

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
CAMPUS ITABIRA – MG
INSTITUTO DE CIÊNCIAS PURAS E APLICADAS

ADENILSON EVANGELISTA BOTELHO

**EMPREGO DE GEOPROCESSAMENTO PARA IDENTIFICAÇÃO DE
MANANCIAS COM DISPONIBILIDADE HÍDRICA**
ESTUDO DE CASO: ABASTECIMENTO URBANO DA CIDADE DE ITABIRA-MG

Itabira/MG
2020

MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE
RECURSOS HÍDRICOS – PROFÁGUA

ADENILSON EVANGELISTA BOTELHO

**EMPREGO DE GEOPROCESSAMENTO PARA IDENTIFICAÇÃO DE
MANANCIAS COM DISPONIBILIDADE HÍDRICA**

ESTUDO DE CASO: ABASTECIMENTO URBANO DA CIDADE DE ITABIRA-MG

Dissertação apresentada ao programa pós-graduação do Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua – polo UNIFEI Itabira-MG, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Área de concentração:

Instrumentos Da Política De Recursos Hídricos

Linha de pesquisa do projeto:

Ferramentas Aplicadas Aos Instrumentos de
Gestão De Recursos Hídricos

Orientador:

Prof. Dr. Anderson de Assis Morais

Coorientadora:

Prof.^a Dr.^a. Eliane Maria Vieira

Itabira/MG
2020



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



COORDENAÇÃO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Ata nº 02, de 17 de julho de 2020
Defesa Pública de Dissertação de Mestrado

Às quatorze horas do dia dezessete de julho de dois mil e vinte, de maneira remota, foram abertos os Trabalhos de Defesa Pública de Dissertação de Mestrado intitulada “EMPREGO DE GEOPROCESSAMENTO PARA IDENTIFICAÇÃO DE MANANCIAIS COM DISPONIBILIDADE HÍDRICA - ESTUDO DE CASO: ABASTECIMENTO URBANO DA CIDADE DE ITABIRA-MG”, do(a) candidato(a) ADENILSON EVANGELISTA BOTELHO, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, na Área de Concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos. A Comissão Examinadora foi composta pelos(as) doutores(as): Eduardo de Aguiar do Couto do(a) Unifei - campus de Itabira, 1º(ª) Examinador(a) ; Rosane Cristina de Andrade do(a) UERJ, 2º(ª) Examinador(a) ; Anderson de Assis Moraes do(a) Unifei - campus de Itabira, 3º(ª) Examinador(a) - Orientador(a), e Presidente da Sessão. Conforme Art. 56 da Norma de Programas de Pós-Graduação da UNIFEI, instalados os trabalhos de Defesa Pública da Dissertação, seguiram-se as seguintes fases: Apresentação dos demais membros da banca pelo(a) presidente; chamada do(a) candidato(a) e leitura do título do trabalho a ser defendido; exposição oral do conteúdo do trabalho pelo(a) candidato(a); e arguição do(a) candidato(a) por cada examinador(a). Feito isso, foi suspensa a Sessão de Defesa para início da Sessão de Julgamento. Durante a mesma, os examinadores atribuíram ao(à) candidato(a) os seguintes conceitos: 1º(ª) Examinador(a) 'A'; 2º(ª) Examinador(a) 'A'; 3º(ª) Examinador(a) 'A'; sendo o(a) candidato(a) considerado(a) “APROVADO(A)”. Voltando à Sessão de Defesa Pública da Dissertação, o(a) presidente convocou o(a) candidato(a) e proclamou o resultado final, à vista do Quadro Demonstrativo de Apuração; apresentou seus agradecimentos e encerrou a sessão. Uma cópia do Quadro Demonstrativo de Apuração foi entregue ao(à) discente. Os trabalhos foram encerrados às dezesseis horas e trinta minutos e, para que tudo constasse, foi lavrada a presente ata, a qual foi lida, aprovada e assinada pelos membros da Comissão Examinadora. O(s) Docente(s) externo(s) autorizam o(a) Presidente da Comissão Examinadora a assinar a Ata de Defesa Pública de Mestrado em seu(s) nome(s).

Itabira, 17 de julho de 2020.

Rosane Cristina de Andrade

Assinatura do Presidente da Comissão
Examinadora

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus pela oportunidade a mim concedida de cursa este mestrado e chegar até aqui mesmo diante das dificuldades enfrentadas.

Agradeço ao meu orientador, Dr. Anderson de Assis Morais, pelos ensinamentos e pela amizade.

Agradeço minha irmã, Dra. Margareth Evangelista Botelho, pelos ensinamentos indispensáveis de estatística.

Agradeço aos meus amados filhos André e Daniel que, mesmo sem saber, foram a inspiração e a fonte de força de vontade que me mantiveram nessa caminhada.

Principalmente, agradeço à minha amada esposa Dra. Eliane Maria Vieira, que além de coorientadora, foi o suporte indispensável para conclusão deste, e mesmo diante de minhas frustrações e desânimos me manteve no caminho certo com ensinamentos imprescindíveis, paciência e amor.

---x---

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

RESUMO

A cidade de Itabira-MG, assim como muitas cidades brasileiras, enfrenta sérios problemas de escassez hídrica em seu sistema de abastecimento público. Esse trabalho busca, por meio do emprego de geoprocessamento e avaliação da qualidade da água, identificar e propor novos mananciais que tenham vazão suficiente para atender a demanda e apresentem qualidade da água adequada ao atual sistema de tratamento adotado pela cidade. No presente estudo foram empregadas duas metodologias de regionalização das vazões mínimas para identificar os cursos d'água com vazão suficiente para comportar uma captação unitária capaz de suprir a demanda projetada da cidade até o ano de 2047. Posteriormente foram selecionados pontos de amostragem nesses cursos d'água onde foram realizadas medições dos parâmetros de qualidade da água para cálculo do IQA e elaborados os mapas de uso e ocupação em cada uma das bacias de drenagem desses pontos. Assim buscou-se analisar a correlação entre as características das bacias de drenagem com os valores do Índice de Qualidade de Água (IQA) e com as concentrações dos parâmetros que o compõem em cada ponto. Da avaliação das concentrações dos parâmetros analisados, foi possível concluir que as águas presentes nos pontos coletados podem ser utilizadas para o abastecimento público após tratamento convencional, desde que sejam empregadas medidas para controle rigoroso das contaminações por material fecal e também para redução da turbidez. Através do mapa de uso e ocupação do solo foi possível identificar as regiões que necessitam de intervenções e podem representar perigos para a qualidade da água dos mananciais, sendo que sua eficiência seria aumentada se esses mapas forem elaborados em uma menor escala e com maior número de incursões em campos para identificar todos os pontos de poluição pontuais. Com o auxílio de SIG foram calculadas as vazões $Q_{7,10}$ para todos os cursos d'água das bacias em estudo e, a partir do estudo da disponibilidade hídrica da área, foi identificado que o potencial de conflito pelo uso dos recursos hídricos é relativamente baixo. Finalmente, considerando a vazão disponível para outorga, os usos e ocupações e a qualidade da água encontrada nas bacias, recomenda-se como melhores locais para a implantação de uma captação unitária capaz de atender a cidade Itabira-MG o trecho do rio Tanque entre os pontos amostrados e não recomendamos uma nova captação no rio Santa Bárbara, no ribeirão Jirau e nem no rio do Peixe.

Palavras Chaves

Geoprocessamento, Mapa de Usos e ocupações, IQA, Abastecimento, Vazões mínimas

ABSTRACT

The city of Itabira-MG, like many Brazilian cities, faces serious problems of water scarcity in its public supply system. This work seeks, through the use of geoprocessing and water quality assessment, to identify and propose new water sources that have sufficient flow to meet the demand and present water quality standards that fit to the current treatment system adopted by the city. In the present study, two methodologies for regionalization of minimum flows were used to identify the water streams with sufficient flow to support a unitary collection capable of meeting the projected demand of the city by the year 2047. Subsequently, sampling points were selected in these water courses where measurements of water quality parameters were performed to calculate the WQI and land use and occupation maps were drawn up for each drainage basins for these points. Thus, it was analyzed the correlation between the characteristics of the drainage basins with the values of the Water Quality Index (WQI) and with the concentrations of the parameters that compose it at each point. From the evaluation of the concentrations of the analyzed parameters, it was possible to conclude that the water at the analyzed points may be used for public supply after conventional treatment, considering that control measures must be applied to minimize the contamination by faecal material and also to reduce the turbidity. Through the land use and occupation maps it was possible to identify the regions that need interventions and may represent dangers for water quality at the studied streams, and the efficiency of its use would be increased if these maps were elaborated on a smaller scale and with a greater number of incursions in field to identify the pollution points. With the aid of GIS, the flow rates $Q_{7,10}$ were calculated for all water courses in the basins under study and, based on the study of the water availability of the area, it was identified that the potential for conflict over the use of water resources is relatively low. Finally, considering the flow available for abstraction, the land use and occupation and the quality of the water found in the basins, it is recommended as the best place for the implementation of a unitary abstraction capable of serving the city of Itabira-MG the Tanque River, somewhere between the analyzed points. And we do not recommend a new abstraction point neither in the Santa Bárbara river, nor in the Jirau stream nor in the Peixe river.

Keywords

Geoprocessing, Map of land uses and occupations, WQI, Supply, Minimum flows

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fluxograma da metodologia do trabalho	21
Figura 2- Localização da área de estudo.	22
Figura 3 - Mapa RENDIMENTO ESPECÍFICO MÉDIO MENSAL: Contribuições Unitárias Mínimas com 10 Anos de Recorrência	27
Figura 4 - Tipologias Regionais Homogêneas, de acordo com Souza (1993).	28
Figura 5 - Potencial de conflito conforme Índice i_{cg}	30
Figura 6 - MDEHC da área de estudo.....	36
Figura 7 - Vazão mínima $Q_{7,10}$ calculada para cada bacia.	38
Figura 8 - Regiões com diferentes R_{ms} na área de estudos ($l.s/Km^2$).....	40
Figura 9 - Tipologias regionais presentes na área de estudos	42
Figura 10- Trechos dos rios com $Q_{7,10}$ maiores que 400,0 L/s.....	45
Figura 11 - Distribuição espacial das captações nas bacias em estudos.	47
Figura 12 - Mapa de usos e ocupações	51
Figura 13- Localização espacial dos pontos de coleta com estação meteorológica.	52
Figura 14- Bacias de drenagem para os pontos amostrados.....	54
Figura 15 - Usos e ocupações nas bacias de drenagens	56
Figura 16 - Precipitação nos dias 01 a 12/12/2019.....	60
figura 17 – Precipitação e Umidade Relativa nos dias 11 e 12/12/2019.....	61
figura 18 - Área de estudos com trecho recomendado para a nova captação.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classificação do corpo d'água conforme IQA e tipo de tratamento recomendado .	33
Tabela 2 - Variação das vazões por microbacia.	37
Tabela 3 - Rendimentos médio específicos e área de cada seção.....	40
Tabela 4 - Valores dos parâmetros e fator de proporção	43
Tabela 5 - Áreas dos segmentos em cada tipologia na bacia	43
Tabela 6 - Usuários ativos nas bacias em estudos	46
Tabela 7 - Índice de conflitos nas bacias em estudos	49
Tabela 8 - Tipos de usos e ocupações identificados na área de Estudos	50
Tabela 9 – Porcentagens dos usos e ocupações identificados	50
Tabela 10- Características morfométricas das bacias de drenagem	54
Tabela 11 - Tipos de usos presentes nas bacias de drenagens.....	57
Tabela 12 – Resultados de análises da água na primeira campanha.....	59
Tabela 13 - Classificação de acordo com a resolução CONAMA 357/2005 1ª campanha	61
Tabela 14 – Resultados de análise da água na segunda campanha.....	62
Tabela 15 - Classificação de acordo com a resolução CONAMA 357/2005 2ª campanha	62
Tabela 16 - Correlação de Spearman na primeira campanha amostral.....	64
Tabela 17- - Correlação de Spearman na segunda campanha amostral.....	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Legislação sobre outorga nos estados.....	5
Quadro 2 - Restrições da Resolução CONAMA 357/2005 quanto a abastecimento humano.	14
Quadro 3 - Consumo médio e perdas de água na distribuição nos anos de 2011 a 2018.	19
Quadro 4 - Vazões outorgadas ao SAAE Itabira-MG versus Vazão captada	19
Quadro 5 – Oferta X demanda na cidade de Itabira em 2015 e projeção até o ano de 2047. ...	20
Quadro 6 - Parâmetros e pesos da variável w para cálculo do IQA para MG.....	31
Quadro 7 - Equações para cálculo da variável q_i	32
Quadro 8- Tipos de coberturas vegetais.....	34
Quadro 9 - Características morfométricas analisadas.	35

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AESA-PB	Agência Executiva de Gestão das Águas - Paraíba
ANA	Agência Nacional de Águas
APAC-PE	Agência Pernambucana de Águas e Clima - Pernambuco
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CGP	Conselho Gestor de Parcerias Público-Privadas
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DAC	Declaração de Área de Conflito
DAEE-SP	Departamento de Água e Energia Elétrica - São Paulo
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio - 5 dias de incubação a 20 °C
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
IAP-PR	Instituto das Águas do Paraná - Paraná
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGAM-MG	Instituto Mineiros de Gestão das Águas
IGARN-RN	Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte - Rio Grande do Norte
INEMA-BA	Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Bahia
IQA	Índice de Qualidade de água
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDEHC	Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente
NATURATINS-TO	Instituto Natureza do Tocantins - Tocantins
OD	Oxigênio Dissolvido
PPP	Parcerias Público-Privadas
ProfÁgua	Mestrado Profissional em rede nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos
Q _{7,10}	Vazão mínima anual de sete dias consecutivos e período de retorno de 10 anos
Q ₉₀	Vazão que está presente no rio durante, pelo menos, 90% do tempo.
Q ₉₅	Vazão que está presente no rio durante, pelo menos, 95% do tempo.
Q _{mdl}	Vazão Média de Longa Duração
RURALMINAS	Fundação Rural Mineira
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgotos
SEAPA	Secretaria de Estado da Agricultura Pecuária e Abastecimento
SEMAD	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SEMARH-GO	Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos - Goiás
SEMARH-SE	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos - Sergipe
SEMAR-PI	Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Piauí - Piauí
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SRH-CE	Secretaria dos Recursos Hídricos - Ceará
UFV	Universidade Federal de Viçosa
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá
UPGRH	Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	1
2 – OBJETIVOS	3
2.1 – OBJETIVO GERAL.....	3
2.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3 – REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3.1 – OUTORGA E CONFLITOS DE USOS DOS RECURSOS HÍDRICOS	4
3.2 – REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES	7
3.2.1 – Método tradicional:.....	10
3.2.2 - Método baseado na interpolação linear	11
3.2.3 - Metodologia de conservação de massas	11
3.3 – REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÍNIMAS EM MINAS GERAIS.....	12
3.3.1 – Atlas Digital das Águas de Minas (HIDROTEC, 2011).....	12
3.3.2 - Metodologia proposta por Souza (1993)	13
3.4 – QUALIDADE DA ÁGUA.....	14
3.5 – INTERFERÊNCIA DO USO DO SOLO NA QUALIDADE DA ÁGUA	16
3.6 - CRISE HÍDRICA EM ITABIRA	18
4 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
4.1 – ÁREA DE ESTUDO.....	21
4.2 – REGIONALIZAÇÃO DA $Q_{7,10}$	23
4.2.1 – Cálculo da área de drenagem	23
4.2.2 – Cálculo da $Q_{7,10}$ baseado em Hidrotec (2011).....	24
4.2.3 - Cálculo da $Q_{7,10}$ empregando a metodologia proposta por Souza (1993)	25
4.3 – ANÁLISE DA VAZÃO OUTORGÁVEL DISPONÍVEL.....	28
4.4 –ESCOLHA DOS PONTOS PARA ANÁLISE DO IQA.....	30
4.5 – CÁLCULO DO IQA	30
4.6 – MAPA DE USO E OCUPAÇÃO.....	33
4.7 - INFLUÊNCIA DOS USOS E OCUPAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA DOS MANANCIAS	34
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36

5.1 – MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO HIDROLOGICAMENTE CONSISTENTE (MDEHC).....	36
5.2 – CÁLCULO DA $Q_{7,10}$ UTILIZANDO A METODOLOGIA PROPOSTA POR HIDROTEC (2011).....	37
5.3 – METODOLOGIA PROPOSTA POR SOUZA (1993)	39
5.3.1 – Cálculo da vazão característica	39
5.3.2 – Cálculo do Fator de Proporção ($F_{10,7}$).....	41
5.3.3 – Equações para o cálculo da $Q_{7,10}$	43
5.4 – CÁLCULO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA.....	44
5.4.1 – Cálculo das $Q_{7,10}$ nas bacias empregando a metodologia proposta Souza (1993).44	
5.4.2 - Levantamento das vazões outorgadas na área de estudos	46
5.4.3 – Cálculo da disponibilidade hídrica	47
5.5 – MAPA DE USO E OCUPAÇÃO.....	49
5.6 – ESCOLHA DOS PONTOS PARA COLETA DAS AMOSTRADAS DE ÁGUA....	51
5.7 – DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS DE DRENAGEM PARA OS PONTOS AMOSTRADOS	53
5.8 – COLETA E ANÁLISE DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	58
5.9 – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS USOS E OCUPAÇÕES E DA MORFOLOGIA DAS BACIAS DE DRENAGEM NOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA .	63
5.10 – ESCOLHA DOS LOCAIS MAIS INDICADOS PARA INSTALAÇÃO DA NOVA CAPTAÇÃO.....	70
6 - CONCLUSÕES	72
7 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	74
REFERÊNCIAS	75
ANEXO I– Imagens dos pontos de coleta	83
ANEXO II – Usuários de recursos hídricos superficiais por bacia	87
ANEXO III – Curvas do q_i para cálculo do IQA.....	95

1 – INTRODUÇÃO

O êxodo rural ocorrido no Brasil a partir do final do século XIX provocou um grande adensamento populacional em suas cidades aumentando a pressão sobre os recursos hídricos, gerando impactos ambientais e reduzindo a qualidade de vida da população a medida em que a mancha urbana se expande.

Normalmente, o crescimento das cidades ocorre de forma desordenada e sem planejamento, degradando e impermeabilizando áreas de recargas dos aquíferos, inviabilizando, em muitos casos, a utilização dos recursos hídricos ali presentes para o consumo humano.

Sendo a água essencial para a sobrevivência humana, seu fornecimento com quantidade e qualidade adequadas tornou-se, cada vez mais, um desafio para as empresas de saneamento e para os órgãos responsáveis da administração pública que precisam equacionar o aumento do consumo com a diminuição de corpos d'água com vazão e qualidade adequadas. Dessa forma, para atender a demanda cada vez mais crescente, as empresas de abastecimento são obrigadas, a concentrar esforços na identificação de novos mananciais, que encontram-se cada vez mais distantes dos centros urbanos, exigindo maiores investimentos em infraestrutura e logística.

Além de problemas com localização, outro fator que deve ser considerado na escolha das novas fontes de captação é qualidade da água presente, uma vez que, quanto menos degradada, mais barato é o sistema de tratamento indicado, menores são os custos operacionais envolvidos no tratamento e maior é a segurança hídrica da população atendida.

Em se tratando de captações superficiais, que estão presentes em grande parte dos municípios brasileiros, a qualidade da água é influenciada diretamente pelo grau de interferência humana e pelos tipos de usos e ocupações presentes na bacia, pois afetam diretamente os tipos de contaminantes aportados aos cursos d'águas.

Esses desafios ao abastecimento de água estão presentes em grande parte das cidades do Brasil, como no caso da cidade de Itabira-MG que vem enfrentando severas crises de falta d'água nos últimos anos.

Nessa cidade, grande parte da água servida é proveniente de captações superficiais, instaladas em cursos d'água próximos que ao longo dos anos foram sendo degradados e suas bacias tomadas pela expansão da cidade.

Desta forma, a autarquia municipal responsável pelo abastecimento (Serviço Autônomo de Água e Esgoto - SAAE), se viu obrigada a adotar medidas como rodízios e racionamentos,

de forma a reduzir o consumo e garantir o suprimento mínimo de água para a população atendida.

Outro ponto que também evidencia a necessidade de aumentar o volume de água tratada à disposição da cidade é o fato de que existem diversas iniciativas da prefeitura de Itabira-MG, em conjunto com outros segmentos da sociedade, que buscam a diversificação econômica da cidade, que atualmente é muito dependente da mineradora Vale S.A.

Dentre essas iniciativas podemos destacar a fundação do campus da Universidade Federal de Itajubá, a construção de um parque tecnológico e de um aeroporto industrial, que têm como objetivos atrair empresas e investimentos privados para a cidade. Portanto, um abastecimento de água potável capaz de suprir a demanda atual e eventuais aumentos desta é determinante para atração e manutenção de empresas e para o desenvolvimento da cidade.

Assim, torna-se evidente a necessidade da identificação de novos mananciais para compor o sistema de abastecimento da cidade, que deverão ser avaliados quanto a sua disponibilidade hídrica e a qualidade da água presentes.

Nesse sentido, o presente trabalho se insere no contexto de apoiar a administração pública da cidade, bem como a gestão dos recursos hídricos no município, uma vez que pretende de forma rápida e com baixo custo, quantificar a disponibilidade hídrica nas bacias que compõe o município de Itabira-MG.

2 – OBJETIVOS

2.1 – OBJETIVO GERAL

Identificar mananciais com vazões disponíveis para outorga superficial nas bacias hidrográficas que compõem o município de Itabira-MG, avaliando seu potencial para o abastecimento adequado da cidade, considerando a demanda prevista para as próximas décadas, bem como a qualidade da água encontrada.

2.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar seções dos cursos d'água, dentro do município de Itabira-MG, com vazão disponível para outorgas superficiais suficientes para atender a demanda da cidade, por meio da integração do mapa de direção de fluxo e mapa de vazões outorgáveis calculadas conforme a legislação vigente;
- Classificar a qualidade da água nos mananciais identificados no item anterior, tendo por base o índice de qualidade de água (IQA), obtido a partir de análises de águas coletadas durante as estações chuvosa e seca do ano;
- Analisar, estatisticamente, a relação entre a qualidade da água encontrada e os usos e ocupações presentes nas bacias de drenagens dos pontos amostrados.

3 – REVISÃO DE LITERATURA

3.1 – OUTORGA E CONFLITOS DE USOS DOS RECURSOS HÍDRICOS

A Lei Federal nº 9433/1997, conhecida como “Lei das águas” estabeleceu no Brasil a Política Nacional de Recursos hídricos, e trouxe, como um de seus principais instrumentos de gestão, a necessidade de emissão de outorga para o uso da água (BRASIL, 1997). Isso garantiu aos gestores dos recursos hídricos a possibilidade de gerir conflitos e evitar a exploração excessiva dos recursos hídricos existentes, garantindo a manutenção nos cursos d’água de, no mínimo a vazão ecológica.

Segundo Cruz (2001), a outorga de uso, previsto na “lei das águas”, constitui-se em uma licença emitida pelo Estado para que o usuário possa derivar determinados volumes de água para atender as suas necessidades com ou sem devolução de parte ou de toda a água (usos consuntivos e não consuntivos) ou reserva de volume para diluição de poluição.

No processo de emissão de outorga, o órgão responsável deverá atender o plano de recursos hídricos existente, bem como as prioridades de usos estabelecidas. Além disso, a solicitação deverá ser precedida de estudos relacionados ao balanço entre disponibilidades e demandas presentes e futuras dos recursos hídricos, avaliando a quantidade e qualidade, bem como identificando os conflitos potenciais (BRASIL, 1997).

Resumidamente, trata-se de uma autorização para uso do recurso, que pode ser suspensa parcial ou totalmente, em definitivo ou por prazo determinado a qualquer momento, nos casos em que o usuário descumpra as orientações do instrumento de outorga, em casos de interesse público ou casos de escassez quando os usos prioritários deverão ser atendidos, qual sejam: consumo humano e dessedentação de animais. É importante observar que a outorga não deve ser entendida como a transmissão da posse de um bem público, que é a água, para um particular.

Assim, considerando as diferentes realidades do Brasil, os estados vêm estabelecendo suas políticas de gestão hídrica, derivando a Lei Federal, de forma a atender às características e peculiaridades regionais e ordenar a exploração das águas sob seu domínio. No entendimento de Silva et al. (2006), cada estado tem adotado critérios particulares e pragmáticos para o estabelecimento das vazões de referência para outorga sem, no entanto, apresentar justificativas da adoção desses valores.

Segundo ANA (2011), a definição da vazão de referência a ser utilizado depende da garantia de atendimento que se deseja e deverá considerar para os usos a serem instalados em determinada bacia.

Essa heterogeneidade de vazões de referências adotadas foi verificada pela ANA (2007), que fez o levantamento das regulamentações existentes, conforme Quadro 1.

Quadro 1 – Legislação sobre outorga nos estados

Órgão gestor	Vazão máxima outorgável	Legislação de referência
ANA	70% da Q ₉₅ podendo variar em função das peculiaridades de cada região. Até 20% para cada usuário	Não existe, em função das peculiaridades do país, podendo variar o critério
INEMA-BA	80% da Q ₉₀ . Até 20% para cada usuário	Decreto Estadual nº 6.296/1997
SRH-CE	90% da Q _{90reg}	Decreto Estadual nº 23.067/1994
SEMARH-GO	70% da Q ₉₅	Não possui legislação específica
IGAM-MG	30 ou 50% da Q _{7,10} para captações a fio d'água e em reservatórios, podendo ser liberadas vazões superiores, desde que seja mantida a vazão residual mínima indicada.	Resolução Conjunta da SEMAD-IGAM nº 1548, de 29 de março de 2012.
AESA-PB	90% da Q _{90reg} . Em lagos territoriais, o limite outorgável é reduzido em 1/3	Decreto Estadual nº 19.260/1997
IPÁGUAS-PR	50% da Q ₉₅	Decreto Estadual nº 4.646/2001
APAC-PE	Depende do risco que o requerente pode assumir	Não existe legislação específica
SEMAR-PI	80% da Q ₉₅ (rios) e 80% da Q _{90reg} (açudes)	Não existe legislação específica
IGARN-RN	90% da Q _{90reg}	Decreto Estadual nº 13.283/1997
DAEE-SP	50% da Q _{7,10} por bacia. Até 20% da Q _{7,10} para cada usuário	Não existe legislação específica
SEMARH-SE	100% da Q ₉₀ . Até 30% da Q ₉₀ para cada usuário	Não existe legislação específica
NATURATINS-TO	75% Q ₉₀ por bacia. Até 25% da Q ₉₀ para cada usuário. Para barragens de regularização, 75% da vazão de referência adotada	Decreto Estadual aprovado pela Câmara de Outorga do Conselho Estadual de Recursos Hídricos

Fonte: Adaptado de ANA (2007)

Portanto, apesar de, normalmente, não serem apresentados os critérios técnicos para escolha das vazões máximas outorgáveis, nas legislações apresentadas no Quadro 1, verifica-se que a maioria dos estados optaram por valores de referências menos “agressivos”, conforme entendimento preconizado por ANA (2011), que orienta que, se os usos exigem maior garantia do suprimento de água, deve-se optar por vazões mais conservadoras, como a Q₉₅ e a Q_{7,10}, por exemplo.

Conforme apresentado no Quadro 1, em Minas Gerais, a regulamentação da outorga é dada pela resolução conjunta da SEMAD-IGAM nº 1548, de 29 de março de 2012 (IGAM, 2012), que adota como parâmetro a vazão mínima média de sete dias de duração considerando um período de retorno de dez anos ($Q_{7,10}$).

Essa resolução também estabelece, em seu artigo 2º, que as outorgas a fio d'água no estado podem ser concedidas até que se atinja o valor de 50% da $Q_{7,10}$, com exceção dos rios Jequitaiá, Pacuí, Urucuia, Pandeiros, Verde Grande, Pará, Paraopeba e Velhas por serem rios com grande potencial de conflitos pelo uso da água, onde o limite máximo outorgável é 30% da $Q_{7,10}$, ficando garantidas, em ambos os casos, a jusante de cada derivação, fluxos residuais mínimos equivalentes 50 e 70% da $Q_{7,10}$, respectivamente.

A referida resolução, autoriza que as vazões de referência nas bacias acima sejam aumentadas para 50% da $Q_{7,10}$, desde que seja emitida pelo IGAM uma declaração de área de conflito pelo direito de uso de recursos hídricos (DAC). Essa declaração visa mitigar os conflitos existentes na bacia, e pode ser emitida quando constatada a indisponibilidade hídrica, por meio da análise de estudos relativos à disponibilidade hídrica existentes, e quando constatado que o volume de água demanda, por parte de diversos usuários e requerentes, é superior àquela vazão disponível para a outorga (IGAM, 2020).

Outro ponto que deve ser destacado é o artigo 3º da resolução 1584 (IGAM, 2012), que flexibiliza, de certa forma, a vazão mínima a jusante do empreendimento, pois determina que:

“Excepcionalmente, poderão ser adotados, a requerimento do interessado e mediante análise técnica prévia, fluxos residuais inferiores a 50% (cinquenta por cento) da $Q_{7,10}$, desde que não se produzam prejuízos a direitos de terceiros e que as intervenções se destinem:

- I – À proteção da integridade da vegetação nativa e da biota;
- II – Ao abastecimento público;
- III – à limpeza e ao desassoreamento de curso de água;
- IV – À travessia de curso de água;
- V – A minimizar os riscos à saúde, à segurança e ao bem-estar da população;
- VI – À proteção das condições estéticas e sanitárias do meio ambiente.”

Apesar de a lei 9433/97 (BRASIL, 1977) em seu artigo 1º, inciso III, estabelecer o consumo humano como um dos usos prioritários dos recursos hídricos, é preciso salientar que essa preponderância somente é verificada em situações de escassez (BRASIL, 1997). Mesmo raciocínio é observado para inciso II do artigo 3º da resolução SEMAD-IGAM nº 1548/2012 (MINAS GERAIS, 2012) onde o abastecimento público é uma das exceções para emissão de

outorgas com fluxo residual menor que 50% da $Q_{7,10}$, que pode ocorrer somente em caso excepcionais e que não produzam prejuízos a direitos de terceiros.

Nos demais casos, a outorga para abastecimento público concorre com os demais usuários, conforme previsto no inciso I do artigo 12 da Lei Federal nº 9433/97 que define que a derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, está sujeita a outorga de direitos de usos pelo poder público.

A sutil diferença entre situação de escassez e falta de planejamento/investimentos em serviços de abastecimento público tem provocado ao longo do território do estado de Minas Gerais diversos conflitos entre as empresas de saneamento e os demais usuários. De um lado o setor produtivo que precisa de um suprimento de água consistente e constante ao longo dos anos que, em muitos casos obtém suas outorgas próximas aos centros urbanos e de outro lado as empresas de abastecimento urbanos que alegam não ter controle sobre o aumento de sua demanda e, menos ainda, sobre sua localização geográfica sendo obrigadas em muitos casos a competir com os demais usuários dos recursos hídricos pelos mananciais mais próximos.

Existem na bibliografia diversos estudos e trabalhos técnicos sobre embates dessa natureza no estado de Minas Gerais, como por exemplo, o caso de conflito pelo uso da água na bacia do Ribeiro Bonito, localizada na Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) correspondente à bacia do Rio das Velhas na região central, onde, segundo Lemos e Magalhães Junior (2015), existe um conflito entre o sistema de captação de água superficial realizada pelo município de Caeté para fins de abastecimento de água e as diferentes captações (regulares e irregulares) de agricultores nos pontos à montante da captação para abastecimento. Nesse contexto, verifica-se disputa pela água, para atender o abastecimento público versus a irrigação de hortaliças.

Situação semelhante foi descrita por Pruski *et al.* (2007), que relatam que a grande expansão da agricultura irrigada na bacia do rio Paracatu, no noroeste de Minas Gerais, a partir da década de 1970, levou o município de Paracatu à necessidade de substituição do sistema de abastecimento de água, originalmente situado no córrego Espalha, para o córrego Santa Isabel, tendo em vista o impacto advindo dos projetos de irrigação implantados na área e que provocaram queda de vazão de 50 L/s para 8 L/s.

3.2 – REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES

O conhecimento do comportamento das variáveis hidrológicas, como vazões médias, máximas e mínimas, com determinados tempos de duração e tempo de retorno em bacia, é de

extrema importância para garantir o planejamento adequado dos usos dos recursos hídricos, conciliando exploração racional e manutenção dos ecossistemas. Contudo, o conhecimento dessas variáveis depende da instalação e operação, por muitos anos de uma rede hidrométrica.

Essas redes devem contar com equipamentos em números e espaçamentos geográficos adequados, de forma a registrar o comportamento ao longo da região de estudo, sendo capaz de fornecer séries históricas consistentes e representativas, possibilitando a estimativa da frequência de ocorrência de eventos hidrológicos, com certo grau de precisão.

Segundo Tucci (2002), uma rede hidrométrica raramente possui uma densidade de estações que permite cobrir todos os locais de interesse de um plano de gerenciamento de recursos hídricos. Para Silveira, Tucci e Silveira (1998), a implementação de uma rede de informações desejável é quase utopia, considerando-se a realidade de investimento público em infraestrutura e o tamanho do território brasileiro.

Dessa forma, a regionalização hidrológica ou, mais especificamente, a regionalização de vazões, constitui-se em importante ferramenta para se estimar as vazões ao longo da hidrografia (PRUSKI *et al.*, 2012), possibilitando a transposição dos dados e informações entre bacias de características similares (PORTO *et al.* 2004).

De acordo com Baena *et al.* (2004), a técnica consiste em estimar as vazões em um determinado local, baseando-se em informações conhecidas de regiões com comportamento hidrológico semelhantes e considerando as características físicas e climáticas das bacias que mais interferem na distribuição espacial da vazão e que sejam facilmente mensuráveis.

Segundo Silva *et al.* (2006), a regionalização consiste em um conjunto de ferramentas que exploram ao máximo as informações existentes, visando à estimativa das variáveis hidrológicas em locais sem dados ou com informações insuficientes.

