³/s. De maneira oposta, na estiagem, as mínimas se mantiveram entre 67 e 100 m³/s e as médias abaixo de 110 m³/s, na maior parte do período.

Tabela 45- Vazão mínima mensal do Posto Fluviométrico Jequitinhonha, para as estações chuvosa e seca, de 1985 a 2021

Nº	CURSO D'ÁGUA	NOME DO POSTO				CÓDIGO DO POSTO	
10	Rio Jequitinhonha	Jequitinhonha				54710000	
ESTAÇÃO CHUVOSA							
MÊS	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	60,67	85,31	176,04	158,29	154,27	134,46	769,04
ESTAÇÃO SECA							
MÊS	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	113,54	91,57	81,16	76,47	68,46	62,81	494,03

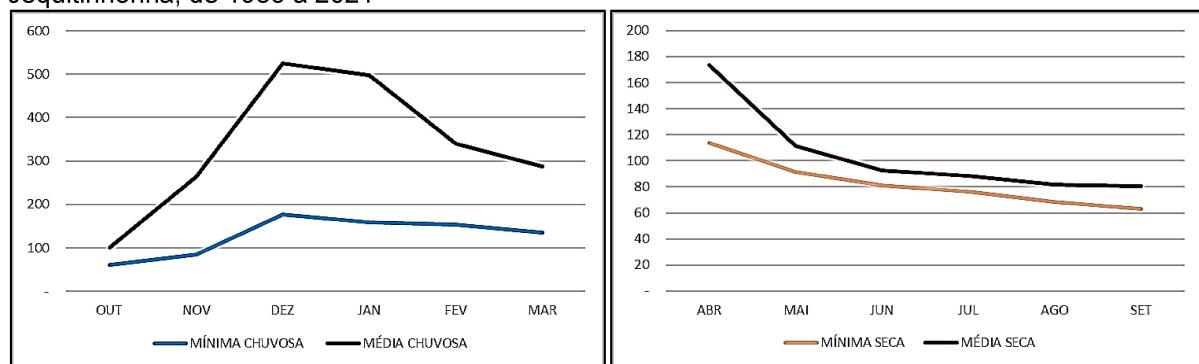
Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Tabela 46- Vazão média mensal do Posto Fluviométrico Jequitinhonha, para as estações seca e chuvosa, de 1985 a 2021

Nº	CURSO D'ÁGUA	NOME DO POSTO				CÓDIGO DO POSTO	
10	Rio Jequitinhonha	Jequitinhonha				54710000	
ESTAÇÃO CHUVOSA							
MÊS	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	101,27	263,44	525,47	498,44	340,55	288,24	2.017,41
ESTAÇÃO SECA							
MÊS	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	173,38	111,67	92,61	88,52	81,72	80,74	628,64

Fonte: Hidroweb (2021). Adaptado por Melo, M. P. de (2024).

Gráfico 16- Vazões mínimas e médias para as estações chuvosa e seca do Posto Fluviométrico Jequitinhonha, de 1985 a 2021



Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Com o padrão de vazões médias acompanhando o comportamento da pluviosidade, de outubro a março, na estação chuvosa, ocorreram os maiores valores, com o pico em dezembro (525 m³/s). De outro modo, durante o período de seca, de

abril a setembro as médias variaram de 175 a 80 m³/s, visto que, nestes meses, as chuvas são reduzidas. Entretanto, as vazões mínimas no pico das chuvas alcançaram 176 m³/s, enquanto na seca, o pico das mínimas ocorreu em agosto e setembro, entre 62 e 68 m³/s.

Tabela 47- Vazão mínima mensal do Posto Fluviométrico Ponte Vacaria, para as estações chuvosa e seca, de 1985 a 2021

Nº	CURSO D'ÁGUA	NOME DO POSTO				CÓDIGO DO POSTO	
11	Rio Vacaria	Ponte Vacaria				54165000	
ESTAÇÃO CHUVOSA							
MÊS	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	0,49	0,85	2,34	2,54	1,98	1,50	9,70
ESTAÇÃO SECA							
MÊS	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	1,56	1,17	0,95	0,84	0,71	0,52	5,74

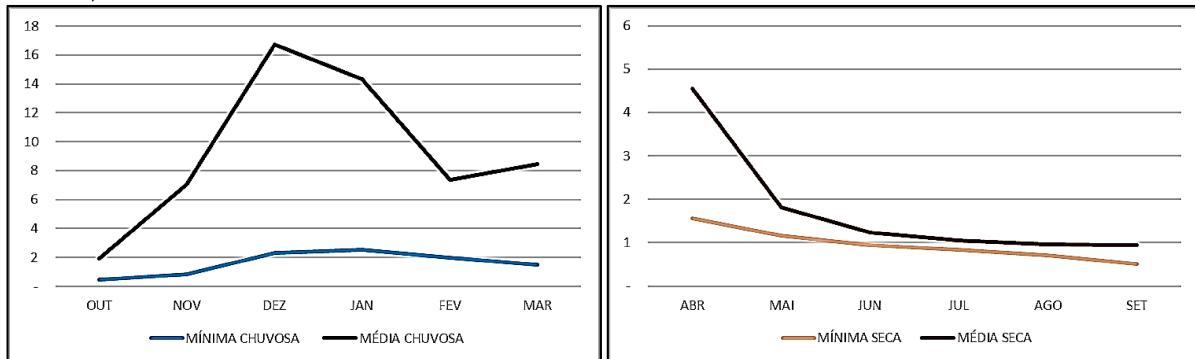
Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Tabela 48- Vazão média mensal do Posto Fluviométrico Ponte Vacaria, para as estações seca e chuvosa, de 1985 a 2021

Nº	CURSO D'ÁGUA	NOME DO POSTO				CÓDIGO DO POSTO	
11	Rio Vacaria	Ponte Vacaria				54165000	
ESTAÇÃO CHUVOSA							
MÊS	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	1,91	7,02	16,73	14,34	7,37	8,46	55,83
ESTAÇÃO SECA							
MÊS	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	4,56	1,82	1,24	1,06	0,95	0,94	10,56

Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Gráfico 17- Vazões mínimas e médias para as estações chuvosa e seca do Posto Fluviométrico Ponte Vacaria, de 1985 a 2021



Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

O Rio Vacaria é afluente da margem do Rio Jequitinhonha, e as drenagens da região apresentaram, historicamente, baixas vazões, sendo que grande parte dos cursos hídricos e nascentes chegam a secar nos períodos de estiagem, levando à uma escassez hídrica severa. Nota-se pelo Gráfico 17 que o contingente hídrico realmente passou por valores condizentes à baixa quantidade de chuvas, visto que as médias não chegaram a 17 m³/s e as mínimas a 3 m³/s, em alto índice pluviométrico; na estiagem, as vazões médias não alcançaram 5 m³/s, enquanto as mínimas não ultrapassaram 1,56 m³/s.

Além disso, entre os municípios mineiros de Fruta de Leite e Padre Carvalho, a cerca de 24 km do futuro complexo mineral, está em fase de execução o projeto do reservatório de água Barragem de Mineração do Rio Vacaria, executada pela Sul Americana de Metais S/A, abrangendo uma área de drenagem de 2.325 km² e com previsão de distribuição de água para 640 mil pessoas por dia na região (SIAM, 2019).

Tabela 49- Vazão mínima mensal do Posto Fluviométrico Pega, para as estações chuvosa e seca, de 1985 a 2021

Nº	CURSO D'ÁGUA	NOME DO POSTO					CÓDIGO DO POSTO
12	Rio Araçuaí	Pega					54390000
ESTAÇÃO CHUVOSA							
MÊS	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	13,03	26,12	43,31	38,32	38,11	33,95	192,84
ESTAÇÃO SECA							
MÊS	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	30,19	25,47	22,50	20,27	17,15	14,21	129,79

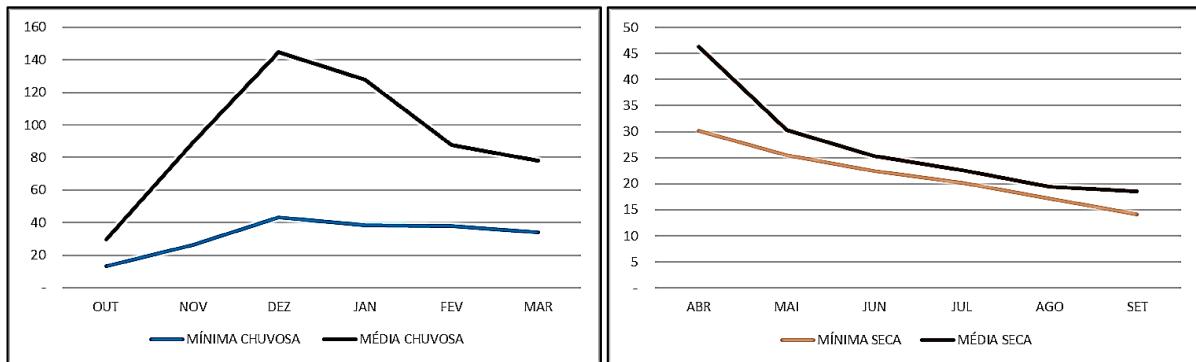
Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Tabela 50- Vazão média mensal do Posto Fluviométrico Pega, para as estações seca e chuvosa, de 1985 a 2021

Nº	CURSO D'ÁGUA	NOME DO POSTO				CÓDIGO DO POSTO	
12	Rio Araçuaí	Pega				54390000	
ESTAÇÃO CHUVOSA							
MÊS	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	29,50	89,06	144,81	127,87	87,61	78,15	557,01
ESTAÇÃO SECA							
MÊS	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
VALOR (m ³ /s)	46,33	30,26	25,37	22,64	19,47	18,61	162,68

Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Gráfico 18- Vazões mínimas e médias para as estações chuvosa e seca do Posto Fluviométrico Pega, de 1985 a 2021



Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

A Portaria IGAM nº 53, de 04 de outubro de 2017, que declara situação crítica de escassez hídrica superficial na porção hidrográfica localizada à montante da estação Pega e sua bacia de contribuição, foi baseada na Deliberação Normativa CERH/MG nº 49, de 25 março de 2015, que estabelece diretrizes e critérios gerais para a definição de Situação Crítica de Escassez Hídrica e Estado de Restrição de Uso de Recursos Hídricos Superficiais nas porções hidrográficas no Estado de Minas Gerais, e alterada pela Deliberação Normativa CERH-MG nº 50, de 09 de outubro de 2015, apresentando a média das vazões diárias de sete dias consecutivos com valores iguais ou inferiores a 50% da Q_{7,10}, caracterizando Estado de Restrição (Minas Gerais, 2015).

A análise deste estudo constatou, em setembro, vazão mínima na estiagem de 14,21 m³/s, contrastante ao valor da média de quase 145 m³/s no pico das chuvas (dezembro) dentro da série histórica analisada. Mesmo na estação chuvosa, a vazão mínima atingiu, no máximo, 43 m³/s. Seguem abaixo as Tabelas 51 e 52 que

demonstram, respectivamente, as mínimas e médias mensais de todos os postos fluviométricos apresentados anteriormente, para facilitar a visualização destes dados, em comparação à Tabela 53 que apresenta as vazões mínimas $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95} e às curvas de permanências logo depois, fechando os resultados parciais.

Tabela 51- Mínimas mensais fluviométricas de 1985 a 2021 na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha

POSTO FLUVIOMÉTRICO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉD
FAZENDA CAJUEIRO	2,23	2,29	1,49	1,71	1,31	0,98	0,85	0,70	0,58	0,53	1,08	3,05	1,40
FAZENDA FACÃO	1,44	1,30	1,32	1,22	1,07	0,98	0,88	0,77	0,64	0,53	0,92	1,77	1,07
VILA TERRA BRANCA	49,73	46,56	44,45	35,05	25,28	20,87	17,49	15,15	12,88	12,56	23,49	53,13	29,72
CARBONITA	18,40	16,20	15,20	13,26	11,15	9,57	8,53	7,41	6,46	6,18	10,36	16,37	11,59
FAZENDA JAMBEIRO	11,57	11,18	10,59	8,26	5,48	3,89	2,89	2,04	1,42	1,28	3,75	12,59	6,25
PORTO MANDACURU	81,14	74,87	65,55	58,29	44,67	42,92	41,45	43,72	42,36	40,84	54,35	73,62	55,31
ITAOBIM	155,23	140,37	119,50	103,54	84,01	76,78	72,59	66,03	59,09	57,20	81,49	165,49	98,44
SÃO JOÃO GRANDE	2,19	2,29	1,94	1,89	1,58	1,47	1,35	1,18	0,93	0,77	1,30	2,32	1,60
JACINTO	180,54	176,74	152,28	135,98	105,06	90,69	86,01	74,97	67,29	66,33	96,11	192,57	118,71
PONTE VACARIA	2,54	1,98	1,50	1,56	1,17	0,95	0,84	0,71	0,52	0,49	0,85	2,34	1,29
PEGA	38,32	38,11	33,95	30,19	25,47	22,50	20,27	17,15	14,21	13,03	26,12	43,31	26,89
JEQUITINHONHA	158,29	154,27	134,46	113,54	91,57	81,16	76,47	68,46	62,81	60,67	85,31	176,04	105,26
MÉDIA	58,47	55,51	48,52	42,04	33,15	29,40	27,47	24,86	22,43	21,70	32,09	61,88	38,13

Fonte: Hidroweb (2024). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

Observa-se pela Tabela 51 que o maior indicativo de disponibilidade hídrica superficial mínima é encontrado de dezembro a fevereiro, em resposta ao acúmulo da precipitação desde o início da estação chuvosa, como também ao próprio período de retardo em resposta à entrada de água no sistema por meio das chuvas. Em contrapartida, os menores valores fluviométricos ocorrem nos meses de agosto a setembro. Esta mesma análise se estende aos padrões médios encontrados e organizados na Tabela 52.

Tabela 52- Médias mensais fluviométricas de 1985 a 2021 na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha

POSTO FLUVIOMÉTRICO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉD
FAZENDA CAJUEIRO	9,14	4,77	6,98	3,10	1,97	1,43	1,17	0,99	0,92	1,34	5,41	12,29	4,13
FAZENDA FACÃO	5,52	4,02	3,35	1,96	1,35	1,14	1,07	0,93	0,87	1,29	4,58	8,90	2,91
VILA TERRA BRANCA	175,92	123,15	113,62	61,96	32,15	24,05	20,06	16,98	16,97	26,86	101,76	194,43	75,66
CARBONITA	53,12	35,98	32,31	19,07	13,00	10,68	9,39	8,24	8,18	12,22	33,02	52,35	23,96
FAZENDA JAMBEIRO	42,51	31,32	32,23	15,69	7,09	4,77	3,66	2,61	2,27	5,53	26,21	54,24	19,01
PORTO MANDACURU	261,52	178,71	147,09	95,86	58,98	55,16	58,65	59,99	61,47	73,50	149,64	246,35	120,58
ITAOBIM	480,32	342,44	266,07	166,12	102,30	88,06	87,14	81,31	78,31	100,91	266,41	498,35	213,14
SÃO JOÃO GRANDE	6,81	4,50	4,45	3,10	2,14	1,86	1,73	1,52	1,347	1,74	5,53	8,56	3,61
JACINTO	571,06	391,11	339,76	202,29	133,94	107,78	99,52	87,89	84,24	108,02	304,58	605,94	253,01
PONTE VACARIA	14,34	7,37	8,46	4,56	1,82	1,24	1,06	0,95	0,94	1,91	7,02	16,73	5,53
PEGA	127,87	87,61	78,15	46,33	30,26	25,37	22,64	19,47	18,61	29,50	89,06	144,81	59,97
JEQUITINHONHA	498,44	340,55	288,24	173,38	111,67	92,61	88,52	81,72	80,74	101,27	263,44	525,47	220,50
MÉDIA	187,21	129,29	110,06	66,12	41,39	34,51	32,88	30,22	29,58	38,68	104,72	197,37	83,50

Fonte: Hidroweb (2024). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

A análise hidrológica de cada posto, ou seja, os levantamentos de vazões médias e mínimas, além de considerar o período de retardo das descargas mensais dos rios, dentro da estação chuvosa, acompanham o comportamento da pluviosidade, e, portanto, sabe-se que a influência da pluviosidade aumenta os valores, com intensificação a partir de novembro e maiores picos entre dezembro e janeiro. Os elevados volumes de precipitações médias, somados aos totais acumulados dos meses antecedentes, favorecem um progressivo acréscimo no escoamento das águas.

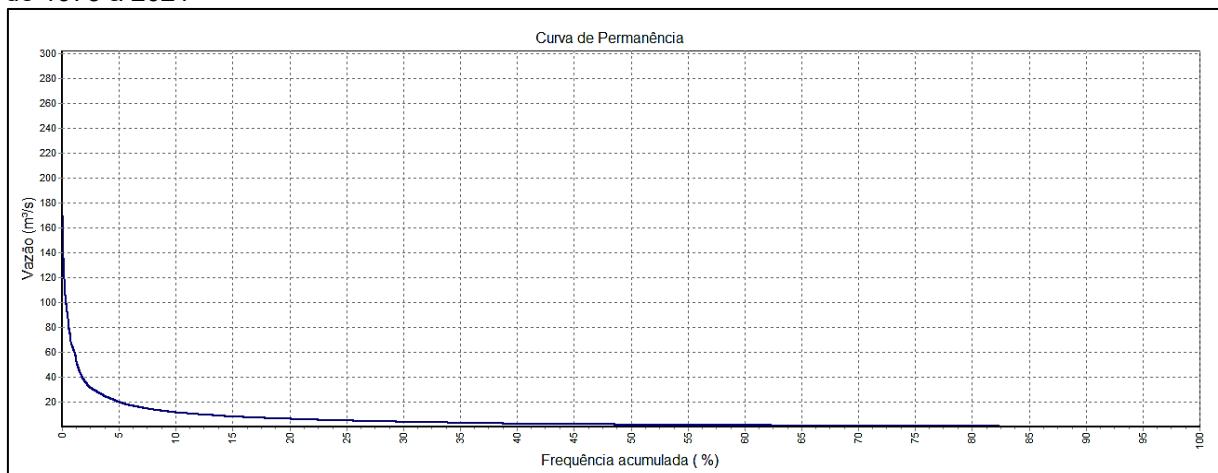
Em contrapartida, o período de seca, a partir de fevereiro, revela totais médios de chuvas mensais reduzidos de forma gradual, o que repercute, consequentemente, em uma queda das vazões. Considerando os meses de abril até setembro, os picos de escoamento são cada vez menores, sendo que o último trimestre se caracteriza como o período de menor disponibilidade hídrica, onde os escoamentos são mantidos pelo fluxo de base e o menor ou o maior fluxo vai depender da capacidade de armazenamento do aquífero.

Na busca pelo discernimento da variabilidade temporal e espacial dos escoamentos fluviais, a análise dos gráficos de vazões mínimas e médias, em

comparação ao histórico apresentado, tornou-se um processo indispensável, visto que as anomalias de chuvas repercutem diretamente nas descargas dos rios.

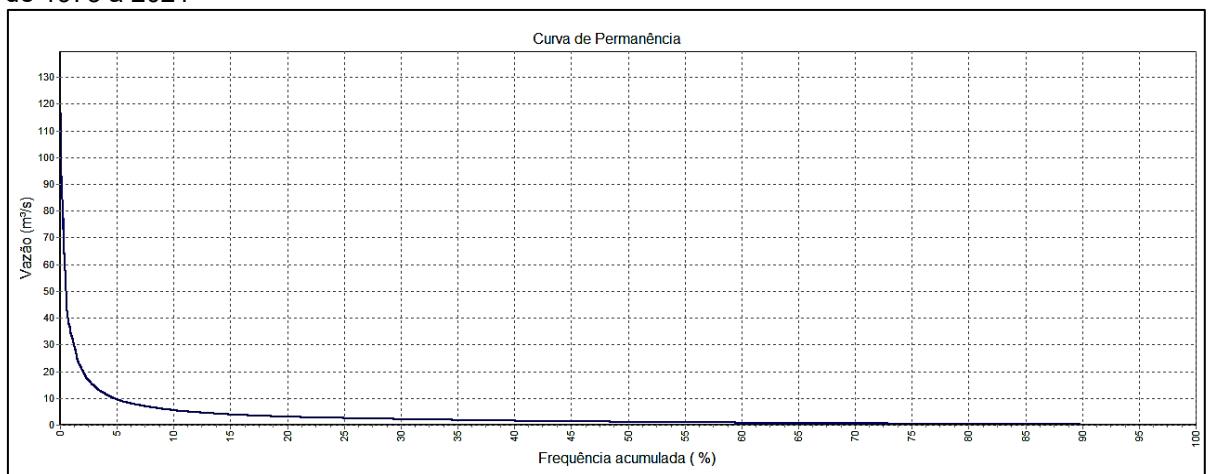
Neste sentido, as curvas de permanência, apresentadas abaixo, representam a distribuição da vazão dos cursos hídricos pertencentes à área de estudo, ao longo do tempo, permitindo a visualização de suas potencialidades naturais, destacando a vazão mínima e o grau de permanência de qualquer vazão, a fim de estabelecer um comparativo entre os resultados de cada um dos postos fluviométricos analisados. Esta associação ajuda a entender como as vazões variam e qual a probabilidade de ocorrerem vazões de diferentes magnitudes. É importante lembrar que foi considerado no SiscaH as séries históricas de vazão mínima disponível desde 1973, com pré-processamento realizado para descartar as falhas anuais com percentual de 5%, utilizando-se a duração de sete dias e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$).

Gráfico 19- Curva de permanência da $Q_{7,10}$ para o Posto Fluviométrico Fazenda Cajueiro (54770000), de 1973 a 2021



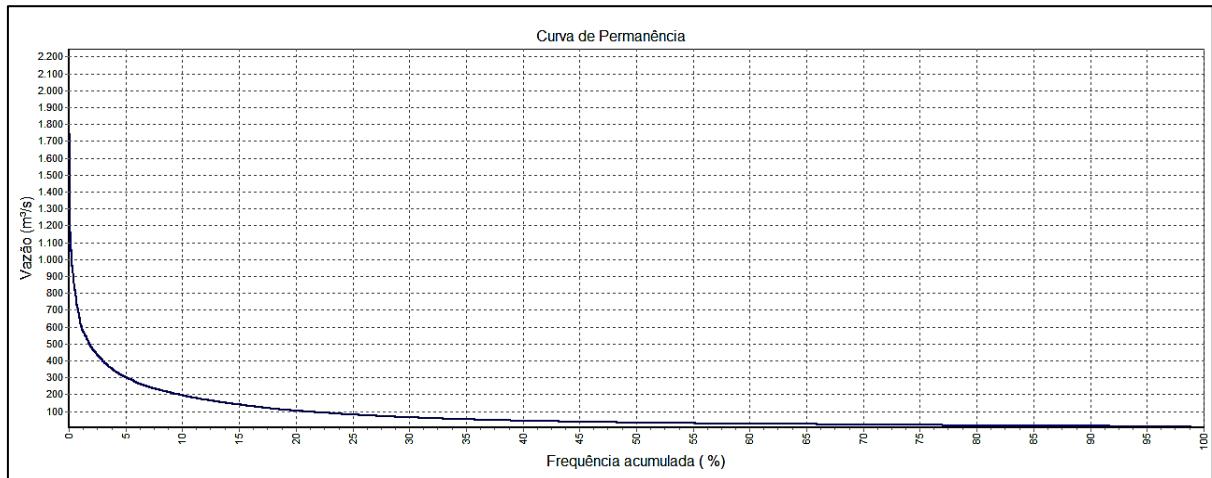
Fonte: Hidroweb (2021); SiscaH (2021). Adaptado por Melo, M. P. de (2024).

Gráfico 20- Curva de permanência da $Q_{7,10}$ para o Posto Fluviométrico Fazenda Facão (54485000), de 1973 a 2021



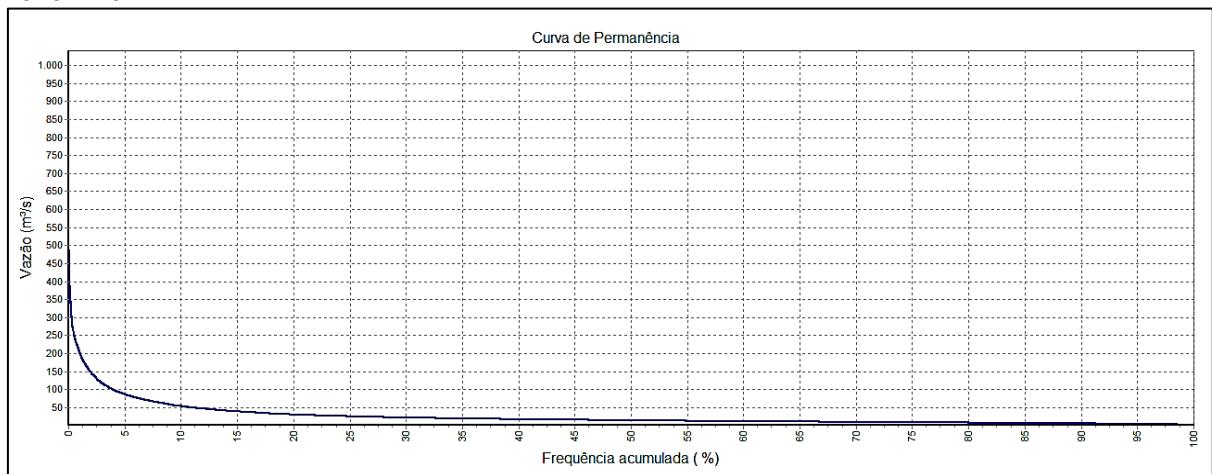
Fonte: Hidroweb (2021); SiscaH (2021). Adaptado por Melo, M. P. de (2024).

Gráfico 21- Curva de permanência da Q7,10 para o Posto Fluviométrico Vila Terra Branca (54010005), de 1973 a 2021



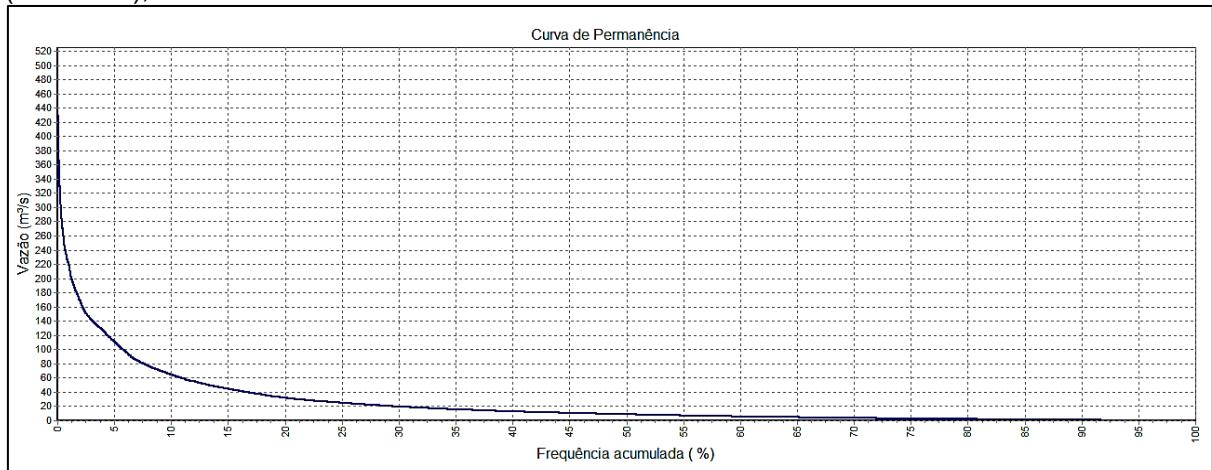
Fonte: Hidroweb (2021); SiscaH (2021). Adaptado por Melo, M. P. de (2024).

Gráfico 22- Curva de permanência da Q7,10 para o Posto Fluviométrico Carbonita (54230000), de 1973 a 2021



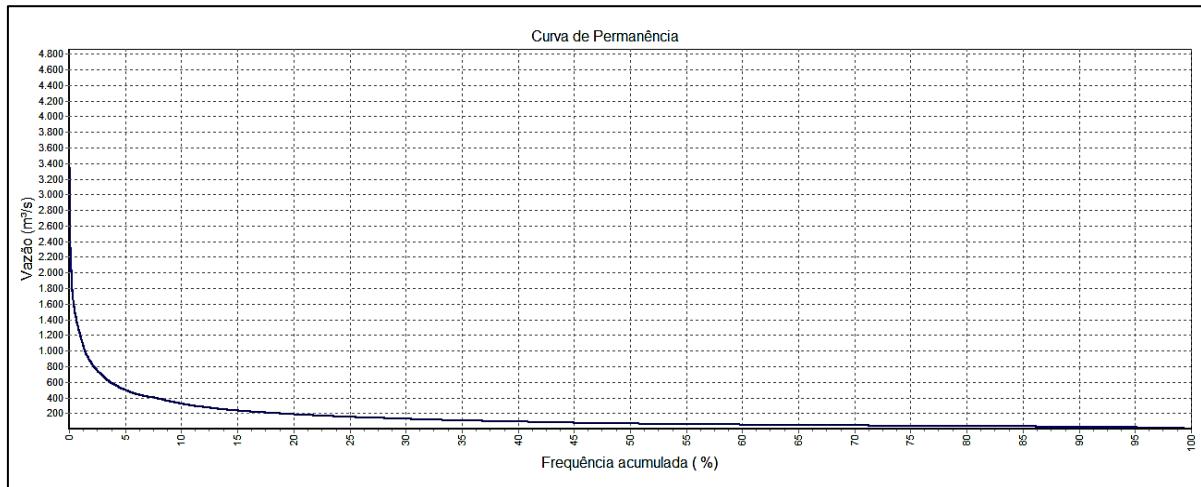
Fonte: Hidroweb (2021); SiscaH (2021). Adaptado por Melo, M. P. de (2024).

Gráfico 23- Curva de permanência da Q7,10 para o Posto Fluviométrico Fazenda Jambeiro (54110002), de 1973 a 2021



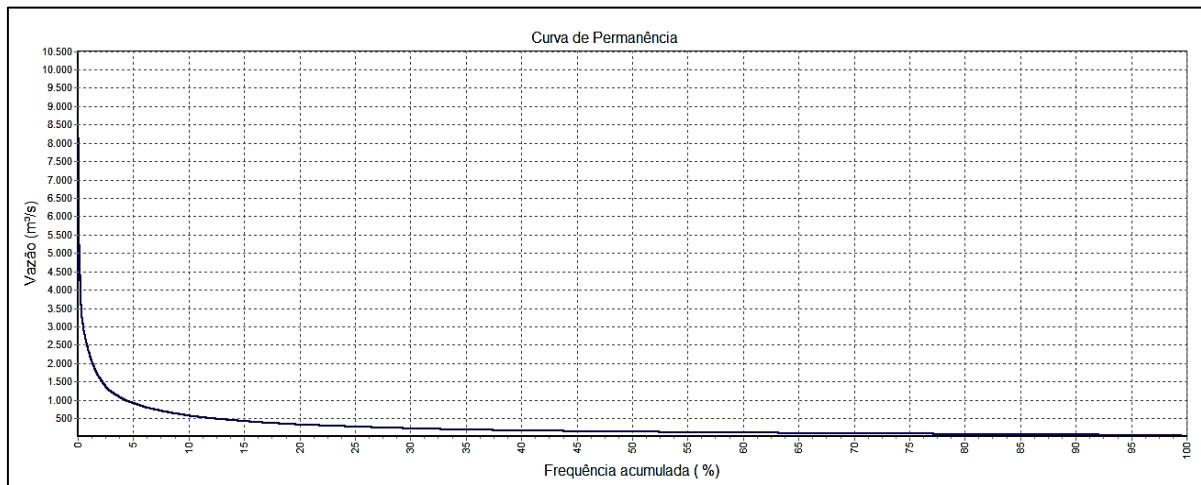
Fonte: Hidroweb (2021); SiscaH (2021). Adaptado por Melo, M. P. de (2024).

Gráfico 24- Curva de permanência da Q7,10 para o Posto Fluviométrico Porto Mandacaru (54150000), de 1973 a 2021



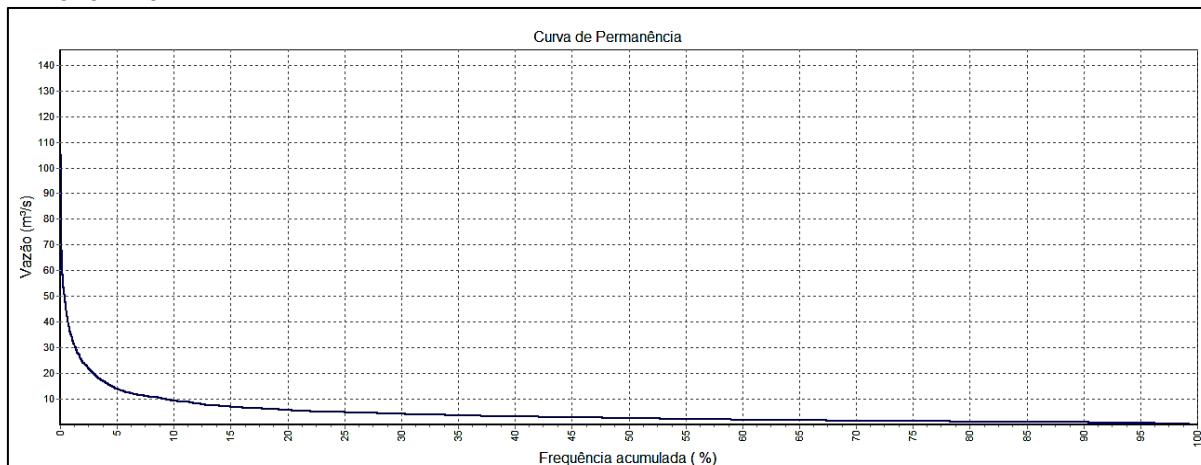
Fonte: Hidroweb (2021); SiscaH (2021). Adaptado por Melo, M. P. de (2024).

Gráfico 25- Curva de permanência da Q7,10 para o Posto Fluviométrico Itaobim (54580000), de 1973 a 2021



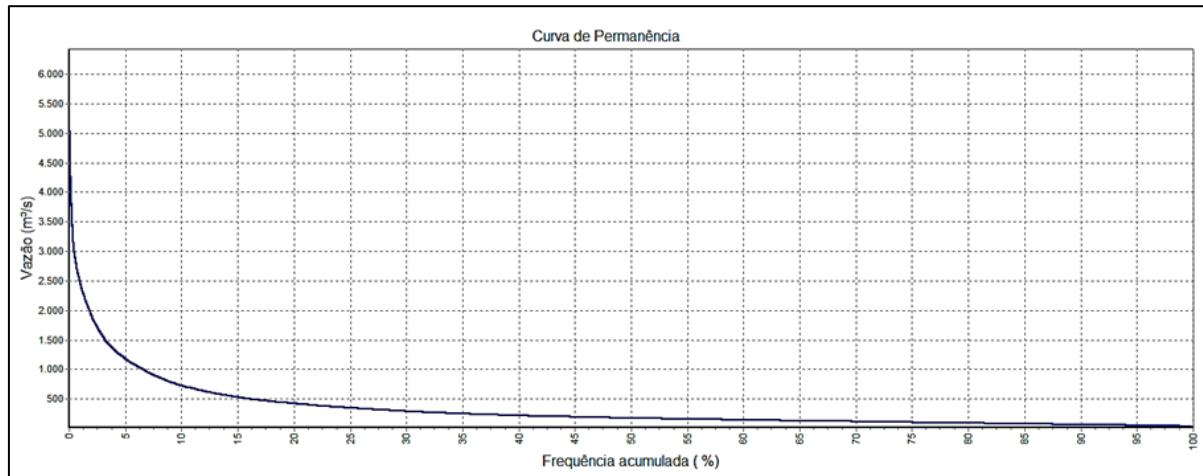
Fonte: Hidroweb (2021); SiscaH (2021). Adaptado por Melo, M. P. de (2024).

Gráfico 26- Curva de permanência da Q7,10 para o Posto Fluviométrico São João Grande (54590000), de 1973 a 2021



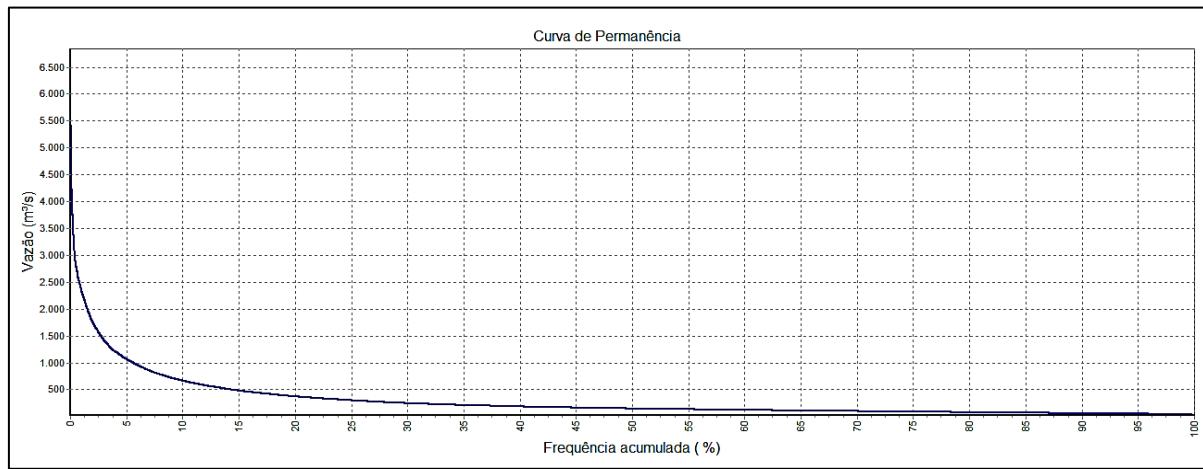
Fonte: Hidroweb (2021); SiscaH (2021). Adaptado por Melo, M. P. de (2024).

Gráfico 27- Curva de permanência da Q7,10 para o Posto Fluviométrico Jacinto (54780000), de 1973 a 2021



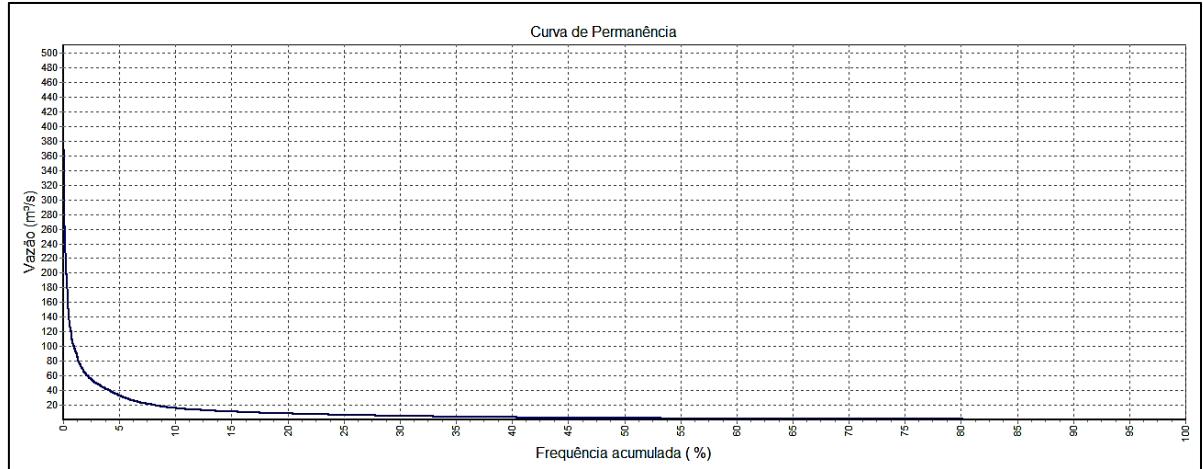
Fonte: Hidroweb (2021); SiscaH (2021). Adaptado por Melo, M. P. de (2024).

Gráfico 28- Curva de permanência da Q7,10 para o Posto Fluviométrico Jequitinhonha (54710000), de 1973 a 2021



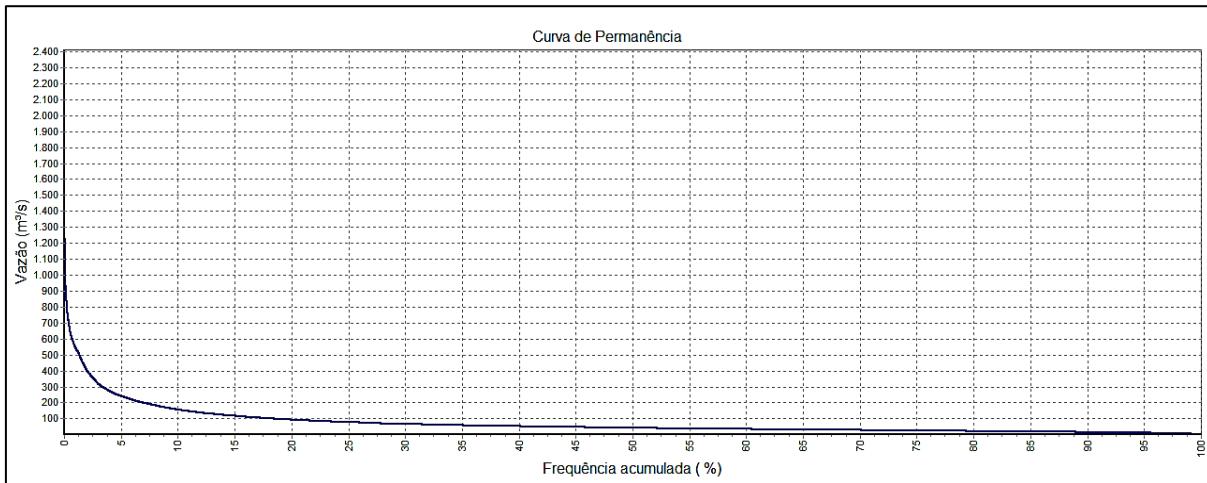
Fonte: Hidroweb (2021); SiscaH (2021). Adaptado por Melo, M. P. de (2024).

Gráfico 29- Curva de permanência da Q7,10 para o Posto Fluviométrico Ponte Vacaria (54165000), de 1973 a 2021



Fonte: Hidroweb (2021); SiscaH (2021). Adaptado por Melo, M. P. de (2024).

Gráfico 30- Curva de permanência da Q_{7,10} para o Posto Fluviométrico Pega (54390000), de 1973 a 2021



Fonte: Hidroweb (2021); SiscaH (2021). Adaptado por Melo, M. P. de (2024).

Para que fosse possível, então, analisar as vazões de todos os postos fluviométricos, conjuntamente, após resultados apresentados pelas curvas de permanência anteriormente, os valores médios de Q_{7,10}, Q₉₀ e Q₉₅ foram compilados na Tabela 53.

Tabela 53- Vazões mínimas nos postos fluviométricos da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha

CÓD. POSTO	NOME POSTO	CURSO HÍDRICO	Q _{7,10} (m ³ /s)	Q ₉₅ (m ³ /s)	Q ₉₀ (m ³ /s)
54770000	Fazenda Cajueiro	Rio São Francisco	0,00	0,1078	0,1989
54485000	Fazenda Facão	Rio Gravata	0,03	0,0474	0,1622
54010005	Vila Terra Branca – Jusante	Rio Jequitinhonha	7,56	11,4106	13,3728
54230000	Carbonita	Rio Araçuaí	2,90	3,8411	5,4576
54110002	Fazenda Jambeiro	Rio Itacambiruçu	0,00	0,3374	0,8125
54150000	Porto Mandacaru	Rio Jequitinhonha	13,23	20,6135	27,1678
54580000	Itaobim	Rio Jequitinhonha	34,44	47,0563	58,6813
54590000	São João Grande	Ribeirão São João	0,30	0,6667	0,9454
54780000	Jacinto	Rio Jequitinhonha	35,24	52,6087	64,4647
54710000	Jequitinhonha	Rio Jequitinhonha	33,48	48,8013	58,5441
54165000	Ponte Vacaria	Rio Vacaria	0,01	0,2118	0,3571
54390000	Pega	Rio Araçuaí	7,56	11,0428	15,7753

Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2024).