Por meio da regionalização, visa-se permitir, por exemplo, a obtenção indireta das vazões em seções em que faltam dados ou onde, por fatores de ordem física ou econômica, não seja possível a instalação de estações hidrométricas. Essa estimativa é realizada com base em modelos de cálculo das vazões, e que, Segundo Barbosa *et al.* (2005), demonstram-se estatisticamente aplicáveis em seções fluviais da bacia do rio do Carmo em Minas Gerais.

Para Lopes *et al.* (2017), a regionalização do fluxo hidrológico em alguns casos torna-se de extrema importância, principalmente quando o custo para implantação da rede hidrométrica para medir dados se torna inviável. Além disso, o processo de regionalização melhora as estimativas das variáveis hidrológicas e permite verificar a consistência das séries de dados hidrológicos.

Gasques et al. (2018), em revisão de literatura sobre o tema, identificaram que existem vários métodos de regionalização que consideram as relações entre os parâmetros do modelo, as características físicas da bacia e as condições climáticas. Entretanto esses autores identificaram que existem quatro situações predominantes nos métodos de regionalização utilizados:

- 1 - Variáveis: Calcula variáveis de uma região com base em relações de dados pontuais existentes;
- 2 - Funções: Por meio de curvas de intensidade versus curva de frequência ou curva de duração, determina-se a função hidrológica em determinada região;
- 3 - Parâmetros: Os parâmetros de uma função ou modelo matemático podem ser determinados pela sua relação com as características físicas da bacia através do ajuste do modelo;
- 4 - Indicadores Regionais: valores médios de variáveis ou proporções que permitam uma rápida estimativa de uma variável ou entendimento do seu comportamento.

Neste trabalho serão discutidos modelos que se enquadram na terceira situação, ou seja, modelos que empregam funções matemáticas relacionadas às características físicas da bacia com a vazão.

Segundo Silva Junior et al. (2003), Vorst e Bell concluíram em seus estudos em 1981, sobre parâmetros geomórficos de bacias, que apenas três variáveis físicas são as mais significativas para explicar as vazões. Sendo elas: a área de drenagem da bacia; o comprimento do curso d'água principal; e a declividade. Esse entendimento está de acordo com Gasques et al. (2018) que afirmam que, dentre as metodologias que consideram as variáveis regionais, as variáveis explicativas mais utilizadas em estudos de regionalização de vazões são: área de drenagem, comprimento do rio, densidade de drenagem e declividade média do rio principal.

Observa-se que a correlação entre comprimento do curso d'água e área de drenagem é geralmente alta e, da mesma forma, a declividade também possui alta correlação com o comprimento e com a área de drenagem. Dessa forma, a área de drenagem é efetivamente a única característica da bacia que tem sido considerada para relacionar as variáveis hidrológicas (SILVA JUNIOR et al., 2003). Tal fato é reafirmado por Gasques et al. (2018), que concluíram que a área de drenagem é considerada a principal variável explicativa em diversos estudos de regionalização de vazões, já que possui boa correlação com as outras características físicas da bacia e possui influência na disponibilidade de água ao longo da hidrografia.

Portanto, verifica-se que nos cálculos das vazões mínimas, são utilizados geralmente técnicas de regionalização de vazão, onde um dos principais parâmetros considerados é a área da bacia a montante do ponto em análise, que pode ser obtida com a utilização de ferramentas de geoprocessamento que permitem determinar essa grandeza de forma rápida e de baixo custo.

Segundo Euclides et al. (2005), as técnicas de geoprocessamento têm sido utilizadas em diversas áreas de estudos. Na hidrologia, a necessidade de espacialização da informação, a partir de dados pontuais de medição das variáveis hidrometeorológicas, exige o emprego de metodologias de análise regional da informação. Assim, com o emprego de técnicas de geoprocessamento em um sistema de informações geográficas (SIG) é possível levantar os parâmetros e variáveis de forma automatizada, minimizando subjetivismo e aumentando a produtividade.

Para obtenção da área e de outras características da bacia de drenagem em ambiente de sistema de informações geográficas são empregados Modelos Digitais de Elevação (MDE), obtidos a partir de mapas digitais de elevação. Segundo Baena *et al.* (2004) a eficiência da extração das características físicas, medidas em termos de precisão e de exatidão, está diretamente relacionada com a qualidade do modelo e do algoritmo utilizado.

De acordo com Salis *et al.* (2018) e Chagas *et al.* (2010), normalmente os MDEs apresentam depressões e elevações inconsistentes com o relevo, ou informações do terreno considerando benfeitorias e cobertura vegetal, que, do ponto de vista hidrológico, necessitam de correções.

Dessa forma, o modelo deve representar o relevo de forma fidedigna e assegurar que a simulação do escoamento superficial seja compatível com a rede de drenagem mapeada garantindo, assim, a sua consistência hidrológica (BAENA et al., 2004), passando a representar um Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistente (MDEHC).

Assim, o MDEHC pode ser empregado em diversas metodologias de regionalização de vazões existentes que, são derivadas em maior ou menor grau dos três métodos principais conforme abaixo:

3.2.1 – Método tradicional:

Proposto por Eletrobrás (1985), este método baseia-se primeiramente na identificação de regiões com comportamento hidrológico homogêneo. Posteriormente, são estabelecidas equações de regressão que têm como variável dependente uma vazão de referência (mínima, média ou máxima) e como variáveis independentes, características físicas e/ou, climáticas de bacias hidrográficas (CECÍLIO, 2018).

Silva, Marques e Lemos (2009), enquanto avaliavam metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência, concluíram que a melhor metodologia para a bacia do São

Francisco, a montante do reservatório de Três Marias, foi a tradicional, baseada na utilização de equações e regressões.

Moreira e Silva (2014) concluíram que dentre os métodos de regionalização utilizados em seu estudo na bacia do rio Paraopeba em Minas Gerais, o método Tradicional também foi o que permitiu a melhor estimativa dos valores da vazão mínima com sete dias de duração e dez anos de retorno ($Q_{7,10}$) e da vazão média de longa duração (Q_{mld}).

O método tradicional encontra-se bastante consolidado na literatura, apresentando resultados satisfatórios na regionalização de vazões mínimas. Contudo Tucci (2002) adverte que o método é limitado em relação à área de drenagem em bacias de menor porte que apresentam variabilidade no comportamento do aquífero, e conseqüentemente pode acarretar erros significativos na obtenção das vazões subestimando-as ou superestimando-as.

3.2.2 - Método baseado na interpolação linear

Esse método foi proposto pela ELETROBRÁS (1985b), no qual a vazão no ponto de interesse é calculada considerando as vazões de seções fluviométricas mais próximas no mesmo curso d'água. Assim, segundo Amorim, Oliveira Netto e Mediondo (2005), quando a seção de estudo se encontra entre dois postos fluviométricos a vazão de interesse é igual à vazão na seção de montante mais um incremento proporcional ao aumento da área de drenagem entre as estações à montante e a jusante. Quando existe somente uma estação fluviométrica considera-se que a vazão específica das duas seções é igual, porém recomenda-se admitir esse tipo de solução somente quando a maior área de drenagem for até 3 vezes superior à outra (ELETROBRÁS, 1985).

Esse método foi testado e adaptado por Chaves et al. (2002) utilizando-se de sistema de informações geográfica na bacia do rio Itapecuru e concluíram que, com algumas modificações em função das particularidades locais, o método pode ser aplicado a bacias hidrográficas onde a escassez de dados possa limitar a aplicação de método tradicional de equações de regressões regionais.

3.2.3 - Metodologia de conservação de massas

O método de conservação de massa, proposto por Pereira (2004), consiste em ajustar equações de regressão em função da área de drenagem ou vazão equivalente ao volume precipitado no rio principal para representação das vazões $Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90} (Molina et al., 2014).

Segundo Bazzo et al. (2017) o método fundamenta-se no pressuposto de que a vazão na foz dos afluentes da bacia hidrográfica, estimada a partir do modelo de regressão para o rio principal, é mais representativa do que a vazão obtida pontualmente para a seção considerada. Assim, a partir das equações ajustadas obtêm-se as vazões na foz dos afluentes diretos do rio principal, utilizando-se valores de áreas de drenagem de cada ponto de interesse. No ajuste, faz-se que as equações passem pela origem, uma vez que, para área de drenagem zero, tem-se vazão nula. Com as equações de regressão ajustadas para o rio principal, torna-se possível estimar a vazão em qualquer ponto, necessitando para isso somente a área de drenagem do ponto de interesse (MOLINA et al., 2014).

Esse método foi aplicado Moreira e Silva (2010), enquanto comparavam valores da $Q_{7,10}$ estimados por diferentes métodos de regionalização de vazões e concluíram que a metodologia baseada na conservação de massas de vazões garantiu a continuidade das vazões em toda a área em estudo.

3.3 – REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÍNIMAS EM MINAS GERAIS

Especificamente para o estado de Minas Gerais dois trabalhos se destacam quanto a consistência e aplicabilidade, sendo um deles os estudos realizados pelo projeto HIDROTEC no desenvolvimento do Atlas Digital das Águas de Minas e os estudos desenvolvidos por Souza (1993), descritos a seguir.

3.3.1 – Atlas Digital das Águas de Minas (HIDROTEC, 2011)

O projeto HIDROTEC, que é fruto da parceria institucional entre duas secretarias de Estado e órgãos vinculados: Secretaria de Estado da Agricultura Pecuária e Abastecimento (SEAPA) e a Fundação Rural Mineira (RURALMINAS), a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) e o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e a Universidade Federal de Viçosa (UFV) (HIDROTEC, 2011).

Essa equipe técnica foi responsável pela criação e desenvolvimento do Atlas Digital das Águas de Minas que, com o uso das técnicas do método tradicional, estabeleceu as equações para regionalização de vazões para todas as bacias das Unidades de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos (UPGRH) do estado de Minas Gerais, que segundo Moreira e Silva (2010), permitem estimar as vazões para qualquer seção ao longo da hidrografia do estado, sendo sua

utilização limitada em função das áreas de drenagem mínimas e máximas recomendada para a equação.

Segundo Euclides et al. (2005), o atlas disponibiliza valores de vazão, na sessão de interesse, baseado numa tecnologia atual e confiável, e dessa forma, contribui para o gerenciamento dos recursos hídricos com maior segurança e poderá contribuir também, de forma expressiva, para a implementação da gestão dos recursos hídricos no estado de Minas Gerais

Conforme os autores do Atlas digital das águas de Minas, durante os trabalhos foram utilizados séries históricas de 318 estações fluviométricas e 378 estações pluviométricas, sendo que as equações foram obtidas com técnica de regionalização hidrológica utilizando-se o programa computacional RH4.0. (HIDROTEC, 2011).

3.3.2 - Metodologia proposta por Souza (1993)

Essa metodologia foi desenvolvida há mais de 26 anos e possui grande relevância por ser recomendada pelo Instituto Mineiro de Gestão da Águas (IGAM) como referência para concessão de outorgas superficiais no estado, conforme o Manual Técnico e Administrativo de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos no Estado De Minas Gerais (IGAM, 2010).

Segundo Souza (1993), dentre os produtos pretendidos com seus estudos, está a indicação de vazões superficiais médias e extremas, características em qualquer ponto da rede hidrográfica estadual, possibilitando dessa forma, a estimativa do potencial de regularização dos cursos d'águas, por meio da construção de reservatórios, em qualquer seção fluvial do estado, além de possibilitar o cálculo das grandezas que devem ser consideradas nos projetos de drenagem ou de proteção pluvial, eventualmente implantáveis em Minas Gerais.

Para desenvolvimento da metodologia o autor empregou técnicas do método tradicional e baseou-se em mapas de solos, mapas geológicos, cartas de precipitação total anual, cadernos de dados pluviométricos, atlas climatológico de Minas Gerais, e dados de 252 pontos de informações hidrométricas distribuídos ao longo do estado.

Assim, por meio de interpolação dos mapas e emprego de técnicas estatísticas, foram elaborados um mapa das tipologias regionais homogêneas, três mapas de rendimentos específicos superficiais e equações matemáticas que devem ser empregadas de acordo com a variável hidrológica de interesse (vazões mínimas, médias de longo termo ou máximas).

Resumidamente, para a obtenção da referência $Q_{7,10}$, em cada seção dos cursos de água a metodologia associa o rendimento específico de cada região, a área de drenagem em análise e características de solos, físicas e meteorológica das bacias hidrográficas (IGAM, 2010).

3.4 – QUALIDADE DA ÁGUA

No processo de emissão de outorga, além dos estudos relacionados ao balanço entre disponibilidades e demandas presentes e futuras dos recursos hídricos, o órgão responsável deverá atender o plano de recursos hídricos existente, bem como as prioridades de usos estabelecidas e a solicitação deverá ser precedida de avaliação da quantidade e qualidade, bem como identificando os conflitos potenciais. Assim a avaliação da qualidade da água também faz parte do arcabouço de estudos que permitem conduzir o processo de outorga de forma mais sustentável (BRASIL, 1997).

Buscando definir critérios para classificação dos corpos d'água doce, considerando a sua qualidade o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) editou a resolução nº 357, de 17 de março de 2005, a qual estabeleceu cinco classes de uso das águas doces superficiais, variando desde classe especial até a classe quatro (BRASIL, 2005).

Considerando especificamente o consumo humano, a referida resolução além de definir as classes de usos de acordo com a qualidade, também definiu os tratamentos mínimos obrigatórios antes que essas águas possam ser destinadas ao abastecimento público, conforme Quadro 2.

Quadro 2 - Restrições da Resolução CONAMA 357/2005 quanto a abastecimento humano.

Classe de Uso	Condição ao abastecimento para consumo humano
Classe especial	Pode ser destinada com desinfecção.
Classe 1	Pode ser destinada após tratamento simplificado.
Classe 2	Pode ser destinada após tratamento convencional.
Classe 3	Pode ser destinada após tratamento convencional ou avançado.
Classe 4	Imprópria ao consumo humano.

Para classificação dos corpos d'água conforme a referida legislação, deverão ser considerados um total de 12 condições de qualidade e aproximadamente 90 parâmetros, exigindo dessa forma, a utilização de um grande aparato analítico, não disponível na maioria dos laboratórios brasileiros e tornando difícil e onerosa a classificação e a divulgação de

informações sobre a qualidade da água em um determinado ambiente hídrico, seguido as recomendações da resolução (SILVA, SILVA E MOREIRA et al., 2015).

Visando contornar essa questão, ao longo dos anos têm sido empregados diversos índices e indicadores ambientais, que buscam sintetizar as informações de qualidade de forma que possibilite a comparação entre diversas realidades. Segundo Lermontov et al. (2008), as principais vantagens dos índices são as facilidades de comunicação com o público leigo, o *status* maior do que as variáveis isoladas e o fato de representar uma média de diversas variáveis em um único número, combinando unidades de medidas diferentes em uma única unidade. No entanto, sua principal desvantagem consiste na perda ou descaracterização das informações das variáveis quando consideradas individualmente, bom como suas interações com o meio.

No que diz respeito ao abastecimento humano, dentre os diversos indicadores de qualidade da água existentes, podemos destacar o Índice de Qualidade da Água (IQA) que, conforme ANA (2018), foi desenvolvido em 1970, pela fundação americana *National Sanitation Foundation* (NSF), sendo utilizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) a partir de 1975 e, nas décadas seguintes, outros estados brasileiros também adotaram o IQA, que é hoje o principal índice de qualidade da água utilizado no Brasil após algumas adaptações.

As variáveis de qualidade, que fazem parte do cálculo do IQA, refletem, principalmente, a contaminação dos corpos hídricos ocasionada pelo lançamento de esgotos domésticos. É importante salientar que este índice foi desenvolvido para avaliar a qualidade das águas, tendo como determinante principal a sua utilização para o abastecimento público, considerando aspectos relativos ao tratamento dessas águas (CETESB, 2018).

Para a elaboração do IQA, Brown et al., em 1970, promoveram três rodadas de questionários entre 142 especialistas de diferentes áreas de qualidade de água. Na primeira rodada foram sugeridos 35 parâmetros aos técnicos que deveriam dar notas quanto sua importância para a qualidade, posteriormente foram selecionados os 15 parâmetros considerados mais representativos, que foram submetidos aos especialistas para escolha, de acordo com sua importância, as 9 variáveis que compõem o índice, na terceira rodada cada técnico elaborou curvas que representavam, no seu entendimento a variação da qualidade da água em função do parâmetro selecionado. Finalmente foram elaboradas nove curvas utilizando-se os valores médios das curvas obtidas para cada componente do IQA.

Dada a facilidade de medição dos parâmetros que o compõem, o IQA passou a ser um dos principais índices para avaliação da qualidade das águas no Brasil, principalmente quando se trata do monitoramento de águas superficiais. Contudo seu emprego requer certa cautela,

uma vez que as simplificações implícitas sem seu cálculo, podem mascarar ou subestimar os resultados, chegando a acarretar, mesmo que em escala muito reduzida, em níveis de classificação diferentes da real situação do ambiente.

O Projeto Águas de Minas, desenvolvido pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas, é responsável pelo monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas de Minas Gerais. Em execução desde 1997, o programa disponibiliza uma série histórica da qualidade das águas no Estado e gera dados indispensáveis ao gerenciamento dos recursos hídricos.

3.5 – INTERFERÊNCIA DO USO DO SOLO NA QUALIDADE DA ÁGUA

O tipo de atividade desenvolvida em uma bacia influencia diretamente a qualidade da água presente. Segundo Santos et al. (2018), a composição da água pode ser afetada pela declividade superficial e pela infiltração no solo de despejos domésticos e/ou defensivos agrícolas. Portanto a qualidade da água é resultado de uma série de fatores que vão desde os usos e ocupação dos solos até o tipo de atividade econômica desenvolvida, passando até mesmo pelo nível cultural dos habitantes da bacia.

Portanto, é de fundamental importância identificar e mapear as diferentes classes de uso da terra, assim como as atividades desenvolvidas, a fim de gerar subsídios para a análise da dinâmica ambiental na bacia e seus efeitos nos corpos d'água (CAMPOS, 2008). Nesse contexto, a elaboração de mapas de usos e ocupações mostra-se eficiente na construção do entendimento sobre como a qualidade da água nos rios e lagos é afetada pelas atividades desenvolvidas na bacia.

Para a confecção de mapas temáticos de uma bacia, faz-se necessário o uso de ferramentas que possibilitem o mapeamento e segmentação das diferentes feições presentes de forma rápida e dinâmica, uma vez que, esses ambientes estão em constantes modificações. Assim, a utilização de ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto mostra-se extremamente eficaz, pois, a partir de imagens de sensores instalados em satélites ou em aeronaves pode-se fazer o levantamento das informações da cobertura vegetal de toda a bacia de forma rápida e muito menos onerosa que os levantamentos em campo tradicionais.

Segundo Pancher (2012), a utilização das geotecnologias tem sido crescente, especialmente a partir da década de 1990. Através de cartografia digital, sensoriamento remoto e dos sistemas de informações geográficas, tem sido possível a elaboração de mapeamentos temáticos representativos dos aspectos físico-naturais e antrópicos da superfície terrestre,

permitindo-se desenvolver pesquisas relativas ao uso e ocupação das terras, bem como os reflexos deste processo antrópico nos recursos naturais.

Os usos e ocupações do solo na bacia influenciam diretamente na qualidade dos cursos d'água, conforme concluíram Ponte, Marques e Marques (2012), que verificaram melhorias relativamente rápidas na qualidade da águas do Córrego Banguelo – Contagem (MG), em áreas onde a vegetação ripária encontrou-se menos degradada, destacando a contribuição de espécies de macrófitas na depuração da água e de outras espécies terrestres na proteção contra erosão e aporte de sedimentos ao córrego.

Prado (2004) observou que as alterações no uso e cobertura da terra na bacia do reservatório de Barra Bonita–SP entre os anos de 1990 a 2002 indicaram que tem ocorrido um processo gradativo de expansão das fronteiras agrícolas e urbanas, comprometendo os remanescentes de vegetação natural e gerando uma carga maior de contaminantes (poluição pontual e difusa) que têm como destino os corpos d'água.

Rabelo et al. (2009) enquanto analisavam os impactos provenientes da conversão dos remanescentes de Cerrado sobre a manutenção e viabilidade ecológica em duas bacias hidrográficas no estado de Goiás, verificaram que os resultados do IQA obtidos para cada uma das bacias fornecem um claro entendimento de que quanto maior o nível de preservação da bacia, melhor a qualidade de sua água.

Além dos exemplos acima diversos outros trabalhos científicos identificaram interferências dos tipos de usos e ocupações do solo na bacia com a qualidade da água presente (FERNANDES et al., 2011; PEREIRA et al. 2016). Dessa forma, mapear os tipos de coberturas vegetais, o grau de antropização, e estado de preservação existente na bacia é de extrema importância no entendimento da distribuição espacial da qualidade de água presente nos mananciais.

Por meio do mapeamento podemos estratificar e quantificar as áreas de cada uma das diferentes atividades econômicas desenvolvidas na bacia, que interferem na qualidade da água de forma distintas. Normalmente, cursos d'água que cortam cidades ou recebem lançamentos de esgotos dessas áreas possuem sua qualidade deteriorada e apresentam altos teores de matéria orgânica, *Escherichia coli*, fósforo e potássio, além de baixas concentrações de oxigênio dissolvido (CAMELO, 2019).

Em relação aos corpos d'água que sofrem influência de áreas agrícolas, as principais degradações encontradas são a eutrofização, normalmente impulsionada por altas concentrações de micronutrientes como Fósforo, Potássio e Nitrato, além da presença de

defensivos agrícolas sintéticos (RESENDE, 2002; MERTEN e MINELLA, 2002 e STEFFEN, STEFFEN e ANTONIOLLI, 2011).

Em regiões com pastagens degradadas ou sem cobertura vegetal, normalmente, são identificados o aumento da turbidez e alto índice de assoreamento provocados pelo transporte de materiais dessas áreas para dentro dos rios e lagos (MACEDO, 2004).

Conforme verificado, os usos e ocupações geram diferentes impactos sobre os corpos d'água e, de acordo com o grau de degradação atingido, pode tornar o uso dos recursos hídricos ali presentes inviável para a maioria dos usos. Esse processo de inutilização dos corpos d'água é mais sensível ainda quando trata-se de abastecimento público, pois o fornecimento de água com baixa qualidade pode levar ao adoecimento da população, e com isso, interferir enormemente na qualidade de vida da população.

3.6 - CRISE HÍDRICA EM ITABIRA

O sistema de abastecimento de água no município de Itabira é de responsabilidade do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) que está em atividade desde maio de 1955, sendo responsável por suprir a demanda da cidade e realizar os serviços de coleta e tratamento de esgotos da cidade e seus distritos. A cidade passa por severas crises de falta da água, levando à necessidade de rodízios e racionamentos como formas de diminuir o consumo nos períodos de baixa precipitação.

Dentre os principais problemas desse tipo de manobra podemos destacar a deficiência do abastecimentos nas regiões mais altas da cidade e as variações de pressão na tubulação que pode comprometer a qualidade da água servida, uma vez que a ocorrência de pressões negativas pode propiciar a entrada de contaminante proveniente do solo na tubulação, caso a mesma esteja danificada.

Além do baixo investimento em captação e distribuição, pode-se identificar como agravantes do desabastecimento o alto consumo per capita e o alto índice de perdas na distribuição da cidade que estão acima da média brasileira, conforme Quadro 3.

De acordo com informações disponíveis em consulta pública, aberta pelo SAAE, para viabilizar investimento na infraestrutura de abastecimento de água da cidade, pode-se identificar que, em dois pontos de captação de água superficial do SAAE-Itabira/MG está havendo uma retirada de água acima da vazão outorgada (Quadro 4). Esse excesso além de sujeitar a autarquia a possíveis sanções dos órgãos reguladores, pode ocasionar em riscos para

o meio ambiente uma vez que não há estudos para avaliar se as vazões remanescentes são suficientes para a manutenção da vida nos cursos d'água e atender as demandas a jusante.

Quadro 3 - Consumo médio e perdas de água na distribuição nos anos de 2011 a 2018.

Ano	Itabira-MG		Brasil	
	Consumo médio L/hab/dia	Perdas %	Consumo médio L/hab/dia	Perdas %
2011	150,60	39,55	134,16	32,95
2012	164,30	39,52	139,07	32,23
2013	173,00	38,66	138,25	31,59
2014	171,00	38,07	140,99	30,68
2015	152,20	Inconsistente	135,22	31,15
2016	116,60	51,50	136,90	31,40
2017	139,57	34,20	137,23	31,52

Fonte: SNIS, 2018.

Quadro 4 - Vazões outorgadas ao SAAE Itabira-MG versus Vazão captada

Manancial	Outorga (L/s)	Vazão Captada (L/s)
Ribeirão Candidópolis	80	180
Córrego Pai João	40	76
Jirau	100	100
Poços Artesianos (Três Fontes)	61	60
Poços Artesianos (Areão)	52	42
Rio do Peixe	60	60
Córrego Água Santa	20	0

Fonte: Adaptado de CGP (2018)

Outro ponto importante que deve ser considerado é que existem diversas iniciativas da prefeitura de Itabira-MG, e de outros segmentos da sociedade que buscam a diversificação econômica da cidade, que atualmente é muito dependente da mineradora Vale S.A. Dessa forma, um abastecimento de água potável que possa suprir eventuais aumentos de demanda é determinante para atração de empresas, e para o desenvolvimento da cidade. Assim, é possível verificar que a cidade de Itabira-MG precisa, com urgência, adequar as captações irregulares e incluir novos mananciais no seu sistema de abastecimento.

Com o objetivo de solucionar o problema de desabastecimento da cidade de Itabira-MG, o Conselho Gestor de Parcerias Público Privadas (CGP), iniciou em 2018 a consulta pública (nº 1/2018) para apresentação da eventual e futura parceria público-privada (PPP) destinada à expansão do sistema municipal de abastecimento de água (CGP, 2018).

A vazão necessária para suprir a demanda da cidade foi calculada pela equipe que elaborou a proposta considerando a projeção do crescimento populacional, bem como um possível aumento da demanda. Resumidamente é apresentado no documento o Quadro 5, onde é descrita a relação oferta atual versus demanda em 2015 e sua projeção para 2047.

Quadro 5 – Oferta versus demanda na cidade de Itabira-MG em 2015 e sua projeção até o ano de 2047.

Estações de captação	Capacidade Nominal (L/s)	Produção Normal (L/s)	Produção na Seca (L/s)	Demanda Água Urbano 2015 (L/s)	Demanda Água Urbano 2047 (L/s)
Pureza	160	170	50	405	518
Três Fontes*	120	60	60		
Gatos	110	184	132		
Pará*	50	0	0		
Areão*	50	42	42		
Rio do Peixe	70	60	60		
Total	560	516	344		

* Captações subterrâneas

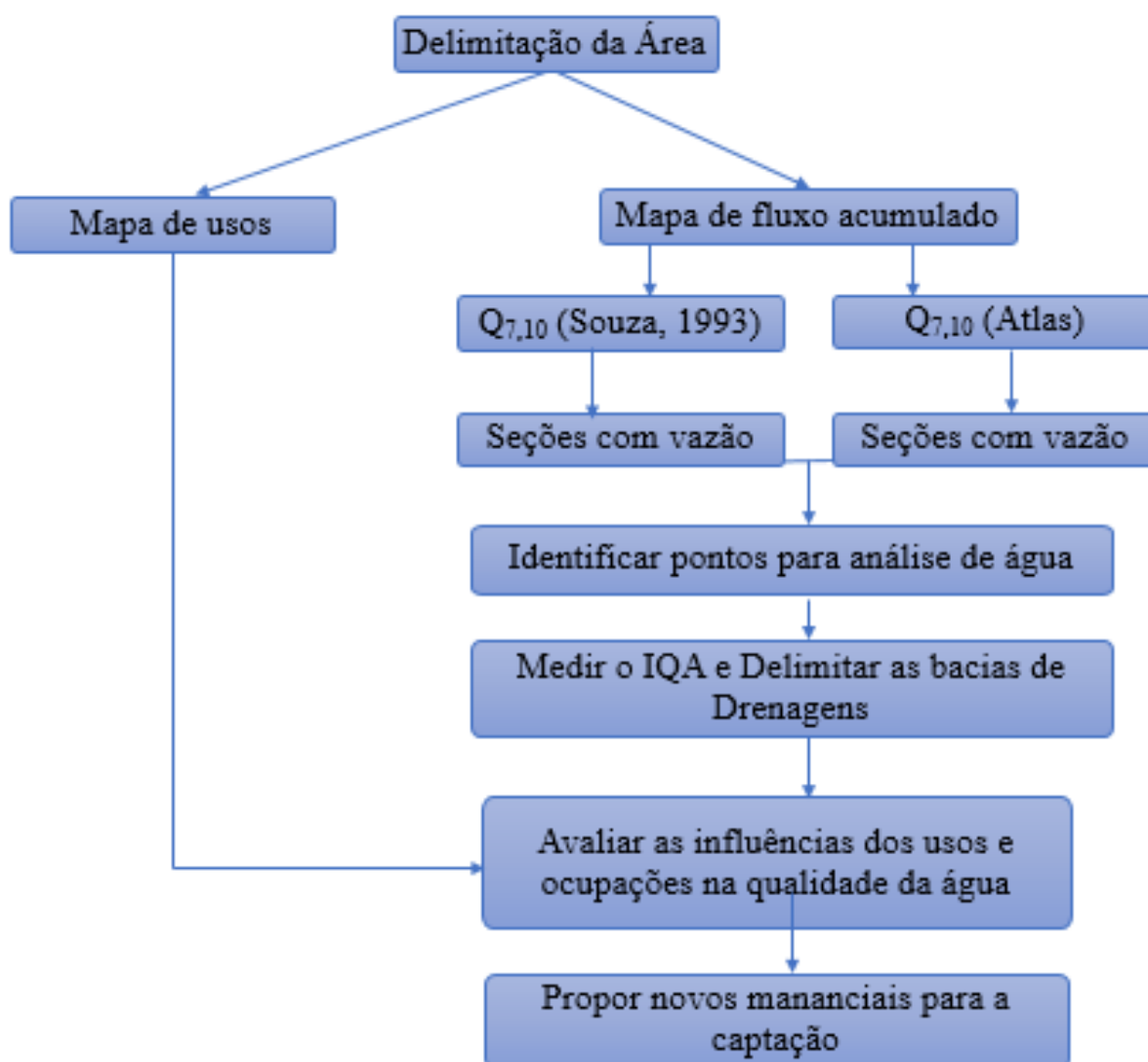
Fonte: (CGP, 2018) – Adaptado

Portanto, dentre outras sugestões de adequações do sistema a proposta de PPP, estabelece como suficiente para atender as demandas da cidade até 2047, com relativa margem de segurança, um acréscimo de vazão de **200 L/s**, possibilitando inclusive, que as captações subterrâneas Três Fontes e Pará e Areão sejam desativadas e passem a servir com reservas estratégicas (CGP, 2018).

4 – MATERIAIS E MÉTODOS

De forma simplificada a metodologia empregada neste trabalho pode ser apresentada no fluxograma da Figura 1 abaixo:

Figura 1- Fluxograma da metodologia do trabalho



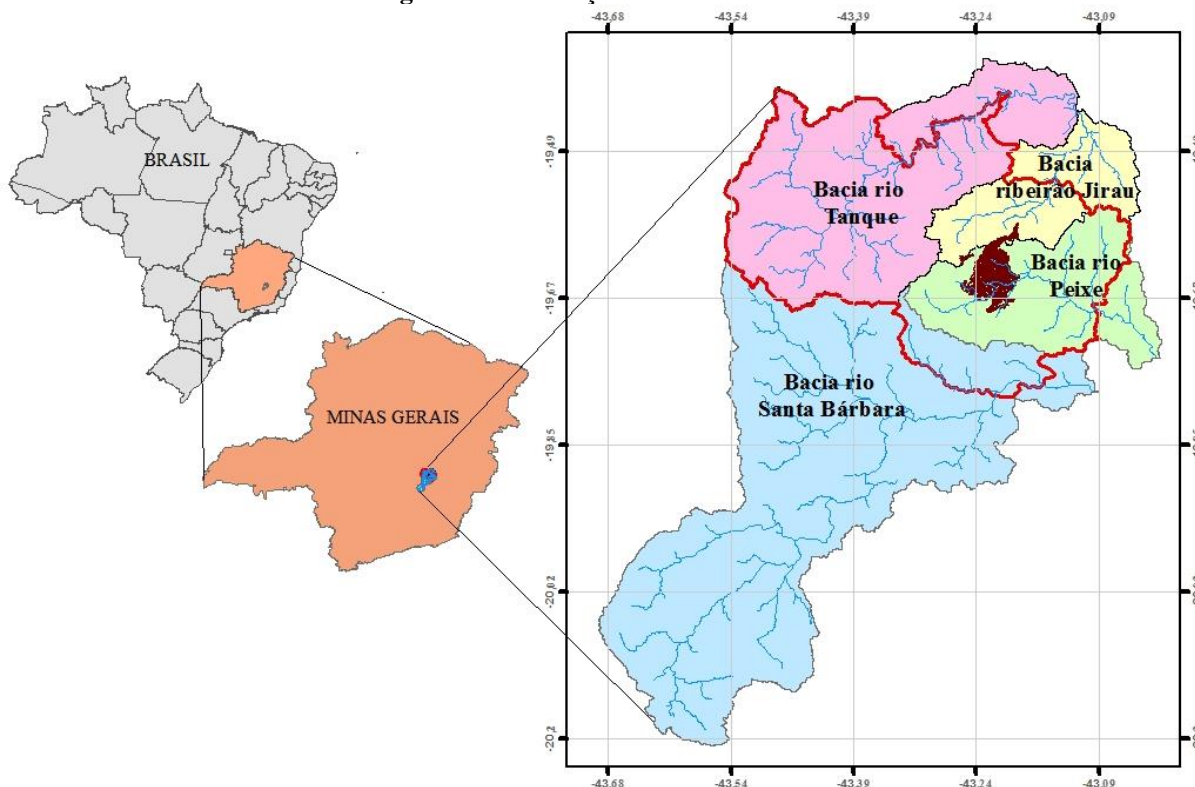
4.1 – ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo do presente trabalho está localizada na região sudeste do Brasil, dentro da bacia do rio Doce em Minas Gerais e conta com três bacias de 3ª ordem que envolvem o município de Itabira-MG: a bacia hidrográfica do rio Santa Bárbara a sudoeste, bacia do rio do Peixe a sudeste, onde encontra-se a maior parte da área urbana e a bacia do rio Tanque, ao norte, que engloba a maior parte do município (Figura 2).