A vazão Q_{7,10}, em dois dos doze postos analisados, Fazenda Cajueiro e Fazenda Jambeiro, resultou em zero, e em outros três abaixo de 0,5 m³/s, o que

significa que, com base na análise hidrológica, não houve vazão média diária significativa durante sete dias consecutivos, com um intervalo de retorno de 10 anos, nos cursos hídricos em questão. Em outras palavras, em um cenário onde se analisa as vazões ao longo de sete dias consecutivos e essa sequência ocorre uma vez a cada 10 anos, o valor zero indica que, em média, o curso d'água está seco ou com um escoamento tão baixo que a vazão é negligenciável durante esse período de sete dias.

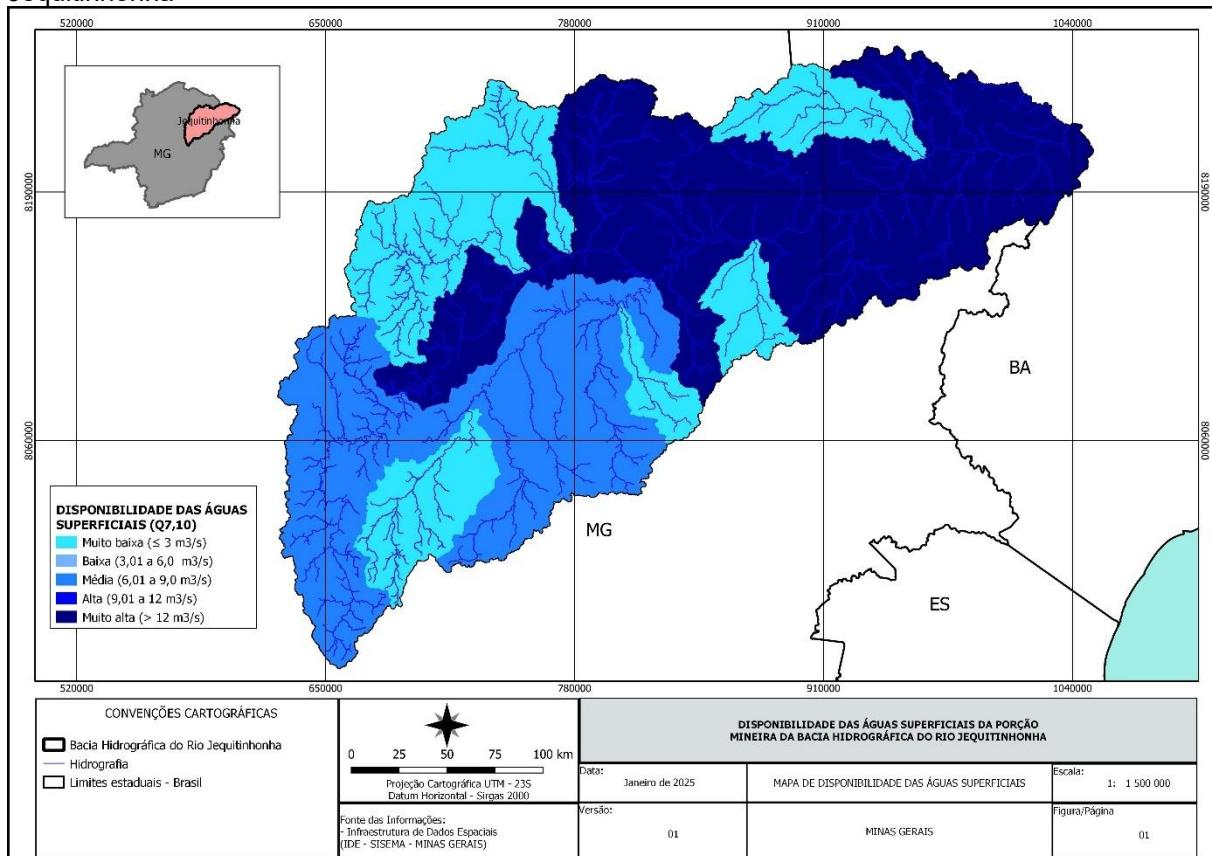
As possíveis causas podem estar associadas a seca prolongada, típica do regime semiárido, falta de fontes de água durante períodos secos, capacidade de drenagem do solo, além de caráter intermitente do curso hídrico. Estas implicações afetam o uso das águas, visto que, quanto menor a vazão, mais insuficiente ou inexistente torna-se o processo de abastecimento para atender as demandas necessárias. Outro fator afetado é a sustentação da biodiversidade local, pois o ecossistema aquático depende de fontes de água intermitentes.

A vazão Q_{95} , utilizada para representar a vazão mínima de um determinado curso hídrico, superada em 95% do tempo ao longo do ano, demonstra valores de baixo fluxo que ocorre frequentemente, mas não é a menor possível, como pode ser percebido na Tabela 53. Fornece informações sobre o volume de água disponível em condições normais e ajuda a planejar o uso sustentável da água e a proteger os ecossistemas aquáticos.

Os resultados de Q_{90} refletem a vazão abaixo da qual o corpo d'água se encontra durante 90% do tempo no ano, configurando-se como uma vazão baixa, ocorrendo com maior frequência. É essencial para garantir que os recursos hídricos possam sustentar as demandas humanas e ecológicas, mesmo em períodos de seca ou baixo fluxo, entretanto, é um valor crítico em hidrologia para compreender o comportamento de um curso durante a maior parte do ano, especialmente durante períodos de fluxo reduzido.

Como o IGAM adota a vazão $Q_{7,10}$ como referência a ser adotada para o cálculo das disponibilidades hídricas superficiais em Minas Gerais, foi considerada nesta pesquisa como indicadora mínima natural da Bacia estudada. O percentual outorgável ainda permanece sendo máximo de 50% ou 30% dessa vazão para as bacias hidrográficas do Estado segundo o Artigo 3º da Portaria Igam nº 48/2019.

Mapa 18- Disponibilidade hídrica superficial média da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha



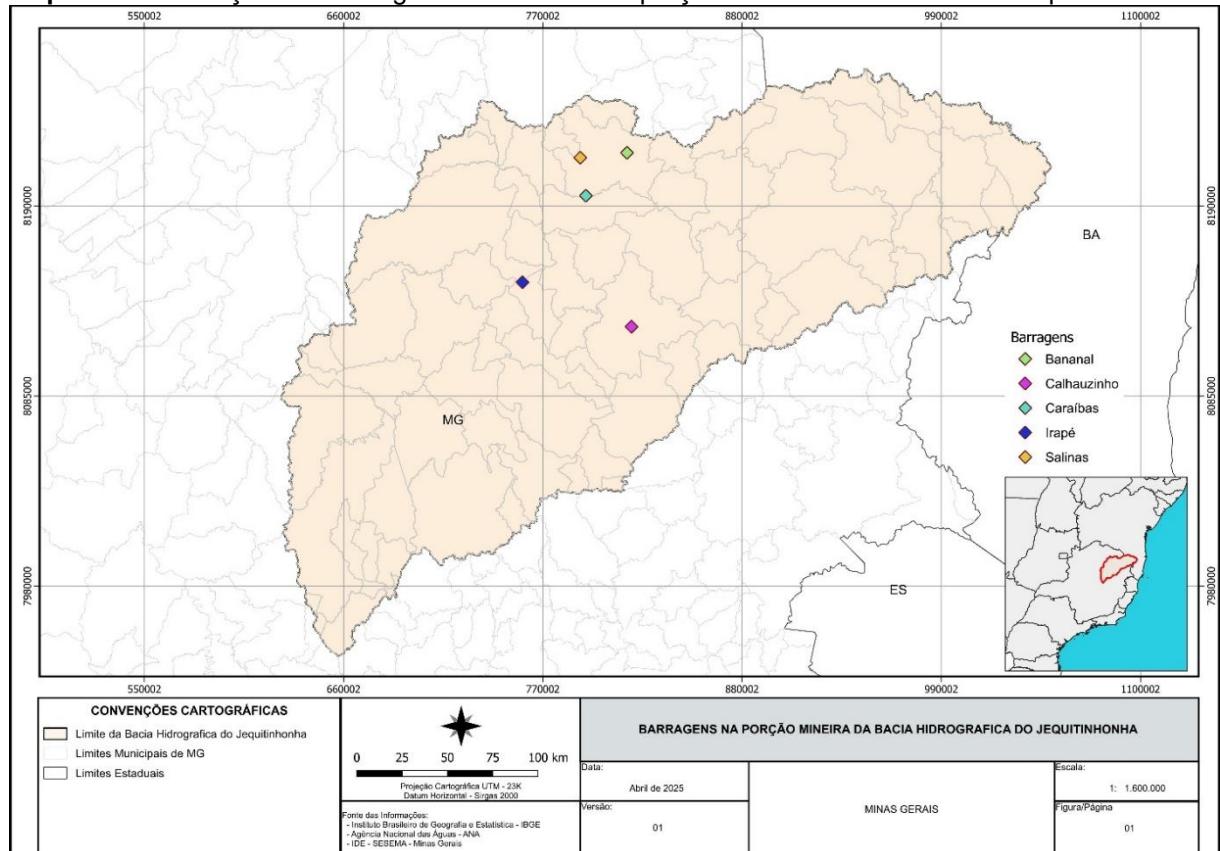
Fonte: IGAM (Minas Gerais, 2025). Elaborado por Rosa, R. M. (2025) em conjunto com Melo, M. P. de (2025).

Diante do exposto no Mapa 18, em consonância à classificação adotada para enquadramento dos cursos hídricos em diferentes graus de disponibilidade, percebe-se que as classes Baixa e Alta não apresentaram áreas que atenderam os requisitos definidos. A classe Muito Baixa, abaixo de $3 \text{ m}^3/\text{s}$, referindo-se à média de Q_{7,10} de todo o período histórico avaliado (1985 a 2021), corresponde às áreas de contribuição dos postos Carbonita (Rio Araçuaí), Fazenda Facão (Rio Gravatá), São João Grande (Ribeirão São João), Ponte Vacaria (Rio Vacaria), Fazenda Jambeiro (Rio Itacambiruçu) e Fazenda Cajueiro (Rio São Francisco).

A classe Média compôs-se da abrangência do baixo curso do Rio Jequitinhonha e do Posto Pega (Rio Araçuaí). Já a Classe Muito Alta para disponibilidade das águas superficiais, abrangeu os postos Porto Mandacaru, Itaobim, Jacinto, Jequitinhonha e Vila Terra Branca Jusante (todos no Rio Jequitinhonha), com médias de vazão Q_{7,10} acima de $12 \text{ m}^3/\text{s}$ entre 1985 a 2021. É importante ressaltar aqui que a área com conflito declarado, é a do Rio Bananal, com alguns de seus afluentes, no município de Salinas (MG) – JQ3. É uma Bacia caracterizada por carência de dados hidrológicos e

que possui uma barragem construída por meio do projeto elaborado pela RURALMINAS, a fim de regularizar a vazão e implantar perímetros de agricultura irrigada. Ferreira (2007) apresentou um mapeamento das barragens construídas na porção mineira da Bacia do Rio Jequitinhonha conforme Mapa 19 e após este levantamento não houve maiores intervenções na área de estudo.

Mapa 19- Localização das barragens construídas na porção mineirada Bacia do Rio Jequitinhonha



Fonte: IBGE; ANA; IDE-SISEMA-MG (2025). Elaborado por Soares, R. C. da S. (2025) em conjunto com Melo, M. P. de (2025).

5.3 Relação entre disponibilidade e demanda hídrica

Relacionar disponibilidade e demanda hídrica é imprescindível para a gestão de recursos hídricos, pois indica o equilíbrio ou desequilíbrio entre a quantidade de água disponível em uma determinada região e a quantidade de água necessária para atender às diferentes demandas, como descrito anteriormente. Ao passo que a disponibilidade hídrica pode ser medida em termos absolutos (volume total de água disponível) ou per capita (volume de água disponível por pessoa), a demanda é influenciada pelo número de habitantes/animais, atividades econômicas, padrões de consumo e o tipo de uso da água.

Com relação às demandas animal, populacional e industrial, o resultado das estimativas da quantidade média de água consumida em m³ e em m³/s (para comparar à vulnerabilidade quantitativa), de acordo com os períodos analisados, ocorreu sob imprecisão de alguns fatores, como aproximação de dados numéricos, falhas em séries históricas, crescimento populacional e bovino, e escassez de dados industriais para a área estudada. Tomando por base os resultados parciais das respectivas demandas, segue a Tabela 54, que compila o total demandado:

Tabela 54- Média das demandas hídricas consuntivas estimadas para a porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha

TIPO DE DEMANDA HÍDRICA	PERÍODO ANALISADO	CONSUMO MÉDIO TOTAL ESTIMADO (m ³)	CONSUMO MÉDIO ESTIMADO (m ³ /s)
Bovina	2020	103.260.450	1,20
Populacional Urbana	2022	71.666.500	0,83
Populacional Rural	2022	20.216.490	0,23
Industrial	1970 a 2024	12.096	0,14
TOTAL	-	195.155.536	2,26

Fonte dos dados: IBGE (2010, 2015, 2020, 2024); CNI (2021); ANA (2024). Elaborado por Melo, M. P. de (2025).

É notório que o rebanho bovino, em comparação à população da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, consome mais água, mesmo que o coeficiente seja menor que o humano. Enquanto para o gado foi considerado 50 l/cabeça/dia, para a população urbana variou entre 100 a 175 l/hab/dia, e para a rural, 70 l/hab/dia. O total de gado na área de estudo é praticamente o dobro do quantitativo de pessoas.

Seguindo o mesmo raciocínio, a demanda industrial é representada por, praticamente, metade da população rural. Além das atividades industriais na Bacia serem escassas, a quantidade de água consumida pela pecuária é, em cenário global, maior, lembrando que o quadro comparativo aqui relatado comprehende apenas as necessidades para sedentação animal de uma única espécie representativa.

A fim de confrontar a demanda com a oferta hídrica da porção estudada, a Tabela 55 exibe o quantitativo levantado, lembrando que se trata de médias de toda a série histórica dos postos fluviométricos onde ocorreram as coletas de amostragens e posterior tratamento destes dados pelo Portal Hidroweb (ANA, 1985-2021).

Tabela 55- Oferta hídrica média para a porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, de 1985 a 2021

OFERTA HÍDRICA	NOME POSTO	VAZÃO Q _{7,10} (m ³ /s)
54770000	Fazenda Cajueiro	0,00
54485000	Fazenda Facão	0,03
54010005	Vila Terra Branca – Jusante	7,56
54230000	Carbonita	2,90
54110002	Fazenda Jambeiro	0,00
54150000	Porto Mandacaru	13,23
54580000	Itaobim	34,44
54590000	São João Grande	0,30
54780000	Jacinto	35,24
54710000	Jequitinhonha	33,48
54165000	Ponte Vacaria	0,01
54390000	Pega	7,56
TOTAL		134,75

Fonte dos dados: Hidroweb (2024). Elaborado por Melo, M. P. de (2025).

Como a oferta e a demanda hídrica refletem um compilado de série histórica, foi realizado o cálculo para converter tais valores em m³ ao ano. Portanto, de posse dos totais já convertidos, estabeleceu-se a razão por meio do Índice de Disponibilidade Hídrica (IDH) proposto, para a porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha:

$$IDH = \frac{4.249.476.000}{71.271.360} = 59,62$$

Diante disso, a metodologia sugere que o valor de IDH maior que 1 representa uma oferta hídrica que atende a demanda, ou seja, a disponibilidade de água da Bacia, em uma visão geral, é boa em relação às suas necessidades, indicando um cenário de não escassez hídrica.

5.4 Qualidade das águas superficiais

De acordo com as 13 estações de amostragem, inseridas nas CH's JQ1, JQ2 e JQ3 da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, a análise da

série histórica de 2014 a 2021, contempla os resultados apontados pelos relatórios anuais para IQA, CT, IET e Panorama de Qualidade das Águas do IGAM, disponibilizados a seguir, com suas considerações subsequentes.

5.4.1 Índice de Qualidade de Água (IQA)

Os percentuais de ocorrência do indicador de IQA foram avaliados pelo IGAM e as estações selecionadas na área de estudo, tiveram seus resultados ordenados em tabelas, quadros e gráficos, aqui apresentados no intuito de analisar a possível contaminação dos corpos hídricos superficiais em decorrência de matéria orgânica e fecal, sólidos e nutrientes. A Tabela 56 indica, ao longo da série histórica de monitoramento, as médias anuais das coletas trimestrais e, consequentemente, as classificações predominantes.

Tabela 56- Resultados de IQA em estações elegidas na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha entre 2014 e 2021

EST.	CH	CURSO HÍDRICO	MUNICÍPIO	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
JE001	JQ1	Rio Jequitinhonha	Diamantina Serro	70-90	70-90	70-90	70-90	70-90	70-90	70-90	70-90
JE003	JQ1	Rio Jequitinhonha	Diamantina	70-90	70-90	70-90	70-90	70-90	70-90	70-90	70-90
JE005	JQ1	Rio Jequitinhonha	Bocaiúva Carbonita Turmalina	70-90	70-90	70-90	70-90	70-90	70-90	70-90	70-90
JE007	JQ1	Rio Jequitinhonha	Berilo Virgem da Lapa	70-90	70-90	70-90	70-90	70-90	70-90	50-70	70-90
JE009	JQ3	Rio Salinas	Rubelita	70-90	50-70	50-70	50-70	50-70	50-70	50-70	50-70
JE011	JQ3	Rio Jequitinhonha	Coronel Murta	70-90	70-90	50-70	70-90	70-90	70-90	50-70	70-90
JE013	JQ2	Rio Araçuaí	Turmalina	70-90	70-90	70-90	70-90	70-90	70-90	50-70	70-90
JE015	JQ2	Rio Araçuaí	Berilo	70-90	70-90	50-70	70-90	70-90	50-70	50-70	70-90
JE017	JQ2	Rio Araçuaí	Araçuaí	50-70	50-70	50-70	50-70	50-70	50-70	50-70	50-70
JE019	JQ3	Rio Jequitinhonha	Itinga	50-70	70-90	50-70	70-90	50-70	70-90	50-70	50-70
JE021	JQ3	Rio Jequitinhonha	Jequitinhonha	50-70	70-90	50-90	50-90	50-70	70-90	50-70	50-90
JE023	JQ3	Rio Jequitinhonha	Almenara	50-90	50-90	70-90	70-90	50-90	50-90	50-70	50-70
JE025	JQ3	Rio Jequitinhonha	Salto da Divisa	70-90	70-90	70-90	70-90	50-70	70-90	50-70	50-70

Fonte: IGAM (2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2023).

Pelo exposto na Tabela 56 é possível perceber que na JQ1, região que incorpora as cabeceiras do Rio Jequitinhonha, o IQA se manteve Bom em

praticamente todo o período compreendido, com exceção, apenas, para a estação JE007 (próxima à Josenópolis) em 2020, que obteve classificação Média. Nos pontos de amostra da JQ2, a estação JE013 (ponto de encontro do Rio Itamarandiba com o Rio Araçuaí) seguiu a classificação da JE007; a JE015, no Rio Araçuaí, em Berilo, oscilou entre IQA Médio e Bom; e a JE017, no mesmo Rio, manteve ocorrência Média ao longo de toda a série histórica.

Em relação à JQ3, a estação JE009, em Rubelita (Rio Salinas) obteve avaliação Boa somente em 2014 e o restante do período permaneceu Média; a JE011, em Coronel Murta, sustentou IQA Bom em sua grande parte do período; a JE019 (deságue do Rio Itinga no Rio Jequitinhonha) e a JE025 (Salto da Divisa) oscilaram entre Bom e Médio; e nos pontos JE021 (Jequitinhonha), onde o Rio São Miguel encontra o Rio Jequitinhonha, assim como a JE023 (Almenara), com o deságue do Rio São Francisco, além das médias variarem em alguns anos, nota-se que as coletas trimestrais nas áreas de cor branca da Tabela 57, se dividiram entre Médio e Bom.

O IQA destas estações pode estar relacionado às influências industriais, minerárias e de aquicultura ao longo dos cursos d'água, visto que atividades como irrigação e dessedentação animal não alteram significativamente este índice. Os percentuais para cada ponto de amostragem ficam, então, assim organizados:

Tabela 57- Percentual dos resultados de IQA para as estações deste estudo, na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha entre 2014 e 2021 - continua

EST.	CH	CURSO HÍDRICO	MUNICÍPIO	MÉDIA	FAIXA	PERCENTUAL DOMINANTE
JE001	JQ1	Rio Jequitinhonha	Diamantina Serro	70-90	Bom	100%
JE003	JQ1	Rio Jequitinhonha	Diamantina	70-90	Bom	100%
JE005	JQ1	Rio Jequitinhonha	Bocaiúva Carbonita Turmalina	70-90	Bom	100%
JE007	JQ1	Rio Jequitinhonha	Berilo Virgem da Lapa	70-90	Bom	87,5%
JE009	JQ3	Rio Salinas	Rubelita	50-70	Médio	87,5%
JE011	JQ3	Rio Jequitinhonha	Coronel Murta	70-90	Bom	75%
JE013	JQ2	Rio Araçuaí	Turmalina	70-90	Bom	87,5%
JE015	JQ2	Rio Araçuaí	Berilo	70-90	Bom	62,5%
JE017	JQ2	Rio Araçuaí	Araçuaí	50-70	Médio	100%
JE019	JQ3	Rio Jequitinhonha	Itinga	50-70	Médio	62,5%

Tabela 57- Percentual dos resultados de IQA para as estações deste estudo, na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha entre 2014 e 2021 - conclusão

EST.	CH	CURSO HÍDRICO	MUNICÍPIO	MÉDIA	FAIXA	PERCENTUAL DOMINANTE
JE021	JQ3	Rio Jequitinhonha	Jequitinhonha	50-70	Médio	75%
JE023	JQ3	Rio Jequitinhonha	Almenara	50-90	Médio e Bom	50% Médio / 50% Bom
JE025	JQ3	Rio Jequitinhonha	Salto da Divisa	70-90	Bom	62,5%

Fonte: IGAM (2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2023).

É importante notabilizar que estes dados correspondem às médias de ocorrências nas 13 estações selecionadas para este estudo. Entretanto, o IGAM condensa ano a ano os percentuais dentro da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, considerando, ainda, as outras estações existentes para avaliação (Tabela 58). Na JQ1, o total de pontos de coleta são 15; na JQ2 também são 15 (sendo que oito entraram em operação em 2019); e na JQ3 são 19 pontos. Como se trata de uma mesma área, torna-se relevante compartilhar estes resultados de monitoramento.