A sede do município está assentada sobre o divisor de águas das bacias dos rios Piracicaba e Santo Antônio, os quais pertencem às Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) DO2 e DO3, respectivamente.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no censo de 2010 a população do município de Itabira contava com 109.783 pessoas das quais 103.834 viviam na sede do município. Sua densidade populacional era de 87,57 habitantes por quilômetro quadrado. Para 2019, a estimativa é que a população alcançaria 120.060 pessoas até o final do ano (IBGE, 2019).

Figura 2- Localização da área de estudo.



A região é localizada na porção nordeste do quadrilátero ferrífero (ROESER e ROESER, 2010), com relevo levemente ondulado e o solo apresenta características serranas, constituído por sobreposição de camada de diferentes resistências ao desgaste e tendem a inclinarem-se em uma mesma direção e formam cortes abruptos, como na região central do município na denominada serra do Cauê (SILVA, 2007; VIDAL, 2019). O bioma predominante da região é o bioma Mata Atlântica e sua vegetação encontra-se bastante modificada pela atividade humana e foi substituída por cavas de mineração, adensamentos populacionais, florestas comerciais plantadas (*Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp.), e pastagens para bovinocultura, que apresentam alto grau de degradação.

Como trata-se de um estudo para propor uma fonte de captação de água para abastecimento da cidade, entende-se que deverão ser considerados somente pontos dentro dos limites do município, uma vez que a construção de adutoras e do sistema de captação dependem de obras de adequação e melhorias da infraestrutura do local, e normalmente, verifica-se uma certa resistência do poder público municipal em realizar investimento fora dos seus limites.

Outro fator importante está na necessidade de instalação das captações o mais próximo possível da cidade, uma vez que os custos de implantação, manutenção e operação do sistema tendem a aumentar, à medida que a distância do manancial até o local do tratamento aumenta.

Portanto, foram selecionados para análise somente as bacias do rio Peixe, Santa Bárbara e do rio Tanque até o encontro do rio principal com o ribeirão Jirau, que é um de seus principais afluentes, considerando que seus cursos d'água, mesmo que parcialmente, cortam o município de Itabira-MG, tornando-se potenciais mananciais para o abastecimento da cidade.

Para área de estudo foi calculada a $Q_{7,10}$ em todos os pontos dos cursos d'água, utilizando o SIG ArcGIS® 10.3 e as metodologias descritas a seguir.

4.2 – REGIONALIZAÇÃO DA $Q_{7,10}$

Para área de estudo foi calculado a $Q_{7,10}$ em todos os pontos dos cursos d'água, utilizando o SIG ArcGIS® 10.3 e as metodologias descritas a seguir.

4.2.1 – Cálculo da área de drenagem

As áreas de drenagem de cada ponto dos cursos d'água foram obtidas por meio do cálculo do fluxo acumulado. Para gerá-lo foi empregado o modelo digital de elevação (MDE) obtido por meio do satélite ALOS Palsar-FBS, com resolução espacial de 12,5 m (NASA, 2019). Para identificação dos cursos d'água e desenho de seus percursos foi utilizada a carta de bacias otocodificadas, em formato shapefile (IGAM, 2018).

Como o trabalho adotou um processo que considera a direção do fluxo, o primeiro procedimento foi obtenção do MDEHC (Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente), por meio da análise e correção das depressões ou elevações espúrias (células com valores inconsistentes com o relevo). As depressões e elevações espúrias presentes em um MDE ocasionam descontinuidade do escoamento superficial descendente para uma célula vizinha, por isso, foram identificadas com o emprego da ferramenta *Sink*, e corrigidas com a ferramenta *Fill*, ambos disponíveis no SIG.

A partir do MDEHC das bacias, foram gerados o mapa de direção de fluxo e o mapa de fluxo acumulado, empregando-se as funções *Flow Direction* e *Flow accumulation* disponíveis no software ArcGis®. O mapa de fluxo acumulado armazena em cada uma de suas células o número de pixels cuja vazão verte para aquele ponto. Assim, a área de drenagem de cada ponto foi obtida multiplicando-se a área do pixel (156,25 m²) pelo número de células vertentes.

De posse das áreas de drenagem para cada ponto da hidrografia, foram calculadas as vazões $Q_{7,10}$ para todos os pontos dos cursos d'água com o emprego das metodologias descritas a seguir em ambiente SIG.

4.2.2 – Cálculo da $Q_{7,10}$ baseado em Hidrotec (2011)

Para cálculo das equações de vazões mínimas, na bacia do Rio do Doce, onde está inserida a área de estudo, a equipe de desenvolvimento do Atlas Digital da Águas de Minas empregou o método tradicional, e para tanto fez a análise da homogeneidade de toda a bacia identificando duas regiões hidrologicamente homogêneas (HIDROTEC, 2011), conforme abaixo:

Região I: Das nascentes do rio Piranga até a estação fluviométrica de Cachoeira Escura abrangendo uma área de drenagem de 24.204 Km² localizada no trecho da calha do rio Doce entre a foz do rio Piracicaba e a foz do rio Santo Antônio e contendo os afluentes principais: Piranga, Xopotó, Turvo, Carmo, Peixe, Casca, Mombaça, Matipó, Sacramento, Piracicaba;

Região II: Restante da bacia do rio Doce até sua foz no oceano Atlântico (excluindo a bacia do rio Suaçuí Grande), abrangendo uma área de drenagem de 37.596 Km² e contendo os afluentes principais: Santo Antônio, Corrente Grande, Suaçuí Pequeno, Traíras, Caratinga, Laranjeiras, Resplendor, Manhuaçu, Guandu, Santa Joana, Santa Maria do Doce, Pancas, Bananal e São José.

Portanto, dentro do município de Itabira foram identificadas porções das duas regiões hidrologicamente homogêneas, sendo as bacias do rio do Peixe e Santa Bárbara na Região I e a do Tanque na Região II.

Assim, foram empregadas duas equações para cálculo da $Q_{7,10}$ nas sub-bacias em estudo, conforme equações abaixo:

Peixe e Santa Bárbara (Região I):

$$Q_{7,10} = 0,0038 \times (A_I^{1,0129}) \quad \text{Equação 1}$$

Tanque (Região II):

$$Q_{7,10} = 0,0011 \times (A_{II})^{1,0803} \quad \text{Equação 2}$$

Em que,

A_I = área de drenagem na região I (Km²);

A_{II} = área de drenagem na região II (Km²).

É importante salientar que, conforme HIDROTEC (2019), durante a análise de consistência da metodologia descrita no atlas, a equipe verificou que, pelo fato das equações de vazões mínimas de sete dias de duração serem obtidas em análise realizada em bacias hidrográficas cujas áreas de contribuição variaram de 272 a 24.204 Km², na região I e de 301 a 78.456 Km² na região II, certa cautela é aconselhável, no caso de estimativas para áreas de bacias de drenagem fora destes intervalos.

Assim, as células com áreas de drenagem menores que os limites recomendados foram excluídos da imagem com o emprego da ferramenta *Raster Calculator*, utilizando-se a equação 3 para a bacia do Peixe e Santa Bárbara e a equação 4 para a do Tanque.

$$A_I = \text{con}((\text{AreaAcu} \geq 272), \text{AreaAcu}) \quad \text{Equação 3}$$

$$A_{II} = \text{con}((\text{AreaAcu} \geq 301), \text{AreaAcu}) \quad \text{Equação 4}$$

Em que,

AreaAcu = é a área de contribuição para cada pixel ao longo da hidrografia em formato *Raster* (Km²);

Em relação aos limites máximos não foi necessário nenhum procedimento considerando que todas as bacias em estudos possuem áreas de drenagem totais menores que os limites superiores recomendados.

Posteriormente, os mapas resultantes do passo anterior foram utilizados no cálculo da $Q_{7,10}$ nas respectivas bacias, com o emprego das equações 1 e 2, também empregando a ferramenta *Raster Calculator*, chegando-se dessa forma às vazões mínimas em cada célula remanescente.

4.2.3 - Cálculo da $Q_{7,10}$ empregando a metodologia proposta por Souza (1993)

Outra metodologia empregada neste estudo foi a proposta por Souza (1993), que foi desenvolvida com o apoio da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) e buscou,

por meio de análises de séries históricas de 252 estações hidrográficas, traçar um perfil do comportamento hidrológico em todo o território do Estado de Minas Gerais. Esta metodologia foi empregada para a obtenção das $Q_{7,10}$, em todas as bacias da área de estudo, inclusive nas que apresentam área de drenagens inferiores às estabelecidas na metodologia anterior.

Segundo Souza (1993), para cálculo da $Q_{7,10}$, inicialmente é calculada a vazão característica relativa à seção de interesse que é dada pela Equação 5. Posteriormente, o resultado obtido é multiplicado pelo fator de proporção $F_{10,7}$, determinado conforme equação 8.

$$Q_m = 0,001 \times Rm_e \times Ad \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

Q_m = Vazão característica relativa à seção de interesse (m^3/s);

Ad = Área controlada pela seção (Km^2);

Rm_e = Rendimento médio específico equivalente na bacia controlada pela seção ($L/s.Km^2$).

O Rm_e deverá ser obtido pela sobreposição do limite da bacia de contribuição do ponto em análise ao mapa “RENDIMENTO ESPECÍFICO MÉDIO MENSAL: Contribuições Unitárias Mínimas com 10 Anos de Recorrência” (Figura 3).

Assim, após essa sobreposição, as bacias em estudos foram divididas em seções de acordo com suas diversas isolinhas do mapa, e os rendimentos específicos (RE) de cada seção gerada foram identificados conforme as orientações de Souza (1993) descritas abaixo:

1 – Para seções situadas entre duas isolinhas o RE é dado pela média aritmética dos valores associados às isolinhas;

2 - Quando o intervalo for delimitado por uma isolinha e o divisor de águas da bacia deverá ser feita a média entre o valor da isolinha limitante e valor do rendimento do ponto extremo do divisor de águas obtido por interpolação direta das duas isolinhas adjacentes.

3 - Quando a bacia estiver completamente contida entre duas isolinhas, deverá ser feita a interpolação das isolinhas que a envolvem para o centroide da bacia.

Dessa forma o rendimento médio específico equivalente (Rm_e), para toda a área de interesse, é equivalente média dos Rm ponderada pela área das respectivas seções, conforme Equação 6.

$$Rm_e = \frac{\sum_{k=1}^n Rm \cdot A_k}{\sum_{k=1}^n A_k}$$

Equação 6

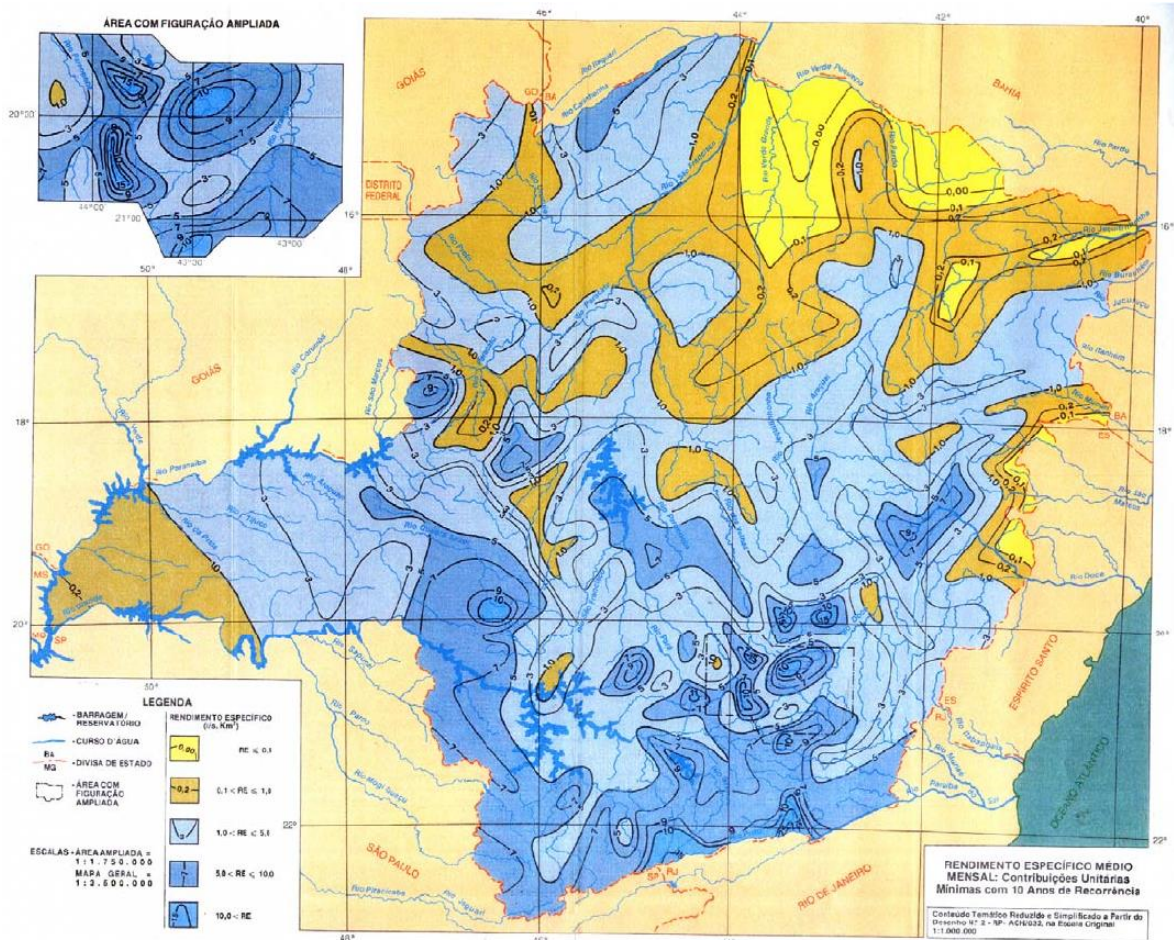
Onde:

Rm = Rendimento médio característico do intervalo (L/s.Km²);

A_k = Área do intervalo k na bacia (Km²);

n = Número total de intervalos contidos na bacia de interesse.

Figura 3 - Mapa RENDIMENTO ESPECÍFICO MÉDIO MENSAL: Contribuições Unitárias Mínimas com 10 Anos de Recorrência



Fonte: Souza, 1993.

Após cálculo da vazão característica da seção de interesse, a $Q_{7,10}$ foi calculada pela Equação 7, abaixo:

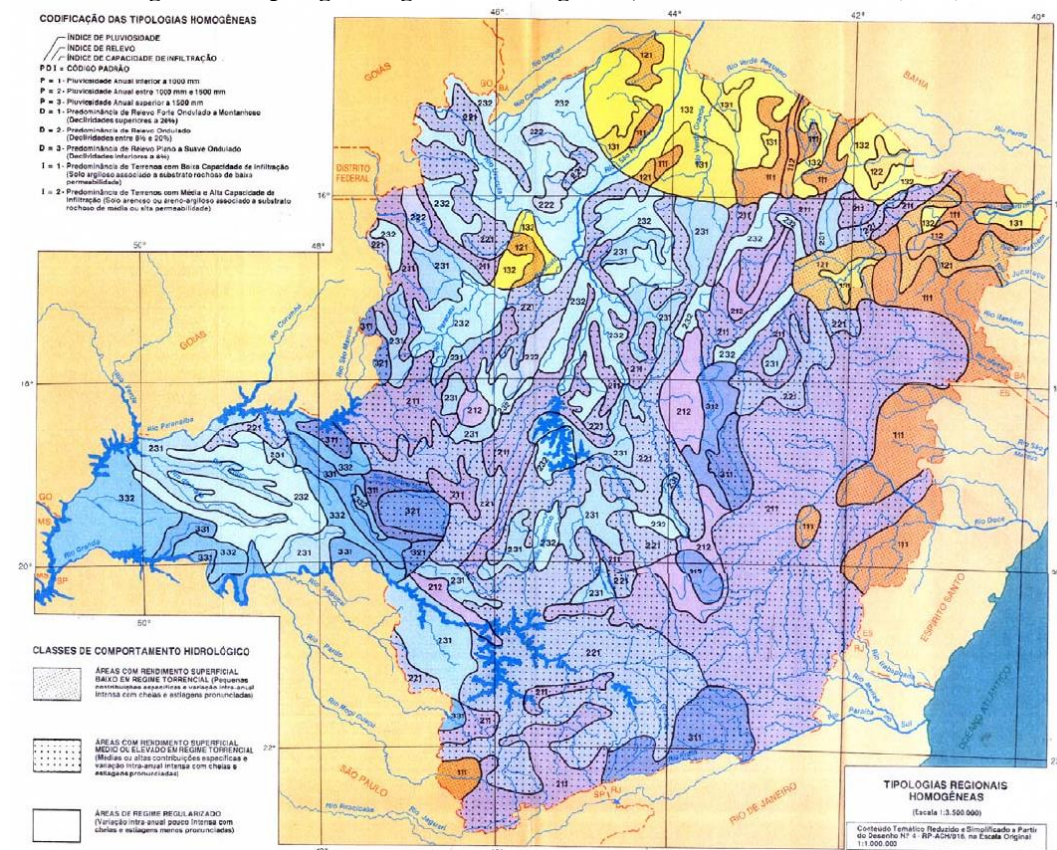
$$Q_{7,10} = F_{10,7} \times Q_m \quad \text{Equação 7}$$

Onde $F_{10,7}$ = Fator de proporção fornecido pela equação de inferência regionalizada para recorrência de dez anos, de acordo com a equação 8.

$$F_{10,7} = \alpha + \beta \times \gamma^7 \quad \text{Equação 8}$$

Onde os parâmetros α , β e γ são tabelados de acordo com as tipologias regionais da área de estudos, que são identificadas pela sobreposição do limite da bacia ao mapa de “TIPOLOGIAS REGIONAIS HOMOGÊNEAS” (Figura 4).

Figura 4 - Tipologias Regionais Homogêneas, de acordo com Souza (1993).



Fonte: Souza, 1993.

4.3 - ANÁLISE DA VAZÃO OUTORGÁVEL DISPONÍVEL

Com o objetivo de quantificar as vazões outorgadas nas bacias, foi solicitado junto ao IGAM, via lei de acesso à informação pública (BRASIL, 2011), por meio de cadastro no portal da transparência de Minas Gerais (protocolo de pedido nº 02240000014201944) a informação de todas as outorgas vigentes e os usuários insignificantes cadastrados em todos os municípios que compõem a área de estudos.

De posse do arquivo recebido, em formato .xls, contendo identificação dos usuários, a vazão outorgada e as coordenadas geográficas dos pontos de captação, os pontos foram espacializados e filtrados por bacia utilizando o software ArcGis®, sendo possível quantificar as vazões comprometidas na área de estudo.

Após o cálculo da $Q_{7,10}$ para todos os segmentos dos cursos d'água, foi feito o levantamento das vazões disponíveis para outorga nos cursos d'água em estudos que foi calculada com o emprego da Equação 9, adaptada de IGAM (2010) e corrigida de acordo resolução conjunta SEMAD-IGAM nº 1548 (IGAM, 2012) no que se refere à porcentagem da $Q_{7,10}$ outorgável para a área de estudos.

$$Q_{disp} = (0,50 \times Q_{7,10}) - \sum Q_{mont} - \sum Q_{jus} \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

Q_{disp} = Vazão disponível para outorga;

Q_{mont} = Vazões outorgadas a montante do ponto de interesse na bacia;

Q_{jus} = Vazões outorgadas no rio principal a jusante do ponto de interesse

Dessa forma foi possível identificar, em todo o território do município de Itabira, todos os pontos dos cursos d'água que possuem $Q_{7,10}$, suficiente para uma outorga unitária igual ou maior que 200 L/s.

Para análise da pressão da demanda sobre a disponibilidade hídrica nas bacias calculou-se o Índice de Conflito pelo Uso da Água na Gestão do Recursos Hídricos (i_{cg}), conforme proposto por Moreira et al. (2012), e obtido pelo emprego da Equação 10:

$$i_{cg} = \frac{Q_{out}}{x \cdot Q_{mr}} \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

i_{cg} = índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos (adimensional);

Q_{out} = vazão outorgada a montante da foz do segmento em estudo, em L/s;

Q_{mr} = vazão mínima de referência estimada na foz do segmento em estudo, em L/s;

x = porcentagem, expressa em decimal, da Q_{mr} passível de ser outorgada, adimensional;

Para o caso das bacias em estudos o valor de x é de 0,5, conforme definido pela resolução conjunta SEMAD-IGAM nº 1548, de 29 de março de 2012.

O valor do i_{cg} é adimensional e varia de zero a um número positivo. Segundo Moreira et al. (2012) o índice possui duas escalas de variação conforme abaixo:

$0 \leq i_{cg} \leq 1$ é a situação na qual as vazões outorgadas a montante da foz do segmento em estudo se encontram dentro dos limites legais; e

$i_{cg} > 1$ é a situação na qual as vazões outorgadas a montante da foz do segmento em estudo superam os limites previstos pela legislação.

utilizado por diversos pesquisadores da área, sendo referência no assunto (LOPES e MAGALHAES JUNIOR, 2010; COSTA e FERREIRA, 2018).

Em seus estudos, o projeto Águas de Minas utiliza o IQA que é calculado conforme parâmetros adotados pela National Sanitation Foundation (NSF), descrito por CETESB (2018), onde o valor do Índice é obtido através do produtório ponderado dos nove parâmetros de acordo com a equação 11:

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

Equação 11

Onde:

IQA = Índice de Qualidade das Águas. Um número entre 0 e 100;

q_i = Qualidade do i -ésimo parâmetro. Um número entre 0 e 100, obtido do respectivo gráfico de qualidade, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise).

w_i = peso atribuído ao parâmetro, em função de sua importância na qualidade, entre 0 e 1, conforme Quadro 5.

Quadro 6 - Parâmetros e pesos da variável w para cálculo do IQA para MG

Variável	Peso - w_i
<i>E. coli</i>	0,15
Potencial hidrogeniônico - pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO ₅ (mg/L)	0,10
Nitrato (mg/L NO ₃ ⁻)	0,10
Fósforo total (mg/L PO ₄ ²⁻)	0,10
Turbidez (UNT)	0,08
Sólidos Totais ST (mg/L)	0,08
Oxigênio dissolvido - OD (%OD _{Sat})	0,17
Variação de temperatura (°C)*	0,10
* Considerando que a variação da temperatura não compromete a qualidade da água no estado $\Delta t = 0$, portanto $q_i = 92$	

Fonte: InfoHidro (2019)

Para obtenção dos valores para a variável q_i , são empregadas as equações disponíveis no Quadro 7 e seus respectivos gráficos apresentados no Anexo III, conforme disponibilizado pelo Manual Técnico do Águas de Minas (INFOHIDRO, 2019).

Quadro 7 - Equações para cálculo da variável q_i

Parâmetro	Condição	Equações
<i>E. coli</i> (Ec) NMP/100 ml	$Ec \leq 10^5$ $Ec > 10^7$	$q_i = 98,24034 - 34,7145 \times (\log(Ec)) + 2,614267 \times (\log(Ec))^2 + 0,107821 \times (\log(Ec))^3$ $q_i = 3,0$
pH	$pH \leq 2,0$ $2,0 < pH \leq 6,9$ $6,9 < pH \leq 7,1$ $7,1 < pH \leq 12,0$ $12,0 < pH$	$q_i = 2,0$ $q_i = -37,1085 + 41,91277 \times pH - 15,7043 \times pH^2 + 2,417486 \times pH^3 - 0,091252 \times pH^4$ $q_i = -4,69365 - 21,4593 \times pH - 68,4561 \times pH^2 + 21,638886 \times pH^3 - 1,59165 \times pH^4$ $q_i = -7.698,19 + 3.262,031 \times pH - 499,494 \times pH^2 + 33,1551 \times pH^3 - 0,810613 \times pH$ $q_i = 3,0$
DBO ₅ (mg/L)	$DBO_5 \leq 30,0$ $DBO_5 > 30,0$	$q_i = 100,9571 - 10,7121 \times DBO_5 + 0,49544 \times DBO_5^2 - 0,011167 \times DBO_5^3 + 0,0001 \times DBO_5^4$ $q_i = 2,0$
Nitrato (NO ₃ ⁻) (mg/L)	$NO_3^- \leq 10,0$ $10,0 < NO_3^- \leq 60,0$ $60,0 < NO_3^- \leq 90,0$ $90,0 < NO_3^-$	$q_i = -5,1 \times NO_3^- + 100,17$ $q_i = -22,853 \times \ln(NO_3^-) + 101,18$ $q_i = 10.000.000.000 \times (NO_3^-)^{-5,1161}$ $q_i = 1,0$
Fósforo Total - P _{total} (mg/l)	$P_{total} \leq 10,0$ $P_{total} > 10,0$	$q_i = 79,7 \times (P_{total} + 0,821)^{-1,15}$ $q_i = 5,0$
Temperatura - T (°C)	$T > 15$	$q_i = 92$
Turbidez - Tu (NTU)	$Tu \leq 100$ $Tu > 100$	$q_i = 90,37 \times e^{(-0,0169 \times Tu)} - 15 \times \cos(0,0571 \times (Tu - 30)) + 10,22 \times e^{(-0,231 \times Tu)} - 0,8$ $q_i = 5,0$
Sólidos totais ST (mg/L)	$ST \leq 500$ $ST > 500$	$q_i = 133,17 \times e^{(-0,0027 \times ST)} - 53,17 \times e^{(-0,0141 \times ST)} + [(-6,2 \times e^{(-0,00462 \times ST)}) \times \sin(0,0146 \times ST)]$ $q_i = 30,0$
% saturação de oxigênio - %OD	$\%OD \leq 100$ $100 < \%OD \leq 140$ $140 < \%OD$	$q_i = 100 \times (\sin(y_1))^2 - [(2,5 \times \sin(y_2) - 0,018 \times \%OD + 6,86) \times \sin(y_3)] + [12/(e^{y_4} + e^{y_5})]$ Sendo: $y_1 = 0,01396 \times \%OD + 0,0873$; $y_2 = 0,0561 \times (\%OD - 27)$; $y_3 = 0,03696 - (\%OD - 15)$; $y_4 = (\%OD - 65)/10$; $y_5 = (65 - \%OD)/10$ $q_i = -0,00777142857142832 \times (\%OD)^2 + 1,27854285714278 \times \%OD + 49,8817148572$ $q_i = 47,0$

Fonte: Adaptado de INFOHIDRO (2019)

Finalmente, após obtenção do IQA, foi realizada a identificação da qualidade da água que pode ser classificada em excelente, boa, média, ruim e muito ruim, conforme Tabela 1.

Tabela 1- Classificação do corpo d'água conforme IQA e tipo de tratamento recomendado

Valor do IQA	Classes	Significado
$90 < \text{IQA} \leq 100$	Excelente	Águas apropriadas para tratamento convencional visando o abastecimento público
$70 < \text{IQA} \leq 90$	Boa	
$50 < \text{IQA} \leq 70$	Média	
$25 < \text{IQA} \leq 50$	Ruim	Águas impróprias para tratamento convencional visando o abastecimento público, sendo necessários tratamentos mais avançados
$\text{IQA} \leq 25$	Muito Ruim	

Fonte: InfoHidro (2019)

4.6 – MAPA DE USO E OCUPAÇÃO

Para levantamento dos usos e ocupações existentes nas bacias foi utilizada a carta elaborada pela equipe do projeto MAPBIOMAS, que é uma parceria colaborativa de especialistas em biomas, usos da terra, sensoriamento remoto, SIG e ciência da computação, que por meio do processamento computacional em nuvem e classificadores automatizados operando na plataforma Google Earth Engine[®]. Tal equipe fez os mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil com resolução espacial de 30m dos últimos 34 anos (1985 a 2018) (MAPBIOMAS, 2019).

O mapa disponibilizado pelo projeto MAPBIOMAS para o ano de 2018, foi obtido em formato matricial (ou raster) e posteriormente teve sua classificação validada em ambiente SIG, com a sobreposição à imagem de satélite de alta resolução Sentinel[®] - 2A, bandas 4,3,2 (RGB) obtidas em 28 de julho de 2019. Assim, foi realizada uma análise visual, identificando e corrigindo falhas na classificação automática e alterações no uso ocorrida neste período, obtendo-se assim o mapa de uso e ocupação do solo para o ano de 2019.

Originalmente o projeto MAPBIOMAS segmenta toda a cobertura do solo do Brasil em 27 classes (Quadro 8). Contudo, considerando que algumas denominações não são identificadas na área de estudos, durante a correção dos erros as classes restantes foram agrupadas, conforme análise visual, em 9 tipos de usos que são predominantes na região, sendo incluída uma nova classe correspondente às Lagoas de Rejeitos (ausente na classificação do MAPBIOMAS), uma vez que é uma feição muito comum na área em estudo e pode ter influência sobre a qualidade das águas dos mananciais próximos.

Quadro 8- Tipos de coberturas vegetais.

1. Floresta	3.2. Agricultura
1.1. Floresta Natural	3.2.1. Cultura Anual e Perene
1.1.1. Formação Florestal	3.2.2. Cultura Semi-Perene
1.1.2. Formação Savânica	3.3. Mosaico de Agricultura e Pastagem
1.1.3. Mangue	4. Área não Vegetada
1.2. Floresta Plantada	4.1. Praia e Duna
2. Formação Natural não Florestal	4.2. Infraestrutura Urbana
2.1. Área Úmida Natural não Florestal	4.3. Mineração
2.2. Formação Campestre	4.4. Outra Área não vegetada
2.3. Apicum	5. Corpos D'água
2.4. Afloramento Rochoso	5.1. Rio, Lago e Oceano
2.5. Outra Formação Natural Não Florestal	5.2. Aquicultura
3. Agropecuária	6. Não Observado
3.1. Pastagem	

Fonte: MAPBIOMA (2019)

4.7 - INFLUÊNCIA DOS USOS E OCUPAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA DOS MANANCIAIS

Após a definição dos pontos para amostragem de água, foi calculada, em ambiente SIG, a bacia de drenagem para cada ponto empregando a ferramenta “Watershed” do software ArcGis®. Na sequência essas bacias tiveram suas principais características morfométricas calculadas conforme fórmulas apresentadas no Quadro 9 e seus limites foram sobrepostos ao mapa de uso e ocupação elaborado, possibilitando a quantificação das áreas dos diferentes tipos de usos e ocupações que vertem para aquela seção do curso do manancial.

Posteriormente, as características morfométricas, bem como a porcentagens dos diferentes tipos de uso dos solos das bacias de drenagem de cada ponto amostrado, foram correlacionadas com os respectivos valores dos parâmetros que compõem o IQA obtidos em coletas de águas nos períodos de chuvas e de secas na região, empregando-se para tanto, o teste de correlação linear de Spearman.

Quadro 9 - Características morfométricas analisadas.

<i>Característica Morfométrica</i>	<i>Descrição</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Fonte</i>
Amplitude Altimétrica	Diferença de altitudes entre o ponto de maior e o de menor altitude da bacia (fz)	$H = H_{\text{máx}} - H_{\text{min}}$	Strahler (1952)
Densidade de drenagem	Relação entre o comprimento da rede de drenagem (Cr) e a área da bacia (A)	$Dd = Cr/A$	Horton (1945)
Índice de rugosidade	Produto entre a amplitude altimétrica e a densidade de drenagem	$HD = H \times Dd$	Strahler (1958)
Índice de Sinuosidade	Quociente da divisão do comprimento do canal principal (L) pela distância vetorial entre os pontos extremos do canal principal (dv).	$Is = L/dv$	Schumm (1963)
Índice de Circularidade	Quociente entre a Área da bacia (A) e a área de um círculo (Ac) de igual perímetro.	$Ic = A/Ac$	Müller (1953)

Para tanto empregou o software estatístico R[®] utilizando o teste de Spearman, ao nível de significância de 5 % (p-Valor $\leq 0,05$),

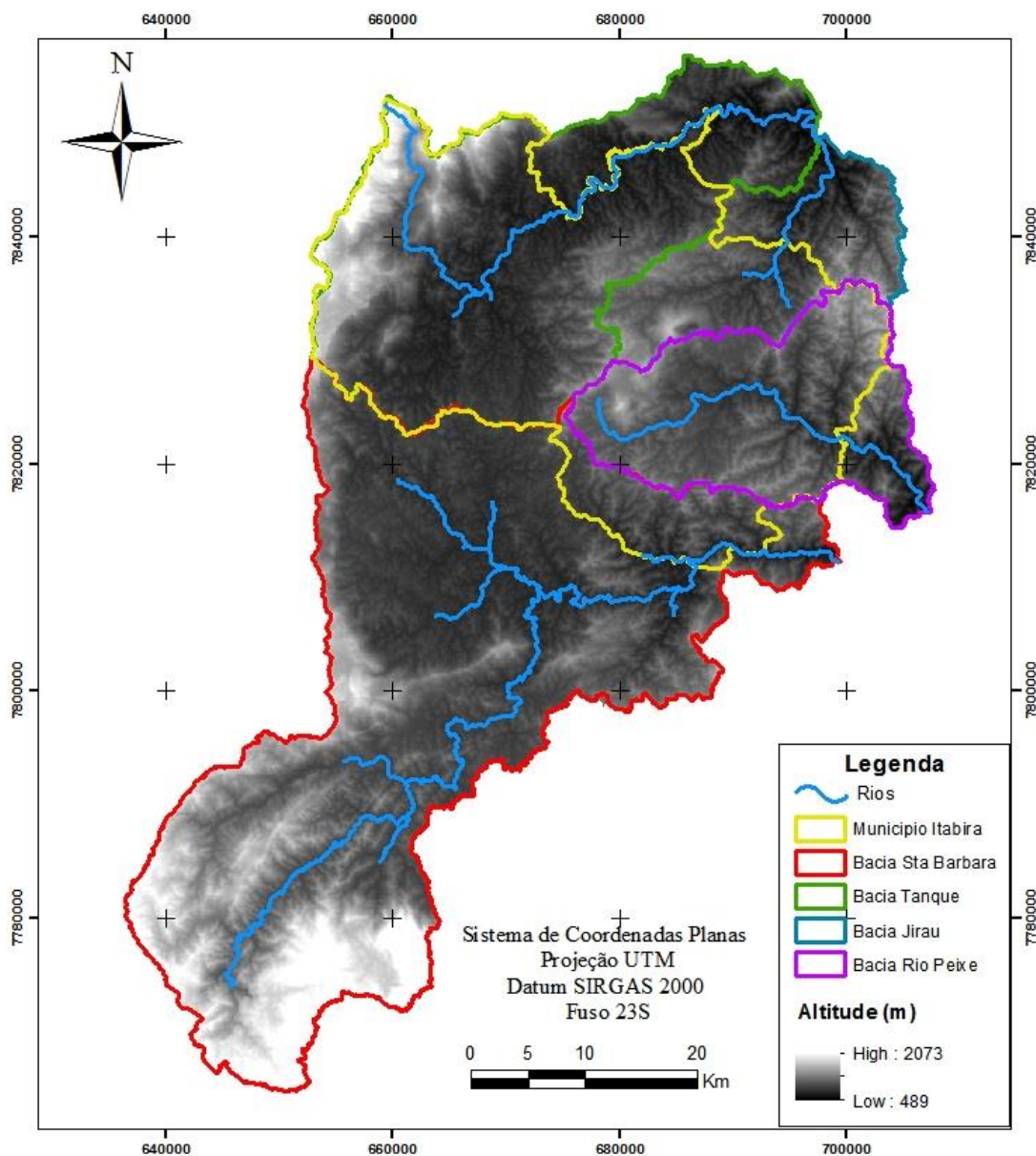
Após essa análise foram apresentadas as seções dos cursos d'água mais indicadas para a instalação da nova captação de água para complementar o sistema de abastecimento da cidade, considerando a vazão disponível para outorga e a qualidade da água.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 – MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO HIDROLOGICAMENTE CONSISTENTE (MDEHC)

Na Figura 6, está representado o MDEHC gerado para a área de estudos, onde foi possível identificar que a bacia do rio Tanque é a de maior extensão no município de Itabira-MG do ponto de vista geográfico e hidrológico. Essa bacia possui uma área de drenagem de 1.780,85 Km², sendo que 800,88 Km² ficam dentro dos limites do município e corresponde a 63,9% da área deste. Além do seu rio principal, que possui uma extensão de 76,58 Km dentro do município, esta bacia conta com o ribeirão Jirau em cuja micro-bacia, está assentado grande parte do complexo minerador da empresa Vale S.A.