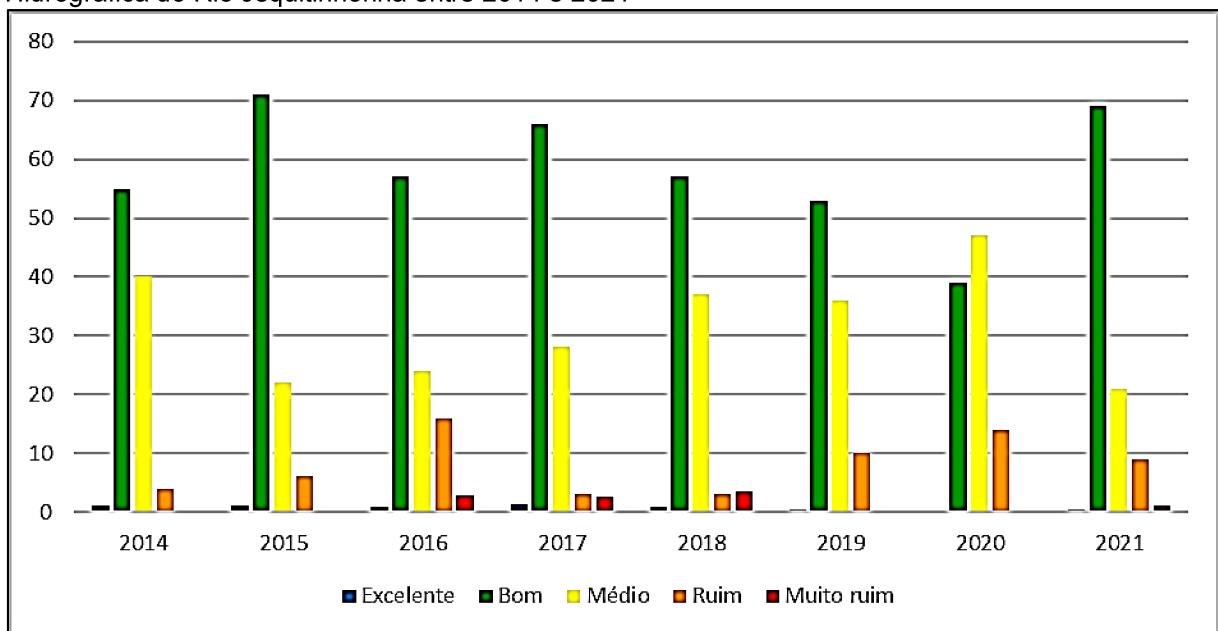
Tabela 58- Percentual total dos resultados de IQA em todas as estações na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha entre 2014 e 2021

2014		2015		2016		2017	
%	IQA	%	IQA	%	IQA	%	IQA
1	Excelente	1	Excelente	0,9	Excelente	1,3	Excelente
55	Bom	71	Bom	57	Bom	66	Bom
40	Médio	22	Médio	24	Médio	28	Médio
4	Ruim	6	Ruim	16	Ruim	3	Ruim
-	Muito Ruim	-	Muito Ruim	2,8	Muito Ruim	2,5	Muito Ruim
2018		2019		2020		2021	
%	IQA	%	IQA	%	IQA	%	IQA
0,9	Excelente	0,5	Excelente	-	Excelente	0,5	Excelente
57	Bom	53	Bom	39	Bom	69	Bom
37	Médio	36	Médio	47	Médio	21	Médio
3	Ruim	10	Ruim	14	Ruim	9	Ruim
3,5	Muito Ruim	-	Muito Ruim	-	Muito Ruim	1,1	Muito Ruim

Fonte: IGAM (2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2023).

O Gráfico 31, enquanto representação que facilita a análise de dados, sumariza o percentual apresentado na Tabela 58. A cor verde, que representa IQA Bom, foi o de maior percentual durante o intervalo analisado, com ressalva ao ano de 2020, em que a avaliação das amostras coletadas se destacou dentro do IQA Médio.

Gráfico 31- Percentual total dos resultados de IQA em todas as estações na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha entre 2014 e 2021



Fonte: IGAM (2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2023).

A média, então, entre os percentuais equivalentes à avaliação de IQA Bom é de 58,37% de ocorrência, seguidos de 31,87% de IQA Médio, 8,125% de IQA Ruim e, por fim, 1,2375 de IQA Muito Ruim.

5.4.2 Contaminação por Tóxicos (CT)

As frequências médias de ocorrência de CT predominantes nas águas superficiais da área de estudo, ao longo da série histórica de monitoramento, estão dispostas na Tabela 59, conforme as concentrações observadas, trimestralmente, dos parâmetros tóxicos pelo IGAM.

Tabela 59- Resultados de CT em estações elegidas na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha entre 2014 e 2021

EST.	CH	CURSO HÍDRICO	MUNICÍPIO	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
JE001	JQ1	Rio Jequitinhonha	Diamantina Serro	Baixa	Baixa	Média	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
JE003	JQ1	Rio Jequitinhonha	Diamantina	Baixa	Baixa	Média	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
JE005	JQ1	Rio Jequitinhonha	Bocaiúva Carbonita Turmalina	Baixa							
JE007	JQ1	Rio Jequitinhonha	Berilo Virgem da Lapa	Baixa	Baixa	Média	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
JE009	JQ3	Rio Salinas	Rubelita	Baixa	Baixa	Média	Baixa	Baixa	Baixa	Alta	Baixa
JE011	JQ3	Rio Jequitinhonha	Coronel Murta	Baixa	Média	Média	Baixa	Alta	Baixa	Baixa	Média
JE013	JQ2	Rio Araçuaí	Turmalina	Baixa							
JE015	JQ2	Rio Araçuaí	Berilo	Baixa	Baixa	Média	Baixa	Baixa	Baixa	Alta	Baixa
JE017	JQ2	Rio Araçuaí	Araçuaí	Baixa	Baixa	Baixa	Média	Baixa	Alta	Alta	Baixa
JE019	JQ3	Rio Jequitinhonha	Itinga	Baixa	Baixa	Alta	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
JE021	JQ3	Rio Jequitinhonha	Jequitinhonha	Baixa							
JE023	JQ3	Rio Jequitinhonha	Almenara	Baixa	Média e Baixa						
JE025	JQ3	Rio Jequitinhonha	Salto da Divisa	Baixa							

Fonte: IGAM (2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2023).

Percebe-se que a predominância de contaminação em todas os resultados das campanhas de 2014 foi Baixa, assim como nas estações JE005 (JQ1), JE013 (JQ2), JE021 e JE025 (JQ3) em que a condição Baixa também se manteve em todos os anos. Frente aos piores cenários identificados no conjunto de médias das campanhas realizadas em cada ano, identifica-se que em 2020 houve mais indícios de contaminação dentre as treze estações.

Se apenas um dos parâmetros tóxicos em um determinado ponto de amostragem mostra-se com valor acima de 100% (o dobro da sua concentração limite apontada na normatização pertinente), em pelo menos uma das campanhas do ano, a CT naquela estação de amostragem é considerada Alta no ano em análise. Presume-se que a intensificação da indústria ou do uso de insumos químicos em suas atividades, associada, possivelmente, aos regimes pluviométricos do período em que as amostras foram coletadas, são possíveis fatores desta contaminação.

Assim como mencionado nos resultados sobre IQA, mesmo que estes dados correspondam a médias de ocorrências nas estações selecionadas para este estudo, os percentuais correspondentes a todos os pontos existentes dentro da porção mineira

da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha também são significativos para esta análise (Tabela 60).

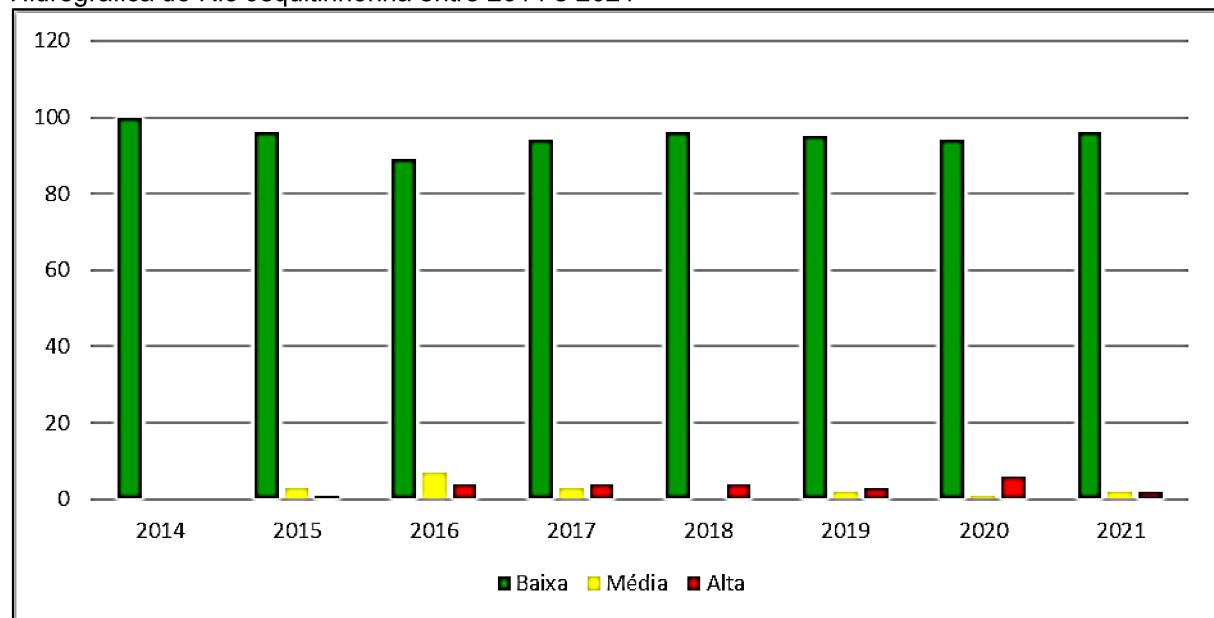
Tabela 60- Percentual total dos resultados de CT em todas as estações na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha entre 2014 e 2021

2014		2015		2016		2017	
%	CT	%	CT	%	CT	%	CT
100	Baixa	96	Baixa	89	Baixa	94	Baixa
-	Média	3	Média	7	Média	3	Média
-	Alta	1	Alta	4	Alta	4	Alta
2018		2019		2020		2021	
%	CT	%	CT	%	CT	%	CT
96	Baixa	95	Baixa	94	Baixa	96	Baixa
-	Média	2	Média	1	Média	2	Média
4	Alta	3	Alta	6	Alta	2	Alta

Fonte: IGAM (2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2023).

O Gráfico 32 sumariza os percentuais apresentados na Tabela 60. A cor verde, que representa CT Baixa, foi o de maior percentual durante o intervalo analisado, acompanhada da cor amarela e vermelha, que obtiveram as menores incidências.

Gráfico 32- Percentual total dos resultados de CT em todas as estações na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha entre 2014 e 2021



Fonte: IGAM (2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2023).

A média, então, entre os percentuais equivalentes à avaliação de CT Baixa é de 95% de ocorrência, seguidos de 3% de CT Alta e 2,25% de CT Média.

5.4.3 Índice de Estado Trófico (IET)

Como já mencionado, o IET é utilizado para classificar os corpos hídricos lóticos (rios e córregos) e lênticos (açudes, lagos e reservatórios) quanto ao potencial de ocorrência da eutrofização, processo que pode acarretar a deterioração dos ecossistemas aquáticos.

O crescente aumento dos níveis de clorofila-a e nutrientes, especialmente de fósforo total, nos corpos de água monitorados no Estado tem alertado para o desenvolvimento de estudos que contribuam para um melhor entendimento da relação causa-efeito entre os processos produtivos e seu impacto ambiental em ecossistemas aquáticos. (IGAM-Relatório de Qualidade das Águas, 2020, p. 24).

Em virtude disto, foi a partir de 2008 que o Programa Águas de Minas passou a utilizar o IET para contribuir na avaliação da qualidade das águas, aplicando apenas a clorofila-a e o fósforo total, visto que os valores de transparência nem sempre representam estado de trofia. A transparência pode ser afetada por elevada turbidez em função de material mineral em suspensão e não só de densidade de organismos planctônicos. Sendo assim, os resultados referentes às médias dos monitoramentos desta variável limnológica na área de estudo estão representados na Tabela 61.

Tabela 61- Resultados de IET em estações elegidas na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha entre 2014 e 2021 - continua

EST.	CH	CURSO HÍDRICO	MUNICÍPIO	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
JE001	JQ1	Rio Jequitinhonha	Diamantina Serro	47-52	47-52	47-52	47-52	47-52	47-52	47-52	52-59
JE003	JQ1	Rio Jequitinhonha	Diamantina	47-52	47-52	47-52	52-59	47-52	52-59	52-59	52-59
JE005	JQ1	Rio Jequitinhonha	Bocaiúva Carbonita Turmalina	47-52	47-52	47-52	52-59	52-59	47-52	52-59	47-52
JE007	JQ1	Rio Jequitinhonha	Berilo Virgem da Lapa	0-47	0-47	47-52	47-52	47-52	47-52	47-52	47-52
JE009	JQ3	Rio Salinas	Rubelita	47-52	52-59	0-47	52-59	52-59	52-59	52-59	52-59
JE011	JQ3	Rio Jequitinhonha	Coronel Murta	0-47	0-47	47-52	47-52	47-52	47-52	52-59	47-52
JE013	JQ2	Rio Araçuaí	Turmalina	47-52	47-52	47-52	52-59	47-52	47-52	52-59	52-59
JE015	JQ2	Rio Araçuaí	Berilo	47-52	47-52	0-47	52-59	52-59	52-59	52-59	52-59

Tabela 61- Resultados de IET em estações elegidas na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha entre 2014 e 2021 - conclusão

EST.	CH	CURSO HÍDRICO	MUNICÍPIO	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
JE017	JQ2	Rio Araçuaí	Araçuaí	47-52	47-52	0-47	52-59	52-59	52-59	59-63	52-59
JE019	JQ3	Rio Jequitinhonha	Itinga	47-52	0-47	0-47	47-52	47-52	47-52	52-59	52-59
JE021	JQ3	Rio Jequitinhonha	Jequitinhonha	47-52	0-52	47-59	52-59	47-59	47-52	47-59	47-59
JE023	JQ3	Rio Jequitinhonha	Almenara	47-59	47-52	47-52	52-59	52-59	47-52	47-59	52-59
JE025	JQ3	Rio Jequitinhonha	Salto da Divisa	52-59	47-52	47-52	52-59	52-59	52-59	52-59	52-59

Fonte: IGAM (2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2023).

Estas estações encontram-se em corpos hídricos lóticos e a condição geral das águas se manteve entre Oligotrófica e Mesotrófica na maior parte dos anos, ou seja, com graus de baixa trofia. O único ponto em que foi observada a pior situação registrada para o IET concentrou-se na estação JE017, no Rio Araçuaí, em 2020. Na Tabela 62 é possível perceber o panorama geral do percentual de IET em todas as estações da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, assim como foi comparado para o IQA e CT.

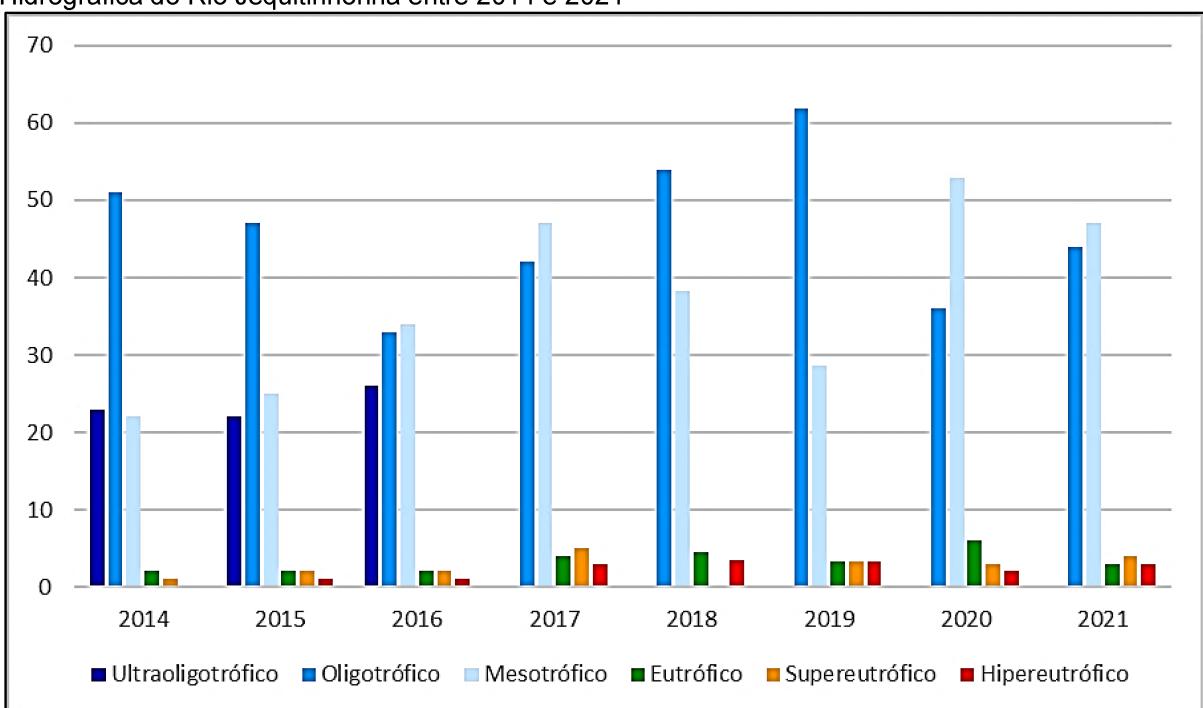
Tabela 62- Percentual total dos resultados de IET em todas as estações na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha entre 2014 e 2021

2014		2015		2016		2017	
%	IET	%	IET	%	IET	%	IET
23	Ultraoligotrófico	22	Ultraoligotrófico	26	Ultraoligotrófico	-	Ultraoligotrófico
51	Oligotrófico	47	Oligotrófico	33	Oligotrófico	42	Oligotrófico
22	Mesotrófico	25	Mesotrófico	34	Mesotrófico	47	Mesotrófico
2	Eutrófico	2	Eutrófico	2	Eutrófico	4	Eutrófico
1	Supereutrófico	2	Supereutrófico	2	Supereutrófico	5	Supereutrófico
-	Hipereutrófico	1	Hipereutrófico	1	Hipereutrófico	3	Hipereutrófico
2018		2019		2020		2021	
%	IET	%	IET	%	IET	%	IET
-	Ultraoligotrófico	-	Ultraoligotrófico	-	Ultraoligotrófico	-	Ultraoligotrófico
53,9	Oligotrófico	61,9	Oligotrófico	36	Oligotrófico	44	Oligotrófico
38,3	Mesotrófico	28,6	Mesotrófico	53	Mesotrófico	47	Mesotrófico
4,4	Eutrófico	3,2	Eutrófico	6	Eutrófico	3	Eutrófico
-	Supereutrófico	3,2	Supereutrófico	3	Supereutrófico	4	Supereutrófico
3,5	Hipereutrófico	3,2	Hipereutrófico	2	Hipereutrófico	3	Hipereutrófico

Fonte: IGAM (2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2023).

Considerando os dados anteriores, o Gráfico 33 foi construído para sintetizar os percentuais de IET prevalecentes na série histórica adotada. A cor azul, de tom intermediário, representa os valores Oligotróficos, caracterizados como sendo de corpos hídricos mais limpos, de baixa produtividade, sem interferências aos usos da água. A cor azul mais clara, de segunda maior ocorrência, corresponde a corpos hídricos com produtividade mediana, onde é possível haver implicações sobre a qualidade da água, mas, ainda assim, em níveis aceitáveis em sua grande maioria.

Gráfico 33- Percentual total dos resultados de IET em todas as estações na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha entre 2014 e 2021



Fonte: IGAM (2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2023).

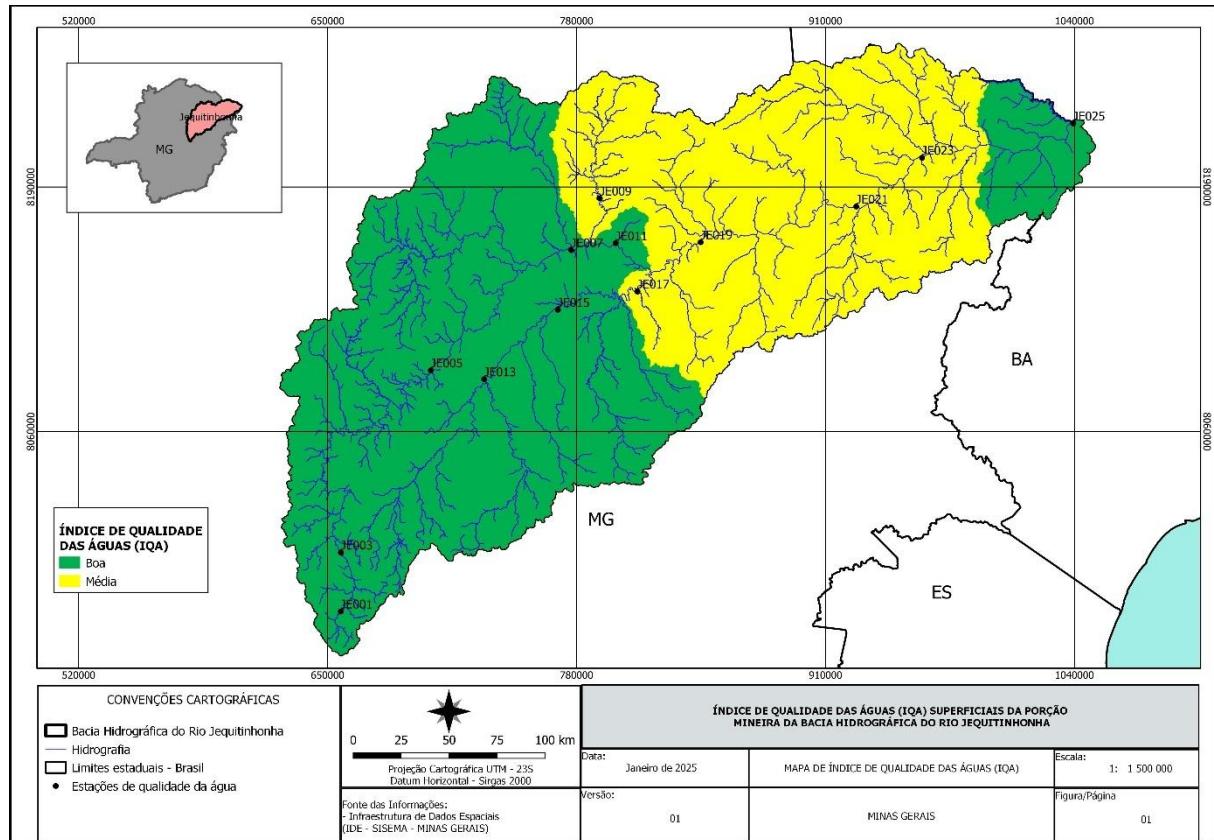
A média, então, entre os percentuais de IET na Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, entre 2014 e 2021 é de, aproximadamente, 46,1% Oligotrófico, 36,87% Mesotrófico, 8,87% Ultraoligotrófico, 3,32% Eutrófico, 2,52% Supereutrófico e 2,09% Hipereutrófico. O Tópico 5.4.4. demonstra, assim, o Panorama Geral de qualidade hídrica da área de estudo.