Figura 6 - MDEHC da área de estudo.



A segunda bacia com maior área dentro do município de Itabira é a bacia do rio Peixe, onde está localizada maior parte da área urbana cidade. Essa bacia possui uma área de 408,15 Km² dos quais 335,75 Km² ficam dentro do município e correspondem a 26,8% da área do município. Seu rio principal possui 57,30 Km dos quais 37,29 Km ficam dentro do município de Itabira e o restante (20,01 Km) percorre o município de Nova Era, onde está sua foz.

Finalmente, correspondendo a 9,32% da área do município está uma pequena porção da bacia do rio Santa Bárbara. Essa Bacia possui ampla rede de drenagem e do seu curso d'água principal apenas 8,93 Km percorrem o município de Itabira-MG.

5.2 – CÁLCULO DA $Q_{7,10}$ UTILIZANDO A METODOLOGIA PROPOSTA POR HIDROTEC (2011)

A partir do MDEHC obtido, foi gerado o mapa de fluxo acumulado que traz em seus atributos a área de contribuição para cada pixel da rede de drenagem das bacias em estudo.

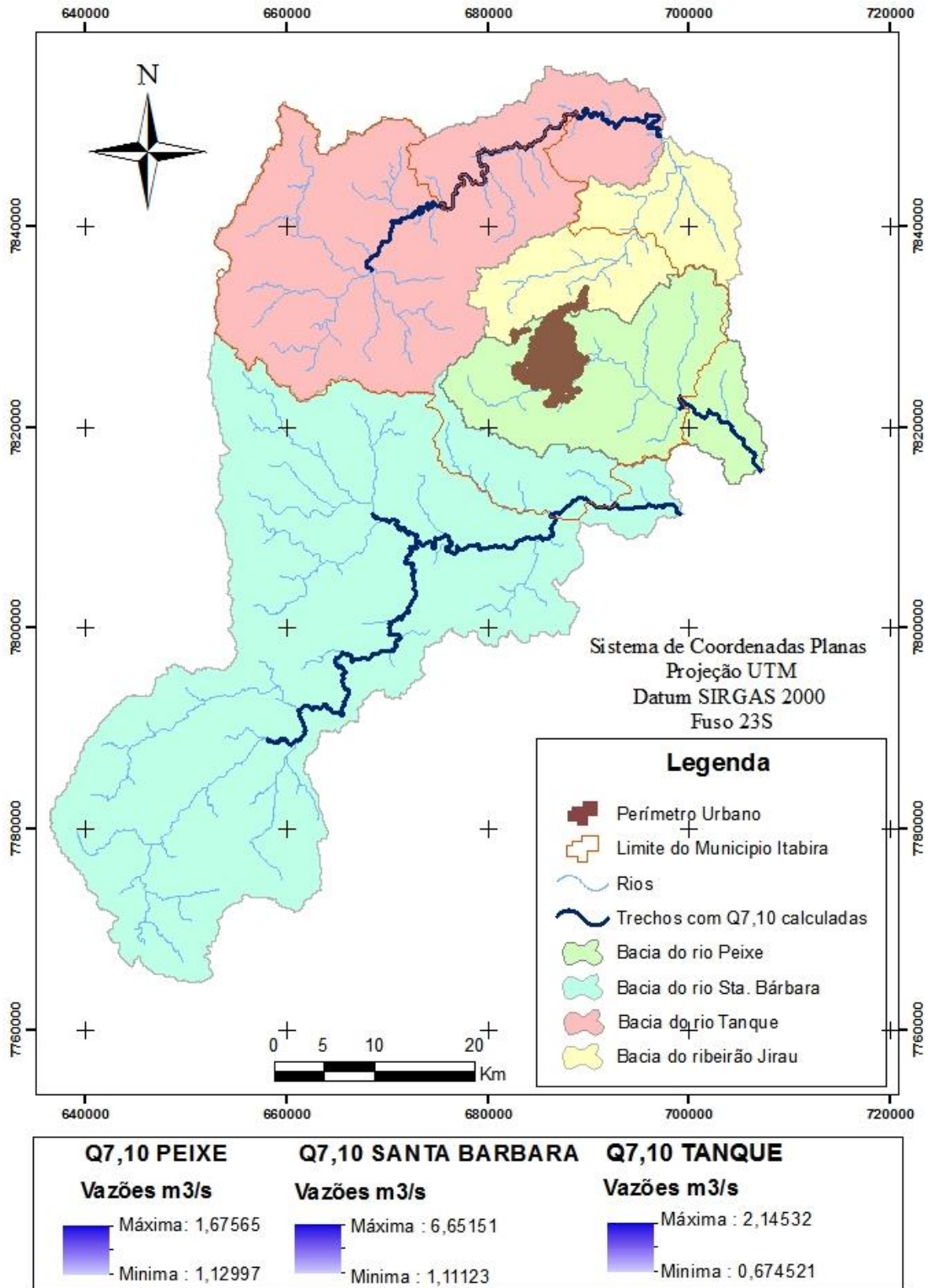
Em seguida foram empregadas as equações disponibilizada na plataforma digital do projeto Atlas Digital das Água de Minas para o cálculo da vazão mínima $Q_{7,10}$ (Equações 1 e 2), tendo como parâmetro de entrada a área de drenagem para cada pixel da malha hidrográfica, conforme representado na Figura 7, onde também estão destacados os trechos dos rios que onde as restrições por área mínima permitiram o emprego das equações.

Portanto, para cada bacia foram obtidas vazões variando do seu exultório (ponto com as maiores vazões encontradas) até o pixel que possuía a área de drenagem mínima para o emprego das respectivas equações, como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Variação das vazões por microbacia.

Microbacia	Maior vazão calculada		Menor vazão calculada	
	(m ³ /s)	(L/s)	(m ³ /s)	(L/s)
Rio do Peixe	1,67	1670	1,13	1130
Rio Santa Bárbara	6,65	665	1,11	1110
Rio do Tanque	2,15	2150	0,67	670

Figura 7 - Vazão mínima $Q_{7,10}$ calculada para cada bacia.



Embora as maiores vazões tenham sido encontradas fora do limite administrativo do município, há consideráveis extensões dos rios dentro do município que possuem vazões superiores à demanda. Na bacia do rio do Peixe, que é atualmente o principal manancial de abastecimento da cidade, a menor $Q_{7,10}$ calculada é de 1.128,57 L/s, que é muito superior à

vazão necessária para atender a demanda da cidade. Dessa forma é possível verificar que pontos com áreas de drenagens menores também poderiam atender, mas foram excluídos da análise devido à limitação da metodologia empregada.

Para a bacia do rio Tanque a menor área de drenagem recomendada resultou em uma vazão igual a 674 L/s, evidenciando que, igualmente à bacia do rio Peixe, pontos que poderiam ser potenciais locais de captação também podem ter sido negligenciados.

Em princípio, esse raciocínio poderia ser descartado para a bacia do rio Santa Bárbara, uma vez que estão sendo estudados somente mananciais dentro do município de Itabira e este localiza-se na parte baixa da bacia. Contudo, em análise mais detalhada foi possível verificar que a restrição por área de drenagem mínima excluiu da análise o ribeirão do Bexiga, um afluente que, além do rio principal, possui parte de área de drenagem no município e também poderia ser analisado quanto ao seu potencial de abastecimento.

Contudo, como em todas as bacias as menores vazões calculadas são superiores à demanda e a limitação das equações empregadas, em termos de área mínima, excluiu locais que poderiam apresentar vazões factíveis de estudos para a captação, faz-se necessário, portanto, empregos de outras técnicas de regionalização de vazões para a área de estudos.

5.3 – METODOLOGIA PROPOSTA POR SOUZA (1993)

5.3.1 – Cálculo da vazão característica

Após a sobreposição, em ambiente SIG, dos limites das bacias em estudo sobre o mapa “RENDIMENTO ESPECÍFICO MÉDIO MENSAL: Contribuições Unitárias Mínimas com 10 Anos de Recorrência” onde foi possível identificar que existem na área de estudo um total de 17 seções (Figura 8), que tiveram seus rendimentos médios específicos calculados conforme orientação de Souza (1993), e os resultados estão apresentados na Tabela 3, juntamente com suas respectivas áreas.

Figura 8 - Regiões com diferentes R_{ms} na área de estudos (L/s/Km²)

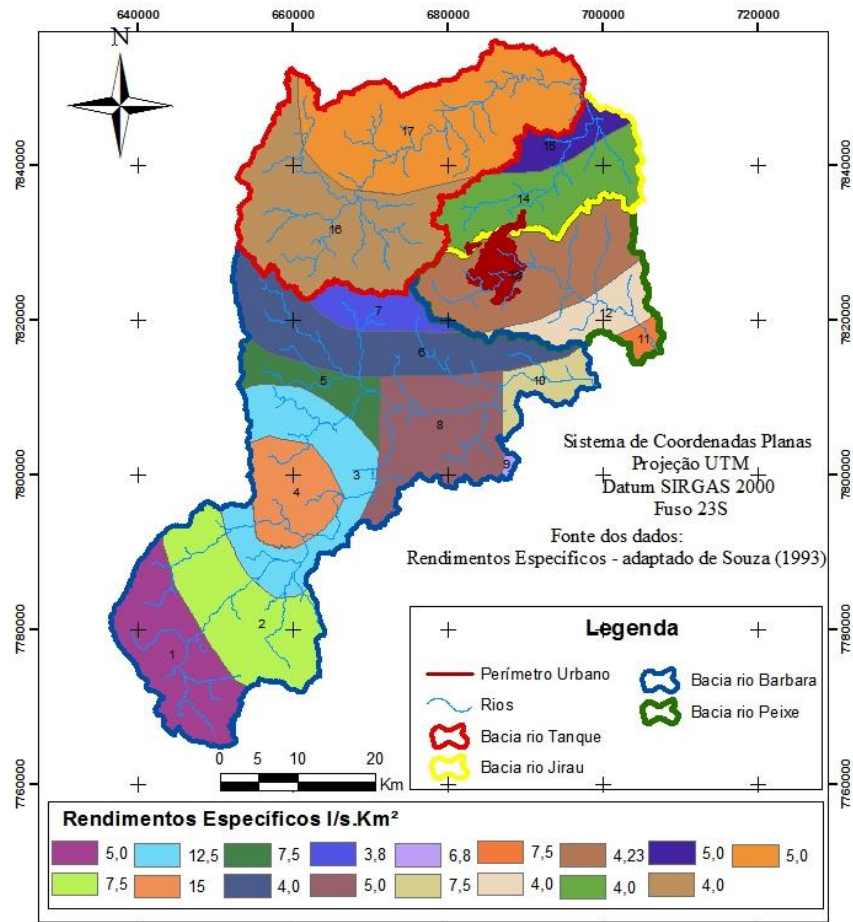


Tabela 3 - Rendimentos médio específicos e área de cada seção

Bacia	Seção	Rendimento Médio Específico (L/s.Km ²)	Área (Km ²)
Santa Bárbara	1	5,00	228,52
	2	7,50	259,40
	3	12,50	232,68
	4	15,00	132,33
	5	7,50	89,57
	6	4,00	263,20
	7	3,80	77,98
	8	5,00	238,81
	9	6,80	4,85
	10	7,50	64,73
Peixe	11	7,50	20,78
	12	4,00	93,84
	13	4,23	294,18
Jirau	14	4,00	206,04
	15	5,00	65,38
Tanque	16	4,00	391,62
	17	5,00	447,78

De posse dos valores dos R_m e das áreas de todas as seções foram calculados os R_{m_e} de cada uma das bacias utilizando a equação 6, que resultou nos valores abaixo:

- Bacia do rio Santa Bárbara: 7,36 L/s.Km²;
- Bacia do rio Peixe: 4,34 L/s.Km²;
- Sub-bacia ribeirão Jirau: 4,24 L/s.Km²;
- Bacia do rio Tanque: 4,53 L/s.Km².

Para possibilitar o emprego do software ArcGis® no cálculo da $Q_{7,10}$ em toda a malha hidrográfica, variando somente em função da área de drenagem de cada ponto, admitiu-se os R_{m_e} como constante em toda a extensão da bacia, desconsiderando a variação das proporções de cada seção na área de drenagem dos pontos ao longo dos cursos d'água.

Dessa forma a equação 5, pôde ser reescrita para cada bacia conforme equações, 12, 13, 14 e 15, abaixo:

Santa Bárbara:

$$Qm_{SB} = 7,36 \times Ad \quad (\text{L/s}) \quad \text{Equação 12}$$

Peixe:

$$Qm_P = 4,34 \times Ad \quad (\text{L/s}) \quad \text{Equação 13}$$

Jirau:

$$Qm_J = 4,24 \times Ad \quad (\text{L/s}) \quad \text{Equação 14}$$

Tanque:

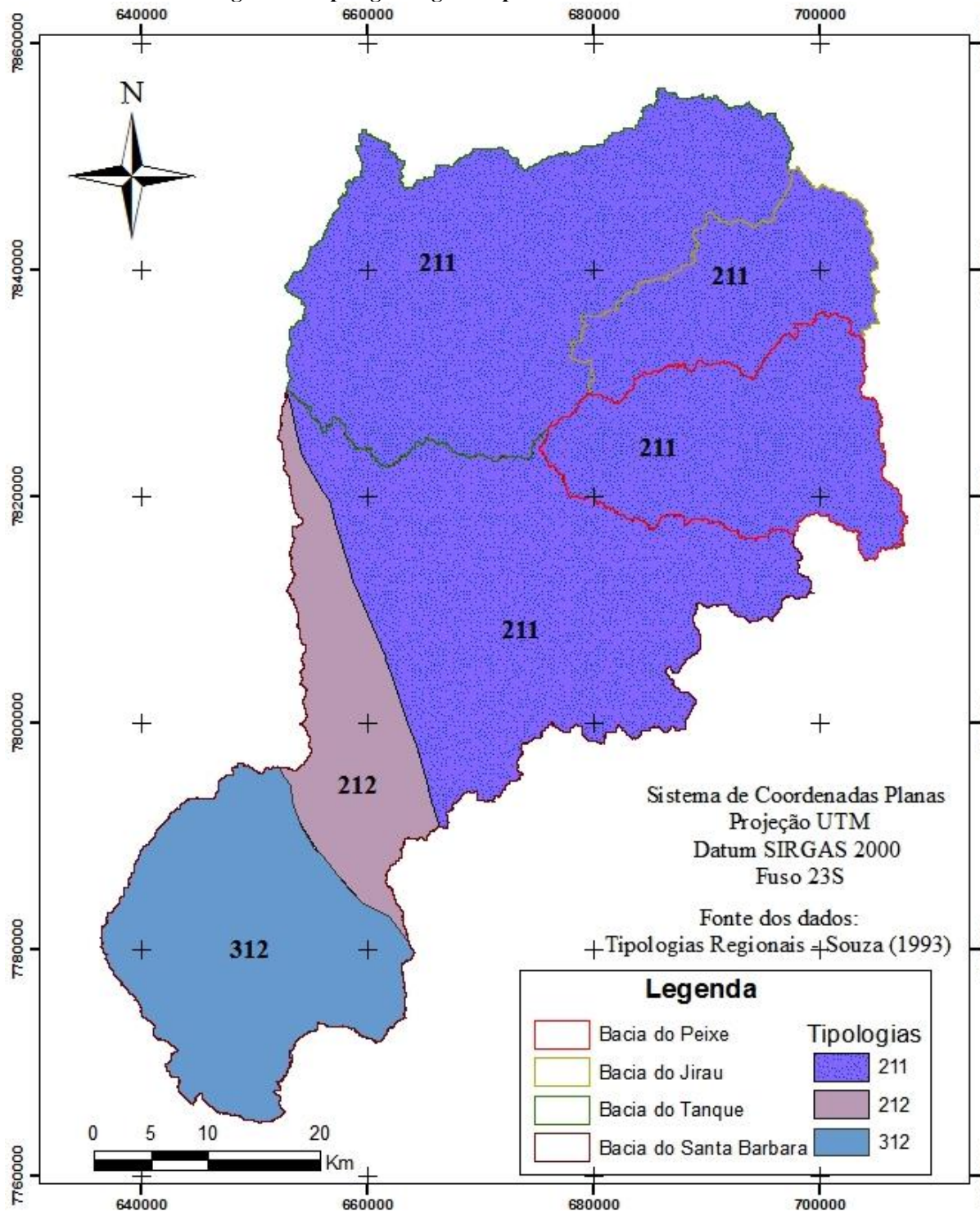
$$Qm_T = 4,53 \times Ad \quad (\text{L/s}) \quad \text{Equação 15}$$

Onde: Ad em Km²

5.3.2 – Cálculo do Fator de Proporção ($F_{10,7}$)

Para identificação das tipologias regionais homogêneas da área de estudos, foi feita a sobreposição dos limites das bacias ao mapa “TIPOLOGIAS REGIONAIS HOMOGÊNEAS” (Figura 4), onde foi possível identificar que a tipologia 211 é predominante na região, cobrindo totalmente as bacias do Tanque e Peixe. Já a bacia do rio Santa Bárbara abrange segmentos das tipologias 211, 212 e 312 (Figura 9).

Figura 9 - Tipologias regionais presentes na área de estudos



Após consulta às tabelas disponibilizada por Souza (1993), foram identificados os valores dos parâmetros α , β e γ , que foram empregados na Equação 8 para obtenção dos fatores de proporção para cada uma das tipologias (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores dos parâmetros e fator de proporção

Tipologia	α	β	γ	$F_{10,7}$
211	0,465547	0,402812	1,007099	0,888807
212	0,470123	0,417122	1,005897	0,904771
312	0,469484	0,424686	1,005587	0,911060

Fonte: Souza (1993)

5.3.3 – Equações para o cálculo da $Q_{7,10}$

Assim, as equações da $Q_{7,10}$, variando em função da área de drenagem nas bacias dos rios Tanque, Peixe e Jirau, foram obtidas pela substituição dos valores de $F_{10,7}$ e das Equações 11, 12 e 13 na Equação 5 resultando nas Equações 16, 17 e 18, respectivamente:

Rio Tanque:

$$Q_{7,10T} = 4,0263 \times Ad \quad (\text{L/s}) \quad \text{Equação 16}$$

Rio Peixe:

$$Q_{7,10P} = 3,8574 \times Ad \quad (\text{L/s}) \quad \text{Equação 17}$$

Ribeirão Jirau:

$$Q_{7,10J} = 3,7685 \times Ad \quad (\text{L/s}) \quad \text{Equação 18}$$

Como na composição da bacia do rio Santa Bárbara foram encontradas as tipologias 211, 212 e 312, cujas áreas estão discriminadas na Tabela 5, o fator de proporção da bacia total foi calculado como sendo a média dos $F_{10,7}$ em cada uma das três tipologias, ponderada pela área de cada segmento empregando-se a equação 19.

$$F_{10,7 SB} = \frac{\sum_{k=1}^n F_{10,7} \cdot A_k}{\sum_{k=1}^n A_k} \quad \text{Equação 19}$$

Onde:

$F_{10,7 SB}$ = Fator de proporção para cada tipologia na bacia do Rio Santa Bárbara;

A_k = Área do segmento k na bacia;

n = Número total de segmentos contidos na bacia de interesse.

Tabela 5 - Áreas dos segmentos em cada tipologia na bacia

Tipologia	Área (Km ²)
211	797,44
212	284,40
312	510,88

O resultado foi um fator de proporção médio para a bacia de rio Santa Bárbara ($F_{10,7 SB}$) igual a 0,898796.

Finalmente a equação da $Q_{7,10}$ para o rio Santa Bárbara foi obtida pela substituição do valor $F_{10,7 SB}$ e de Q_{mSB} na Equação 5, resultando na Equação 20, abaixo, a qual pôde ser empregada no software para cálculo da vazão de interesse em função da área de drenagem.

$$Q_{7,10SB} = 6,6151 \times Ad \quad (\text{L/s}) \quad \text{Equação 20}$$

5.4 – CÁLCULO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA

5.4.1 – Cálculo das $Q_{7,10}$ nas bacias empregando a metodologia proposta Souza (1993).

Com o emprego do *software* ArcGis®, foi possível calcular as vazões $Q_{7,10}$ em todos os pontos dos cursos d'água utilizando-se as Equações 16, 17, 18 e 20 nas bacias dos rios Tanques, Peixe, Jirau e Santa Bárbara, respectivamente. Posteriormente foi aplicado um filtro para excluir os pontos com $Q_{7,10}$ inferiores a 400 L/s. Assim, foi possível identificar que em todas as bacias os cursos d'água principais apresentam vazões mínimas com sete dias de duração e dez anos de recorrência maiores que 400 L/s, pré-requisito para a emissão da outorga de 200 L/s, que é a vazão capaz de suprir a demanda da cidade de Itabira-MG até o ano de 2047, conforme apresentado na Figura 10.

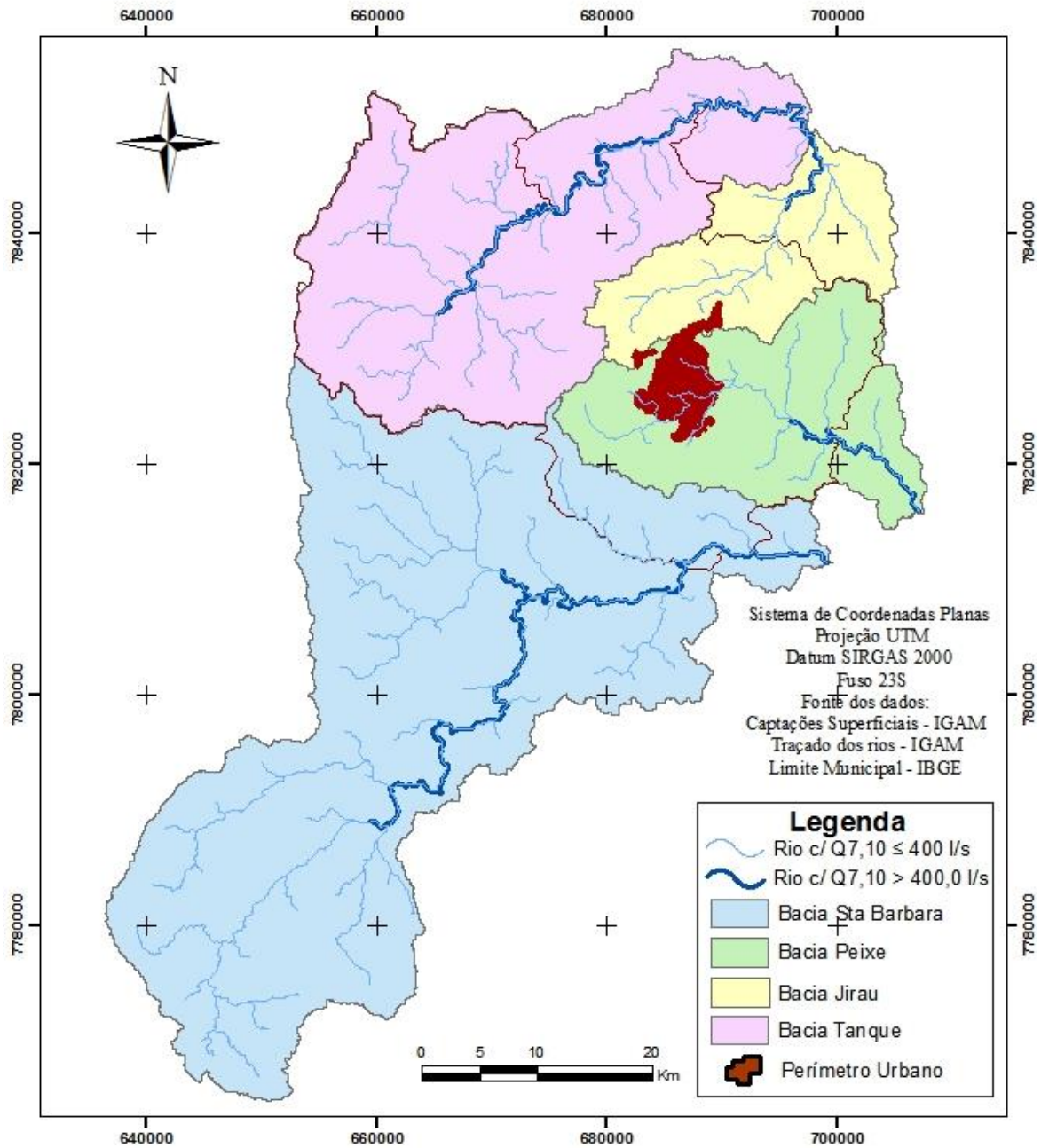
Em análise do mapa obtido foi possível identificar que, dentro da bacia do rio Tanque os afluentes, córrego Chapada, ribeirão Aliança, ribeirão Jirau, além do rio Tanque possuem seções com $Q_{7,10}$ superiores a 400 L/s, sendo que a maior $Q_{7,10}$ calculada na bacia, dentro da área de estudos, foi de 4.400 L/s no encontro do rio principal com o ribeirão Jirau. Dentro do município de Itabira, a maior $Q_{7,10}$ dessa bacia foi localizada na divisa com o município de Santa Maria de Itabira-MG, cujo valor corresponde a 3.008,12 L/s.

Para a bacia do rio Peixe, o único curso d'água que possui a vazão outorgável maior que 400 L/s é o rio principal cuja a $Q_{7,10}$ máxima foi identificada na sua foz e corresponde a 1.400,12 L/s. Dentro do município de Itabira, a $Q_{7,10}$ máxima ocorre na divisa com o município de Nova Era e foi calculada em 1.161,29 L/s.

Pelo lado sul na bacia do rio Santa Bárbara foi encontrada maior quantidade de afluentes que, além do rio principal, também possuem trechos com a $Q_{7,10}$ maior que 400 L/s. Sendo que somente o ribeirão Bexiga e o próprio rio Santa Bárbara interceptam o município de Itabira. O ribeirão Bexiga acompanha a divisa ente Itabira e São Gonçalo do Rio Abaixo e sua $Q_{7,10}$ máxima é 607,14 L/s em seu encontro com o rio Santa Bárbara, o qual, a partir desse ponto,

passar a contar com uma $Q_{7,10}$ igual a 8.950,46 L/s, chegando finalmente a 9.010,58 L/s em sua saída do município poucos quilômetros à frente.

Figura 10- Trechos dos rios com $Q_{7,10}$ maiores que 400,0 L/s



5.4.2 - Levantamento das vazões outorgadas na área de estudos

Como resposta ao pedido de acesso à informação nº 02240000014201944, feita no portal da transparência do estado de Minas Gerais, foi fornecido um arquivo de planilha eletrônica em formato .xls contendo informações dos usos consultivos e não-consultivos existentes nos municípios que compõem a área de estudos.

Dentre outras informações o arquivo contém a identificação e localização dos empreendimentos, os números dos processos de solicitação de outorga e de cadastro de usuário insignificante, as vazões outorgadas e as coordenadas dos pontos de captação, bem como o número das portarias de concessão de outorgas com suas respectivas datas de início e fim da vigência.

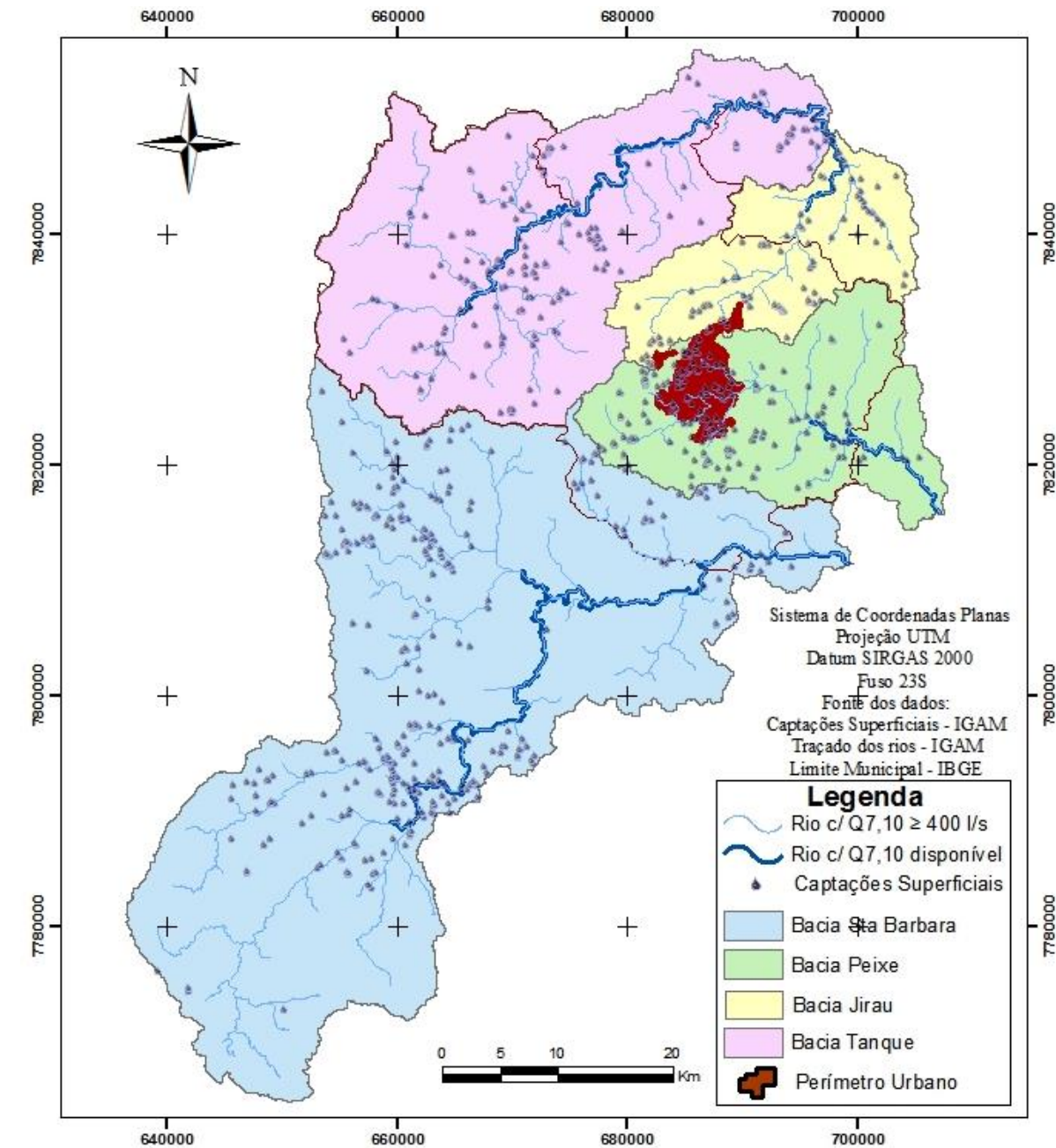
Inicialmente foram excluídos do arquivo todos os usos que não interferem na disponibilidade hídrica para concessão de outorga superficial a fio d'água, tais como outorgas para captações subterrâneas, dragagem, travessias rodoferroviárias entre outras. Em seguida todas informações dos usuários (insignificantes ou não) cujas autorizações para captações não estavam mais vigentes foram removidas e as captações remanescentes foram especializados no software ArcGis® (Figura 11), possibilitando a identificação de quais estavam dentro da área de estudos bem com sua separação por bacia, conforme apresentado no anexo II.

Das três bacias em estudo, as vazões que estão comprometidas são 1.358,9 L/s do rio Santa Bárbara, 88,7 L/s na bacia do Peixe e 322,5 L/s e na bacia do rio Tanque, dos quais 200,4 L/s estão somente na sub-bacia do ribeirão Jirau. Em todos os casos as vazões são compartilhadas entre usuários outorgados e usuários insignificantes conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Usuários ativos nas bacias em estudos

Bacia	Usuários outorgados		Usuários insignificantes		Total
	Quantidade	Vazão (L/s)	Quantidade	Vazão (L/s)	
Santa Bárbara	33	1.255,0	137	103,8	1.358,8
Peixe	3	48	55	41,7	88,7
Tanque (s/ Jirau)	6	72,4	69	49,7	122,1
Jirau	6	183,0	29	17,4	200,4
Total	339	1.779,5	290	212,6	

Figura 11 - Distribuição espacial das captações nas bacias em estudos.



Fonte: IGAM (2019).

5.4.3 – Cálculo da disponibilidade hídrica

Como um dos objetivos do presente trabalho é a identificação de todas as seções de curso d'água dentro do município com vazão disponível para uma outorga de 200 L/s, a análise da disponibilidade hídrica foi feita da seguinte forma:

- 1 – Identificaram-se os cursos d'água que possuem trecho com $Q_{7,10}$ maior que 400 L/s nas bacias em estudo, dentro do município;

- 2 – Localizaram-se as outorgas vigentes ao longo desses cursos d'água que foram identificadas como Q_P ;
- 3 – Foi feita a espacialização das vazões comprometidas nos tributários (Q_T);

Assim foi possível calcular a vazão disponível para outorga em cada ponto dos rios com $Q_{7,10}$ maior que 400 L/s, com o uso da equação 9, adaptada conforme abaixo:

$$Q_{disp} = (0,50 \times Q_{7,10}) - (\sum Q_T + \sum Q_P)_{mont} - (\sum Q_P)_{jus} \quad \text{Equação 21}$$

De posse dos valores de vazão disponível para outorga nos rios das bacias em estudos, foi possível identificar os trechos com vazão disponível para outorga que foram comparados aos trechos com vazões iguais ou maiores que 400 L/s, como forma de avaliar a interferências das vazões outorgadas e dos usuários insignificantes na disponibilidade hídrica da bacia.

Foi possível verificar que, na bacia do rio Tanque estão os dois extremos dessa interferência dentro do município. Enquanto a montante do curso principal, os trechos coincidiram para o ribeirão Chapada e para o ribeirão Aliança e divergiram somente em 190 m para o rio Tanque. No ribeirão Jirau que é o principal tributário, houve a maior interferência, isto é, após consideradas as outorgas vigentes em sua micro-bacia, houve uma diminuição em 6,5 Km no trecho cuja a vazão disponível é igual ou maior que 400,0 L/s, fazendo que o ribeirão não tenha nenhum ponto com vazão $Q_{7,10}$ suficiente dentro do município de Itabira-MG de acordo com os critérios utilizados.

Na bacia do rio Peixe, houve uma pequena concentração das outorgas próximo à sua cabeceira, fazendo com que o trecho com vazão suficiente fosse 2,1 Km menor que o trecho com $Q_{7,10}$ calculada igual ou maior que 400 L/s. Cabe ressaltar que, no arquivo fornecido pelo IGAM, não foram identificadas nessa bacia as outorgas de 80 L/s no ribeirão Candidópolis e de 60 L/s no rio Peixe que utilizadas pelo SAAE Itabira-MG, contudo em visita ao campo foi possível constatar que estas estão em operação, o que pode diminuir ainda o trecho com vazão suficiente para atender a demanda da cidade.

Na bacia do rio Santa Bárbara, foi possível verificar que as vazões comprometidas na bacia não interferiram no tamanho do trecho do rio principal que possui vazão disponível para outorga igual ou superior que 200,0 L/s quando comparados ao trecho com $Q_{7,10}$ maior que 400,0 L/s. Nesse rio a Q_{dis} é 6.972,7 L/s em sua entrada no município de Itabira e 7.703,72 em sua saída.

Para possibilitar o cálculo do i_{cg} nas bacias em análise, efetuou-se os somatórios das vazões comprometidas em toda as bacias e procedeu-se o cálculo dos valores da $Q_{7,10}$ em seus exultórios empregando as equações 15, 16, 17 e 19 e o MDEHC (Figura 6) em ambiente ArcGis®. Assim, foram obtidos os valores do índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos (i_{cg}) por aplicação direta da equação 10, conforme apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Índice de conflitos nas bacias em estudos

	$Q_{7,10}$ no exultório (L/s)	Q_{out} (L/s)	i_{cg}
Santa Bárbara	9.460,9	1.358,8	0,29
Peixe	1.400,1	88,7	0,13
Tanque (Antes da confluência com Jirau)	3.330,4	122,1	0,07
Jirau	1.144,4	200,4	0,35

De uma forma geral, todas as bacias e da área de estudos apresentam baixos índices de conflitos, sendo que o menor valor para o i_{cg} foi encontrado na bacia do rio Tanque com o valor de 0,07 e o maior valor do índice na bacia do Jirau com valor igual a 0,35. Os valores do índice encontrados para o rio Peixe (0,13) e para o rio Santa Bárbara (0,29) estão compatíveis com os encontrados por Lisboa et al. (2017) que calcularam os valores dos i_{cg} para toda a bacia do rio Piracicaba e encontraram valores menores que 0,7 para esses dois rios.

5.5 – MAPA DE USO E OCUPAÇÃO

Após a validação e correção da classificação de mapa de usos e ocupações disponibilizado para as bacias pela equipe do MAPBIOMAS, restaram para a área de estudos 13 tipos de usos (12 do mapa original e a feição “lagoa de rejeitos” que foi incluída manualmente). Essas classes de usos foram então agrupadas e receberam nova nomenclatura que correspondem às feições comuns encontradas na área de estudos, conforme Tabela 8. Dessa forma as feições “Formação Campestre”, “Formação Savânica”, foram reclassificadas como pastagem uma vez que referem-se a tipos de cobertura semelhantes mais comumente encontradas em outro biomas e, da mesma forma, as feições “Mosaico de Agricultura e Pastagem”, e “Outra Área Não Vegetada” foram reclassificadas como pastagem, considerando que não foram identificados nos mosaicos regiões com agricultura no primeiro caso e no segundo tratavam-se regiões utilizadas para bovinocultura extensiva mas com maior proporção de solo exposto.

Tabela 8 - Tipos de usos e ocupações identificados na área de Estudos

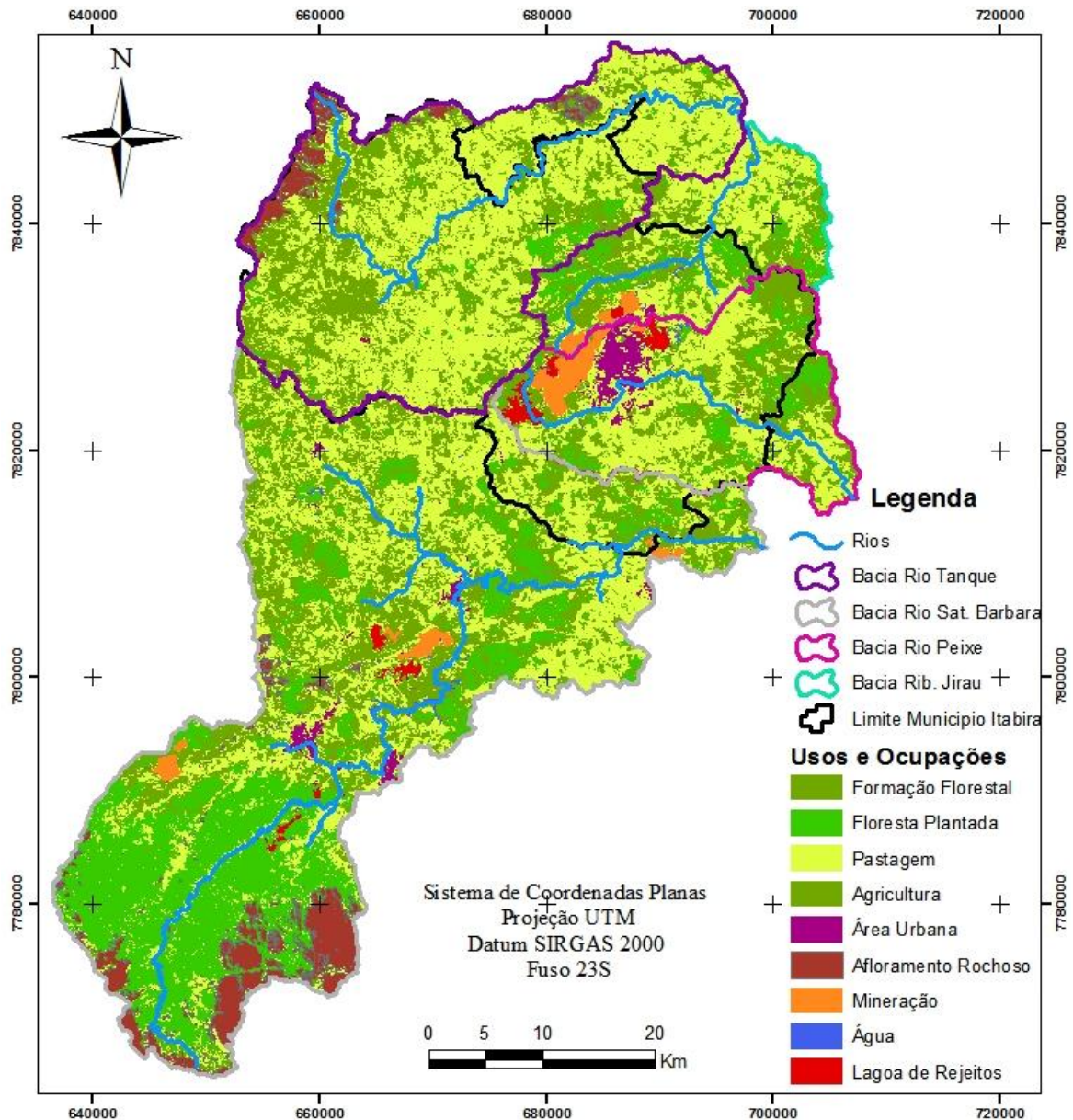
Nomenclatura Original	Nova Classificação
Formação Florestal	Formação Florestal
Formação Campestre	Pastagem
Pastagem	Pastagem
Formação Savânica	Pastagem
Floresta Plantada	Floresta Plantada
Cultura Anual e Perene	Agricultura
Mosaico de Agricultura e Pastagem	Pastagem
Infraestrutura Urbana	Área Urbana
Outra Área Não Vegetada	Pastagem
Afloramento Rochoso	Afloramento Rochoso
Mineração	Mineração
Rio Lago e Oceano	Água
Lagoa de Rejeitos	Lagoa de Rejeitos

Posteriormente foi gerado o mapa de usos e ocupações para toda a área de estudo apresentado na Figura 13, na qual foi possível identificar que a classe de uso e ocupação com maior proporção na área de estudos é a “Pastagem” que corresponde a 41,37%, da área total, seguida pela feição “Floresta Plantada”, que ocupa 32,03% da área de estudos, estando estas e as demais feições discriminadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Porcentagens dos usos e ocupações identificados

Tipo de uso	Área (Km²)	Porcentagem (%)
Afloramento Rochoso	160,64	5,15
Agricultura	0,90	0,03
Água	9,00	0,29
Área Urbana	38,43	1,23
Floresta Nativa	556,89	17,85
Floresta Plantada	999,03	32,03
Lagoa de Rejeitos	21,32	0,68
Mineração	42,51	1,36
Pastagem	1290,35	41,37

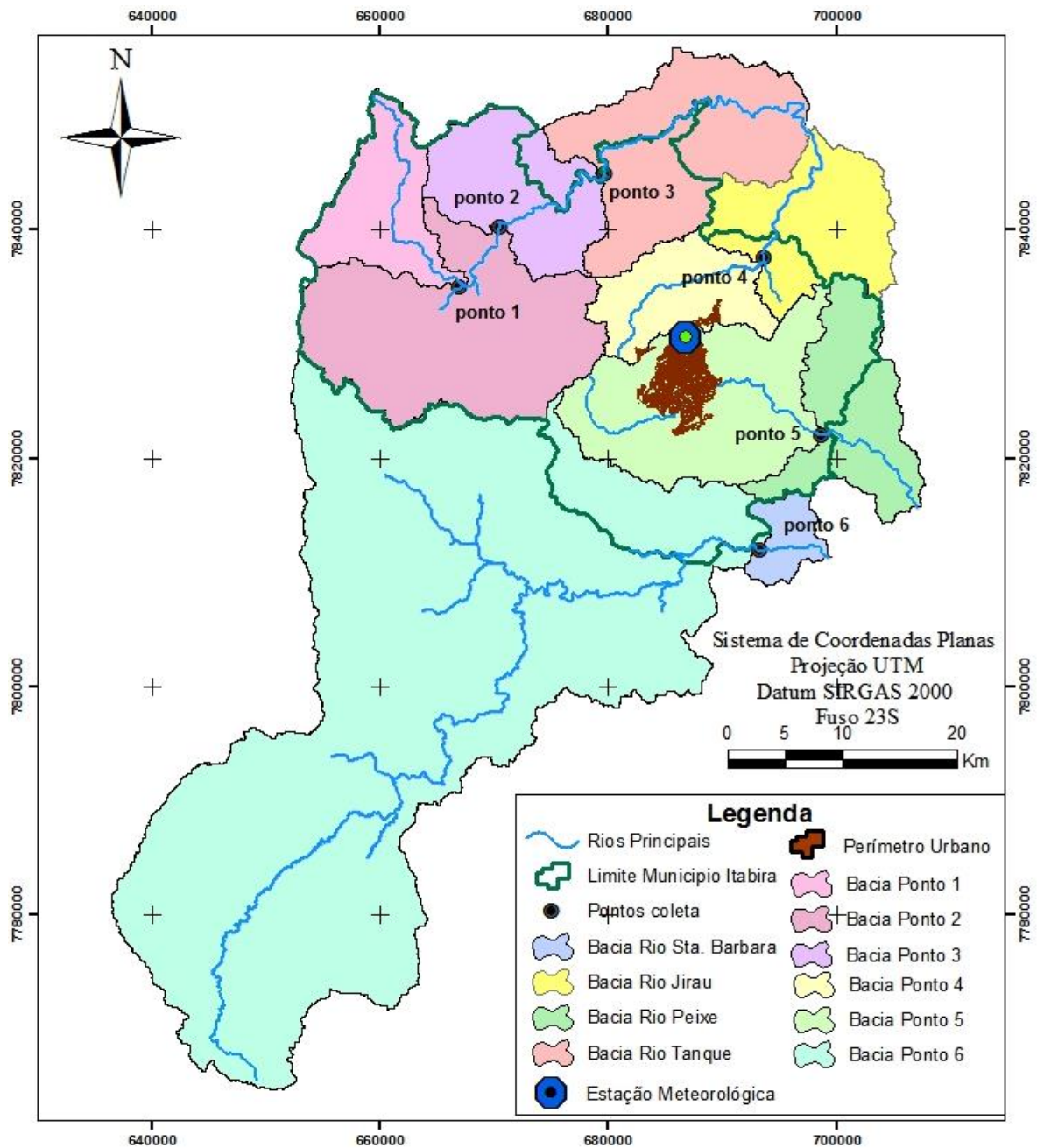
Figura 12 - Mapa de usos e ocupações



5.6 – ESCOLHA DOS PONTOS PARA COLETA DAS AMOSTRADAS DE ÁGUA

Após a sobreposição do mapa contendo os cursos d'água com vazão disponível superior a 400 L/s (Figura 10) ao mapa de uso e ocupação (Figura 13), procedeu-se a análise visual para escolha dos pontos mais indicados para amostragem de água e medição dos parâmetros de cálculo do IQA em todos os mananciais. Dessa forma foram escolhidos 6 pontos para coleta de amostras distribuídos conforme critérios abaixo e apresentados na Figura 12.

Figura 13- Localização espacial dos pontos de coleta com estação meteorológica.



1 – Bacia do rio Santa Bárbara:

Apesar de possuir a maior vazão dentre todos os presentes na área de estudos, o rio Santa Bárbara é o que tem o menor trecho dentro do município de Itabira, passando em uma região predominantemente utilizada para cultivos comerciais de eucaliptos, sem mudança brusca do tipo de uso e sem a presença de fontes de poluição pontuais. Dessa forma foi decido que

somente um ponto (Ponto 6) de coleta seria suficiente para avaliar a qualidade da água desse manancial.

Inicialmente foi escolhido como local de amostragem o ponto do rio mais próximo da cidade, contudo, devido a dificuldades de acesso, as coletas foram realizadas 5,3 Km a jusante, sob a ponte da estrada LMG-779, que liga Itabira à cidade de João Monlevade.

2 – Bacia do rio Peixe:

Essa bacia conta com a maior parte da zona urbana da cidade em sua região de cabeceira e apresenta-se bastante degradada, além de estar em um dos vetores de crescimento da cidade. Assim, considerando que o presente trabalho busca identificar mananciais com potencial para compor o sistema de abastecimento da cidade nos próximos 30 anos, optou por analisar a qualidade da água em um ponto próximo à divisa do município para evitar possíveis conflitos entre a expansão urbana e a preservação de zonas de proteção do manancial. Portanto o rio foi amostrado somente no ponto 5.

3 – Bacia do rio Tanque

Sendo a maior do município, na bacia do rio Tanque foram escolhidos 4 pontos de amostragem, dos quais três foram distribuídos ao longo do rio principal de forma escalonada, buscando traçar um perfil da qualidade do rio ao longo do município (Pontos 1, 2 e 3), e o quarto ponto no ribeirão Jirau que possui uma pequena seção com $Q_{7,10}$ maior 400 L/s dentro do município (Ponto 4).

5.7 – DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS DE DRENAGEM PARA OS PONTOS AMOSTRADOS

Em ambiente ArcGis®, empregando a ferramenta ArcSwat® e o MDEHC (Figura 6), foram delimitadas as bacias de drenagem para cada ponto amostrado (Figura 14), as quais tiveram suas características morfométricas calculadas conforme apresentado na Tabela 10.

Figura 14- Bacias de drenagem para os pontos amostrados

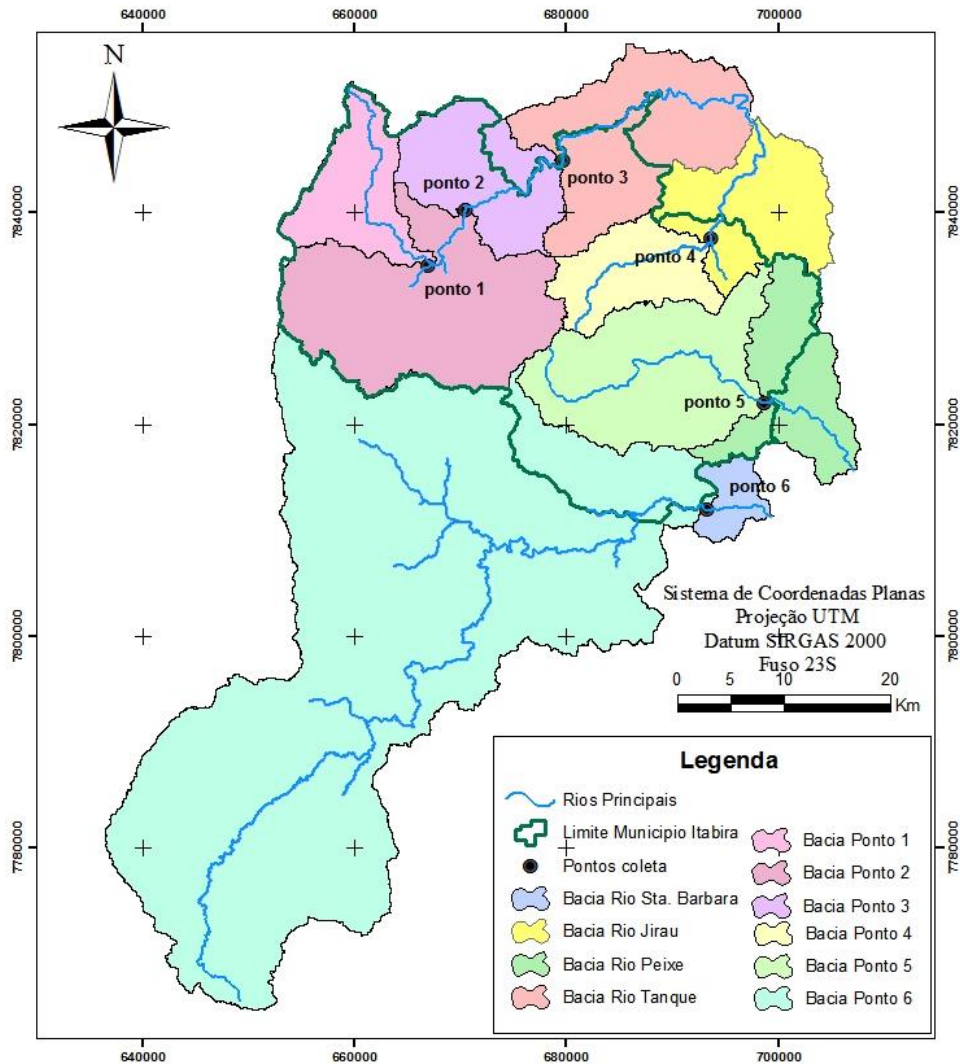


Tabela 10- Características morfométricas das bacias de drenagem

	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
Altitude Máxima (m)	1652	1652	1652	1234	1285	2073
Altitude Mínima (m)	581,0	573,0	561,0	603,0	602,0	552,0
Comp. total rios (Km)	275,2	1051,2	1373,5	241,3	603,5	3645,9
Perímetro (Km)	84,1	160,6	169,7	82,0	121,0	360,9
Comp. Rio Principal (Km)	25,4	33,1	48,1	19,9	32,3	122,3
Vetor Rio Principal (Km)	18,6	16,0	21,5	15,2	20,9	63,9
Área (Km ²)	115,9	438,4	589,8	109,4	255,5	1556
Amplitude Altimétrica	1071	1079	1091	631	683	1521
Índice de Rugosidade	2543	2587	2541	1392	1613	3564
Índice de Sinuosidade	1,37	2,07	2,23	1,30	1,55	1,91
Densidade de Drenagem	2,37	2,40	2,33	2,21	2,36	2,34
Índice de Circularidade	0,21	0,21	0,26	0,20	0,22	0,15

Assim, foi possível observar que a bacia de drenagem com maior área (1.556 Km²) e maior índice de rugosidade (3564) é a que verte para o ponto 6 que fica localizado no rio Santa Bárbara a 6,7 Km de sua foz no rio Piracicaba. Nessa bacia também está localizada a região de maior altitude, com 2073 metros, em sua cabeceira, e a maior malha hidrográfica, com 3645,9 quilômetros de rios, sendo que o ponto 6 é o que conta com o rio de maior extensão entre a nascente e o ponto de amostragem, que é o Santa Bárbara com 122,35 Km.

A menor bacia de drenagem encontrada foi a do ponto 4, no ribeirão Jirau, com área total de 109,39 Km². Nela está a menor malha de drenagem com apenas 241,29 quilômetros de rios e o rio principal tem 19,85 Km de percurso, da nascente até o ponto de coleta. Essa bacia apresenta também a menor amplitude altimétrica, variando de 603 metros de altitude no ponto de amostragem até 1234 metros de altitude no seu ponto mais alto. Apesar da pequena extensão geográfica, é nessa bacia, juntamente com a bacia de drenagem do ponto 5, onde estão localizados os principais centros urbanos, mineradores e industriais do município de Itabira.

Considerando o formato, a bacia de drenagem que possui a forma mais arredondada é a do ponto 3, no rio Tanque, com índice de Circularidade de 0,26. Essa bacia é a segunda maior em extensão com 589,80 Km² e o seu ponto de coleta é o que apresenta menor altitude, quando comparados a todos os que estão localizados dentro do município de Itabira MG.

Para quantificação dos tipos de usos existentes em cada bacia de drenagem, foi feita a sobreposição dos seus limites ao mapa de uso e ocupação (Figura 13), conforme apresentado na Figura 15.

Em seguida, como o emprego das ferramentas de geoprocessamento disponíveis no software, foram feitos os recortes do mapa de cada bacia de drenagem e que posteriormente, tiveram as áreas de suas classes de usos quantificadas por meio da ferramenta resultando na Tabela 11:

Figura 15 - Usos e ocupações nas bacias de drenagens

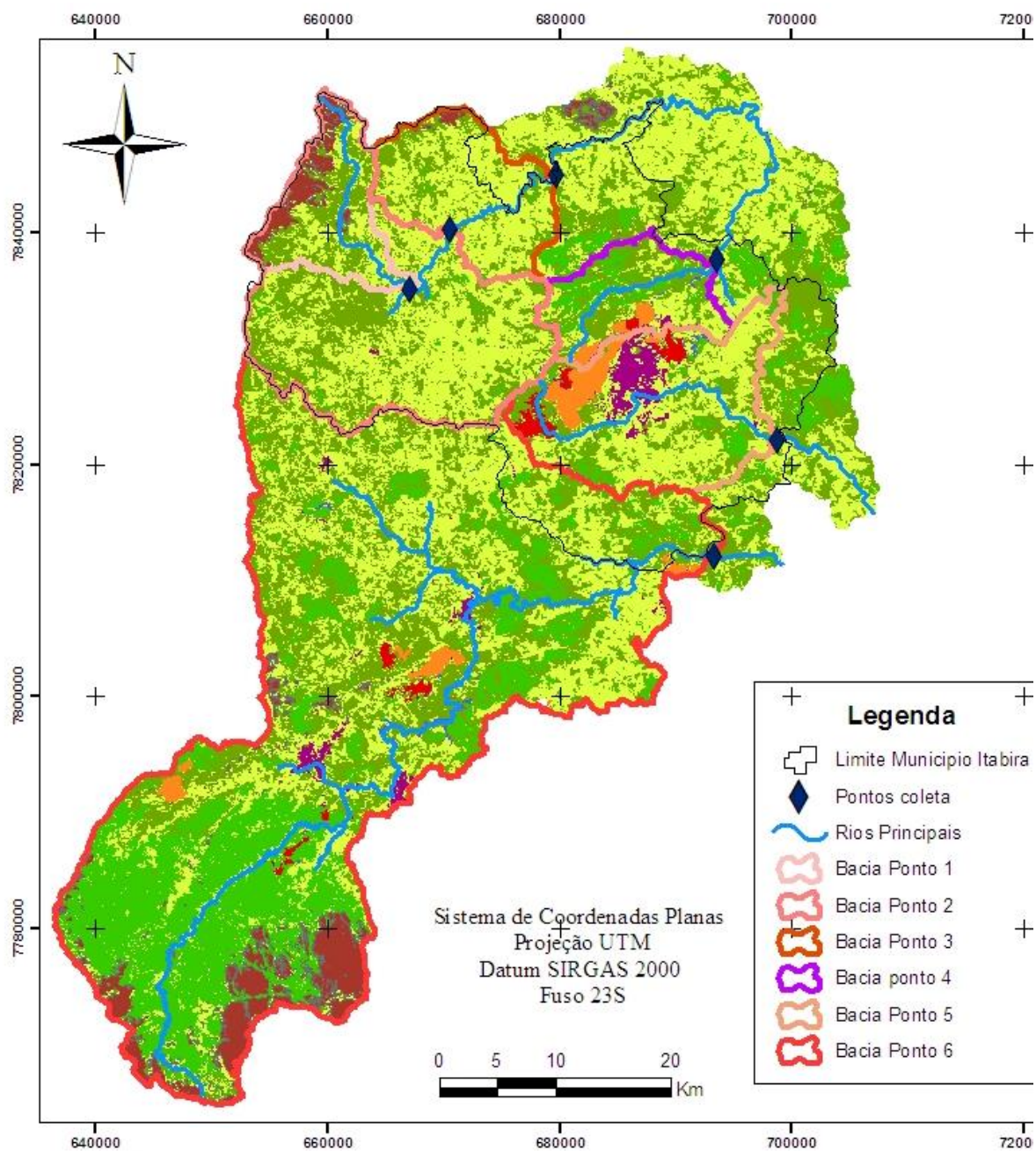


Tabela 11 - Tipos de usos presentes nas bacias de drenagens

	Ponto 1		Ponto 2		Ponto 3		Ponto 4		Ponto 5		Ponto 6	
	Km ²	(%)	Km ²	(%)	Km ²	(%)	Km ²	(%)	Km ²	(%)	Km ²	(%)
Form. Florestal	46,85	40,51	174,89	39,92	221,50	37,59	46,26	42,29	65,90	25,79	448,50	28,68
Flor. Plantada	0,40	0,35	7,78	1,78	10,37	1,76	20,51	18,75	15,73	6,16	440,84	28,19
Pastagem	36,47	31,54	222,94	50,89	321,57	54,58	30,99	28,33	116,75	45,70	513,86	32,86
Agricultura	0,00	0,00	0,04	0,01	0,25	0,04	0,00	0,00	0,06	0,02	0,54	0,03
Área Urbana	0,00	0,00	0,29	0,07	0,29	0,05	1,23	1,12	21,98	8,60	14,22	0,91
Aflor. Rochoso	31,90	27,59	32,07	7,32	35,17	5,97	0,34	0,31	0,94	0,37	117,36	7,51
Mineração	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,74	7,07	19,58	7,66	15,15	0,97
Água	0,01	0,01	0,04	0,01	0,04	0,01	1,11	1,02	1,47	0,57	6,14	0,39
Lag. Rejeitos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,22	1,11	13,09	5,12	7,01	0,45
Total	115,63	100,00	438,05	100,00	589,18	100,00	109,39	100,00	255,49	100,00	1563,62	100,00

De todas bacias analisadas foi possível verificar que as vertentes para os pontos 1, 2 e 3, localizados no rio Tanque, são as com menores proporções de “Área Urbana”, correspondendo a 0,00%, 0,07% e 0,05% respectivamente. Nessas bacias também não foram encontrados os usos decorrentes à mineração, quais sejam: “Mineração” e “lagoas de Rejeitos”. Ficou evidenciado também, que a bacia do ponto 1 é a que apresenta melhor estado de conservação natural considerando que as classes “Afloramento Rochoso” e “Formação Florestal” correspondem à 68,10% de sua área. Esse alto grau de conservação está relacionado ao fato de que na região está localizado o Parque Estadual Mata do Limoeiro, que é uma importante unidade de conservação com 20,06 Km² (IEF, 2020).

Em relação às bacias de drenagem para os pontos 2 e 3, verifica-se que o principal tipo de uso encontrado foi a pastagem, corresponde a mais da metade da área nos dois casos.

Ainda dentro da bacia do rio Tanque encontra-se a bacia de drenagem do ponto 4, no ribeirão Jirau, que apesar de contar com grande parte do complexo minerador da empresa Vale S.A., ainda é a bacia que apresenta maior proporção da classe “Formação Florestal” com 40,51 %. Nessa bacia está também a maior proporção da feição “água” onde os espelhos d’água correspondem a 1,02% da área.

Ao lado a bacia do rio Tanque está a bacia de drenagem para o ponto 5, no rio Peixe, onde foi identificado o maior grau de ocupação humana. Nessa bacia 8,60% corresponde a feição “Área Urbana” e é justamente onde está localizada a maior parte da sede do município. Outros usos que se destacam na bacia são a “Mineração” com 7,66% e Lagoa de Rejeitos com 5,12%, o que fazem com que essa bacia apresente menor proporção da feição “Formação Florestal” (25,79%) evidenciando uma maior degradação do solo.

Finalmente, a bacia drenagem para o ponto 6, no rio Santa Bárbara, foi a que apresentou proporções semelhantes entre os usos “Formação Florestal”, “Floresta Plantada” e “Pastagem” com 28,68, 28,19 e 32,86% respectivamente. Apesar de contar com algumas cidades e distritos a classe “Área Urbana” corresponde somente a 0,91% da área.

5.8 – COLETA E ANÁLISE DE QUALIDADE DA ÁGUA

A primeira campanha de amostragem da água foi realizada nos dias 11/12/2019 e 12/12/2019, e a segunda no dia 18/05/2020, cujas imagens dos locais amostrados, estão apresentadas no Anexo I. *In-loco* foram realizadas leituras de pH, Temperatura e OD. As amostras foram coletadas em frascos fornecidos pelos laboratórios. Após a coleta, as amostras

foram mantidas em caixa de isopor com sacos de gelo, sendo prontamente encaminhadas para análise dos parâmetros *E. coli*, DBO₅, Nitrato, Fósforo total, Turbidez e Sólidos Totais nos laboratórios privados e homologados e certificados, cujos os resultados foram tabelados, juntamente com os demais parâmetros de cálculo do IQA na Tabela 12.

Tabela 12 – Resultados de análises da água na primeira campanha.

	Unidade	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
<i>E. coli</i>	NMP/100mL	240	240	240	< 1,1	< 1,1	< 1,1
pH		7,34	7,27	7,29	6,05	6,45	5,64
DBO ₅	mg/L	< 2	< 2	3,5	3,8	7,8	4,2
Nitrato	mg/L	1	2	2	< 0,1	0,8	0,4
P total	mg/L	< 0,07	< 0,07	< 0,07	< 0,07	0,18	< 0,07
T °C	°C	22,23	22,79	22,97	24,63	23,52	23,64
Turbidez	NTU	113	337	584	26	70	16,1
ST	mg/L	119	317	397	42	157	57
OD	mg/L	8,05	6,85	6,76	7,55	6,85	7,63

Em avaliação dos resultados obtidos para a primeira campanha, verifica-se que os valores de *E. coli* encontrados para os pontos 4, 5 e 6 são menores que 1,1 NMP/100mL. Causa estranheza, uma vez que tais concentrações não são comumente encontradas em águas superficiais. No caso da bacia do rio Doce por exemplo, das 241 análises de *E. coli* feitas pelo InfoHidro (2020) nos três primeiros trimestres de 2019, em diversos cursos d'água da bacia, somente 1,2% apresentaram leituras menores que 10 NMP/100 ml. Esses valores de *E. coli*, são ocorrências raras até mesmo em locais com menores probabilidade de contaminação com nascentes, onforme comprovado por Daneluz e Tessaro (2015) que, das 45 análises de águas de nascentes realizadas em seu trabalho, somente 7 tiveram leituras de *E. coli* ausentes.