5.4.4 Panorama geral

A partir dos dados dos pontos de monitoramento para IQA, CT e IET, apresentados no tópico anterior, os Mapas 20, 21 e 22 contemplam a síntese e a

especialização dos resultados das estações elegidas na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha.

Mapa 20- IQA médio para a porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, de 2014 a 2021

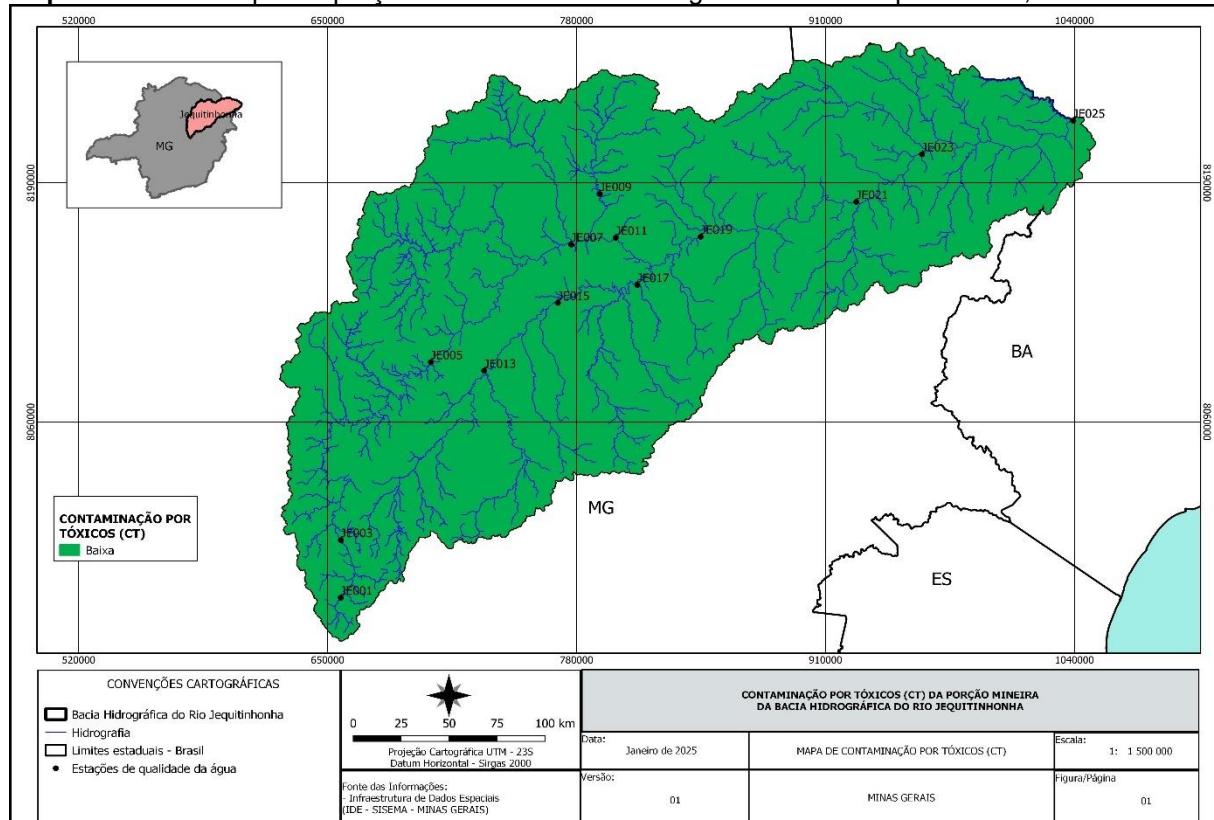


Fonte: IGAM (Minas Gerais, 2025). Elaborado por: Rosa, R. M. (2025) em conjunto com Melo, M. P. de (2025).

O Mapa 20 revela que o Médio e parte do Baixo Jequitinhonha são as áreas classificadas como de IQA Médio, entre 50 e 70, indicando cargas poluentes, provavelmente associadas a esgoto sanitário, atividades agropecuárias, desmatamento e/ou falta de saneamento básico. Embora não seja o ideal, o IQA Médio pode variar muito entre diferentes municípios e sub-bacias hidrográficas.

Já na região do Alto Jequitinhonha, incluindo parte do Baixo, próximo à divisa com a Bahia, o IQA é considerado Alto (70 a 90), revelando condições adequadas de qualidade dos corpos hídricos analisados, com baixa presença de poluentes como metais pesados, agrotóxicos ou coliformes fecais; boa disponibilidade de oxigênio dissolvido, essencial para a sobrevivência de muitas espécies aquáticas; pH equilibrado e baixa turbidez, com poucos sedimentos e partículas em suspensão.

Mapa 21- CT médio para a porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, de 2014 a 2021

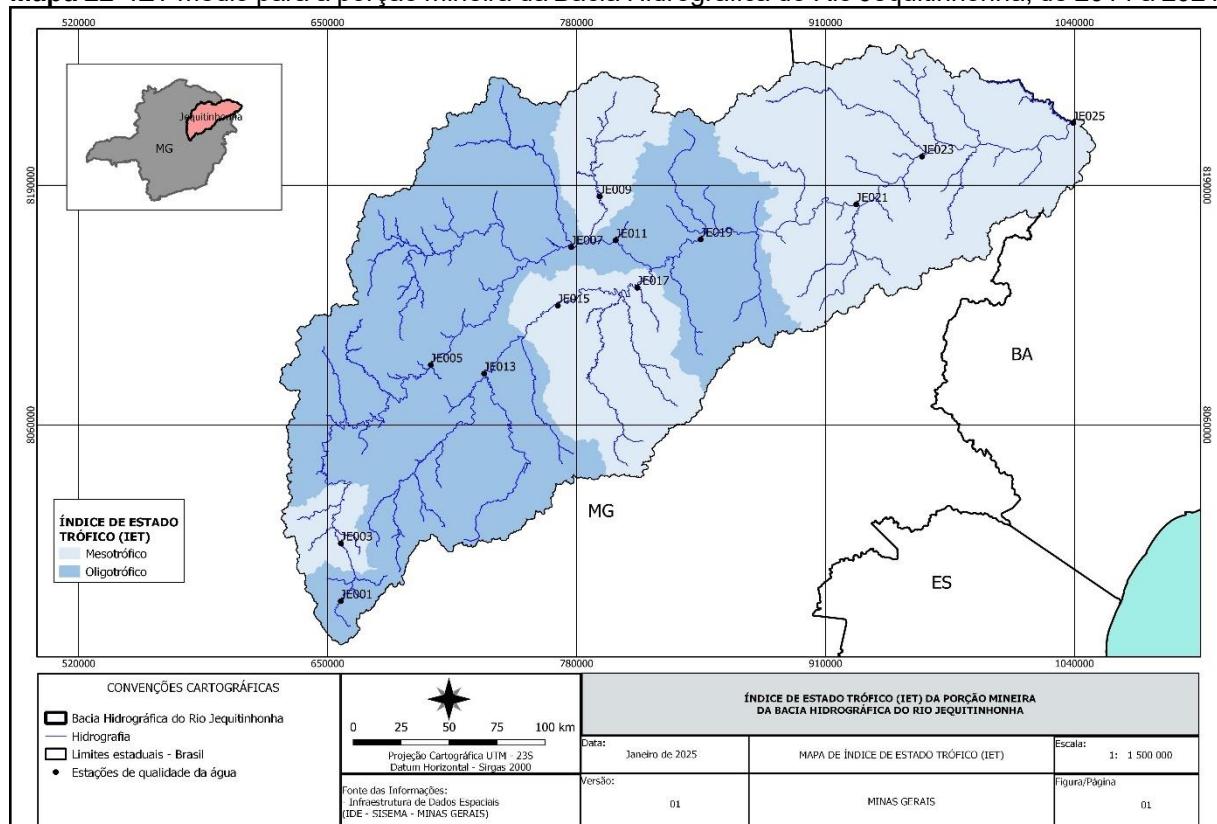


Fonte: IGAM (Minas Gerais, 2025). Elaborado por: Rosa, R. M. (2025) em conjunto com Melo, M. P. de (2025).

A Contaminação por Tóxicos, espacializada no Mapa 21, na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, foi classificada como Baixa, considerando a média do período histórico analisado, o que indica baixos níveis de poluentes tóxicos, como metais pesados (mercúrio, cádmio, chumbo), pesticidas, solventes industriais ou outros compostos químicos prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente.

As cores mais claras do Mapa 22 a seguir, indicam, em síntese, a média de IET mesotrófico para as regiões da Bacia com níveis moderados de nutrientes, com produtividade biológica equilibrada, presença significativa de vida aquática, mas sem um excesso de nutrientes que levariam à eutrofização, mesmo apresentando o potencial para tal situação se os nutrientes continuarem a se acumular. Em geral, as águas ainda são de boa qualidade, mas podem apresentar algumas alterações pelo crescimento de algas. É um estado saudável, que exige monitoramento constante.

Mapa 22- IET médio para a porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, de 2014 a 2021



Fonte: IGAM (Minas Gerais, 2025). Elaborado por: Rosa, R. M. (2025) em conjunto com Melo, M. P. de (2025).

As porções classificadas em Oligotróficas possuem baixo nível de nutrientes, e, comumente, águas mais claras e com baixa produtividade biológica, sendo de boa qualidade ecológica. Devem abranger cursos hídricos em áreas pouco impactadas por atividades humanas, e pouco escoamento de nutrientes de agricultura ou esgoto. Com o tempo, podem se tornar mesotróficos ou até eutróficos com o tempo, caso haja aumento na quantidade de nutrientes ou mudanças no uso da terra ao redor, visto que a entrada de fertilizantes agrícolas, esgoto doméstico ou resíduos industriais podem alterar rapidamente o estado trófico de um corpo d'água, levando à eutrofização.

O cálculo do percentual de conformidade e não conformidade das estações de amostragem, baseado nos resultados de contaminação fecal (CF), enriquecimento orgânico (EO) e substâncias tóxicas (ST), pode ser conceituado como uma visão geral de IQA, CT e IET, conjuntamente. Por meio do levantamento de dados dos mapas panorâmicos que compõem os Relatórios Anuais de Qualidade das Águas Superficiais de Minas Gerais, do IGAM, foi construída a Tabela 63, conclusiva para toda a análise feita neste estudo.

Tabela 63- Panorama de Qualidade Hídrica das estações elegidas na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha entre 2014 e 2021

ESTAÇÕES	2014			2015			2016			2017			2018			2019			2020			2021		
	C F	E O	S T																					
JE001	N C	C	C	N C	C	C	C	C	N C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	N C
JE003	C	C	C	C	C	C	N C	C	N C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	N C
JE005	C	C	C	C	C	C	N C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
JE007	C	C	C	C	C	C	N C	N C	N C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	N C	N C	C	C	C	C
JE009	C	C	C	N C	N C	C	N C	N C	N C	N C	N C	C	N C	N C	C	N C	C	C	N C	C	N C	C	N C	C
JE011	C	C	C	C	C	N C	N C	N C	N C	C	C	C	N C	N C	C	C	C	C	C	C	N C	N C	N C	N C
JE013	C	C	C	C	C	C	N C	N C	C	C	C	C	N C	N C	C	N C	C	C	N C	C	C	C	C	C
JE015	N C	C	C	C	C	C	N C	N C	N C	C	C	C	C	C	C	N C	N C	C	N C	N C	N C	N C	N C	C
JE017	N C	C	C	N C	C	N C	N C	N C	C	N C	N C	N C	N C	N C	C	N C	C							
JE019	N C	C	C	C	N C	C	N C	N C	N C	C	N C	C	C	C	C	C	C	C	N C	N C	C	N C	N C	C
JE021	N C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	N C	C	C	C	C	C	C	N C	N C	N C	N C	C
JE023	N C	C	C	C	C	C	N C	C	N C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	N C	N C	N C	N C	N C	C
JE025	C	N C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	N C	C	C	C	N C	C	N C	N C	C

C – Conformidade NC – Não conformidade

Fonte: IGAM (2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2023).

Pelo exposto nesta tabela, a JE005 é a estação de amostragem que mais permaneceu em conformidade quanto aos parâmetros do Panorama, ao contrário da JE017 (Rio Araçuaí), que, por exemplo, excedeu o limite legal para o indicativo de Contaminação fecal em todos os anos do período analisado. A Tabela 64 indica os totais Conformes e Não Conformes.

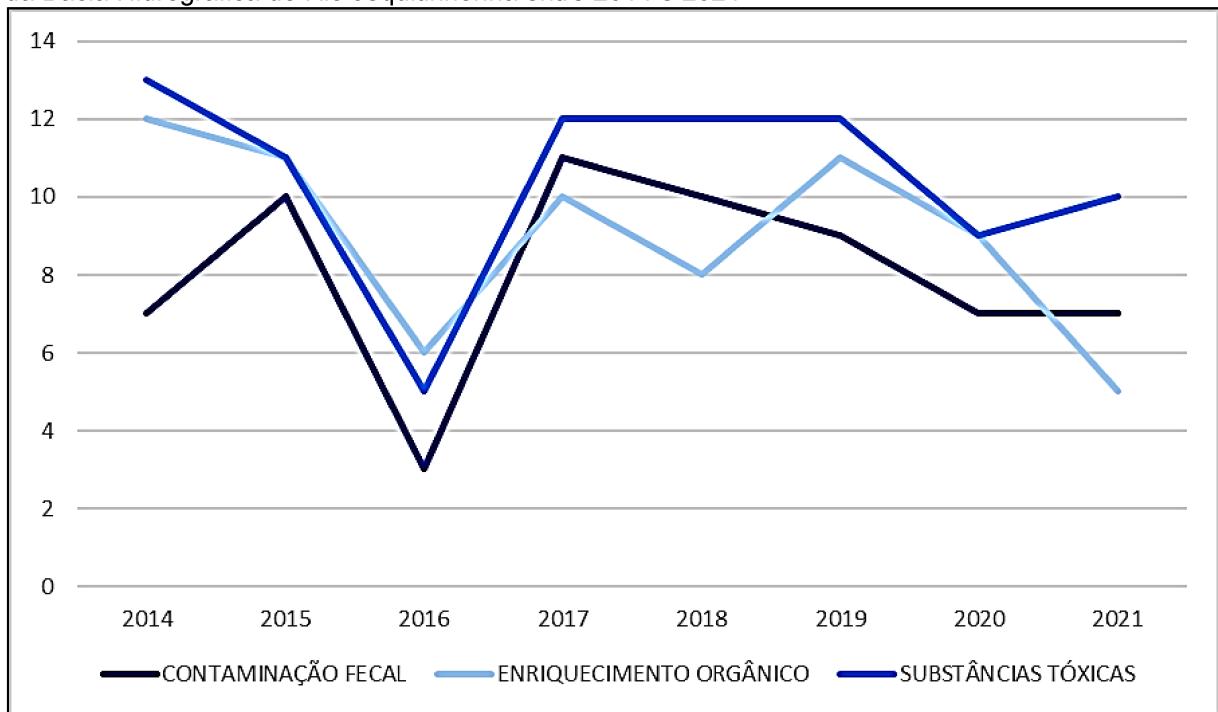
Tabela 64- Panorama de Qualidade das Águas Superficiais das estações elegidas na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha entre 2014 e 2021

RESULTADO	2014			2015			2016			2017		
	CF	EO	ST									
NC	6	1	0	3	2	2	10	7	8	2	3	1
C	7	12	13	10	11	11	3	6	5	11	10	12
RESULTADO	2018			2019			2020			2021		
	CF	EO	ST									
NC	3	5	1	4	2	1	6	4	4	6	8	3
C	10	8	12	9	11	12	7	9	9	7	5	10

Fonte: IGAM (2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2023).

Sinteticamente, para toda a série histórica analisada, os totais não conformes para coliformes fecais somaram 40; para enriquecimento orgânico, 32; e para substância tóxica, 20. Neste sentido, sobre os parâmetros que não atenderam aos limites legais (DN COPAM/CERH-MG nº 01/2008), a contaminação fecal (*Escherichia coli*) é a mais significativa, constituindo um problema para a área de estudo como um todo, e de acordo com o relatório do IGAM (2021), o percentual das amostras em desacordo alcançou 73%. Para demonstrar de forma mais clara os indicativos e o comportamento de cada um deles na área de estudo, ao longo da série histórica, segue o Gráfico 34.

Gráfico 34- Panorama de Qualidade das Águas Superficiais das estações eleitas na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha entre 2014 e 2021



Fonte: IGAM (2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2023).

É possível constatar que de 2014 para 2015 a densidade de contaminação fecal diminuiu em todas as estações de amostragem, ao passo que os indicadores de enriquecimento orgânico e de substâncias tóxicas aumentaram a não conformidade. De 2015 para 2016 os três parâmetros analisados apresentaram aporte do contaminante em seus corpos hídricos e seguindo para 2017, a qualidade das águas melhora novamente. De 2017 para 2018 o EO aumenta, diminui logo em 2019, mas depois permanece crescente até 2021. Já a CF apareceu em grande parte dos cursos d'água a partir de 2017, e apenas entre 2020 e 2021 manteve certa estabilidade. Com

relação à ST, entre 2017 e 2019 quase todas as estações revelaram ausência de agentes tóxicos nas águas, mas de 2019 para 2020 o monitoramento aponta contaminação em parte das amostras e, ao avançar para 2021, a conformidade aumenta.

Sendo assim, poluentes derivados de esgotos domésticos ou efluentes provenientes da mineração e de indústrias, ou, ainda, de outras fontes que vem do carreamento de contaminantes pela água de chuva que flui pela superfície do solo ou pavimentação, afetam diretamente a qualidade da água dos rios e córregos pertencentes à porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha.

O Relatório de Monitoramento da Governança da Gestão das Águas de Minas Gerais, de 2020, de responsabilidade do SEGRH-MG, junto ao IGAM, publicado em 2021, revelou o desempenho do Índice Geral de Governança na condição Ruim de sua metodologia, apontando para a necessidade da continuidade de investimentos em estratégias de incremento da eficácia e efetividade da política em todas as dimensões avaliadas, apesar dos avanços verificados nos desempenhos dos indicadores.

Já em relação à articulação intersetorial governamental, um vetor estratégico essencial à execução de uma política que tem por fundamento a transversalidade da agenda das águas - inferida, neste estudo, por meio da mensuração do componente Participação e Frequência de Representantes de Outras Políticas Públicas nos Comitês de Bacias e no Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais, apresentou desempenho final de 77,47% na matriz de indicadores, situando-a na classe Boa da metodologia de avaliação. Nesse resultado, o desempenho do indicador de participação no CERH/MG, isoladamente, alcançou a classe Ótima da metodologia, atingindo 95% na matriz dos indicadores.

O Tópico 5.5. a seguir expõe o diagnóstico final da pesquisa, avaliando a correlação entre qualidade e disponibilidade hídrica da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, entendendo a existência, ou não, dos riscos associados aos fatores envolvidos e às demandas consuntivas, fundamental para a gestão integrada dos recursos hídricos.

5.5 Vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais

Na região do semiárido, pela ótica dos recursos hídricos, a vulnerabilidade tem sido, desde muito, atribuída às secas. Embora não deva ser assumida como causa

única e exclusiva da pobreza regional, essa anormalidade climática certamente muito contribui para a fragilidade econômica regional. Para que fosse possível avaliar a vulnerabilidade das águas superficiais da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha aos possíveis riscos de escassez física, de acordo com as classes e variáveis adotadas em função da disponibilidade, qualidade e demanda hídrica da região, destacam-se as situações significativas em porções da área de estudo, que indicam a heterogeneidade quanto aos indicativos que comprometem os cursos hídricos.

Segundo os resultados parciais apresentados anteriormente, os índices de vulnerabilidade adotados foram atribuídos aos componentes de menores vazões encontradas ao longo da série histórica elegida, representados pela $Q_{7,10}$, como aos panoramas dos índices de qualidade fornecidos pelo período analisado. Neste sentido, segue abaixo a Tabela 65 que contempla as médias de vazões $Q_{7,10}$ para os postos fluviométricos adotados, agregados à classificação sugerida pela metodologia, a fim de sintetizar a oferta hídrica superficial das principais bacias da área de estudo.

Tabela 65- Disponibilidade das águas superficiais da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha - continua

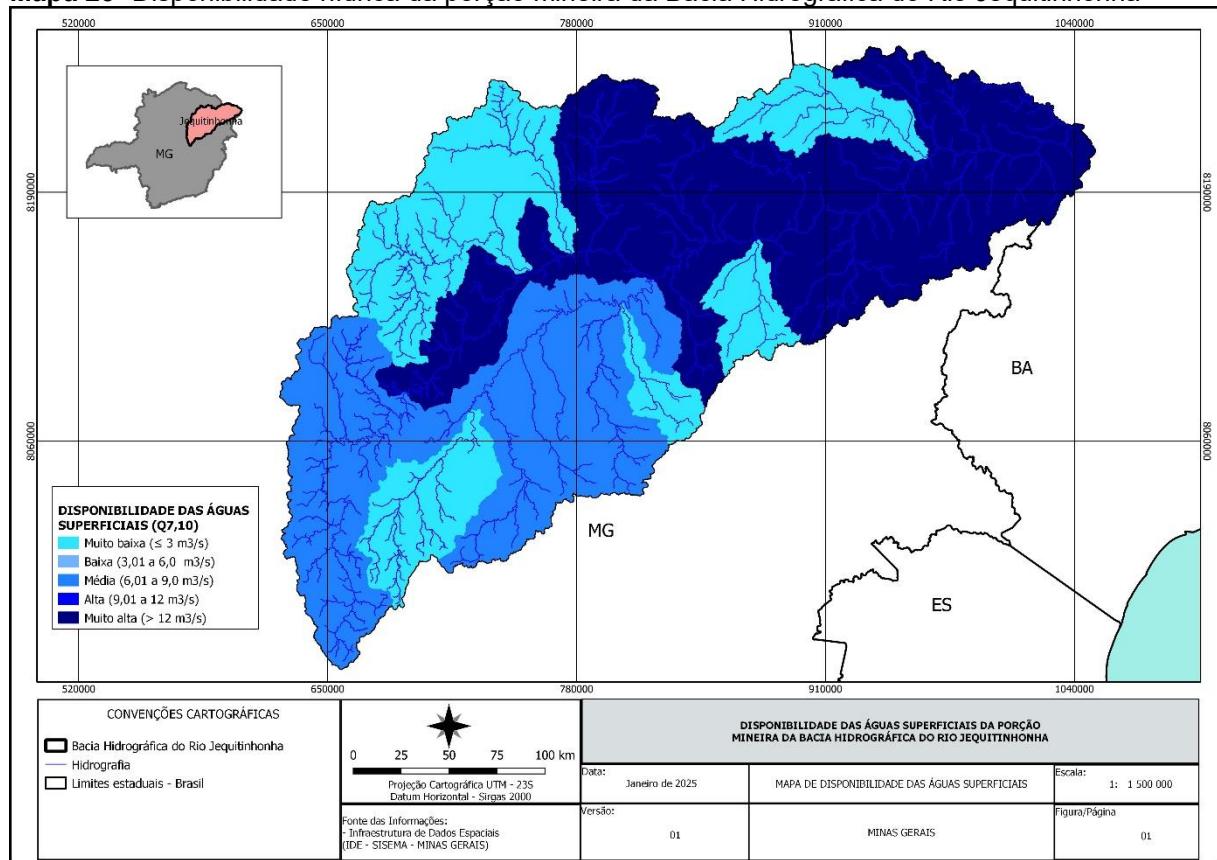
OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL ($Q_{7,10}$)	CURSO HÍDRICO	$Q_{7,10}$
Muito baixa ($\leq 3 \text{ m}^3/\text{s}$)	Rio São Francisco	0,00
	Rio Gravata	0,03
	Rio Itacambiruçu	0,00
	Ribeirão São João	0,30
	Rio Vacaria	0,01
	Rio Araçuaí	2,90
Baixa (3,01 a 6,0 m^3/s)	-	-
Média (6,01 a 9,0 m^3/s)	Rio Jequitinhonha	7,56
	Rio Araçuaí	7,56
Alta (9,01 a 12 m^3/s)	-	-
OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL ($Q_{7,10}$)	CURSO HÍDRICO	$Q_{7,10}$
Muito alta (> 12 m^3/s)	Rio Jequitinhonha	13,23
	Rio Jequitinhonha	34,44
	Rio Jequitinhonha	35,24

	Rio Jequitinhonha	33,48
TOTAL		134,75

Fonte: Hidroweb (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2025).

Para espacializar a oferta hídrica superficial da Bacia a partir dos graus de vulnerabilidade adotados para a vazão mínima de referência e suas áreas de contribuição, foi elaborado o Mapa 23. Os rios São Francisco, Gravata, Itacambiruçu, Vacaria, Araçuaí (posto Carbonita) e o Ribeirão São João, apresentaram, ao longo do período histórico analisado, disponibilidade Muito baixa. Isto significa que a vazão mínima de referência histórica pode não garantir a manutenção dos diversos usos de água, além da preservação dos ecossistemas aquáticos. Nesta condição, se a oferta hídrica não for suficiente para atender tanto à demanda quanto à vazão mínima de referência, pode ocorrer a escassez hídrica.

Já no posto Pega, o Rio Araçuaí, juntamente com o Rio Jequitinhonha (posto Vila Terra Branca – jusante), a disponibilidade foi considerada Média, com cerca de 7,56 m³/s. Por fim, o Rio Jequitinhonha, como esperado, em seus postos Porto Mandacaru, Itaobim, Jacinto e Jequitinhonha, revelou uma oferta Muito alta, acima de 12 m³/s. As classificações Baixa e Alta não se enquadram a nenhum posto fluviométrico, visto que as médias para os respectivos cursos hídricos atingiram outros intervalos.

Mapa 23- Disponibilidade hídrica da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha

Fonte: Hidroweb (Minas Gerais, 2025). Elaborado por: Rosa, R. M. (2025) em conjunto com Melo, M. P. de (2025).

Para a avaliação da qualidade hídrica das águas superficiais da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, por meio dos indicadores de IQA, CT e IET e os critérios definidos, a Tabela 66 informa as situações encontradas em cada um dos postos de monitoramento levantados.

Tabela 66- Resultados dos postos de monitoramento hídrico qualitativo médio superficial da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha - continua

CURSO HÍDRICO	ESTAÇÃO	VALORES DE VULNERABILIDADE POR INDICADOR					
		IQA	CLASSE	CT	CLASSE	IET	CLASSE
Rio Jequitinhonha	JE001	1,5	Boa	1,2	Baixa	1,4	Oligotrófico
Rio Jequitinhonha	JE003	1,5	Boa	1,2	Baixa	1,8	Mesotrófico
Rio Jequitinhonha	JE005	1,5	Boa	1,2	Baixa	1,4	Oligotrófico
Rio Jequitinhonha	JE007	1,5	Boa	1,2	Baixa	1,4	Oligotrófico
Rio Salinas	JE009	2,0	Média	1,2	Baixa	1,8	Mesotrófico
Rio Jequitinhonha	JE011	1,5	Boa	1,2	Baixa	1,4	Oligotrófico
Rio Araçuaí	JE013	1,5	Boa	1,2	Baixa	1,4	Oligotrófico
Rio Araçuaí	JE015	1,5	Boa	1,2	Baixa	1,8	Mesotrófico

Tabela 66- Resultados dos postos de monitoramento hídrico qualitativo médio superficial da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha - conclusão

CURSO HÍDRICO	ESTAÇÃO	VALORES DE VULNERABILIDADE POR INDICADOR					
		IQA	CLASSE	CT	CLASSE	IET	CLASSE
Rio Araçuaí	JE017	2,0	Média	1,2	Baixa	1,8	Mesotrófico
Rio Jequitinhonha	JE019	2,0	Média	1,2	Baixa	1,4	Oligotrófico
Rio Jequitinhonha	JE021	2,0	Média	1,2	Baixa	1,8	Mesotrófico
Rio Jequitinhonha	JE023	2,0	Média	1,2	Baixa	1,8	Mesotrófico
Rio Jequitinhonha	JE025	1,5	Boa	1,2	Baixa	1,8	Mesotrófico

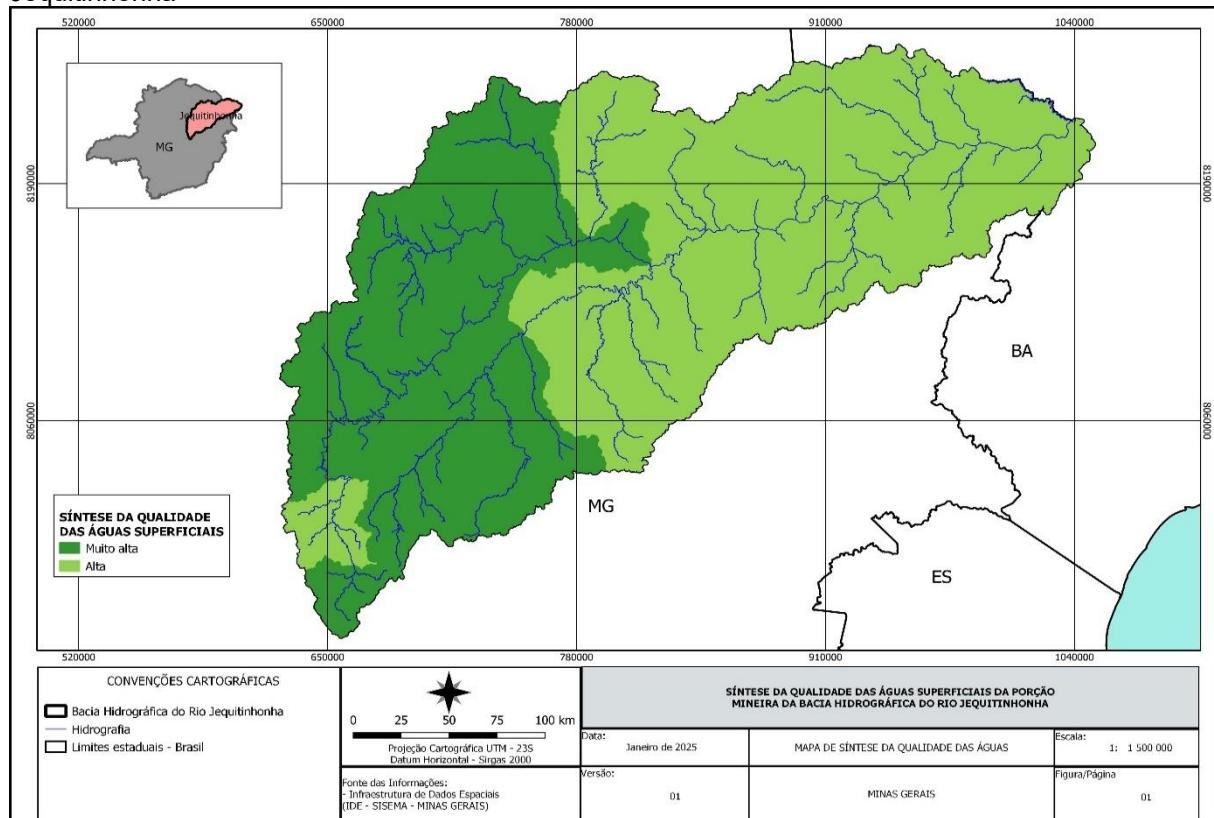
Fonte: IGAM (2021). Elaborado por Melo, M. P. de (2025).

Dados os resultados dos postos de monitoramento para os indicadores mencionados, a Tabela 66 compilou os valores de vulnerabilidade aos graus de qualidade propostos pela metodologia apresentada. IET baixo (oligotrofia) geralmente é acompanhado por CT baixa, já que a presença de nutrientes e substâncias dissolvidas é mínima, resultando em águas mais limpas e com menor condutividade.

CT baixa sugere águas mais puras, com menor quantidade de poluentes dissolvidos, o que geralmente está associado a um IQA alto, indicando boa qualidade da água. QA alto é mais provável em corpos d'água oligotróficos, que têm baixos níveis de nutrientes, boa oxigenação e pouca turbidez, indicando águas de boa qualidade. O Mapa 23 representa, a seguir, a síntese e espacialização da classificação da tabela anterior projetada para a área de estudo.

Como as classes Média, Baixa e Muito baixa não se enquadram nos resultados totais para a síntese da qualidade hídrica superficial da Bacia, foram isentados do Mapa 24. Partindo do pressuposto de que quanto maior a disponibilidade (considerando a Q_{7,10}), menor é a vulnerabilidade, a classe Muito alta apresentou o maior percentual de área – 43,90 %. Enquanto as áreas de maior vulnerabilidade (classe de disponibilidade muito baixa) não são contíguas, as áreas de menor vulnerabilidade (classe média e muito alta) perpassam pela maioria dos cursos hídricos abrangidos pelos postos fluviométricos.

Mapa 24- Qualidade média hídrica superficial da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha



Fonte: IGAM (Minas Gerais, 2025). Elaborado por: Rosa, R. M. (2025) em conjunto com Melo, M. P. de (2025).

Para refinar os resultados, os valores de vulnerabilidade referente à cada classe de disponibilidade das águas superficiais estão apresentados na Tabela 67.

Tabela 67- Valores de vulnerabilidade da disponibilidade das águas superficiais ($Q_{7,10}$) da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha

DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL ($Q_{7,10}$)	ÁREAS (km ²)	PERCENTUAIS	VALORES DE VULNERABILIDADE
Muito baixa	17.848,83	27,16%	3,0
Média	19.018,17	28,94%	2,0
Muito alta	28.845,63	43,90%	1,0
TOTAL	65.712,63	100%	-

Fonte: Elaborado por Melo, M. P. de (2025).

As águas superficiais apresentam uma qualidade hídrica Alta em bacias que ocupam 37.716,28 km² e Muito alta em 27.996,35 km². Por isso foram aplicados valores de vulnerabilidade Baixo e Muito baixo, respectivamente, nas áreas de contribuição dos postos que receberam tais classificações, pois quanto maior a

qualidade, menor a vulnerabilidade. Assim, os valores de vulnerabilidade relacionados à qualidade na área de estudo se encontram na Tabela 68.

Tabela 68- Valores de vulnerabilidade da qualidade das águas superficiais da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha

QUALIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL	ÁREAS (km ²)	PERCENTUAIS	VALORES DE VULNERABILIDADE
Alta	37.716,28	57,40%	1,5
Muito alta	27.996,35	42,60%	1,0
TOTAL	65.712,63	100%	-

Fonte: Elaborado por Melo, M. P. de (2025).

Com base nos valores de vulnerabilidade atribuídos aos intervalos de cada componente físico-geográfico relacionado aos recursos hídricos da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, foi realizada a integração dos temas, considerando a equação em que os valores de vulnerabilidade são somados e, em seguida, divididos pela quantidade de componentes relacionados às águas superficiais, obtendo, então, a vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais. Neste caso, a divisão foi realizada por dois (disponibilidade e qualidade), uma vez que as demandas foram correlacionadas separadamente.

De posse do resultado do cálculo da referida equação, os valores de vulnerabilidade foram agregados, como aponta a Tabela 69, sendo identificadas apenas três classes (Média, Baixa e Muito baixa) de vulnerabilidades associadas à qualidade e quantidade hídrica superficial da área de estudo.

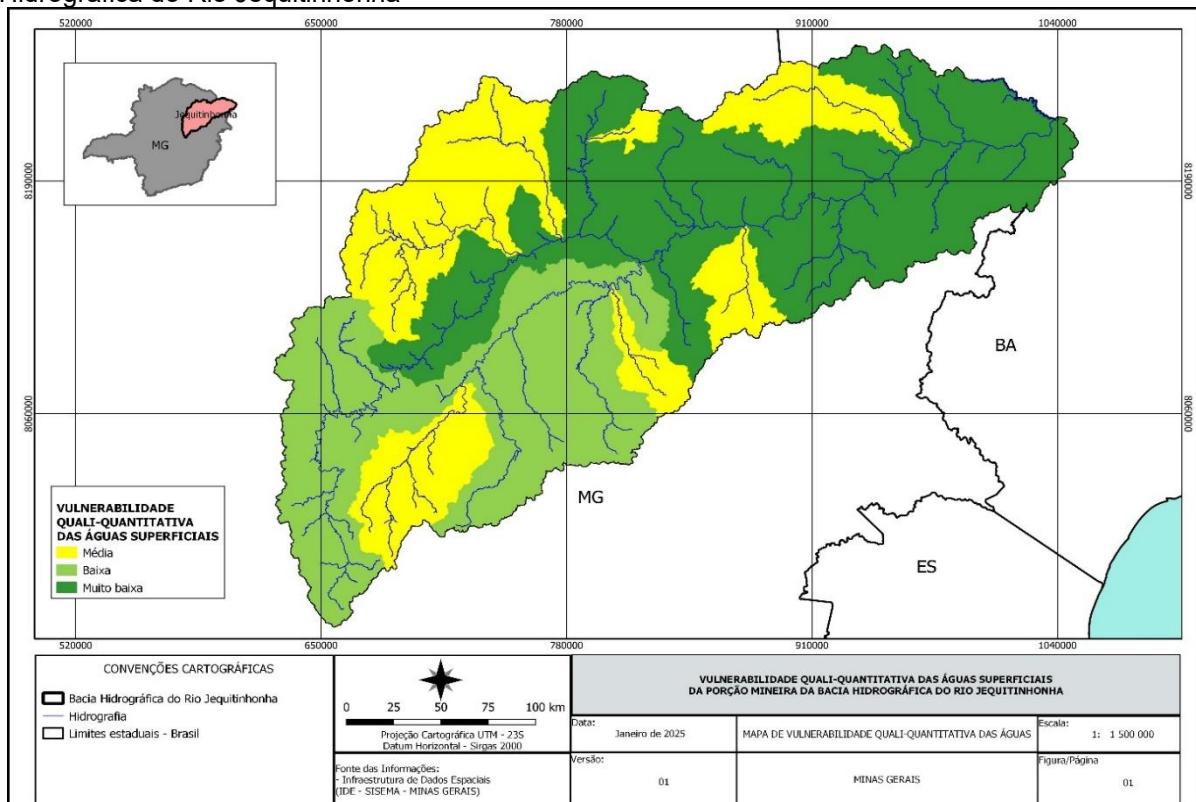
Tabela 69- Valores agregados dos graus de vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha

VULNERABILIDADES	VALORES DE VULNERABILIDADE AGREGADOS	ÁREAS (km ²)	PERCENTUAIS
Média	2,2 2,1, 2,0, 1,9, 1,8	19.012,19	28,93%
Baixa	1,7, 1,6, 1,5, 1,4	18.266,31	27,80%
Muito baixa	1,3, 1,2, 1,1, 1,0	28.434,13	43,27%
TOTAL		65.712,63	100%

Fonte: Elaborado por Melo, M. P. de (2025).

É possível perceber, assim, que a vulnerabilidade quali-quantitativa na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha é Muito baixa em 43,27% de sua extensão territorial, 27,80% Baixa e 28,93% Média.

Mapa 25- Vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha



Fonte: Elaborado por: Rosa, R. M. (2025) em conjunto com Melo, M. P. de (2025).

Para justificar o resultado representado pelo Mapa 25, diversas situações podem ser comparadas, como uma parte da Bacia que possua Muito baixa disponibilidade de água, entretanto sua qualidade é Muito alta. Somando-se os valores de vulnerabilidade e dividindo por dois, é possível alcançar o resultado de uma vulnerabilidade quali-quantitativa Média. Da mesma forma, áreas com oferta hídrica Muito alta e qualidade Alta, enquadram-se na classificação de vulnerabilidade quali-quantitativa Muito baixa. Tais situações estão representadas na Tabela 70, para melhor compreensão.

Tabela 70- Primeira sobreposição adotada para vulnerabilidade quali-quantitativa na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha

DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL (Q _{7,10})	QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS	CÁLCULOS PARA OBTENÇÃO DA VULNERABILIDADE	RESULTADOS
Muito baixa	Alta	$\frac{3,0 + 1,5}{2} = 2,25$	Média
Muito baixa	Muito alta	$\frac{3,0 + 1,0}{2} = 2,0$	Média
Média	Alta	$\frac{2,0 + 1,5}{2} = 1,75$	Baixa
Média	Muito alta	$\frac{2,0 + 1,0}{2} = 1,5$	Baixa
Muito alta	Alta	$\frac{1,0 + 1,5}{2} = 1,25$	Muito baixa
Muito alta	Muito alta	$\frac{1,0 + 1,0}{2} = 1,0$	Muito baixa

Fonte: Elaborado por Melo, M. P. de (2025).

5.6 Diretrizes e medidas estruturais/não-estruturais recomendadas

A partir da identificação das áreas quanto à vulnerabilidade quali-quantitativa na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, foi possível concluir que, com exceção da região do Rio Bananal, sob conflito declarado, nenhuma outra padece de escassez hídrica por disponibilidade baixa ou má qualidade das águas superficiais, como pode ser visto pelo diagnóstico apresentado anteriormente.

Neste sentido, a escassez pela qual perpassam algumas porções da Bacia, é considerada econômica, e, diante disso, sugerem-se ações e medidas baseadas em políticas de fortalecimento das unidades de planejamento para convivência com as secas, ou para a busca de um desenvolvimento sustentável. É importante salientar, que, como a Bacia é extensa e heterogênea em suas características fisiográficas e socioeconômicas, torna-se complexo destacar especificidades, embora seja extremamente importante saber que os problemas ocorrem em cursos d'água de cabeceira (ordem 1), como a realidade de muitas comunidades situadas nas grotas (entre as chapadas), e que piorou depois que as chapadas foram ocupadas pela silvicultura, um apoio que surgiu na década de 1970, por meio do II Plano Mineiro de Desenvolvimento Econômico e Social (PMDES). Tais situações poderiam ser alteradas por meio de investimentos relativamente baratos.

De maneira geral, o aumento da demanda por água e a carência de acesso aos recursos hídricos podem contribuir para a situação de subdesenvolvimento ainda marcante na região elegida para este estudo, onde projetos fracassados não reverteram satisfatoriamente o atraso econômico e os problemas socioambientais existentes (Ferreira e Saadi, 2011). O acesso à água possui interface com temas diversos e complexos. Na política nacional de saneamento básico, a concepção do que se entende por acesso à água está estreitamente relacionada com a ligação do domicílio à rede pública de abastecimento de água.

De acordo com a Lei nº 11.445/2007, regulamentada pelo Decreto nº 7.217/2010, o abastecimento de água é considerado um dos serviços a ser ofertado, na perspectiva da universalização, a partir da instalação de um sistema composto por conjunto de infraestruturas, obras civis, materiais e equipamentos, destinado à produção e à distribuição canalizada de água potável para populações, sob a responsabilidade do Poder Público⁶.

Na ausência de rede pública de abastecimento de água, o que se prevê é o uso de soluções individuais (§ 1º, Art. 6º), consideradas como todas e quaisquer soluções alternativas de saneamento básico que atendam a apenas uma unidade de consumo. Nesse contexto, Programas como o Cisterna de Placas, do Governo Federal, criado em 2003, destinado a famílias rurais de baixa renda, não podem ser considerados a solução para a garantia de acesso à água com qualidade para consumo e produção de alimentos.