No caso específico dos rios do presente trabalho, essas leituras de *E. coli* são totalmente divergentes dos valores encontrados por Nascimento (2016) que realizou medições do parâmetro na calha do rio Peixe em 2015, e os valores de *E. coli* variaram de 86 a $1,7 \times 10^5$ NMP/100mL no período úmido e de 99 a $3,4 \times 10^4$ NMP/100mL, no período seco.

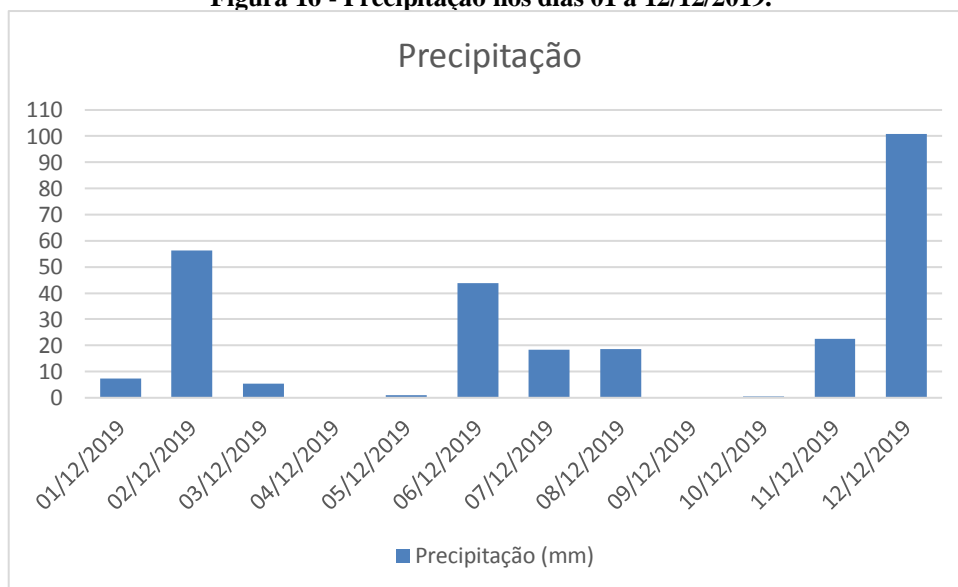
Portando, devido à falta de confiança das leituras de *E. coli* fornecidas pelo laboratório, optou-se por desconsiderar as leituras desse parâmetro nessa campanha, até mesmo para as amostras dos pontos 1, 2 e 3.

Em relação aos demais parâmetros, verificou-se que as leituras obtidas não apresentam concentrações discrepantes dos encontrados na literatura para condições semelhantes para o tipo de curso d'água, sendo que os valores mais elevados de Turbidez e Sólidos totais são

decorrência das chuvas observadas no mês de dezembro de 2019 que somaram 274 mm até o dia 12 daquele mês, conforme informações apresentadas nas Figuras 16 e 17, confeccionadas com séries históricas da Estação Meteorológica de responsabilidade da Vale S.A. (Itabira - MG), que fica localizada dentro da área de estudos (Figura 12), coordenadas geográficas latitude -19,61081; longitude: - 43,21840.

Essas observações estão de acordo com Fraga et al. (2012) e Oliveira e Cunha (2014) que constataram que aumento dos sólidos suspensos e da turbidez possuem correlação positiva com o aumento da precipitação que provoca o carreamento de maiores quantidades de partículas inorgânicas das margens dos mananciais. Segundo Figur e Reis (2017) o processo natural da erosão em estações chuvosas nas margens dos rios é um exemplo de fenômeno que aumenta a turbidez das águas.

Figura 16 - Precipitação nos dias 01 a 12/12/2019.



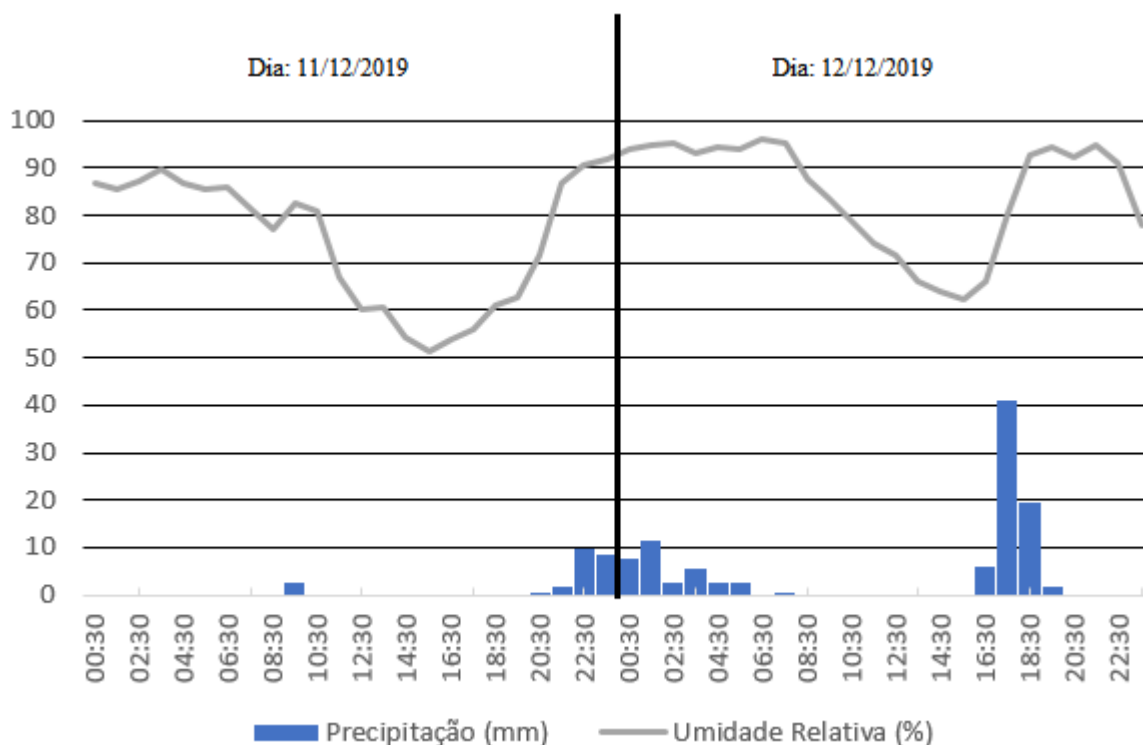
Fonte: Secretaria de Meio Ambiente de Itabira (2019)

Em relação à temperatura foi possível verificar que as leituras em todos os pontos de coletas foram semelhantes. Esse fato pode ser explicado pela semelhança das condições climáticas na data, quais sejam: Todos as leituras foram feitas no horário da manhã e em dias parcialmente nublado com alta umidade relativa e temperatura homogêneas, conforme dados climatológicos coletados na estação climatológica indicada na Figura 12 (Figura 17).

Na Tabela 13, estão classificados os corpos d'água, de acordo com a comparação das leituras de cada parâmetro com os limites da resolução CONAMA 357/200. Assim foi possível verificar que os parâmetros Nitrato, Sólidos Totais e Oxigênio Dissolvido atendem os limites para um curso d'água de classe 1 em todos os pontos. O pH apresentou valor superior que o

limite máximo da classe 3 no ponto 6. A leitura da DBO₅ apresentou valores maiores que o máximo para a classe 1 nos pontos 3, 4 e 6 e maiores que o máximo da classe 2 no ponto 5.

figura 17 – Precipitação e Umidade Relativa nos dias 11 e 12/12/2019



Fonte: Secretaria de Meio Ambiente de Itabira (2019)

O Parâmetro que apresentou maior número de leituras dentro dos limites da classe 4 foi a turbidez, que excedeu o valor admissível, isto é 100 NTU, nos pontos 1, 2 e 3, o que pode ser reflexo direto do período chuvoso, conforme observado por Santi et al. (2012).

Foi verificado também que o ponto 5 apresenta fósforo total correspondente a um curso d'água de classe 4.

Tabela 13 - Classificação de acordo com a resolução CONAMA 357/2005 1ª campanha

Unidade	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	
pH	NMP/100mL	7,34	7,27	7,29	6,05	6,45	5,64
DBO ₅	mg/L	< 2	< 2	3,5	3,8	7,8	4,2
Nitrato	mg/L	1	2	2	< 0,1	0,8	0,4
P total	mg/L	< 0,07	< 0,07	< 0,07	< 0,07	0,18	< 0,07
Turbidez	mg/L	113	337	584	26	70	16,1
ST	NTU	119	317	397	42	157	57
OD	mg/L	8,05	6,85	6,76	7,55	6,85	7,63

■ Classe 1
 ■ Classe 2
 ■ Classe 3
 ■ Classe 4

Em relação às leituras dos parâmetros que compõem o IQA na segunda campanha (Tabela 14), não foi observado nenhum resultado que estivesse claramente inconsistente, como

observado para a *E. coli* na primeira campanha. Assim foi possível efetuar o cálculo do IQA, para todos os pontos amostrados cujos valores estão apresentados abaixo:

Tabela 14 – Resultados de análise da água na segunda campanha.

	Unidade	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
<i>E. coli</i>	NMP/100mL	16 x 10 ³	3,5 x 10 ³	5,4 x 10 ³	16 x 10 ³	4,3 x 10 ³	3,5 x 10 ³
pH		7,29	7,16	7,40	7,24	7,07	7,36
DBO ₅	mg/L	3,0	4,0	13,0	10,67	3,33	2,67
Nitrato	mg/L	<0,008	0,076	0,056	0,060	0,135	0,124
P total	mg/L	<0,01	0,017	0,022	0,031	0,103	<0,01
T °C	°C	19,39	19,80	20,21	22,94	22,54	21,49
Turbidez	NTU	4,0	7,5	11,8	2,4	29,4	3,1
ST	mg/L	29,0	25,0	36,0	21,0	74,0	42,0
OD	mg/L	7,98	8,14	7,75	7,63	6,55	8,34
IQA		61,44	66,59	58,16	56,4	62,4	68,73

Dessa forma os cursos d'água foram classificados de acordo com o IQA, conforme classes empregadas pelo projeto Águas de Minas e apresentadas por InfoHidro (2019), disponíveis na Tabela 1 do presente trabalho.

Foi possível observar, que em todos os pontos amostrados a qualidade da água encontrada foi classificada com média, isto é, IQA maior que 50 e menor que 70, portanto, segundo recomendações do InfoHidro (2019), a água pode ser direcionada ao abastecimento público, necessitando para tanto, somente de tratamento convencional.

Na Tabela 15, estão classificados os corpos d'água considerando as concentrações máximas para cada um dos parâmetros que compõem o IQA.

Tabela 15 - Classificação de acordo com a resolução CONAMA 357/2005 2ª campanha

	Unidade	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
<i>E. coli</i>	NMP/100mL	16 x 10 ³	3,5 x 10 ³	5,4 x 10 ³	16 x 10 ³	4,3 x 10 ³	3,5 x 10 ³
pH		7,29	7,16	7,40	7,24	7,07	7,36
DBO ₅	mg/L	3,0	4,0	13,0	10,67	3,33	2,67
Nitrato	mg/L	<0,008	0,076	0,056	0,060	0,135	0,124
P total	mg/L	<0,01	0,017	0,022	0,031	0,103	<0,01
Turbidez	NTU	4,0	7,5	11,8	2,4	29,4	3,1
ST	mg/L	29,0	25,0	36,0	21,0	74,0	42,0
OD	mg/L	7,98	8,14	7,75	7,63	6,55	8,34

Classe 1
 Classe 2
 Classe 3
 Classe 4

Dessa classificação, foi possível verificar que as concentrações de *E. coli* excedem o máximo previsto para corpos d'água de classe 3 nos pontos 1, 3, 4 e 5 e para os de classe 2 nos pontos 2 e 6. Em relação ao parâmetro DBO₅, somente os pontos 1 e 6 podem ser classificados

como classe 1, os pontos 2 e 5 são classificados como classe 2 e os pontos 3 e 4 são classificados como classe 3.

Finalmente, considerando os demais parâmetros que compõem o IQA, somente o fósforo total excedeu os limites para corpos d'água de classe 1, no ponto 5, apresentando comportamento semelhante aos resultados obtidos na primeira campanha.

Essa concentração maior desse parâmetro nas duas campanhas no ponto 5, que fica no rio Peixe, pode ser explicada pelo fato da bacia de drenagem ser a que apresenta maior proporção do tipo de uso “área urbana”, e é nessa bacia que está localizada a maior parte da cidade de Itabira onde parte de esgoto doméstico, que possui quantidade substanciais de fósforo (LOURES et al, 2006) variando de 2 a 14 mg/L (OLIVEIRA E VON SPERLING, 2005), parte deste é lançado *in natura* nos cursos d'água que passam dentro da cidade de forma clandestina. Outra possível fonte de fósforo do manancial é a estação de tratamento de esgotos da cidade (ETE *Laboreaux*) que tem o rio Peixe como receptor final dos efluentes tratados e segundo Von Sperling (1995), a maiorias das estações de tratamento de esgotos convencionais não são capazes de remover uma fração significativa do nutriente fósforo. De acordo com Rosa et al. (2015) a ETE *Laboreaux* é composta por reator UASB, filtro biológico percolador e decantador secundário, e de acordo com Oliveira e Von Sperling (2005) esse tipo de estação de tratamento de efluente têm eficiência inferior a 49% na remoção de Fósforo Total.

5.9 – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS USOS E OCUPAÇÕES E DA MORFOLOGIA DAS BACIAS DE DRENAGEM NOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

De posse das características morfométricas das bacias (Tabela 10), e das porcentagens dos diferentes tipos de usos em cada uma das bacias de drenagens (Tabela 11), foi feita a avaliação de correlação entre essas características e os parâmetros de qualidade de água que compõem o IQA nas duas campanhas (Tabelas 12 e 14), sendo que os índices de correlação e os p-valores correspondente estão apresentados, apresentados nas Tabelas 16 e 17 para o período úmido e 18 e 19 para o período seco, respectivamente.

Tabela 16 - Correlação de Spearman na primeira campanha amostral.

	Amplitude Altimétrica	Dens. de Drenagem	Índice de Rugosidade	Índice de Circularidade	Índice de Sinuosidade	Form. Florestal	Floresta Plantada	Pastagem	Agricultura	Área Urbana	Afloramento rochoso	Mineração	Água	Lago de Rejeitos
pH	-0,03	0,43	-0,03	0,60	0,20	0,26	-1	0,31	-0,14	-0,77	0,37	-0,70	-0,83	-0,70
DBO ₅	0,00	0,80	0,00	-0,40	-0,40	-0,80	0,40	-0,20	-0,40	0,80	0	0,80	0,40	0,80
Nitrato	-0,05	0,21	-0,21	0,62	0,56	0,56	-0,67	0,67	-0,05	-0,56	-0,15	-0,80	-0,56	-0,80
Ptotal	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T °C	-0,20	-0,77	-0,37	-0,43	-0,31	-0,09	0,89	-0,37	0,12	0,65	-0,66	0,76	0,89	0,76
Turbidez	0,14	0,31	-0,03	0,83	0,60	0,09	-0,83	0,71	0,20	0,77	0,09	-0,70	-0,66	-0,70
ST	0,37	0,37	0,14	0,89	0,83	-0,37	-0,60	0,94	0,55	-0,60	0,09	-0,52	-0,54	-0,52
OD	-0,09	0,14	0,29	-0,81	-0,67	0,35	0,12	-0,81	-0,59	-0,37	0,55	0,03	-0,09	0,03
E. coli	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
IQA	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabela 17- Correlação de Spearman na segunda campanha amostral.

	Amplitude Altimétrica	Dens. de Drenagem	Índice de Rugosidade	Índice de Circularidade	Índice de Sinuosidade	Form. Florestal	Floresta Plantada	Pastagem	Agricultura	Área Urbana	Afloramento rochoso	Mineração	Água	Lago de Rejeitos
pH	0,66	-0,43	0,31	-0,09	0,37	0,09	-0,14	0,14	0,46	-0,60	0,37	-0,52	-0,49	-0,52
DBO ₅	-0,26	-0,43	-0,60	0,60	0,26	0,31	-0,26	0,37	0,12	-0,03	-0,66	-0,15	0,09	-0,15
Nitrato	0,03	0,09	0,09	-0,09	0,09	-0,71	0,71	0,14	0,32	0,83	-0,31	0,70	0,66	0,70
Ptotal	-0,64	-0,38	-0,84	0,49	-0,14	-0,17	0,17	0,12	0,04	0,70	-0,93	0,65	0,64	0,65
T °C	-0,43	-0,71	-0,60	-0,20	-0,37	-0,14	0,77	-0,31	0,06	0,89	-0,83	0,88	0,94	0,88
Turbidez	0,09	0,37	-0,09	0,89	0,54	-0,66	-0,43	0,77	0,49	0,03	-0,09	-0,03	-0,26	-0,03
ST	0,37	0,09	0,20	0,26	0,31	-0,94	0,14	0,37	0,67	0,26	0,14	0,33	-0,03	0,33
OD	0,77	0,37	0,94	-0,49	0,37	0,03	0,09	0,09	0,14	-0,49	0,77	-0,58	-0,43	-0,58
E. coli	-0,62	-0,41	-0,68	0,03	-0,62	0,65	-0,41	-0,53	-0,54	-0,24	-0,21	0,00	-0,09	0,00
IQA	0,60	0,60	0,83	-0,26	0,37	-0,60	0,31	0,26	0,32	0,09	0,54	-0,03	-0,09	-0,03

* Valores em vermelho: Dados que apresentaram correlação significativa ao nível de 5% ($p \leq 0,05$).

Conforme mencionado anteriormente, foram excluídas da análise as leituras de *E. coli* obtidas nas amostras da campanha realizada no período das chuvas, o que impossibilitou a avaliação da correlação das características morfométricas e dos usos e ocupações das bacias com os valores de IQA em cada ponto. Uma vez que o valor de *E. coli*, juntamente com o parâmetro Oxigênio Dissolvido são considerados por InfoHidro (2019) como imprescindíveis para o cálculo do IQA. Segundo CETESB (2018), caso não se disponha do valor de alguma das nove variáveis, o cálculo do IQA é inviabilizado.

Também foram excluídos do teste de correlação os parâmetros de Fósforo Total (P total), uma vez que, em todos os pontos amostrados, com exceção do ponto 5, as concentrações estavam menores que o limite mínimo do método analítico (0,07 mg/l), não sendo possível a análise da correlação com as características das bacias e os usos e ocupações presentes.

Conforme observado na literatura (QUEIROZ et al., 2010, Capoane et al. 2014, GUEDES, 2012), era de se esperar que presença de áreas com agricultura apresentassem correlação com alguns parâmetros que interferem na qualidade da água, uma vez que esse tipo de uso interfere principalmente na concentração de nitrogênio e fósforo decorrentes do uso de fertilizante agrícolas (RESENDE, 2002, DIOGO et al., 2004) e na concentração de sólidos totais ocasionados por práticas que aumentam o poder de erosão e perda de solo e pela presença recorrente de áreas com solo expostos e sujeitos ao carreamento (SOUZA e GASTALDINI, 2014), principalmente no período de chuva.

Uma possível justificativa para não ter sido encontrada nenhuma correlação nos dois períodos, pode estar no fato de que essas feições apresentam proporção reduzidas nas bacias de drenagem, indo de 0 a 0,042%, dessa forma, o efeito das diferentes proporções sobre as variações nas leituras dos parâmetros podem ter sido sobrepostas pela interferência de outros usos com maior predominância nas bacias.

Mesmo raciocínio pode ser empregado no período chuvoso para o tipo de uso área urbana, que normalmente contribui para a degradação da qualidade da água. Essa feição também apresentou proporções reduzidas variando de 0 a 1,12 % nas bacias de drenagem dos pontos 1, 2, 3, 4 e 6, portanto suas correlações podem ter sido “mascaradas”, sendo mais expressiva somente na bacia de drenagem do ponto 5 onde foi igual a 8,6% da área.

Considerando os demais tipos de uso e ocupação e as características morfométricas das bacias de drenagem, foi observado que, baseado nos *p-valores* calculados, não apresentam correlação com nenhum parâmetro do IQA e as características morfométricas: amplitude altimétrica, densidade de drenagem, índice de rugosidade, índice de sinuosidade e as proporções

dos usos classificados como formação florestal, afloramento rochoso, mineração e lagoa de rejeitos no período chuvoso. Já no período seco, não apresentaram correlação com a concentração de nenhum parâmetro as características amplitude altimétrica, densidade de drenagem, índice de sinuosidade, e nem os usos formação florestal e pastagem.

Para o pH foi verificado que o mesmo somente apresentou correlação negativa com a tipo de uso denominado floresta plantada, normalmente *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. somente nas amostras da primeira campanha, com *p-valor* igual a 0,003, indicando uma forte tendência na diminuição do pH à medida que aumentam as proporções das áreas com floresta comerciais durante o período úmido.

Considerando que na época chuvosa ocorre um maior carreamento de materiais e substâncias solúveis para os corpos d'água, essa correlação pode estar relacionada ao aporte de soluções oriundas da decomposição da biomassa (serrapilheira), que produz compostos orgânicos mais ácidos, conforme observado por Lilienfein et al. (2000) em florestas plantadas com *Pinus* sp. Podendo ser também por influência da acidez do solo do entorno, uma vez que em áreas com essa cultura é observado uma diminuição do pH (BRANDAO, 2002).

Para os parâmetros DBO₅ e Nitrato não foram identificadas correlações com nenhuma das características morfométricas nem dos usos do solo, nas duas campanhas de amostragem.

Conforme mencionado anteriormente, para o período úmido não foi possível analisar a existência de correlação entre a concentração do fósforo total com as diferentes proporções dos usos e com as características da bacia. Já para o período seco, foi observado que a concentração desse nutriente tende a diminuir à medida que aumenta o índice de rugosidade e a proporção de afloramento rochoso na bacia de drenagem.

Para o parâmetro temperatura foi verificada a existência de correlação positiva tanto com os tipos de usos floresta plantada e a feição água no período úmido, bem como com as feições, área urbana, mineração, água e lagoa de rejeitos no período seco. A princípio, não foi possível inferir uma relação de causalidade entre a proporção dos usos denominado floresta plantada, mineração e área urbana com a temperatura, e também não foram identificados na literatura utilizados trabalhos com possíveis justificativas para essas correlações. Infere-se que esses resultados podem estar relacionados com outros usos não considerados no estudo ou características físicas das bacias não abordadas neste trabalho.

Para a correlação encontradas entre a temperatura e a feição água que é composta por pequenos lagos e represas e porções dos rios identificáveis nas imagens, uma possível explicação pode estar no fato de que o mapa de usos e ocupações foi confeccionado com o

emprego de imagens de satélites, dessa forma somente foram possíveis de serem identificados nas imagens os trechos dos cursos d'água que não são encobertos pela vegetação ciliar e portanto, onde os leitos dos rios estão mais expostos a radiação, o que pode provocar aumento da temperatura.

Raciocínio semelhante pode ser empregado para correlação da temperatura com a feição lagoa de rejeitos, contudo considerando-se a insolação no espelho d'água dessas lagoas. Assim, no período seco a maior incidência de raios solares pode ter elevado a temperatura da água, o que pode não ter sido verificado no período úmido devido a incidência de chuvas e ventos podem ocasionar uma maior movimentação provocando a mistura da água mais quente da superfície com as camadas inferiores além uma maior proporção de troca da água lagoa diminuindo seu tempo de permanência.

Cabe considerar que, em todos os pontos amostrados as temperaturas da água verificadas foram maiores que 15 °C e, conforme apresentado no Quadro 7 e no Anexo III. Para águas com temperaturas superiores a 15°C o valor de q_i permanece constante para o cálculo do IQA, sendo, considerando igual a 92 (INFOHIDRO, 2020).

Para a Turbidez, foi verificado que, somente no período seco, sua concentração correlacionou-se positivamente com o Índice de circularidade da bacia de drenagem, ou seja, conforme a bacia torna-se mais circular verifica-se um aumento na turbidez da água. À princípio não parece haver causalidade para essa correlação, evidenciando, dessa forma, a necessidade de estudos mais detalhados quanto à origem da Turbidez no período seco.

De acordo com as Tabelas 16 a 19, foram verificadas correlações positivas entre a concentração de sólidos totais (ST) e o Índice de Circularidade (Ic) e também com a proporção dos usos classificados como pastagem no período chuvoso e com o uso formação florestal no período seco. À princípio é possível inferir que o formato da bacia e a proporção da pastagem, podem estar relacionadas com o transporte de materiais para os cursos d'águas na época das chuvas.

De forma geral, a correlação positiva entre o índice de circularidade e Sólidos Totais e no período chuvoso, pode ser explicada pelo fato de que, quanto mais circular a bacia, maior o favorecimento de processos de inundações (SCHUMM, 1956), uma vez que o escoamento superficial de todos os pontos da bacia tende a chegar ao mesmo tempo no exultório, aumentando com isso a ocorrência de transbordamentos das margens dos cursos d'água favorecendo o carreamento de materiais e o aumento da concentração de sólidos totais na água do rio principal.

Ao mesmo tempo, de acordo com análises das imagens de satélite e visitas em campo, foi verificado que as áreas destinadas a pastagens na área de estudos encontram-se bastante degradadas, apresentando baixa cobertura de solo e supressão das matas ciliares, o que facilita o carreamento de partículas de solo para os rios, principalmente durante as cheias (FERNANDES et al., 2011; SANTOS, et al., 2013).

Nas análises estatísticas, também foram identificadas correlações negativas entre o Oxigênio Dissolvido (OD) e o índice de circularidade (Ic) e entre Oxigênio Dissolvido e a feição “pastagem” no período chuvoso. Essas correlações possivelmente podem ser entendidas como uma correlação indireta. Isto é, como as bacias de maior índice de circularidade tenderam a apresentar uma maior concentração de sólidos totais e estes quando em altos níveis provocam a diminuição da penetração de luz na água, podem prejudicar o processo de fotossíntese diminuindo a produtividade dos organismos aquáticos e da vegetação submersa (CETESB, 1992; TAVARES, 2005).

Já no período seco, foi identificada uma correlação positiva entre Oxigênio dissolvido e o Índice de Rugosidade da bacia de drenagem. Esse índice combina a qualidade, a declividade e o comprimento das vertentes, com a densidade de drenagem, portanto, quanto maior a densidade de drenagem, ou a amplitude altimétrica, maior será a rugosidade do terreno caracterizado por menores comprimentos de rampas e maior declividade, o que acentua o escoamento superficial (SOUZA e RODRIGUES, 2012), gerando maior turbulência, e com isso uma maior oxigenação da água.

Para as variações das concentrações de *E. coli*, não foram identificadas correlação com nenhuma das características das bacias nem com as variações dos usos e ocupações existentes. Contudo, merece atenção as altas concentrações de *E. coli* encontradas em todas às amostras que variaram de $3,5 \times 10^3$ a 16×10^3 NMP/100mL. Segundo Miquelante e Kolm (2011), a *Escherichia coli* é a espécie mais comum do grupo dos coliformes termotolerantes, e são bactérias exclusivas do trato intestinal normal de aves e mamíferos, portanto a densidade de *E. coli* na água fornece uma estimativa do grau de contaminação fecal à qual o ambiente está exposto.

Analisando os usos e ocupações presentes nas bacias de drenagem de cada ponto é suspeita-se que as origens desses aportes podem estar relacionadas a diferentes fontes que, segundo Gelber et al. (2007), podem ser os esgotos domésticos e os resíduos sólidos na zona urbana e na zona rural, onde além dos esgotos domésticos não tratados, as principais fontes também são as fezes de animais de sangue quente, como os bovinos, suínos, aves, incluindo-se,

também, animais domésticos como cães e gatos. Portanto as possíveis fontes de contaminantes variaram de acordo com a localização dos pontos amostrados conforme abaixo:

Na bacia do rio Tanque (pontos 1, 2 e 3), onde a principal atividade econômica é a agropecuária, a presença de material fecal na água possivelmente está relacionada à presença de currais ou pocilgas situados às margens do rio e que lançam seus efluentes diretamente nos cursos d'água, bem como contaminações dispersas ocasionadas pelo acesso de animais diretamente ao curso d'água, considerando que essa bacia de drenagem foi a que apresentou menor proporção de adensamento urbanos.

Por outro lado, a bacia do ribeirão Jirau (ponto 4) a origem da contaminação por resíduos fecais pode estar relacionada à lançamento de dejetos urbanos, uma vez que nessa bacia foram identificadas as menores proporções de áreas destinadas à atividade agropecuária, e também é onde o ponto de amostragem fica mais próximo de área urbana que está à montante.

No rio do Peixe (ponto 5), além de ser a bacia de drenagem que apresentou maior degradação e maior presença de adensamentos urbanos, além de o ponto de amostragem ficar a jusante da estação de tratamento de esgotos da cidade que pode ser uma fonte de contaminação, por meio de seus efluentes ou por falhas no monitoramento e no controle de sua eficiência.

Finalmente, na bacia do Rio Santa Bárbara (ponto 6), a presença de *E. coli* pode estar relacionada ao lançamento de esgotos domésticos, uma vez que o rio passa por diversas cidades antes do ponto de amostragem e também por contaminações de atividades agropecuárias desenvolvida ao longo da bacia, já que o ponto de amostragem com maior bacia de drenagem e o curso d'água passa por regiões com diferentes tipos de usos.

Dessa forma, é evidente a necessidade de uma análise mais detalhada das fontes de aportes de material fecal para os mananciais, de forma a evitar esses lançamentos à montante da captação com o objetivo de garantir a maior segurança hídrica da população servida.

Igualmente foi verificado que o IQA não se correlaciona com nenhuma das características morfométricas ou de uso das bacias. Isso pode ser explicado pelo fato de que esse índice agrupa nove variáveis diferentes e isso o torna menos sensível a variação pontual de um parâmetro específico, considerando que, à medida que algumas características podem interferir negativamente uma concentração que diminui o IQA, podem, ao mesmo tempo, influenciar outro parâmetro que melhora o índice. Por exemplo, em um rio mais turbulento tende a aumentar as concentrações de sólidos totais e de oxigênio dissolvidos que diminuem e aumentam o IQA, respectivamente (FERREIRA E OLIVEIRA, 2019; ZONTA et al. 2008)

Dessa forma, conforme evidenciado por CETESB (2018), esse índice é mais recomendado para caracterizar a qualidade da água quando relacionada à contaminação por esgoto doméstico, sendo sua aplicação limitada pela simplificação implícita em seu uso que atenua a quantidade de informações disponíveis na análise dos seus componentes individualmente (BARROS, BARRETO e LIMA, 2012).

5.10 – ESCOLHA DOS LOCAIS MAIS INDICADOS PARA INSTALAÇÃO DA NOVA CAPTAÇÃO

Do cálculo da disponibilidade hídrica do município foi possível verificar que, de forma geral, existe no município um baixo potencial de conflito pelo uso dos recursos hídricos, sendo a bacia do ribeirão Jirau a região com maior proporção entre vazão outorgada e vazão outorgável. Assim, apesar de essa bacia possuir $Q_{7,10}$ que atenderia a demanda, a quantidade de outorgas ali existentes inviabiliza a utilização desse manancial para uma captação unitária que atenda a cidade de Itabira.

Considerando os resultados da classificação pelo IQA e pela resolução CONAMA 357/2005, foi possível concluir que as águas presentes nos pontos coletados podem ser utilizadas para o abastecimento público após tratamento convencional, desde que sejam empregadas medidas para controle rigoroso das concentrações das contaminações do manancial por material fecal e da turbidez da água servida.

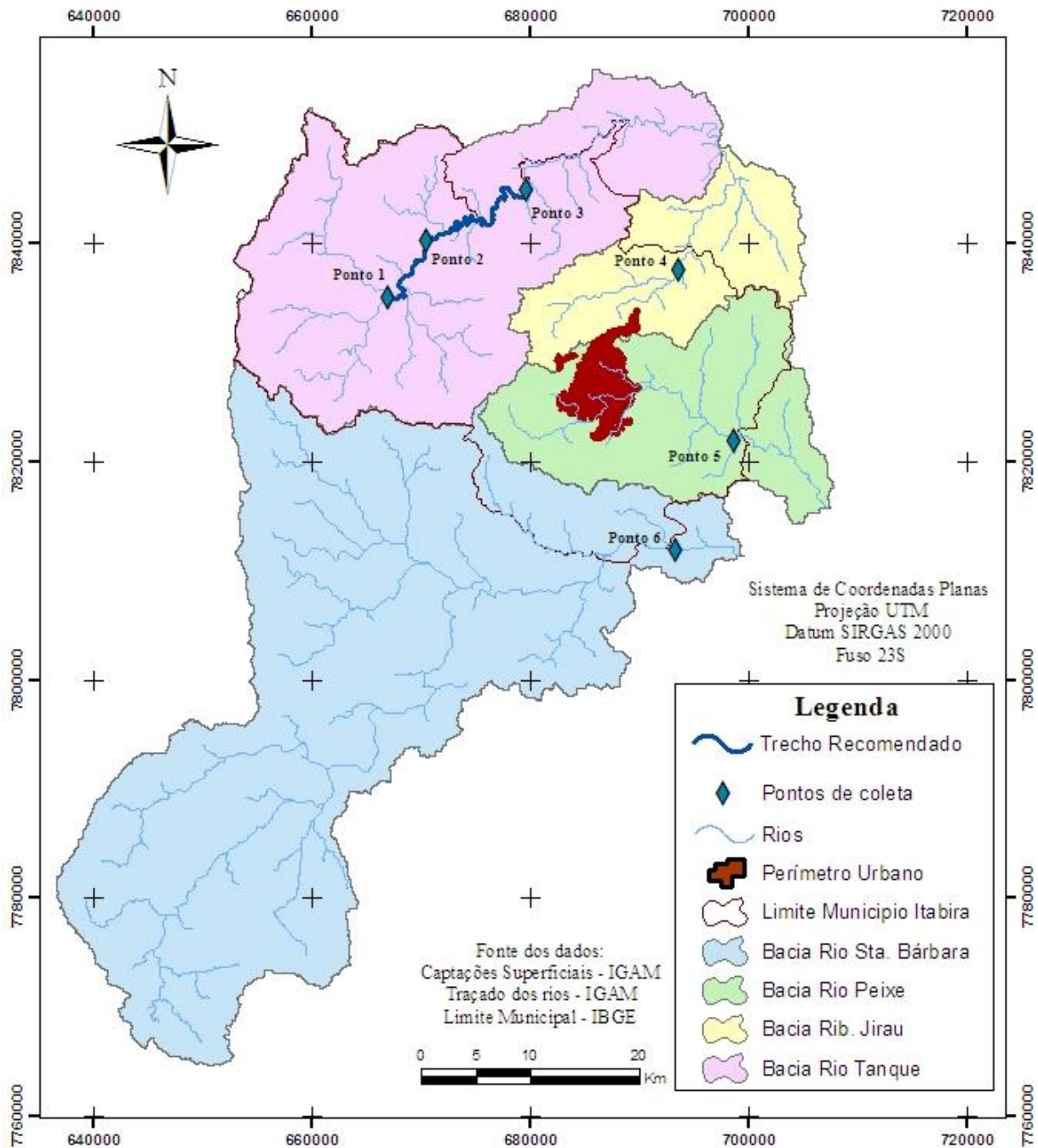
Finalmente, considerando a vazão disponível para outorga, os usos e ocupações e a qualidade da água encontrada nas bacias, recomendamos como melhores locais para a implantação de uma captação unitária para atender a cidade Itabira o trecho do rio Tanque que fica dentro do município de Itabira entre os pontos 1 e 3 conforme Figura 18.