Apesar da falta de clareza quanto a obrigatoriedade do Estado em atuar na garantia do acesso a água como parte do direito humano à alimentação adequada e saudável, a importância do acesso à água nessa interface está explícita nas diretrizes da política nacional de segurança alimentar (instituída pelo Decreto nº 7.272/2010, Art. 3º), segundo a qual o Estado deve atuar na promoção do acesso universal à água de qualidade e em quantidade suficiente, com prioridade para as famílias em situação de insegurança hídrica e para a produção de alimentos na agricultura familiar e da pesca e aquicultura. Esse aspecto torna-se ainda mais importante com a inclusão recente da

⁶ De acordo com a Lei 11.445/2007, dentre os serviços públicos de saneamento básico estariam incluídos: conjunto dos serviços públicos de manejo de resíduos sólidos, de limpeza urbana, de abastecimento de água, de esgotamento sanitário e de drenagem e manejo de águas pluviais, bem como infraestruturas destinadas exclusivamente a cada um destes serviços.

alimentação como direito social na Constituição Federal (Emenda Constitucional nº 64/2010).

Por intermédio da Secretaria Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional do Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome, foi possível prever um capítulo inteiro no referido Decreto que regulamenta a Política de Saneamento Básico no Brasil sobre o acesso difuso à água para a população de baixa renda. Entre as diretrizes dessa política, estabelecidas no inciso VII, Art. 54 do Decreto nº 7.217/2010, está a garantia de meios adequados para o atendimento da população rural dispersa, inclusive mediante a utilização de soluções compatíveis com suas características econômicas e sociais peculiares.

Enfim, o tema envolve dimensões complexas muitas vezes não consideradas. Sob essa perspectiva multifacetada, o que se entende por acesso à água deveria ser um conceito menos rígido e mais adaptável ao tipo de demanda a ser atendida e às condições da população, que, independentemente da condição financeira, social, regional e cultural, a água é direito incontestável e o dever é do Estado. Outro Programa Federal que distribui água potável nas regiões afetadas pela seca em Minas Gerais é o Operação Pipa, de responsabilidade do Exército Brasileiro, em parceria aos Ministérios do Desenvolvimento Regional e da Defesa. Ações complementares de apoio às atividades de distribuição, mais uma vez, não resolvem o problema da escassez e, muito menos, auxilia, de fato, o desenvolvimento regional.

Inúmeras tecnologias e recursos são aplicados a setores econômicos, como o agronegócio, maior fonte de renda do País, e nenhum investimento é destinado ao mínimo necessário para atender as demandas básicas de famílias que vivem sob mercê de propostas rasas. Levando em consideração a falta de perenidade de cursos hídricos, o semiárido apresenta o menor percentual de água reservada no país, próximo a 3%, o que torna a água de chuva, com médias entre 400 a 800 mm anuais, sua principal fonte de abastecimento, como revela a Articulação Semiárido Brasileiro (Asa Brasil, 2019), uma rede que defende, propaga e coloca em prática, inclusive por meio de políticas públicas, um projeto político da convivência com o semiárido.

A Asa Brasil é formada por mais de três mil organizações da sociedade civil de distintas naturezas, como sindicatos rurais, associações de agricultores e agricultoras, cooperativas, ONG's, conectando pessoas organizadas em entidades que atuam nesta região, defendendo os direitos dos povos e comunidades, nos dez estados e 1.262 municípios que compõem o semiárido, assim distribuídos: Maranhão (02), Piauí

(185), Ceará (175), Rio Grande do Norte (147), Paraíba (194), Pernambuco (123), Alagoas (38), Sergipe (29), Bahia (278) e Minas Gerais (91). Nesta região vivem mais de 26 milhões de pessoas, que corresponde a 12% da população nacional. No meio rural são mais de 9,6 milhões de pessoas, que significam 36,88% da população de todo o semiárido (IBGE, 2010). São agricultores e agricultoras familiares, povos indígenas, comunidades tradicionais, quilombolas, e diversas outras identidades e formas de organização que tornam o Semiárido o território mais habitado no meio rural brasileiro.

Uma das estratégias que a articulação utiliza para a mobilização social é a Comunicação Popular, assim como processos de sistematização de experiências e de intercâmbio entre as famílias agricultoras, que promovem a construção coletiva do conhecimento. É preciso reformular as bases estruturais do modelo de desenvolvimento gerador de insegurança alimentar e industrial. Novas relações entre sociedade civil e Estado devem ser estabelecidas, no intuito de democratizar iniciativas que não estejam pautadas no assistencialismo e clientelismo responsáveis pela indústria da seca.

As condições estruturais hídricas atuais são insuficientes para sustentar rios caudalosos que se mantenham perenes nos longos períodos de ausência de precipitações; situação que pode ser acentuada pelo crescente desmatamento e desproteção das nascentes e matas ciliares. Propostas de tecnologias de captação, armazenamento e distribuição de água, ampliadas e interligadas a todas as grandes, médias e pequenas fontes existentes, devem ser tratadas como prioridade, uma vez que o semiárido possui as menores médias de precipitações anuais do País e o potencial de evapotranspiração chega a mais de 3.000 ml/ano, resultando em balanço hídrico negativo na região.

Mesmo que o atendimento dessa população seja difícil de ser operacionalizado por meio de grandes obras hídricas, pois sua dispersão no território torna inviável ou muito difícil o abastecimento por meio da rede pública, a responsabilidade geralmente é delegada para concessionárias estaduais, que não assumem efetivamente o saneamento, principalmente rural, resultando na falta de acesso ou em um acesso precário à água.

O Programa Água para Todos, do Governo Federal, realizado pela Cemig, instituído pelo Decreto nº 7.535, de 26 de julho de 2011, tem como objetivo universalizar o acesso à água em áreas rurais para consumo humano. Tem como uma

de suas diretrizes o fomento à utilização de tecnologias sociais de acesso à água para a captação e o armazenamento de águas pluviais. O referido Programa é integrante do Plano Brasil Sem Miséria, que envolve um conjunto de estratégias para erradicar a extrema pobreza no país, por meio da inclusão produtiva, da geração de renda e do acesso a serviços básicos.

Além deste, há, ainda, em Minas Gerais, os Programas Água Doce (PAD), realizado em parceria com o Governo do Estado, por meio da Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) e Somos Todos Água, com o objetivo de ampliar a segurança hídrica no Estado, a partir da promoção de ações integradas e permanentes, como revitalização de bacias hidrográficas. Atualmente, o Programa Somos Todos Água tem associado o Plano Mineiro de Segurança Hídrica (PMSH) e o Projeto de Revitalização da Bacia do Viamão.

Sabe-se que a curto prazo não se vislumbra a universalização do atendimento das famílias localizadas nas áreas mais críticas, de insegurança hídrica, principalmente daquelas em situação de extrema pobreza, com sistemas de abastecimento de água que consigam atender uma demanda semelhante àquela observada em outras porções do País para todos os usos cotidianos. Nesse sentido, a existência de equipamentos e sistemas descentralizados para a captação e o armazenamento de água é fundamental e estratégica para o atendimento das necessidades da região.

Tecnologias sociais familiares e comunitárias, como cisternas, barragens subterrâneas, sistemas de barraginhas, tanques de pedra e bomba d'água popular são alternativas que proporcionam benefícios e melhores condições de saúde a quem não possui acesso a nenhum tipo de abastecimento de água. Trata-se de uma estratégia com amplos impactos sobre a dinâmica social local, mas não atende todas as demandas hídricas e nem promove o desenvolvimento regional, uma vez que formas mais eficazes de universalização do acesso à água em prol da segurança hídrica, pautada na socio-hidrologia, devem ser inseridas na autogestão ou na gestão comunitária como preceito fundamental para a perpetuação dos ganhos sociais proporcionados pelo acesso à água.

Assim, espera-se que a Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, e outras regiões do semiárido, seja beneficiada pela governança da água pautada no aprimoramento e criação de políticas públicas que não se caracterizem como pontuais

e/ou emergenciais, mas, sim, permanentes, dando condições para que a população, mais que conviver com o semiárido, viva o semiárido.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados apresentados em função da proposta metodológica de vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais da porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, espera-se que este instrumento seja considerado no âmbito da gestão hídrica das referidas circunscrições hidrográficas, como contribuição à escassez econômica de água comprovada por meio deste estudo. A individualidade hidrológica natural das bacias hidrográficas, que integra os componentes físico-geográficos e socioambientais, revelou uma dinâmica que transcende aspectos e medidas emergenciais de suprimento às necessidades básicas da população desta região.

Embora a abordagem adotada tenha permeado aspectos mais específicos de análise e que em alguns momentos apareçam elementos e critérios mais subjetivos, considerou-se a relação da disponibilidade e qualidade hídrica às demandas e, ainda, aos quadros de escassez que marcam este território há décadas e impossibilitam o abastecimento de algumas áreas, além de seu desenvolvimento socioeconômico, confrontando os resultados alcançados com discussões acerca das temáticas de Segurança Hídrica e Socio-hidrologia.

Técnicas de geoprocessamento para análise das variáveis apresentadas na base conceitual e de diagnóstico, contribuíram diretamente para as sobreposições finais dos mapas e avaliação da distribuição espacial dos indicadores, que podem ser utilizados por agências, comitês de bacias, secretarias e outros órgãos governamentais que promovam estratégias, medidas e diretrizes de superação da escassez de água. Diante do entendimento de que a abundância hídrica do Rio Jequitinhonha e de quase todos os seus afluentes, assim como a qualidade de suas águas é capaz de suprir as demandas regionais, o que se espera com a contribuição desta proposta é que o Estado supere o estereótipo miserável da carência social e ressignifique esta realidade.

Uma vez que as possibilidades de uso e ocupação do território dependem da disponibilidade de água, está mais que comprovado que o controle social do território

está totalmente vinculado ao controle social, econômico e tecnológico da água (Ferreira, 2007). A situação em que esta região se encontra não é um fenômeno meramente físico, como já foi mencionado, mas, sim, de um movimento econômico e social de controle. Além das ações sugeridas e esperadas de gerenciamento dos recursos hídricos, na perspectiva do desenvolvimento sustentável, inúmeras outras em escala micro cabem para melhor entendimento das tendências temporais dos índices pluviométricos, de vazão e evapotranspiração.

A heterogeneidade física e socioeconômica não deve ser um entrave para superação das problemáticas sociais internas, visto que tanto as áreas mais úmidas quanto as mais secas requerem atenção especial nas estratégias de desenvolvimento. Mesmo sendo comprovada a disponibilidade hídrica capaz de suprir as demandas existentes, o semiárido com suas condições climáticas e geográficas vulneráveis às mudanças climáticas, pode ser, futuramente e fisicamente, impactado por aumentos da temperatura, redução das chuvas (já escassas em seu regime), e avanço da desertificação, podendo, então, passar por crises hídricas, uma vez que eventos extremos tendem a impactar de forma geossistêmica.

Neste sentido, a gestão inadequada dos recursos hídricos destaca a necessidade de estratégias eficazes para garantia do acesso igualitário e da sustentabilidade hídrica na Bacia. É um desafio complexo, marcado por desigualdades históricas, vulnerabilidades estruturais e esforços comunitários significativos, visto que, embora a região apresente avanços em algumas áreas, questões críticas comprometem a qualidade de vida de seus habitantes. Portanto, o balanço hídrico da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha deve estar, para além de sua relação com os elementos climáticos, integrado a um paradigma influenciado por dignidade e bem-estar social.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (Brasil). **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: resultados por estado**/Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape - Brasília: ANA, Engecorps/Cobrape, 2010.
- _____. **Plano de Recursos Hídricos e Enquadramento dos Corpos de Água: Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos**. Brasília: SAG, 2011. 100 p.
- _____. **Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos**. Brasília: Agência Nacional de Águas – ANA, 2013. 240 p.
- _____. **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos: avaliações e diretrizes para adaptação**. Brasília: ANA, GGES, 2016. 93 p.
- _____. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno**. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2017. 169p
- _____. **Portal HidroWeb: série histórica de estações**. 1985 a 2022.
- _____. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**/Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2019.
- _____. **Água na indústria: uso e coeficientes técnicos**. Brasília: ANA, 2017.
- ALMEIDA, L. Q. de. **Riscos ambientais e vulnerabilidades nas cidades brasileiras: conceitos, metodologias e aplicações**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012, 215p.
- ARAÚJO, A. A. de et al. Impactos socioambientais no Rio Gravatá: um estudo no distrito de Engenheiro Schnoor, Araçuaí-MG. **Revista InterEspaço**, vol. 9, n. 2, p. 1-25. 2023. <https://doi.org/10.18764/2446-6549.e202321>
- ARAÚJO, M. D. de; BRITO, Y. M. A. de; OLIVEIRA, R. de. **Governança da água: vulnerabilidade à escassez hídrica**. Editora Amplia: 2021. 58 p.
- ARNALDO A. S. et al. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**/2^a ed. – Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000. 207 p.
- AURELIANO, J.; FERRAZ, A. C.; CLEMENTE, A.; FALCÃO, D. Monitoramento da Qualidade da Água com Base em Zonas Homogêneas na Bacia do Rio Ipojuca em Pernambuco. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. [Anais...] João Pessoa: ABRH, 2005.
- AVELLAR, G. de; CASTRO, J. F. M.; HADAD, R. M. Análise Geossistêmica da Bacia do Ribeirão São João com uso de SIG. **Climatologia e Estudos da Paisagem**, v. 3, n. 1, Rio Claro: jan/jun, 2008. p. 19-38.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos.** Tradução: Maria Juraci Zani dos Santos. ed.5^a, Rio de Janeiro: Bertrand, 1998

BARBIN, H. S. Histórico da evolução do uso do solo e estudo de espaços livres de uma região do município de Piracicaba (SP). 2003. 196 f. **Tese (Doutorado) –** Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

BARROS, L. R. O Índice do Estado Trófico e sua adaptação para os sistemas lênticos do semiárido cearense. 2013.85 p. **Dissertação (Mestrado).** Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

BERTALANFFY, V. L. **Teoria Geral dos Sistemas.** Petrópolis: Editora Vozes, 1975.

BICUDO, C. E. de M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. (Orgs.). **Águas do Brasil: análises e estratégias.** São Paulo, Instituto de Botânica, 2010. 224 p.

BIZZI, L.A; Schobbenhaus, C.; Vidotti, R. M.; Gonçalves, J. H. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG.** Brasília : CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2003. 692 p.

BOLLMANN, H. A.; MARQUES, D. M. Bases para a estruturação de indicadores de qualidade de águas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.5, n.1, p.37-60, 2000. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v5n1.p37-60>

BORDALO, A.A.; NILSIMRANCHIT, W.; CHALERMWAT, K. Water quality and uses of the Bangpakong river (eastern Thailand). **Water Research**, v.35, n.15, p.3635-3642, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00079-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00079-3)

BRASIL. Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. **Código das Águas.** Rio de Janeiro.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.**

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.**

BRASIL. Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. **Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências.**

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. 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. Brasília: 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº. 396, de 3 de Abril 2008. **Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.**

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº. 518, de 25 de março de 2004. **Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.**

BRASIL. Decreto nº 4.297 de 10 de julho de 2002. **Regulamenta o art. 9º, inciso II, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil - ZEE, e dá outras providências.** Brasil (DF), 2002.

BRASIL. Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978.** Brasil (DF), 2007.

BRASIL. Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.**

BRASIL. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.** Ministério da Saúde.

CAJAZEIRAS, C. C. de A. Análise da vulnerabilidade e risco à escassez hídrica no semiárido – caso de estudo Ibaretama/CE. 2020. **Tese** (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Fortaleza, 2020. 136 p.

CALASANS, N. A. R.; LEVY, M. C. T; MOREAU, M. Interrelações entre clima e vazão. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (Orgs.). **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações.** Ilhéus: Editus, 2005, p. 67-90.

CAMARA A. C. F. C. **Análise da vazão máxima outorgável e da introdução simplificada da qualidade da água no processo de outorga da bacia do Rio Gramame (PB).** Porto Alegre: UFRGS. 2003. 219p.

CAMPOS, N.; STUDART, T. **Gestão das águas: princípios e práticas.** Porto Alegre: ABRH, 2003.

CAMPOS, J.N.B. **Vulnerabilidade do Semi-Árido às secas sob o ponto de vista dos recursos hídricos.** In: PROJETO ARIDAS-RH SEPLAN/PR, Brasília DF, 1995.

CARNEIRO, E. J. Modernização recuperadora e o campo da política ambiental em Minas Gerais. **Tese (Doutorado)** – Ciências humanas: sociologia e política. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2003. 479f.

CARVALHO, R. G. de. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, n.36, Volume Especial, p. 26-43, 2014.

CARVALHO, A. T. F. Metodologia para avaliação de sustentabilidade hidroambiental para projetos de intervenções em rios perenes (MASRios). **Tese (Doutorado)** - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2018. 155f.

CARVALHO, A. R.; SCHLITTLER, F. H. M.; TORNISIELO, V. L. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físico-químicos da água. **Química Nova**, v.23, n.5, p.618-622, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0100-4042200000500009>

CASTRO, C.N. Água, **Problemas Complexos e o Plano Nacional de Segurança Hídrica**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), v. 1, 2022. <https://doi.org/10.38116/978-65-5635-031-8>

CETRA, M. **Uso do índice de integridade biótica no gerenciamento de bacia hidrográfica**. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (orgs.). Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações. Ilhéus: Editus, 2005, p. 179-192

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Blucher, 1981.

CODEVALE. Vale do Jequitinhonha: informações básicas. Belo Horizonte: CODEVALE, 1986, 168 p.

CORRÊA, Luís Ricardo de Souza. Diagnóstico da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Mucuri. 2016. 105 f. **Dissertação** (Mestrado) - Curso de Tecnologia, Ambiente e Sociedade, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM., Teófilo Otoni, 2016.

CPRH. Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Índice e indicadores de qualidade da água**. Pernambuco, 2003. v.1, 114 p. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br>. Acesso em 02 de fevereiro de 2023.

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. Projeto Cadastro de Abastecimento por Águas Subterrâneas, Estados de Minas Gerais e Bahia: diagnóstico do município de Bocaiúva, MG .– Haroldo Santos Viana, Érika Peconik Ventura, Wagner Ricardo Rocha de Alkimim. Belo Horizonte: CPRM, 2004.

CREPANI, E. et al. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996. 18 p.

_____. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial.** São José dos Campos: INPE, 2001. 124 p.

CRISÓSTOMO NETO, A. P. Mapeamento geoambiental por imagem de satélite do Vale do Paraíba. 2002. 196 f. **Dissertação** (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Estimativa da Disponibilidade Hídrica Através da Curva de Permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p.111-124, 2008. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v13n1.p111-124>

CRUZ, Jussara Cabral. Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais. 2001. 189 f. **Tese** (Doutorado) - Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

CUNHA F. G. & MACHADO G. J. 2004. **Estudos de geoquímica ambiental e o impacto na saúde pública no município de São Gonçalo do Piauí**. Piauí, PI: Programa Nacional de Pesquisa em Geoquímica Ambiental e Geologia médica-PGAGEM, 1-36p.

CUNHA, L. V. da. Perspectivas da gestão da água para o século XXI: desafios e oportunidades. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p.65-73, 2002. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v7n4.p65-73>

DERÍSIO, J.C. **Introdução ao controle da poluição ambiental**. São Paulo: Editora da CETESB. 1992.

DINIZ, C. C. **Estado e capital estrangeiro na industrialização mineira**. Belo Horizonte: UFMG/PROED, 1981.

DINIZ, H. N. et al. Utilização de curvas de depleção de rios para estimativa de parâmetros hidrodinâmicos de aquíferos freáticos: exemplo da bacia do rio Capivari, Centro-Sul do Estado de São Paulo, Brasil. **Memorias...** 4o Congr. Latino-americano de Hidrologia Subterranea, ALHSUD, v.3, Montevidéu, Uruguai, p.1123 - 1139.

DREVER, J.I. **The geochemistry of natural waters: surface and groundwater environments**. 3^a ed., New Jersey, Prentice Hall, 436 p. 1997.

DULCI, O. S. **Política e recuperação econômica em Minas Gerais**. Belo Horizonte: Humanas, 1999.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 355 p.

ENRICH-PRAST, A.; BENTO, L. F. J. & SANTORO, A.L. **Influência das Mudanças Globais sobre as Lagoas da Cidade do Rio de Janeiro**. p. 176-185. In: P.P.

Gusmão, P. C. Serrano & S. Besserman Vianna (Orgs.). Rio próximos 100 anos: o aquecimento global e a cidade. RJ, Brasil: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro - Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos. 2008.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 3^a ed., Rio de Janeiro, Editora Interciênciac, 790 p. 2011.

FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM, LABHID, 2008. 812 p.

FENZL, N. **Introdução a Hidrogeoquímica**. Belém, 1^a ed., Universidade do Pará. Editora universitária UFPA, 189 p. 1986.

FERNANDES, B. M. **Sobre a tipologia de territórios**. In: SAQUET, M. A.; SPOSITO, E. S. (Orgs.). Territórios e territorialidades: teorias, processos e conflitos. São Paulo: Expressão popular, 2009. p. 197-215.

FERNANDES, C. L. L. A inserção de Minas na economia nacional: uma análise de insumo-produto inter-regional. **Tese (Doutorado em Economia)** - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1997.

FERNANDES, M. R. **Manejo integrado de bacias hidrográficas**: fundamentos e aplicações, Belo Horizonte: SMEA/CREA, 2010.

FERREIRA, V. O. Paisagem, recursos hídricos e desenvolvimento econômico na Bacia do Rio Jequitinhonha, em Minas Gerais. 2021. 287 f. **Tese (Doutorado em Geografia)** - Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

FERREIRA, V. de O.; SAADI, A. Paisagens culturais da bacia do Rio Jequitinhonha, em Minas Gerais. **OBSERVATORIUM**: Revista Eletrônica de Geografia, v. 5, n. 14, p. 2-26. 2013. <https://doi.org/10.26848/rbqf.v5i2.232805>

FERREIRA, L. M.; IDE, C. N. Avaliação comparativa da sensibilidade do IQA-NSF, IQA-Smith e IQA-Horton, aplicados ao Rio Miranda, MS. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21., 2001, João Pessoa. [Anais...] João Pessoa: ABES, 2001.

FERREIRA, V. de O.; SILVA, M. M. O clima da Bacia do Rio Jequitinhonha, em Minas Gerais: subsídios para a gestão de recursos hídricos. **Revista Brasileira de Geografia Física** 02 (2012), p. 302-319. <https://doi.org/10.26848/rbqf.v5i2.232805>

FERREIRA, V. O.; SAADI, A. (In)disponibilidade hídrica e subdesenvolvimento socioeconômico em unidades de paisagem da bacia do rio Jequitinhonha, em Minas Gerais. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v.12, n.40, p.166-180, 2011. <https://doi.org/10.14393/RCG124016651>

FIGUEIREDO, N.M.A. **Método e metodologia na pesquisa científica**. 2a ed. São Caetano do Sul, São Paulo, Yendis Editora, 2007.

FINKLER, R. **Planejamento, manejo e gestão de bacias**: unidade 2 – instrumentos de planejamento e manejo de bacia hidrográfica. Brasília: ANA, 2012. 87 p.

FIOREZE, A. P.; OLIVEIRA, L. F. C (2010). **Usos dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás, Brasil**. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.40, n.1, p.28-35. <https://doi.org/10.5216/pat.v40i1.3869>

FLETCHER, W. K. **Stream Sediment Geochemistry in Today's Exploration World**. In “Proceedings of Exploration 97: Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration” edited by A.G. Gubins, 1997, p. 249–260

FRANÇA, L. C. de J. **A fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha em Minas Gerais** [livro eletrônico]. Nova Xavantina, MT: Pantanal, 2022. 52 p. <https://doi.org/10.46420/9786581460242>

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Plano de desenvolvimento para o Vale do Jequitinhonha: estratégias e ações**. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, 2017. 126 p.

GALIZONI, F. M. et al. Consumo de água, estratégias produtivas e escassez hídrica: um levantamento preliminar com famílias rurais no alto Jequitinhonha. **AgEcon Search**, Saint Paul, p. 1-20, 2006.

GARCEZ, L. N. **Hidrologia**. São Paulo: Editora Edgar Blücher Ltda, 1967. 249 p.

GIORDANO, M.; SHAH, T. From IWRM back to integrated water resources management. **International Journal of Water Resources Development**, vol. 30, n. 3, p. 364-376, 2014. <https://doi.org/10.1080/07900627.2013.851521>

GIRÃO, O. da S. & CORRÊA, A. C. B. **Progressos nos estudos de Geomorfologia fluvial urbana ao final do século XX**. Geo UERJ n. 26, p. 245-269, 2015.

GLEICK, P. H. **Vulnerability of water systems**. In: WAGGONER, P. E. (ed.). Climate Change on U.S. Water Resources. New York: J. Wiley, 1990.

GONÇALVES, R. do N. **Diagnóstico ambiental da Bacia do Rio Jequitinhonha: diretrizes gerais para a ordenação territorial**. IBGE-DIGEO: Salvador, 1997. 64 p.

GROTZINGER J. & JORDAN T. **Para Entender a Terra**. Bookman Editora: v. 6, 2013.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 9^a ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

HARRIS, N. M.; GURNELL, A. M.; HANNAH, D. M.; PETTS, G. E. **Classification of river regimes: a context for hydroecology**. In: John Wiley & Sons, Hardcover: Hydrological Processes. 2000, v.14, p.2831-2848. [https://doi.org/10.1002/1099-1085\(200011/12\)14:16/17<2831::AID-HYP122>3.3.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/1099-1085(200011/12)14:16/17<2831::AID-HYP122>3.3.CO;2-F)

IBGE. Diagnóstico ambiental da bacia do Rio Jequitinhonha. Salvador: IBGE, 1997. 64 p.

_____. **Cidades.** 2010 e 2021.

IBIAPINA, A. V. et al. Evolução da hidrometria no Brasil. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/srh/acervo/publica/doc/oestado/texto/121-138.html>>. Acesso em 20 de agosto de 2022.

IGAM. Portal dos Comitês: Instituto Mineiro de Gestão das Águas. 2019. Disponível em: <https://comites.igam.mg.gov.br/index.php>. Acesso em 09 de agosto de 2022.

_____. **IGAM. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Médio e Baixo Jequitinhonha.** Minas Gerais: IGAM, 2014. 119 p.

_____. Portal Infohidro. **Relatório de gestão e situação de recursos hídricos de Minas Gerais.**

_____. **Relatório de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de Minas Gerais.**

_____. **Avaliação da qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2021: resumo executivo anual** - Belo Horizonte: Igam, 2022. 88 p.

_____. **Avaliação da qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2020: resumo executivo anual** - Belo Horizonte: Igam, 2022. 224 p.

_____. **Avaliação da qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2019: resumo executivo anual** - Belo Horizonte: Igam, 2021. 211 p.

_____. **Avaliação da qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2018: resumo executivo anual** - Belo Horizonte: Igam, 2019. 327 p.

_____. **Avaliação da qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2017: resumo executivo anual** - Belo Horizonte: Igam, 2018. 189 p.

_____. **Qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2016: resumo executivo** - Belo Horizonte: Igam, 2017. 172 p.

_____. **Qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2015: resumo executivo** - Belo Horizonte: Igam, 2016. 179 p.

_____. **Qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2014: resumo executivo** - Belo Horizonte: Igam, 2015. 175 p.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Acesso à água nas regiões Norte e Nordeste do Brasil: desafios e perspectivas. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2018.

JACOMINE, P. K. T. Solos sob caatingas – Características e uso agrícola. In: **ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTE, M. P. F. (Ed.). O solo nos grandes**

domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa: SBCS/UFV. 1996. p.95-111.

JÚNIOR, J. de S. P. **Nova delimitação do semi-árido brasileiro**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2007. 25p

LAMPARELLI, M.C. 2004. Grau de trofa em corpos d'água do Estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento. 207f. **Tese**. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

- LANNA, A. E. L.; PORTO, R. L. L. (org.); JÚNIOR, B. P. F. B. et al. **Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS – ABRH, 1997.

LANNA, A. E. L. Sistemas de gestão de recursos hídricos: análise de alguns arranjos institucionais. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v.1, n-1, p. 21-56, 2000.

_____. **Gerenciamento de bacia hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos**. Brasília: IBAMA, 1995. 170 p

_____. A gestão dos Recursos Hídricos no contexto das políticas ambientais. In: MUÑOZ, Héctor Raúl (Coord.). **Interfaces da Gestão dos Recursos Hídricos: desafios da Lei de Águas**. 2^a. ed. Brasília:MMA/SRH, 2000.p.75-109.

LEAL, P. R. 2006. Avaliação de indicadores do estado trófico de uma lagoa costeira: Lagoa Jacuném (Serra, ES). 65f. **Monografia** (Graduação em Oceanografia) - Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2006.

LIMA, M. M. P.; SILVA, L. Análise da vulnerabilidade natural da bacia hidrográfica do rio Banabuiú, com apoio de geotecnologia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 11, n. 4, p. 1442-1457, 2018. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.4.p1442-1457>

LORANDI, R.; CANÇADO, C. J. Parâmetros para gerenciamento de bacias hidrográficas. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (Orgs.). **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2005, p. 37-65.

LUCON, T. N. Comportamento hidrogeoquímico da região cárstica do Alto São Francisco (MG): implicações associadas a sazonalidade e ciclo de contaminantes, áreas de recarga, descarga e comunicações hidráulicas. **Tese (Doutorado)** – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia. Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais. 2018. 165f.

MACIEL, S. A. Clima, disponibilidade hídrica e pobreza na porção mineira da bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha. 2021. 287 f. **Tese (Doutorado em Geografia)** - Universidade Federal de Uberlândia, 2021.

MAGALHÃES, A. R.; GLANTZ, E. M. H. (Ed.). **Socioeconomic impacts of climate variations and policy responses in Brazil**. Brasília, DF: Fundação Grupo Esquel Brasil, 1992. 156 p.

MARANDOLA JR., E.; D'ANTONA, A. de O. **Vulnerabilidade: problematizando e operacionalizando o conceito**. In: CARMO, R. do; VALÊNCIO, N. (Orgs.) Segurança humana no contexto dos desastres. São Carlos: RiMa Editora, Capítulo 3, p. 45-61, 2014.

MATTOS, S. V., & PEREZ FILHO, A. Complexidade e estabilidade em sistemas geomorfológicos: uma introdução ao tema. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 05, nº 01, p.11-18, 2004. <https://doi.org/10.20502/rbg.v5i1.28>

MEIRELES, A. C. M. Dinâmica qualitativa das águas superficiais da bacia do Acaraú e uma proposta de classificação para fins de irrigação. **Tese (Doutorado)**. Universidade Federal do Ceará, 2007. 180 p.

MEISSNER R., GUHR H., RUPP H., SEEGER J., SPOTT D. 1994. **Heavy metal content of soils and sediments of the River Elbe in selected parts of East Germany**. Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung, 35: 1-9.

MELO, M. C. de; JOHNSON, R. M. F. O conceito emergente de segurança hídrica. Sustentare, **Três Corações**, v. 1, n. 1, p.72-92, 2017. <https://doi.org/10.5892/st.v1i1.4325>

MENDES, C.A.B.; CIRILO, J.A. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2001. 533 p. (Coleção geoprocessamento).

MENDES, L. A. **Análise dos critérios de outorga de direito de usos consuntivos dos recursos hídricos baseados em vazões mínimas e em vazões de permanência**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

MENDES, M. V. R. Relação solo/paisagem da serra da Meruoca/Ceará: potencialidade e susceptibilidade ambiental. **Dissertação** apresentada ao Departamento de Geografia da Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA), 2020. 108 p. Sobral-CE.

MENDONÇA, F. **Climatologia: noções básicas e climas no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2007.

MESQUITA, L. F. G. Os comitês de bacias hidrográficas e o gerenciamento integrado na Política Nacional de Recursos Hídricos. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 45, p. 56-80, 2018. <https://doi.org/10.5380/dma.v45i0.47280>

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1, 05 de maio de 2008. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**.

_____. Deliberação Normativa CERH-MG nº 06, de 04 de outubro de 2002. **Estabelece as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais**.

_____. Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999. **Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências.**

_____. Portaria IGAM nº 48, de 4 de outubro de 2019. **Estabelece normas suplementares para a regularização dos recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais e dá outras providências.**

_____. Deliberação Normativa nº 66, de 17 de novembro de 2020. **Estabelece as Unidades Estratégicas de Gestão do Estado de Minas Gerais.**

_____. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Panorama de abastecimento de água e esgotamento sanitário 2021** / Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Belo Horizonte: Semad, 2021. 106 p.

Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Programas Nacionais e Metas. Brasília, MMA, Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano, 2009.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO. Diagnóstico Ambiental da Bacia do Rio Jequitinhonha - Diretrizes Gerais para a Ordenação Territorial. Salvador: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 1997.

MORAES, M. E. B. de. Zoneamento ambiental de bacias hidrográficas: uma abordagem metodológica aplicada na bacia do rio Bonito (SP). 130 f. **Tese** (Doutorado em Geografia) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

MORIN, E. **O método na natureza.** Porto Alegre: Sulina, 2013.

MOTA, S. **Gestão ambiental de recursos hídricos.** 3.ed. Rio de Janeiro: ABES, 2008. 343 p.

NAPOLEÃO, R. P. Zoneamento ambiental como subsídio à gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Capivari (SP). 2003. 192 f. **Dissertação** (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

NISHIYAMA, L. Geologia do município de Uberlândia e áreas adjacentes. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 1, n. 1, p. 9-16, 1989.
<https://doi.org/10.14393/SN-v1-1989-61554>

NOBRE, P.; MELO, A. B. C. Variabilidade Climática Intrasazonal Sobre o Nordeste do Brasil em 1998-2000. **Revista Climanálise**, 2001. Cachoeira Paulista, SP.

OLIVEIRA, J. L. Análise sobre a vulnerabilidade erosiva da bacia hidrográfica do ribeirão Conquistinha no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. 97 f. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

OLIVEIRA, L. F.C.; FIOREZE, A, P (2011). Estimativa de vazões mínimas mediante dados pluviométricos na bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.1, p.9 – 15. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000100002>

OLIVEIRA, R. R. A. Estudo da qualidade ambiental do reservatório Pentecoste por meio do índice do estado trófico modificado. 2009. 140f. **Dissertação** (Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

OTT, W. R. 1978. **Environmental Indices: theory and practice**. Ann Arbor Science, Ann Arbor, Michigan, 371p.

PEREIRA, S. B.; ALVES SOBRINHO, T.; FEDATTO, E.; PEIXOTO, P. P. P.; BONACINA, R. Variação temporal do comportamento hidrológico na bacia do Rio Dourados no período de 1973 a 2002, Jaboticabal, SP, **Engenharia Agrícola**, v.27, n.2, p.560-568, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162007000300027>

PERES, R. B. & CHIQUITO, E. A. Ordenamento territorial, meio ambiente e desenvolvimento regional: novas questões, possíveis articulações. **Revista Brasileira de Estudos urbanos e regionais**, v. 14, n. 2, p.71-86, 2012. <https://doi.org/10.22296/2317-1529.2012v14n2p71>

PESCE, S. F.; WUNDERLIN, D. A. Use of water quality indices to verify the impact of Córdoba city (Argentina) on Suquia river. **Water Research**, v.34, n.11, p.2915-2926, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00036-1](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00036-1)

PETERSEN, J. F.; SACK, D.; GABLER, R. E. **Fundamentos de Geografia Física**. Tradução: Marina Vicente Vieira. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

PIASENTIN, A. M. et al. Índice de Qualidade da Água (IQA) do Reservatório Tanque Grande, Guarulhos (SP): Análise Sazonal e Efeitos do Uso e Ocupação do Solo. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 28, n. 3, p. 305-317, 2009.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (Orgs.). **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2005, p. 17-35.

PORTO, M. F. A. & PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

<https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200004>

REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.) (2006). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3^a ed. São Paulo. Editora Escrituras, p. 203-240.

REIS, J. A. T. dos.; GUIMARÃES, M. A.; BARRETO NETO, A. A.; BRINGHENTI, J. Indicadores regionais aplicáveis à avaliação do regime de vazão dos cursos d'água

da bacia hidrográfica do Rio Itabapoana, São Paulo, SP, **Geociências**, v. 27, n. 4, p. 509-516, 2008.

RIBEIRO, M. M. R. **Alternativas para outorga e a cobrança pelo uso da água: Simulação de um caso**. Porto Alegre: IPH/URGS, 2000. 200p. Tese Doutorado.

RIBEIRO, C. B. de M.; MARQUES, F. de A.; SILVA, D. D. da. Estimativa e regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do Rio Doce, **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.13, n.2, p. 103-117, 2005.

ROCHA, A. C. Bacias em conflito pelo uso da água no estado de Minas Gerais. In: DI MAURO, C. A.; ROSOLEN, V.; FERREIRA, V. O. (Org.) **Planejamento e gestão de recursos hídricos: exemplos mineiros**. Uberlândia: Assis Editora, 2012, p. 197-215.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; LEAL, A. C. Planejamento ambiental de bacias hidrográficas desde a visão da geoecologia da paisagem. In: FIGUEIRÓ, A. S.; FOLETO, E (org.). **Diálogos em Geografia Física**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2011.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 6a ed. Uberlândia: EDUFU, 2007. 248 p. <https://doi.org/10.14393/EDUFU-85-7078-124-6>

ROSA, R. M.; FERREIRA, V. DE O. Vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba. **Boletim de Geografia**, v. 38, n. 3, p. 123-142, 8 jul. 2021.

ROSA, L. A. S. **A Bacia Hidrográfica como Unidade Territorial de Gestão Ambiental no Programa de Revitalização**. Brasília: Universidade de Brasília, 2011. 91p.

ROSA, R. M. Zoneamento ambiental de bacias hidrográficas: estudo demonstrativo na Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba. 2021. 179 f. **Tese** (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 8, p. 63-74, 1994. <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>

ROSS, J. L. S.; DEL PRETTE, M. E. Recursos hídricos e as bacias hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 12, p. 89-121, 2016. <https://doi.org/10.7154/RDG.1998.0012.0005>

SALIM, F.P.C.; ROQUES, T.V.P.; SOUZA, W.G. (2007) Definição de critérios técnicos de análise de outorga para diluição de efluentes em cursos d'água: o caso do Estado do Espírito Santo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS

HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. **Anais**. São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

SANTOS, P. T.; MARTINS, A. P. Análise da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Claro (GO) utilizando geotecnologias. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 36, p. 155-170, 2018.
<https://doi.org/10.11606/rdq.v36i0.143665>

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184 p.

SANTOS, M. **Território e Dinheiro**. In: Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFF. Território, Territórios. Niterói: PPGEU-UFF/AGB-Niterói, RJ. p.17- 38, 2002

SCLIAR, C. Dotação mineral, meio ambiente e desenvolvimento no Alto Jequitinhonha. **Revista Geonomos**, v.3, n. 1, 1995. p. 65-75.
<https://doi.org/10.18285/geonomos.v3i1.216>

SEER, H. J.; MORAES, L. C. **Geologia regional do Triângulo Mineiro**. Belo Horizonte: CODEMIG/UFMG, 2017, 123 p.

SILVA, P. D. R. Diagnóstico da qualidade da água do Rio Itacambiruçu em Grão Mogol-MG. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Engenharia Ambiental e Sanitária). Belo Horizonte: 2016. 101 p.

SILVA, A. M. da.; OLIVEIRA, P. M. de.; MELLO, C. R. de.; PIERANGELI, C. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais, Campina Grande, PB, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.2, p.374-380, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000200019>

SILVA, N. R. Caracterização do regime climático regional: uma análise dos parâmetros de temperatura, precipitação e balanço hídrico do Triângulo Mineiro-MG. 59 f. **Monografia** (Graduação), Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, 2010.

SILVAPALAN, M.; SAVENIJE, H. H. G.; BLÖSCHL, G. Socio-hydrology: A new science of people and water. **Hydrological Processes**, v. 26, p. 1270-1276, 24 jan. 2012. <https://doi.org/10.1002/hyp.8426>

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: EDUSP, 1993, p. 35-52.

SILVEIRA, S. M. B.; SILVA, M. das G. Conflitos socioambientais por água no Nordeste brasileiro: expropriações contemporâneas e lutas sociais no campo. **Revista Katál**, v. 22, n. 2, p. 342-352, 2019.
<https://doi.org/10.1590/1982-02592019v22n2p342>

SMAKHTIN, V. Y. (2001). Low-flow hydrology: a review. In: **Journal of Hydrology** 240 p. 147-186, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00340-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00340-1)

SOTCHAVA, V. B. **O estudo de Geossistemas**. São Paulo: Editora Lunar, 1977.

SOUZA, J. O. Dos sistemas ambientais ao sistema fluvial - uma revisão de conceitos. **Caminhos de Geografia**, v. 14, n. 46, p. 224–233, 2013.

<https://doi.org/10.14393/RCG144722281>

SOUZA, J. V. A. de. Defesa do Jequitinhonha. In: Estado de Minas, 01 de jan 2005, Caderno Pensar, p. 1.

_____ Fontes para uma reflexão sobre a história do Vale do Jequitinhonha. Unimontes Científica. Montes Claros, v. 5, n. 2, 2003, p 107-120.

SOUZA, M. P. **Instrumentos de gestão ambiental: fundamentos e prática**. São Carlos: Editora Riani Costa, 2000. 112 p.

SOUZA, M. L. de. **O território: sobre espaço e poder, autonomia e desenvolvimento**. In: CASTRO, I. E. de. et al. (orgs.): **Geografia: Conceitos e temas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995.

SOUZA, S. M. T. **Deflúvios superficiais no estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Hidrosistemas, 1993, 264 p.

SOUZA, N. C. R.; FONTES, A. S.; LUZ, L. D. da; PINHEIRO, S. M. C. Identification of the degree of impact of dams on the hydrologic regime of semi-arid rivers: an evaluation of the DHRAM method. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 22, e13, 2017. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.011716093>

STEINKE, E. T. **Climatologia Fácil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

SCHVARTZMAN, A. S; NASCIMENTO, N. O; VON SPERLING, M. Outorga e cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos: Aplicação à Bacia do Rio Paraopeba, MG. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, p. 103-122, 2002. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v7n1.p103-122>

TUCCI, C. E. M.; HESPAÑOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. de M. **Gestão da Água no Brasil**. Brasília: UNESCO, 2001.

TUCCI, C. E. **Modelos Hidrológicos**. Editora UFRGS. 689 p. 1998.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2003. 943 p.

TUCCI, C.; CHAGAS, M. (2017). Segurança hídrica: conceitos e estratégia para Minas Gerais. **Revista de Gestão de Água da América Latina**. Revista Rega. v. 14 e 12. 2017. <https://doi.org/10.21168/rega.v14e12>

VANELLI, F. M. et al. Avanços e caminhos para o desenvolvimento da socio-hidrologia no Brasil. Anais. XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2021

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. 2^a versão digital. Recife, 2006.

TUNDISI, J. G. **Água no Século XXI: enfrentando a escassez**. São Paulo. Editora Rima. 2^a Ed. 248 p. 2003.

TUNDISI, J. G. **Limnologia no Século XXI: Perspectivas e Desafios**. In: Anais do VII Congresso Brasileiro de Limnologia. Florianópolis. 1999.

VENÂNCIO, R. P. Comércio e fronteira em Minas Gerais colonial. In FURTADO, Júnia Ferreira (org.). **Diálogos Oceânicos**. Belo Horizonte: UFMG, 2001.

VILAÇA, M.F.; GOMES, I.; MACHADO, M. L.; VIEIRA, E. M.; SIMÃO, M. L. R. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão: O estudo de caso do ribeirão conquista no município de Itaguara/MG. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 13, Viçosa. **Anais...Viçosa/MG**: Universidade Federal de Viçosa, 2009.

VILAR, M. S. A. 2009. Condições ambientais e da qualidade da água no processo de eutrofização de açudes em cascata no semiárido paraibano. 104p. **Dissertação** Mestrado. Universidade Federal do Paraíba. Campina Grande.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte (MG): Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/UFMG). v. 7. 2007.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. Belo Horizonte (MG): Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/UFMG). 3^a ed, v. 1, 452 p. 2005.

WMO. The Dublin Statement and Report of the Conference. International Conference on Water and the Environment: Development Issues for the 21st Century. Dublin, Ireland, p. 26-31, 1992.

WORLD BANK. High and dry: climate change, water, and the economy. Washington, 2016.