Não recomendamos uma nova captação no rio Peixe uma vez, considerando que sua bacia encontra-se bastante degradada e o curso d'água somente possui vazão suficiente para a outorga, à jusante da estação de tratamento de esgotos da cidade, comprometendo os usos de suas águas, principalmente quanto à possibilidade da existência de eventuais patógenos e poluentes presentes em microquantidades que poderiam prejudicar a qualidade da água para sua utilização para consumo humano.

Em relação ao uso das águas do ribeirão Jirau e do rio Santa Bárbara, recomenda-se estudos quanto a possibilidade de barramentos para regularização da vazão no caso do primeiro, e análise quando à real necessidade do uso desses mananciais, uma vez que, em ambas bacias existem várias lagoas de rejeitos de mineração. Assim, o eventual rompimento destas poderá

comprometer a segurança do abastecimento da cidade, conforme verificado recentemente nos casos do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão na bacia do rio Doce e da barragem do córrego feijão em Brumadinho, na bacia do rio São Francisco que inviabilizaram as captações a jusante.

Figura 18 - Área de estudos com trecho recomendado para a nova captação



6 - CONCLUSÕES

A regionalização das vazões $Q_{7,10}$ empregando as equações disponibilizadas no Atlas Digital das Águas de Minas (HIDROTEC, 2011) não foi adequada para o estudo, uma vez que as restrições por áreas mínimas excluíram da análise seções dos cursos que apresentam a vazão suficiente para atender a demanda do município de Itabira-MG.

O emprego da metodologia proposta por Souza (1993), utilizando SIG, foi eficiente ao calcular as vazões $Q_{7,10}$ para todos os cursos d'água dos municípios, evidenciando que os rios principais das três bacias estudadas, juntamente com alguns afluentes menores apresentam a vazão necessária para atender a demanda da cidade até o ano de 2047, e possibilitou verificar que em todas as bacias estudada existem baixos potenciais de conflitos pelo uso a água.

O mapa de usos e ocupações elaborado para a área de estudos, possibilitou a identificação do estado de intervenção humana nas bacias consideradas, onde foi possível verificar que a pastagem é a cobertura do solo predominante, sendo que as feições mineração e lagoa de rejeitos também possuem destaque considerando a quantidade, a extensão e a importância econômica e ambiental.

Também em análise do mapa de usos e ocupações é possível concluir que a bacia do rio Tanque, com exceção da sub-bacia do ribeirão Jirau é a que apresenta menores áreas com adensamentos urbanos e é a única que não possui áreas com mineração e lagoas de rejeitos.

Assim, o emprego de mapas de usos e ocupações provou ser uma ferramenta útil para identificar regiões que necessitam de intervenções com o objetivo de melhorar a qualidade da água do manancial, sendo que sua eficiência seria aumentada quando elaborado para a bacia de drenagem após a escolha do local da captação com maior número de incursões em campo para identificar todos os pontos de poluição pontuais.

Considerando os resultados obtidos para os parâmetros do IQA em todos os pontos amostrados, e os limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005, observou-se que as águas superficiais dentro do município apresentaram características de corpos d'água de classe 1, com exceção de parâmetros típicos de poluição não industrial como *E. coli*, DBO₅, fósforo principalmente.

De acordo com as concentrações dos parâmetros avaliados, podemos concluir que em geral às águas superficiais analisadas apresentam relativamente boa qualidade sendo que as

principais degradações encontradas estão relacionadas à presença de material fecal nos corpos d'água

Portanto, em um possível processo de enquadramento na classe 1 desses mananciais, deverão ser buscadas ações de saneamento básico nos centros urbanos e identificação e regularização das fontes de poluição por matérias fecal, no meio rural.

Assim considerando a disponibilidade de água, os usos e ocupações das bacias e a qualidade da água, conclui-se que o curso d'água mais indicado para instalação de uma nova captação para atender a cidade é o rio Tanque entre os pontos analisadas, sendo o rio Peixe o manancial menos indicado.

Para aproveitamento das águas do rio Santa Bárbara e do ribeirão Jirau, deverão ser realizados estudos complementares avaliando o potencial comprometimento da captação no caso de um eventual acidente em uma das diversas lagoas de rejeitos presentes em suas bacias de drenagem.

7 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Estudos que verifiquem a viabilidade econômica, social e ambiental, quanto à implantação da captação nos locais recomendados, considerando a distância, o custo de instalação da captação e da adutora, bem como o trajeto mais adequado até a estação de tratamento de água.

Estudo de possíveis locais para instalação de barramentos de regularização de vazões de forma a possibilitar a captação em mananciais próximos à cidade.

Estudos quanto à disponibilidade, qualidade da água e a viabilidade de instalação de conjuntos de captações menores em outros cursos d'água de forma a suprir a demanda da cidade.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, Eduardo Lucena Cavalcante de; OLIVEIRA NETTO, Antônio Pedro de; MEDIONDO, Eduardo Mário. Estudo de métodos para regionalização de vazão. In: Anais do 16 **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, João Pessoa. 2005.
- ANA - Agência Nacional de Águas, Outorga de direito de uso de recursos hídricos/Agência Nacional de Águas. - Brasília: ANA, 2011. 50 p.: il. -- (Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos; v.6).
- ANA - Agência Nacional de Águas, Diagnóstico da outorga de direito de uso de recursos hídricos no Brasil, e, Fiscalização dos usos de recursos hídricos no Brasil. - Brasília: ANA, 2007. 166 p.: il. -- (Cadernos de Recursos Hídricos; v.4).
- ANA - Agência Nacional de Águas, Brasil. - ANA –Indicadores de Qualidade - Índice de Qualidade das Águas (IQA). 2019. disponível em < <https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/qualidade-da-agua/indicadores-de-qualidade> >, acessado em 14 de novembro de 2019.
- BAENA, Luiz G. N. et al. Regionalização de vazões com base em modelo digital de elevação para a bacia do rio Paraíba do Sul, v. 24, n. 3, p. 612-624, 2004.
- BARBOSA, Sylvio Elvis da Silva et al. Geração de modelos de regionalização de vazões máximas, médias de longo período e mínimas de sete dias para a Bacia do Rio do Carmo, Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 64-71, 2005.
- BARROS, Jessyca Costa; BARRETO, Francisco Mauricio de Sá.; LIMA, Marlon Vieira de. Aplicação do Índice de Qualidade das Águas (IQA-CETESB) no açude Gavião para determinação futura do Índice de Qualidade das Águas Brutas para fins de Abastecimento Público (IAP). In: VII Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação, Palma/Tocantins, 2012.
- BAZZO, Kássia Regina et al. Regionalização da vazão Q₉₅: comparação de métodos para a bacia hidrográfica do Rio Taquari-Antas, RS. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 5, p. 855-870, 2017.
- BRANDÃO, Carlos Jesus; BOTELHO, Marcia Janete Coelho; SATO, Maria Inês Zanoli. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. 2018.
- BRANDÃO, Sélis Luiz; LIMA, S. C. pH e condutividade elétrica em solução do solo, em áreas de pinus e cerrado na Chapada, em Uberlândia (MG). *Caminhos de Geografia*, v. 3, n. 6, p. 46-56, 2002.
- BRASIL Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA Resolução 357/2005, Enquadramento dos Corpos Hídricos Superficiais no Brasil. Governo Federal, Brasília. Publicada no DOU nº 53, de 18 de março de 2005, Seção 1, p. 58 - 63.

BRASIL. Decreto-Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a política nacional de recursos hídricos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 8 jan. 1997. Seção IV, p.45. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm.> Acesso em: 18. mai. 2018.

BRASIL. Lei nº 12.527, de 18 de novembro de 2011. Regula o acesso a informações previsto no inciso XXXIII do art. 5º, no inciso II do § 3º do art. 37 e no § 2º do art. 216 da Constituição Federal. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/112527.htm> Acesso em: 18. nov. 2019.

CAMELO, Sinara Martins. **Modelagem da poluição difusa em sistemas de macrodrenagem de bacias urbanas**. 2019. 113 f. (Dissertação em Engenharia Civil e Ambiental) – Centro de tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande PB, 2019.

CAMPOS, Vivian Dallagnol de. **Dinâmica de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Arroio dos Pereiras em Irati** – PR e sua influência na qualidade das águas superficiais. 2008. 110 f. Dissertação (Mestrado em Gestão do Território) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

CECÍLIO, Roberto Avelino et al. Avaliação de métodos para regionalização das vazões mínimas e médias na bacia do rio Itapemirim. **Revista Scientia Agraria**, v. 19, n. 2, p. 122-132, 2018.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). Qualidade da água na criação de organismos aquáticos. São Paulo: Cetesb - série didática. 1992.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo. São Paulo: CETESB, 2018. Apêndice D.

CHAGAS, César S. et al. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 218-226, 2010.

CHAVES, Henrique Marinho Leite et al. Regionalização de vazões mínimas em bacias através de interpolação em sistemas de informação geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 3, p. 43-51, 2002.

CONSELHO GESTOR DE PARCERIAS PÚBLICO-PRIVADAS – CGP, Proposta-PPP. 2018. disponível em <<http://www.saaeitabira.com.br/images/arquivos/CONTRATOS/Proposta-PPP.pdf>>, acessado em 14 de novembro de 2019.

CRUZ, Jussara Cabral. **Disponibilidade Hídrica para Outorga: Avaliação de Aspectos Práticos e Conceituais**. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, IPH/UFRGS. 205p. Porto Alegre.RS. 2001.

COSTA, Fernando Barbosa; FERREIRA, Vanderlei de Oliveira. Análise de parâmetros que compõem o índice de qualidade das águas (IQA) na porção mineira da bacia do rio Paranaíba. **Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 7, n. 18, 2015.

- DANELUZ, Débora.; TESSARO, Dinéia. Padrão físico-químico e microbiológico da água de nascentes e poços rasos de propriedades rurais da região sudoeste do Paraná. **Arq. Inst. Biol., São Paulo**, v. 82, p. 1-5, 2015.
- DIOGO, Paulo A. et al. Influência do fósforo de origem agrícola na classificação do estado trófico das principais albufeiras de Portugal continental. In: Conference Proceedings of the 8th National Environmental Conference, Lisbon, 27 -29 Outubro. 2004..
- EARTHDATA – NASA (2019), “ALOS PALSAR FBS”, disponível em <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>, acessado em 01 março 2019.
- ELMIRO, Marcos Antônio Timbó et al. Análise da redução do Índice de Qualidade da Água (IQA) utilizando Ambientes de Geoprocessamento. In: **XXII Congresso Brasileiro de Cartografia**. 2005. p. 2005.
- EUCLYDES, Humberto Paulo et al. Atlas digital das águas de Minas: uma ferramenta para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. Belo Horizonte: Ruralminas/UFV, 2005.
- FERNANDES, Milton Marques et al. Influência do uso do solo na qualidade de água da microbacia Glória, Macaé–RJ. **Engenharia Ambiental**, v. 8, n. 2, p. 105-116, 2011.
- FRAGA, Rosiméri da Silva. et al. Influência da precipitação sobre parâmetros de qualidade da água utilizada para irrigação do morangueiro no município de Turuçu-RS. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 18, n. 1, 2012
- GASQUES, Ana Carla Fernandes et al. Regionalização de Vazões Mínimas: Breve Revisão Teórica. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 14, n. 2, 2018.
- GBLER, Luciano et al. Dispersão de poluentes e seu monitoramento na agropecuária. Embrapa Meio, pag. 144, 2007.
- HIDROTEC – Atlas Digital das Águas de Minas – Uma Ferramenta Para Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos, 3ª Edição, Viçosa 2011. Disponível em <[www.http://www.atlasdasaguas.ufv.br/apresentacao.html](http://www.atlasdasaguas.ufv.br/apresentacao.html)>. Acessado em 15/03/2019.
- HORTON, Robert E. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological society of America bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.
- IEF – Instituto Estadual de Florestas disponível em <http://www.ief.mg.gov.br/parque-estadual/1410> acessado em 04/04/2020.
- INFOHIDRO disponível em <http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/sem-categoria/319-indice-de-qualidade-das-aguas-iqa> acessado em 11/10/2020.
- INFOHIDRO, Monitoramento de qualidade das águas, disponível em <http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/monitoramento-de-qualidade-das-aguas>, acessado em 10/02/2020.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo 2010. 2019. Disponível em < <https://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 28 maio 2019.

- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. Resolução Conjunta SEMAD-IGAM nº 1548, de 29 de março 2012. Dispõe sobre a vazão de referência para o cálculo da disponibilidade hídrica superficial nas bacias hidrográficas do Estado de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/CTIG/4-r-c-semad-igam-no-1548-versao-publicada.pdf>>. Acessado em 04 maio 2019.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM Manual Técnico E Administrativo De Outorga De Direito De Uso De Recursos Hídricos No Estado De Minas Gerais. Belo Horizonte: 2010. Disponível em: <http://igam.mg.gov.br/images/stories/2018/OUTORGA/Manual_de_Outorga_IGAM.pdf>. Acesso: 04/05/2019.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. Bacia Hidrográfica Ottocodificada – Drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Doce. Disponível em: <<http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>>. Acessado em 15 outubro 2018.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. Regulação de Usos de Recursos Hídricos – Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/regulacao-de-usos-de-recursos-hidricos>>. Acessado em 16 de maio de 2020.
- LAAHA, G.; BLÖSCHL, G. A comparison of low flow regionalization methods—catchment grouping. *Journal of Hydrology*, v. 323, n. 1-4, p. 193-214, 2006.
- LEMOES, Rodrigo Silva; MAGALHÃES JUNIOR, Antônio Pereira. Reflexões sobre os critérios de cálculo de vazões outorgáveis em áreas de conflito do estado de Minas Gerais: o caso da Bacia do Ribeirão Ribeiro Bonito. **Revista Espinhaço| UFVJM**, p. 4-12, 2017.
- LERMONTOV, André et al. Aplicação da lógica nebulosa na parametrização de um novo índice de qualidade das águas. **Engevista**, v. 10, n. 2, 2008.
- LISBOA, Luana, et al. Índice de Conflito Pelo Uso da Água na Gestão dos Recursos Hídricos (i_{cg}) Para a Bacia do Rio Piracicaba - MG. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 3, p. 7-15, 2017.
- LILIENTEIN, Juliane et al. Soil acidification in Pinus caribaea forests on Brazilian savanna Oxisols. *Forest ecology and management*, v. 128, n. 3, p. 145-157, 2000.
- LOPES, Frederico Wagner de Azevedo ; MAGALHÃES JÚNIOR, Antônio Pereira. Influência das condições naturais de pH sobre o índice de qualidade das águas (IQA) na bacia do Ribeirão de Carrancas. **Revista Geografias**, p. 134-147, 2010.
- LOPES, Tércio R. et al. Regionalization of maximum and minimum flow in the Teles Pires basin, Brazil. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 1, p. 54-63, 2017.
- LOURES, Ana Paula S, et al. Remoção de fósforo em sistema de tratamento de esgoto doméstico, por escoamento superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 706-714, 2006
- MAPBIOMAS, disponível em <<https://mapbiomas.org/>> 2019. acessado em 07 set. 2019.

- MACEDO, M. J. B. A Influência do Uso, da Ocupação E da Conservação do Solo Na Qualidade da Água de Abastecimento: O Caso da Bacia Hidrográfica do Lago Descoberto. 173 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Gestão Ambiental) – Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2004.
- MERTEN, Gustavo H.; MINELLA, Jean P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável**, v. 3, n. 4, p. 33-38, 2002.
- MIQUELANTE, Flávio Antunes; KOLM, Hedda Elisabeth. Indicadores microbiológicos de poluição fecal na desembocadura da gamboa olho d'água, Paraná: subsídio para o monitoramento da balneabilidade no Brasil. Publicatio UEPG: Ciências Biológicas e da Saúde, v. 17, n. 1, p. 21-35, 2011.
- MOLINA, Sabrina Kodjaoglanian Martins et al. Caracterização de disponibilidade hídrica e comparação de metodologias de regionalização de vazões. **Geosciences= Geociências**, v. 33, n. 3, p. 506-515, 2014.
- MOREIRA, Michel Castro.; SILVA, Demetrius David da. Atlas hidrológico da bacia hidrográfica do rio Grande. Barreiras: **Editora Gazeta Santa Cruz**, 2010. 80 p. il.
- MOREIRA, Michel Castro et al. Comparação Dos Valores Da Q7, 10 Estimados Por Diferentes Métodos De Regionalização De Vazões. **Revista Engenharia Na Agricultura-Reveng**, v. 18, n. 6, p. 522-528, 2010.
- MOREIRA, Michel Castro, et al. Índices para identificação de conflitos pelo uso da água: proposição metodológica e estudo de caso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 3, p. 7-15, 2012.
- MOREIRA, Michel Castro; SILVA, Demétrius David da. Análise de métodos para estimativa das vazões da Bacia do Rio Paraopeba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 2, p. 313-324, 2014.
- MULLER, G. Methods in Sedimentary Petrology. New York: **Stuttgart**, 1953.
- FERREIRA, Adriana Costa; DE OLIVEIRA, Cristiane Barbosa. Avaliação do Índice de Qualidade da Água (IQA) dos Poços do Bairro do Calabar e Seu Entorno, Salvador – BA. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, p. 238 - 254, dez. 2019. ISSN 2317-563X. Disponível em: <<https://cienciasmedicasbiologicas.ufba.br/index.php/gesta/article/view/33563>>. Acesso em: 20 jun. 2020. doi:<http://dx.doi.org/10.9771/gesta.v7i2.33563>.
- OLIVEIRA, Sílvia M. A.; Corrêa; VON SPERLING, Marcos. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 1: análise de desempenho. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 347-357, 2005.
- OLIVEIRA, Brunna Stefanny Sangel de; CUNHA, Alan Cavalcanti da. Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do Estado do Amapá. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 2, p. 261-275, 2014.
- PANCHER, A. M. Os Reflexos dos Avanços das Geotecnologias no Estudo da Evolução da Ocupação Urbana. **Revista Geonorte**, Edição Especial, V.2, N.4, p.1694 – 1706, 2012.

- PEREIRA, S.B. **Evaporação no lago de Sobradinho e disponibilidade hídrica no rio São Francisco**. 2004, 105 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Ambiental) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.
- PEREIRA, Bruno Wendell de Freitas et al. Uso da terra e degradação na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, PA, Brasil. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 11, n. 2, p. 472-485, 2016.
- PONTES, Patrícia Procópio; MARQUES, Andréa Rodrigues; MARQUES, Guilherme Fernandes. Efeito do uso e ocupação do solo na qualidade da água na micro-bacia do Córrego Banguelo-Contagem. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 7, n. 3, p. 183-194, 2012.
- PORTO, M.M. et al. Identificação de Bacias Hidrográficas Com Características Físicas Similares no Estado do Ceará, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, vol. 35, nº. 1, 17-25, 2004.
- PRADO, Rachel Bardy. **Geotecnologias aplicadas à análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos**. São Carlos. Tese (Doutorado). Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2004.
- PRUSKI, Fernando Falco et al. Extrapolação de equações de regionalização de vazões mínimas: Alternativas para atenuar os riscos. **Water Resources and Irrigation Management-WRIM**, v. 1, n. 1, p. 51-59, 2012.
- PRUSKI, Fernando F. et al. Impacto das vazões demandadas pela irrigação e pelos abastecimentos animal e humano, na Bacia do Paracatu. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 199-210, 2007.
- QUEIROZ, Manoel Moisés Ferreira de et al. Influência do uso do solo na qualidade da água de uma microbacia hidrográfica rural. **Revista Verde de Agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v. 5, n. 4, p. 200-210, 2010.
- RABELO, Clarisse Guimarães et al. Influência do uso do solo na qualidade da água no bioma Cerrado: um estudo comparativo entre bacias hidrográficas no Estado de Goiás, Brasil. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 4, n. 2, p. 172-187, 2009.
- RESENDE Alvaro. Vilela. Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato. Documentos 57. 1ª edição. Planaltina: **Embrapa Cerrados**; 2002.
- ROESER, Hubert Mathias Peter.; ROESER. Patricia Angelika. O Quadrilátero Ferrífero - MG, Brasil: Aspectos sobre sua História, seus Recursos Minerais e Problemas Ambientais Relacionados. **Geonomos** 18. p. 33– 37, 2010.
- ROSA, André Pereira et al. Potencial energético e alternativas para o aproveitamento do biogás e lodo de reatores UASB: estudo de caso Estação de tratamento de efluentes Laboreaux (Itabira). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 315-328, 2016.

- SALIS, Hugo Henrique de et al. Conversão do modelo digital de superfície (MDS) a modelo digital de elevação hidrologicamente condicionado (MDEHC) para a bacia hidrográfica do Córrego do Marinheiro, Sete Lagoas–MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 3, p. 1127-1136, 2018.
- SANTOS, Quelle Rebouças dos et al. Monitoramento da qualidade da água em uma seção transversal do rio Catolé, **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia**, v.9, N.16; p. 1505-1519. 2013.
- SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE DE ITABIRA, <http://meioambiente.itabira.mg.gov.br/>. Rua Gérson Guerra, 162 - Santo Antônio, Itabira – MG, 2019,
- SILVA, Antônio M. da et al. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 374-380, 2006.
- SILVA, F. R. A paisagem do Quadrilátero Ferrífero, MG: potencial para o uso turístico da sua geologia e geomorfologia. 144 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). 2007.
- SILVA, Demétrius David da; MARQUES, Felipe de Azevedo; LEMOS, Alysson Feliciano. Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para bacia do Rio São Francisco. **Revista Engenharia Na Agricultura-Reveng**, v. 17, n. 5, p. 392-403, 2009.
- SILVA, Bruno Marcel Barros da; SILVA, Demetrius David da; MOREIRA, Michel Castro. Índices para a gestão e planejamento de recursos hídricos na bacia do rio Paraopeba, Estado de Minas Gerais. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 3, p. 685-697, 2015
- SILVA JÚNIOR, Omar B. da. et al. Extrapolação espacial na regionalização da vazão. RBRH - **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. V. 8, n.1. p. 21–37, mar. 2003.
- SILVEIRA, Geraldo Lopes da; TUCCI, Carlos E. M. (1998) Monitoramento em pequenas bacias para a estimativa de disponibilidade hídrica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto alegre RS, Vol. 3, n.3, p 97–110.
- SILVEIRA, Geraldo Lopes, TUCCI, Carlos .E.M., SILVEIRA, André.L.L. Quantificação de vazão em pequenas bacias sem dados. RBRH: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.3, n.3, p.111-131, jul./set. 1998
- SOUZA, Sérgio Menin Teixeira de. **Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais, Hidrossistemas** - Belo Horizonte, 1993. 264p.
- SOUZA, Marielle Medeiros de; GASTALDINI, Maria do Carmo Cauduro. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 263-274, 2014.
- STEFFEN, Gerusa Pauli Kist.; STEFFEN, Ricardo Bemfica.; ANTONIOLLI, Zaida Inês. Contaminação do solo e da água pelo uso de agrotóxicos. **Tecno-lógica**, v. 15, n. 1, p. 15-21, 2011.
- STRAHLER, Arthur N. Hypsometric analysis of erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, p. 111 -141, 1952.

- STRAHLER, Arthur N. Dimensional analysis applied to fluvially eroded landforms. **Geological Society of America Bulletin**, v. 69, n. 3, p. 279-300, 1958.
- SANTOS, Rosa Cecília Lima. et al. Aplicação de índices para avaliação da qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia em Sergipe. **Engenharia Sanitária Ambiental**. Rio de Janeiro, v. 23, n. 1, p. 33-46, 2018.
- SCHUMM, Stanley A. Sinuosity of alluvial rivers on the Great Plains. **Geological Society of America Bulletin**, v. 74, n. 9, p. 1089-1100, 1963.
- SNIS, Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento, 2019. Disponível em: <http://app3.cidades.gov.br/serieHistorica>. Acesso em: 16 de nov. 2019.
- TAVARES, A.R. 2005. **Monitoramento da qualidade das águas do rio Paraíba do Sul e diagnóstico de conservação**. Dissertação de Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica-ITA, São José dos Campos, São Paulo. 176pp
- TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Regionalização de vazão. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2002, 256p.de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. –UFMG. 2007.
- VIDAL, Júnia Maria Cota. **Análise do Uso e Ocupação do Solo Nas Áreas de Proteção Ambiental–Apas Piracicaba e Pureza Em Itabira-MG**. 88 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Sustentabilidade em Tecnologia Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Bambuí, 2019.
- VON SPERLING, Marcos. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. 2. ed. Belo Horizonte, MG: Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 1995. v. 1. P. 122.
- ZONTA, João Henrique, et al. Water quality of Alegre River, Espírito Santo. *Revista Ciência Agronômica*, 2008, 39.1: 155.

ANEXO I– Imagens dos pontos de coleta

Ponto 1 (Rio Tanque), Coordenadas Geográficas: -19,5719; -43,4078; 581,00



Data 12/12/2019; Horário: 08:06



Data 18/05/2020; Horário: 09:48

Ponto 2 (Rio Tanque), Coordenadas Geográficas: -19,5244; -43,3748; 573,00

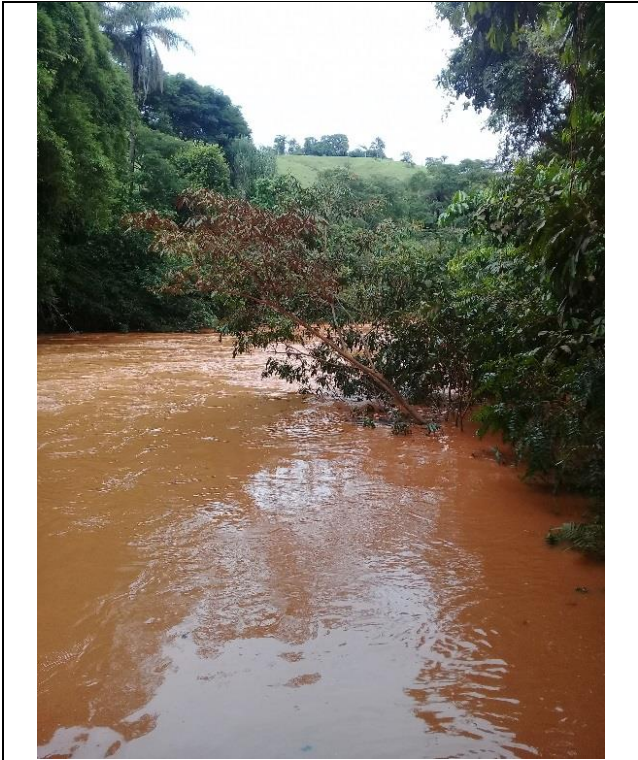


Data 12/12/2019; Horário: 08:31

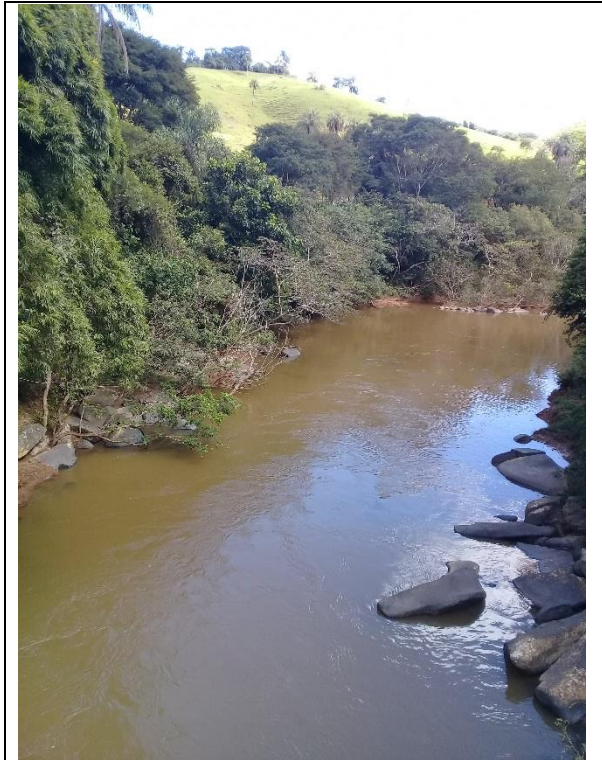


Data 18/05/2020; Horário: 10:27

Ponto 3 (Rio Tanque), Coordenadas Geográficas: -19,4816; -43,2879; 561,00

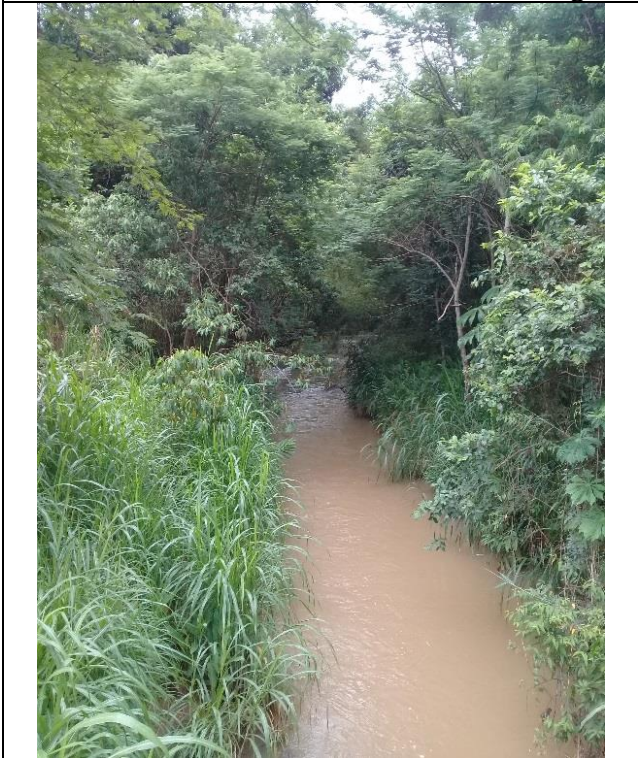


Data 12/12/2019; Horário: 09:19



Data 18/05/2020; Horário: 11:32

Ponto 4 (Ribeirão Jirau), Coordenadas Geográficas: -19,5468°; - 43,1543°; 603,00m

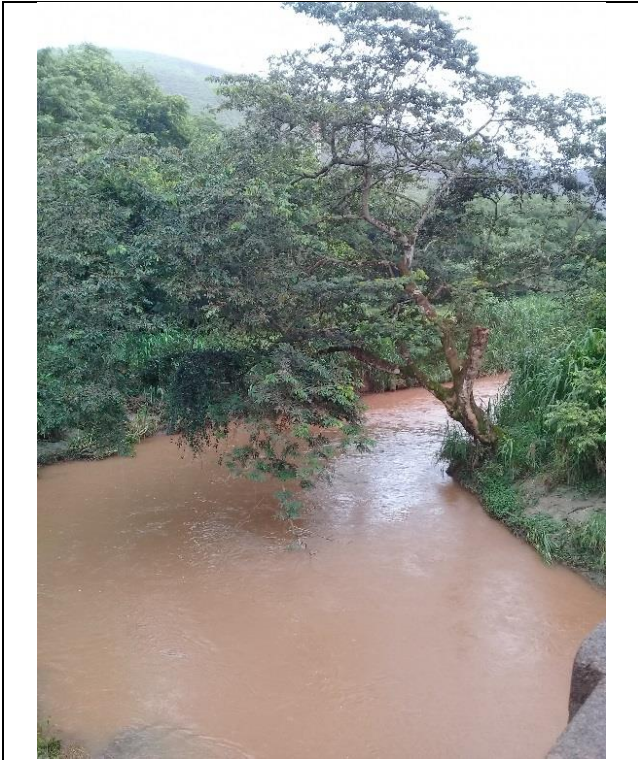


Data 11/12/2019; Horário: 07:41



Data 18/05/2020; Horário: 12:47

Ponto 5 (rio Peixe), Coordenadas Geográficas: -19,6870; - 43,1043; 602,00

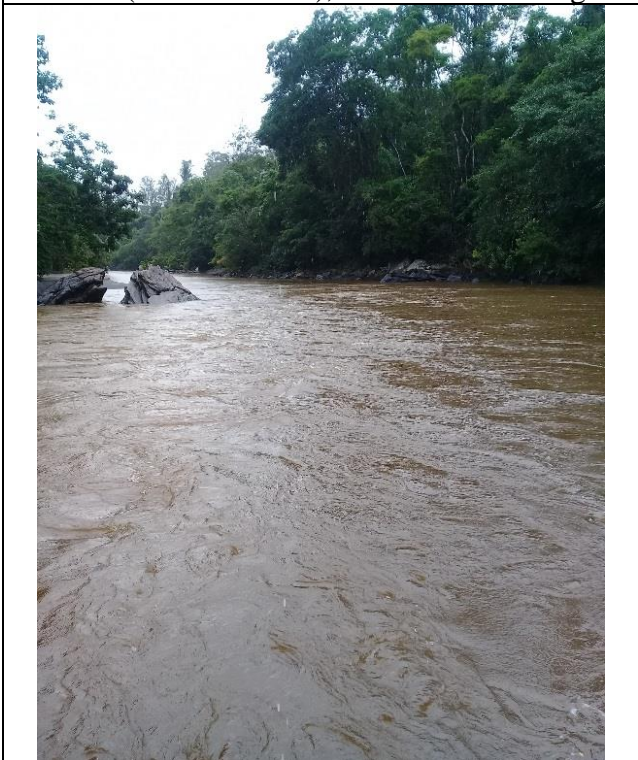


Data 11/12/2019; Horário: 08:29

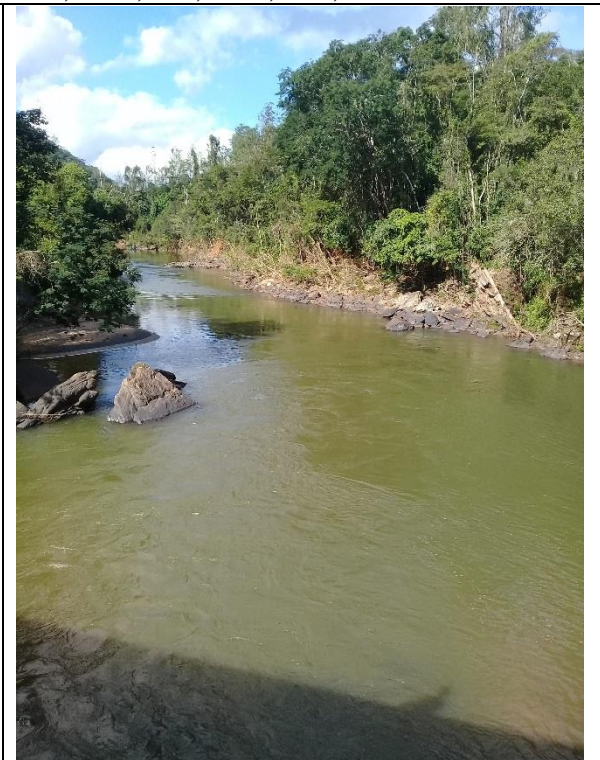


Data 18/05/2020; Horário:13:32

Ponto 6 (Santa Bárbara), Coordenadas Geográficas: -19,7784; -43,1549; 552,00



Data 11/12/2019; Horário: 09:32



Data 18/05/2020; Horário:14:21

ANEXO II – Usuários de recursos hídricos superficiais por bacia

Usuários da bacia do ribeirão Jirau

Nº Proc. Adm	Nº Port.	Data Vencido	Usuário	Vazão (l/s)	Lat	Long
20406/2014	1355/2016	17/06/2036	SAAE ITABIRA	100,00	-19,5598	-43,1954
5622/2009	5622/2012	01/11/2024	AGROFLORES ITABIRA LLTDA	70,00	-19,5732	-43,1875
20706/2013	00364/2017	27/01/2022	Celulose Nipo-Brasileira S/A - CENIBRA	5,00	-19,5464	-43,1317
20706/2013	364/2017	27/01/2022	CELULOSE NIPO-BRASILEIRA S.A	5,00	-19,5487	-43,1313
16984/2014	1501137/2018	30/11/2023	FABIO MARTINS DA COSTA FILHO	1,50	-19,5298	-43,079
16894/2014	1501137/2018	30/11/2022	FABIO MARTINS DA COSTA FILHO	1,50	-19,5303	-43,0794
47559/2019		03/08/2022	SANTA MARIA ESPORTE CLUBE	1,00	-19,4506	-43,1153
43540/2019		14/07/2022	VALE S/A	1,00	-19,5922	-43,205
43539/2019		14/07/2022	VALE S/A	1,00	-19,5939	-43,2019
26792/2019		25/03/2022	JOSE DIMAS DA SILVA GAIGHER	1,00	-19,5128	-43,1061
192215/2018		18/09/2021	VALE S/A	1,00	-19,6093	-43,2633
192180/2018		18/09/2021	VALE S/A	1,00	-19,607	-43,2576
175565/2018		23/08/2021	PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABIRA	1,00	-19,6092	-43,2635
174885/2018		22/08/2021	ÁGUA QUENTE MIN. AGR. E ECO TUR. LTDA	1,00	-19,577	-43,1346
122234/2018		05/06/2021	VALE S/A	1,00	-19,6112	-43,2558
118699/2018		28/05/2021	ARI VIRGILIO	1,00	-19,4662	-43,1069
123389/2017		08/08/2020	AITON FRANCISCO DE MORAES	1,00	-19,5814	-43,1834
15374/2017		14/05/2020	AÉLITON RODRIGUES DE ALMEIDA	1,00	-19,5672	-43,1383
5230/2017		22/02/2020	RONALDO PROCOPIO DA SILVA	1,00	-19,6057	-43,1523
202285/2018		05/10/2021	FABRICIO MARTINS DA COSTA	0,90	-19,4804	-43,1232
80674/2017		22/06/2020	VAGNER ANTONIO TAVARES	0,90	-19,5633	-43,0559
174835/2018		22/08/2021	MARCELO VIANA GONÇALVES	0,80	-19,5848	-43,1551
1008/2017		11/01/2020	JÚLIO CÉSAR LAGE MOURA	0,60	-19,4814	-43,0922
1007/2017		11/01/2020	JÚLIO CÉSAR LAGE MOURA	0,30	-19,4867	-43,0785
191415/2018		17/09/2021	DAGMA DE ALVARENGA DUARTE LAGE	0,27	-19,462	-43,1128
51105/2019		20/08/2022	JURANDIR ALVES PAULA	0,20	-19,5267	-43,1525
50766/2019		19/08/2022	CANDIDO MARTINS MAIA JUNIOR	0,08	-19,5517	-43,1339
1972/2017		20/01/2020	JOSÉ EDUARDO CABRAL	0,07	-19,4889	-43,1158
95094/2018		19/04/2021	MARCOS MARTINS DE ANDRADE	0,05	-19,5851	-43,1557
94719/2018		19/04/2021	MARCOS MARTINS DE ANDRADE	0,05	-19,5821	-43,1588
94699/2018		19/04/2021	MARCOS MARTINS DE ANDRADE	0,05	-19,5814	-43,1594
94664/2018		19/04/2021	MARCOS MARTINS DE ANDRADE	0,05	-19,5806	-43,162
25906/2019		20/03/2022	COM SAO PEDRO MIN. E TRANSPORTE LTDA	0,05	-19,5244	-43,095
202280/2018		05/10/2021	FABRICIO MARTINS DA COSTA	0,04	-19,4791	-43,125
53143/2019		31/08/2022	EDUARDO HENRIQUE DA SILVEIRA	0,01	-19,4875	-43,1575

Fonte: IGAM (2019)

Usuários da bacia do rio Peixe

Nº Proc. Adm	Nº Port.	Data Vencto	Usuário	Vazão (l/s)	Lat	Long
31662/2014	00666/2017	21/02/2022	Vale S/A	221,00	-19,674	-43,237
12433/2014	1502516/2019	15/03/2024	BELMONT MINERAÇÃO LTDA	28,00	-19,667	-43,135
1202/2019	1504481/2019	22/05/2024	ALPHAVILLE TEXTIL LTDA	12,50	-19,670	-43,226
07400/2013	1509952/2019	05/12/2029	FATORIAL EMPREENDIMENTOS IMOBILIÁRIOS LTDA	7,50	-19,671	-43,227
62488/2019		17/10/2022	SIGMA TAU LTDA	1,00	-19,670	-43,210
60936/2019		09/10/2022	ITABIRA GRANITOS E CERAMICA LTDA	1,00	-19,722	-43,205
23164/2019		25/02/2022	PIPA ALVES LOCACOES E TRANSPORTES LTDA	1,00	-19,670	-43,210
19396/2019		05/02/2022	DEGRAUS ENGENHEIRA E EMPREENDIMENTOS IMOBILIARIOS	1,00	-19,686	-43,100
19391/2019		05/02/2022	DEGRAUS ENGENHEIRA E EMPREENDIMENTOS IMOBILIARIOS	1,00	-19,687	-43,104
19366/2019		05/02/2022	DEGRAUS ENGENHEIRA E EMPREENDIMENTOS IMOBILIARIOS	1,00	-19,684	-43,111
4604/2019		15/01/2022	JOSE DA CONCEICAO MOREIRA	1,00	-19,695	-43,201
244590/2018		20/12/2021	BELMONT MINERAÇÃO LTDA	1,00	-19,691	-43,113
244580/2018		20/12/2021	BELMONT MINERAÇÃO LTDA	1,00	-19,700	-43,107
244465/2018		20/12/2021	BELMONT MINERAÇÃO LTDA	1,00	-19,690	-43,113
244350/2018		20/12/2021	BELMONT MINERAÇÃO LTDA	1,00	-19,699	-43,103
192265/2018		18/09/2021	VALE S/A	1,00	-19,646	-43,242
192240/2018		18/09/2021	VALE S/A	1,00	-19,641	-43,241
175615/2018		23/08/2021	PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABIRA	1,00	-19,674	-43,215
175545/2018		23/08/2021	PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABIRA	1,00	-19,724	-43,142
175420/2018		23/08/2021	PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABIRA	1,00	-19,665	-43,103
50769/2018		05/02/2021	USA - USINA SIDERURGICA ATLAS S/A	1,00	-19,685	-43,214
216669/2017		12/11/2020	MINERACAO CANAA IND. E COM EIRELI	1,00	-19,660	-43,120
12398/2017		18/05/2020	VALE SA	1,00	-19,699	-43,055
12385/2017		18/05/2020	VALE SA	1,00	-19,701	-43,052
13939/2017		03/05/2020	CONSTRUTORA E MINERAÇÃO SUL AMÉRICA LTDA	1,00	-19,675	-43,217
1100/2017		12/01/2020	WAGNER MARQUES DOS SANTOS	1,00	-19,722	-43,133
706/2017		09/01/2020	ITABIRA GRANITOS E CERAMICA LTDA	1,00	-19,723	-43,206
52108/2019		26/08/2022	CONSTRUTORA VALE VERDE LTDA	0,99	-19,676	-43,218
58848/2019		29/09/2022	SANTA FÉ - SERVIÇOS TRANSPORTES E COMÉRCIO LTDA	0,98	-19,632	-43,201
50867/2019		20/08/2022	GERALDO EGYDIO COTTA	0,98	-19,657	-43,163
50852/2019		20/08/2022	MARIA DA CONCEICAO COTTA	0,95	-19,656	-43,165
23051/2019		24/02/2022	PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABIRA	0,95	-19,651	-43,223
30910/2019		21/04/2022	INTERFACIL MINERACAO E EMPREENDIMENTOS LTDA	0,90	-19,649	-43,115
30904/2019		21/04/2022	INTERFACIL MINERACAO E EMPREENDIMENTOS LTDA	0,90	-19,645	-43,134
24076/2019		07/03/2022	JOSE DA CONCEICAO MOREIRA	0,90	-19,695	-43,198
22283/2019		18/02/2022	ANTÔNIO EREMITA DE SÁ	0,90	-19,670	-43,221
167734/2017		20/09/2020	EPAMIG	0,90	-19,709	-43,200
57482/2019		22/09/2022	FLORESTAL BIOFLOR S.A.	0,80	-19,680	-43,135
127029/2017		13/08/2020	DENNER ROBSON DA SILVA	0,80	-19,705	-43,190
44499/2018		25/01/2021	EDIMILSON FERNANDO COELHO	0,71	-19,698	-43,220
218235/2018		29/10/2021	MIGUEL HONORIO VITAL	0,70	-19,688	-43,181
218180/2018		29/10/2021	MIGUEL HONORIO VITAL	0,70	-19,684	-43,178
180484/2017		02/10/2020	MAXIMA CAMINHOS MAQUINAS E SERVIÇOS LTDA	0,70	-19,704	-43,218
96664/2017		11/07/2020	SEBASTIAO VICENTE DA CRUZ	0,60	-19,607	-43,116
57512/2019		22/09/2022	FLORESTAL BIOFLOR S.A.	0,50	-19,693	-43,143
37092/2019		03/06/2022	COOP. MISTA GARIMPEIROS DO CENTRO-LESTE MG	0,50	-19,702	-43,091
29853/2018		03/01/2021	MARIA CRISTINA MOTTA OLIVEIRA	0,50	-19,670	-43,143
227310/2018		18/11/2021	AFONSO BUENO DA MOTTA	0,41	-19,687	-43,179
48343/2019		06/08/2022	PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABIRA	0,40	-19,670	-43,210
21285/2019		13/02/2022	UNIMED ITABIRA COOPERATIVA DE TRABALHO MÉDICO	0,34	-19,628	-43,206
11114/2019		23/01/2022	JOSE DA CONCEICAO FERREIRA	0,30	-19,686	-43,279
212275/2018		21/10/2021	PRUDENCIO GOMES PEREIRA	0,30	-19,628	-43,206
144490/2018		09/07/2021	SEBASTIÃO RAINERIO FERNANDES	0,27	-19,679	-43,206
218260/2018		29/10/2021	PEDRO PAULO VITAL	0,20	-19,679	-43,177
96639/2017		11/07/2020	SEBASTIAO VICENTE DA CRUZ	0,20	-19,608	-43,114
9099/2017		02/04/2020	FRANCISCO ANTONIO DEL CARO PAIVA	0,14	-19,716	-43,179
9098/2017		02/04/2020	FRANCISCO ANTONIO DEL CARO PAIVA	0,14	-19,716	-43,179
63574/2019		23/10/2022	JOSE TOMAZ DE SOUZA	0,10	-19,595	-43,076
5062/2017		21/02/2020	MANOEL RICARDO DE BRITO	0,08	-19,710	-43,118

Fonte: IGAM (2019)

Usuários da bacia do rio Tanque – Parte 1

Nº Proc. Adm	Nº Port.	Data Vencdo	Usuário	Vazão (l/s)	Lat	Long
20872/2017	1510248/2019	13/12/2029	JOÃO CARLOS COELHO DE OLIVEIRA	22,00	-19,498	-43,408
17195/2014	4183/2017	20/12/2022	EMILSON MARTINS DE ASSIS BRETAS	16,20	-19,426	-43,177
10424/2012	1509671/2019	28/11/2054	SAAE ITABIRA	11,00	-19,494	-43,378
32467/2014	1504810/2019	04/06/2024	JOÃO CARLOS COELHO DE OLIVEIRA	11,00	-19,497	-43,407
17196/2014	4184/2017	20/12/2022	EMILSON MARTINS DE ASSIS BRETAS	8,80	-19,414	-43,174
17198/2014	1506232/2019	12/07/2024	EMILSON MARTINS DE ASSIS BRETAS	3,40	-19,417	-43,181
60512/2019		07/10/2022	CARMO EXTRAÇÃO DE GRANITO LTDA	1,00	-19,553	-43,393
60506/2019		07/10/2022	CARMO EXTRAÇÃO DE GRANITO LTDA	1,00	-19,558	-43,400
59903/2019		03/10/2022	COBRA BRASIL SERVICOS, COM. E ENERGIA S.A.	1,00	-19,584	-43,392
59902/2019		03/10/2022	COBRA BRASIL SERVICOS, COM. E ENERGIA S.A.	1,00	-19,614	-43,362
59834/2019		02/10/2022	COBRA BRASIL SERVICOS, COM. E ENERGIA S.A.	1,00	-19,603	-43,344
59828/2019		02/10/2022	COBRA BRASIL SERVICOS, COM E ENERGIA S.A.	1,00	-19,604	-43,342
34830/2019		19/05/2022	TRATOR ITA LTDA	1,00	-19,442	-43,218
6214/2019		16/01/2022	ANGLO AMERICAN MINÉRIO DE FERRO BRASIL S/A	1,00	-19,432	-43,161
175575/2018		23/08/2021	PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABIRA	1,00	-19,470	-43,268
165520/2018		09/08/2021	PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABIRA	1,00	-19,491	-43,387
161285/2018		02/08/2021	PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABIRA	1,00	-19,500	-43,381
161240/2018		02/08/2021	PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABIRA	1,00	-19,585	-43,475
161225/2018		02/08/2021	PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABIRA	1,00	-19,584	-43,415
161165/2018		02/08/2021	PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABIRA	1,00	-19,536	-43,467
161150/2018		02/08/2021	PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABIRA	1,00	-19,614	-43,441
161120/2018		02/08/2021	PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABIRA	1,00	-19,561	-43,445
161100/2018		02/08/2021	PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABIRA	1,00	-19,649	-43,364
146275/2018		11/07/2021	EDISON LUIS DA COSTA	1,00	-19,477	-43,416
101104/2018		01/05/2021	CARMO EXTRAÇÃO DE GRANITO LTDA	1,00	-19,549	-43,388
144464/2017		10/10/2020	FRANCISCO DE ALVARENGA ASSIS	1,00	-19,434	-43,132
184694/2017		05/10/2020	VIRGILINO QUINTAO TORRES CRUZ	1,00	-19,532	-43,314
184689/2017		05/10/2020	VIRGILINO QUINTAO TORRES CRUZ	1,00	-19,530	-43,316
184674/2017		05/10/2020	VIRGILINO QUINTAO TORRES CRUZ	1,00	-19,526	-43,317
184659/2017		05/10/2020	VIRGILINO QUINTAO TORRES CRUZ	1,00	-19,521	-43,315
67154/2017		08/06/2020	JOSE DA CONCEICAO SOARES	1,00	-19,548	-43,392
67139/2017		08/06/2020	JOSE DA CONCEICAO SOARES	1,00	-19,548	-43,391
60469/2017		03/06/2020	WENER AMANN	1,00	-19,570	-43,389
698/2017		09/01/2020	AILTON JERÔNIMO DA SILVA	0,99	-19,551	-43,360
154630/2018		24/07/2021	JOSE MARIA COTTA DE LIMA	0,96	-19,529	-43,431
14634/2017		08/05/2020	GERALDO DO CARMO DE FIGUEIREDO	0,95	-19,641	-43,446
48963/2019		11/08/2022	RAIMUNDO JOSÉ DA PIEDADE OLIVEIRA	0,90	-19,465	-43,354
225830/2018		13/11/2021	SERGIO MARCIO DE OLIVEIRA	0,90	-19,465	-43,363
179269/2017		01/10/2020	IVAN DUARTE DE ASSIS	0,90	-19,452	-43,153
131054/2017		01/10/2020	LUCAS FILIPE DO NASCIMENTO AMADOR	0,90	-19,515	-43,377
103989/2017		18/07/2020	JOVELINDO PEDRO DE OLIVEIRA DUARTE	0,90	-19,458	-43,339
63167/2019		22/10/2022	SAAE ITABIRA	0,81	-19,511	-43,464
37365/2019		05/06/2022	SAAE ITABIRA	0,81	-19,513	-43,453
33563/2019		09/05/2022	ROGÉRIO FIGUEIREDO COELHO	0,80	-19,579	-43,495
22814/2019		21/02/2022	MARIA MARGARIDA CHAVES SANTOS	0,70	-19,577	-43,363
21545/2019		13/02/2022	SUDARIO ANJOS CORREIA	0,70	-19,605	-43,436
43270/2019		11/07/2022	DEYVID JARDIM DUARTE	0,60	-19,665	-43,380
154655/2018		24/07/2021	JOSE MARIA COTTA DE LIMA	0,60	-19,529	-43,429
77794/2017		20/06/2020	GIOVANI SANTOS MARCAL	0,60	-19,538	-43,304
33582/2019		10/05/2022	GILSON CAMELO SEBE	0,50	-19,660	-43,360
25186/2019		15/03/2022	MARIA APARECIDA LEMOS	0,50	-19,621	-43,513
241204/2017		19/12/2020	MARCO RODRIGUES DE OLIVEIRA	0,50	-19,550	-43,352
151099/2017		28/10/2020	MARCO RODRIGUES DE OLIVEIRA	0,50	-19,551	-43,352
151054/2017		22/10/2020	MARCO RODRIGUES DE OLIVEIRA	0,50	-19,551	-43,352
98159/2017		12/07/2020	ITAMAR PEREIRA DE ANDRADE	0,50	-19,610	-43,519
84999/2017		27/06/2020	PAULO ROBERTO SOARES FONSECA	0,50	-19,514	-43,464
77509/2017		20/06/2020	ADRIANO ARAUJO FURST	0,50	-19,513	-43,464
75654/2017		19/06/2020	EDUARDO DA SILVEIRA S PINTO	0,50	-19,513	-43,464
71029/2017		12/06/2020	MARCO RODRIGUES DE OLIVEIRA	0,50	-19,551	-43,352

Usuários da bacia do rio Tanque – Parte 2

Nº Proc. Adm	Nº Port.	Data Vencido	Usuário	Vazão (l/s)	Lat	Long
50094/2017		28/05/2020	JOÃO CARLOS COELHO DE OLIVEIRA	0,50	-19,501	-43,406
57476/2019		22/09/2022	FLORESTAL BIOFLOR S.A.	0,40	-19,516	-43,225
31824/2019		28/04/2022	JOAO LINO DE MOURA DIAS	0,40	-19,456	-43,128
160320/2018		01/08/2021	EDMAIRE CARVALHO GOMES CASTILHA	0,40	-19,505	-43,388
239150/2018		11/12/2021	LEANDRO ANTÔNIO FREITAS DOS SANTOS	0,34	-19,526	-43,325
76959/2017		19/06/2020	JOSE GERALDO MOREIRA	0,34	-19,555	-43,290
9374/2017		23/03/2020	MARCO ANTÔNIO LAGE	0,34	-19,606	-43,361
9373/2017		23/03/2020	MARCO ANTÔNIO LAGE	0,34	-19,609	-43,360
102844/2018		03/05/2021	DIMAS DIAS DUARTE	0,30	-19,665	-43,380
90819/2017		04/07/2020	JURACI CHABUDE NASCIMENTO	0,30	-19,549	-43,405
53112/2019		31/08/2022	JOAQUIM VIANA	0,20	-19,530	-43,374
46187/2019		26/07/2022	CARLOS DRUMMOND DE ANDRADE FILHO	0,20	-19,525	-43,290
226494/2017		23/11/2020	HILO JOSÉ DUARTE DE ASSIS	0,20	-19,443	-43,140
3797/2017		21/02/2020	RAIMUNDO BORJA MARQUES	0,20	-19,491	-43,456
34030/2019		14/05/2022	DÉCIO GOMES DE BRITO	0,10	-19,408	-43,228
28002/2019		01/04/2022	MILTON GONCALVES DA SILVA	0,08	-19,5561	-43,3989

Fonte: IGAM (2019)

Usuários da bacia do rio Santa Bárbara – Parte 1

Nº Proc. Adm	Nº Port.	Data Vencido	Usuário	Vazão (l/s)	Lat	Long
13285/2016	1502798/2019	27/03/2024	VALE S/A	556,00	-19,877	-43,365
7157/2010	3023/2011	12/10/2031	DAE- DEP. MUN. DE ÁGUA E ESGOTO DE JOÃO MONLEVADE	300,00	-19,801	-43,218
24134/2012	1731/2015	30/10/2020	GERDAU AÇOS LONGOS S/A	125,00	-19,941	-43,482
6030/2006	2553/2009	30/09/2029	COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS - COPASA	72,00	-19,996	-43,459
12110/2010	937/2015	29/07/2020	ANGLOGOLD ASHANTI CÔRREGO DO SÍTIO MINERAÇÃO S/A	41,00	-19,989	-43,460
6943/2014	1505589/2019	20/06/2029	CONSORCIO GRUPO ISOLUX CORSAN-ENGEVIX	17,00	-19,814	-43,397
6931/2014	1820/2014	24/11/2024	CONSORCIO GRUPO ISOLUX CORSAN-ENGEVIX	17,00	-19,832	-43,832
9667/2012	936/2015	29/07/2020	CELULOSE NIPO-BRASILEIRA S.A	15,00	-19,923	-43,368
4914/2006	00967/2009	25/04/2029	COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS - COPASA	11,50	-19,699	-43,483
4914/2006	967/2009	25/04/2029	COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS - COPASA	11,50	-19,699	-43,483
10499/2012	1508339/2019	28/09/2024	CELULOSE NIPO-BRASILEIRA S.A	10,00	-19,813	-43,323
287/2003	273/2003	15/03/2023	Prefeitura Municipal de Barão de Cocais	10,00	-19,864	-43,464
19079/2014	1505798/2019	27/06/2024	MILTON JORGE DE CASTRO JUNIOR	8,00	-19,771	-43,506
14383/2014	942/2015	29/07/2020	EMPRESA CONSTRUTORA BRASIL S/A	6,90	-19,765	-43,450
14382/2014	941/2015	29/07/2020	EMPRESA CONSTRUTORA BRASIL S/A	6,90	-19,786	-43,430
14381/2014	940/2015	29/07/2020	EMPRESA CONSTRUTORA BRASIL S/A	6,90	-19,740	-43,503
16178/2017	00063/2018	13/01/2023	EMPRESA CONSTRUTORA BRASIL S/A	4,50	-19,740	-43,509
16178/2017	63/2018	13/01/2023	EMPRESA CONSTRUTORA BRASIL S/A	4,50	-19,739	-43,508
25681/2016	1505824/2019	27/06/2024	ANGLOGOLD ASHANTI CÔRREGO DO SÍTIO MINERAÇÃO S/A	3,05	-19,987	-43,471
19470/2017	500745/2018	13/07/2024	ARCELORMITTAL BRASIL S/A	3,00	-19,776	-43,172
43968/2016	1500471/2018	23/10/2038	PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO GONÇALO DO RIO ABAIXO	2,80	-19,763	-43,283
43966/2016	1500470/2018	23/10/2038	PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO GONÇALO DO RIO ABAIXO	2,80	-19,781	-43,247
2696/2016	1503669/2019	17/04/2024	CIA DA EXTRAÇÃO COM. E TRANSPORTE DE AREIA LTDA EPP	2,80	-19,891	-43,276
29598/2015	580/2016	23/03/2021	ATLÂNTICA MINAS MINERAÇÃO LTDA	2,30	-19,781	-43,530
16179/2017	00064/2018	13/01/2023	EMPRESA CONSTRUTORA BRASIL S/A	2,10	-19,749	-43,490
16179/2017	64/2018	13/01/2023	EMPRESA CONSTRUTORA BRASIL S/A	2,10	-19,749	-43,490
10802/2013	02318/2016	19/11/2021	ArcelorMittal Brasil S/A	1,80	-19,785	-43,179
10802/2013	2318/2016	19/11/2021	ARCELOMITAL BRASILS.A.-MINA DO ANDRADE	1,80	-19,785	-43,179
18484/2011	1506235/2019	12/07/2024	PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO GONÇALO DO RIO ABAIXO	1,50	-19,698	-43,396
20403/2013	1509896/2019	05/12/2034	PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO GONÇALO DO RIO ABAIXO	1,40	-19,855	-43,355
02928/2013	01342/2016	17/06/2021	Titânio Goiás Mineração Indústria e Comércio Ltda	1,40	-19,729	-43,223
2928/2013	1342/2016	17/06/2021	TITÂNIO GOIÁS MINERAÇÃO INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA	1,40	-19,728	-43,222
3175/2011	953/2015	29/07/2020	VALE S.A	1,10	-19,961	-43,607
64082/2019		27/10/2022	AILTON TOLEDO DE SÁ	1,00	-19,772	-43,517
64069/2019		27/10/2022	AILTON TOLEDO DE SÁ	1,00	-19,772	-43,517
64067/2019		27/10/2022	AILTON TOLEDO DE SÁ	1,00	-19,772	-43,516
59424/2019		01/10/2022	VALE S/A	1,00	-19,889	-43,447
59363/2019		01/10/2022	DARLENE S. CARVALHO PESQUE E PAGUE E PENSÃO	1,00	-19,999	-43,461
59362/2019		01/10/2022	DARLENE S. CARVALHO PESQUE E PAGUE E PENSÃO	1,00	-19,999	-43,460
53367/2019		01/09/2022	ONIX MINERAÇÃO LTDA	1,00	-19,991	-43,550
50257/2019		18/08/2022	FLAPA - ENGENHARIA E MINERAÇÃO LTDA	1,00	-19,969	-43,588
50254/2019		18/08/2022	FLAPA - ENGENHARIA E MINERAÇÃO LTDA	1,00	-19,969	-43,588
50132/2019		18/08/2022	FLAPA - ENGENHARIA E MINERAÇÃO LTDA	1,00	-20,029	-43,595
46792/2019		30/07/2022	AVELINA LEOCADIA LEITE DA SILVEIRA	1,00	-19,791	-43,427
40443/2019		25/06/2022	VALE S.A	1,00	-19,764	-43,444
40438/2019		25/06/2022	VALE S.A	1,00	-19,853	-43,464
40435/2019		25/06/2022	VALE S.A	1,00	-19,894	-43,434
35605/2019		23/05/2022	IRMAOS SANTOS CAVALCANTI SERVICOS E COMERCIO LTDA	1,00	-19,981	-43,588
35601/2019		23/05/2022	IRMAOS SANTOS CAVALCANTI SERVICOS E COMERCIO LTDA	1,00	-19,982	-43,587
35372/2019		22/05/2022	BEMISA - BRASIL EXPLORACAO MINERAL S/A	1,00	-19,795	-43,205
35139/2019		21/05/2022	HINDALCO DO BRASIL INDUSTRIA E COMERCIO DE ALUMINA LTDA	1,00	-19,913	-43,445
34303/2019		15/05/2022	GSM MINERAÇÃO LTDA	1,00	-19,963	-43,513
33438/2019		09/05/2022	JMN MINERAÇÃO S.A	1,00	-20,003	-43,577
31176/2019		22/04/2022	FREDERICO DAMASCENO SILVEIRA	1,00	-19,789	-43,428
27289/2019		28/03/2022	EMPRESA CONSTRUTORA BRASIL SA	1,00	-19,820	-43,397
23278/2019		25/02/2022	PROGRESSO MINERACAO LTDA	1,00	-19,936	-43,466
18911/2019		05/02/2022	VALE S.A	1,00	-19,971	-43,608
18901/2019		05/02/2022	VALE S.A	1,00	-19,960	-43,590
18776/2019		05/02/2022	ATLÂNTICA MINAS MINERAÇÃO LTDA	1,00	-19,781	-43,530

Usuários da bacia do rio Santa Bárbara – Parte 2

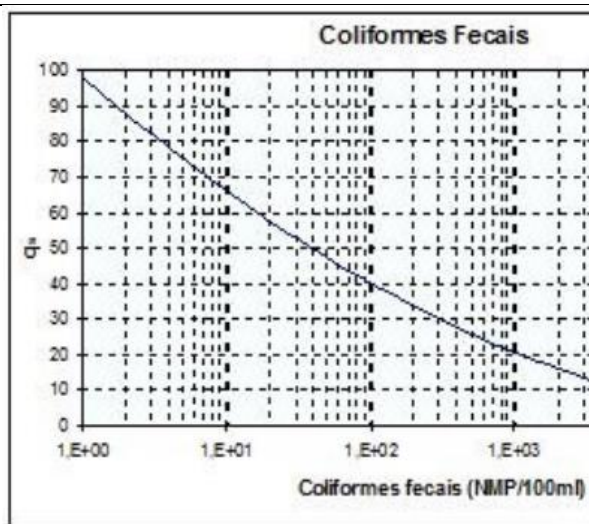
Nº Proc. Adm	Nº Port.	Data Vencido	Usuário	Vazão (l/s)	Lat	Long
11314/2019		24/01/2022	GSM MINERACAO LTDA.	1,00	-19,968	-43,532
10469/2019		23/01/2022	ATLÂNTICA MINAS MINERAÇÃO LTDA	1,00	-19,778	-43,524
6684/2019		17/01/2022	MINERAÇÃO SERRAS DO OESTE	1,00	-19,982	-43,450
244020/2018		19/12/2021	GSM MINERACAO LTDA.	1,00	-19,985	-43,516
208055/2018		16/10/2021	RENATO APARECIDO SOARES	1,00	-19,959	-43,456
175470/2018		23/08/2021	PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABIRA	1,00	-19,722	-43,320
164465/2018		08/08/2021	MR MINERACAO LTDA	1,00	-19,957	-43,578
163275/2018		06/08/2021	ARCELORMITTAL BRASIL S/A	1,00	-19,786	-43,193
146995/2018		12/07/2021	MINERAÇÃO - FERRO PURO LTDA	1,00	-20,123	-43,643
144065/2018		09/07/2021	GERSON ALVES PEREIRA	1,00	-19,983	-43,512
140630/2018		04/07/2021	CAETANO MARTINS DA COSTA NETO - ME	1,00	-19,788	-43,217
138740/2018		01/07/2021	HINDALCO DO BRASIL IND. E COM. DE ALUMINA LTDA	1,00	-19,912	-43,444
129554/2018		17/06/2021	ONIX MINERAÇÃO LTDA	1,00	-19,886	-43,454
129534/2018		17/06/2021	NOELTON FARIA DE FREITAS	1,00	-19,870	-43,454
122244/2018		05/06/2021	MAURO SARTORI JUNIOR	1,00	-19,889	-43,441
111279/2018		16/05/2021	HINDALCO DO BRASIL IND. E COM. DE ALUMINA LTDA.	1,00	-19,979	-43,510
109014/2018		14/05/2021	VALE SA	1,00	-19,953	-43,574
103574/2018		06/05/2021	FERRO BARÃO MINERAÇÃO LTDA	1,00	-19,984	-43,542
78619/2018		25/03/2021	ANGLOGOLD ASHANTI CÔRREGO DO SÍTIO MINERAÇÃO S/A	1,00	-19,949	-43,437
78534/2018		25/03/2021	ANGLOGOLD ASHANTI CÔRREGO DO SÍTIO MINERAÇÃO S/A	1,00	-20,018	-43,518
65794/2018		06/03/2021	HINDALCO DO BRASIL IND. E COM. DE ALUMINA LTDA.	1,00	-20,028	-43,595
226344/2017		23/11/2020	MR MINERACAO LTDA	1,00	-20,003	-43,577
213804/2017		08/11/2020	MARIA ANTONIA EUGÊNIA	1,00	-19,824	-43,194
205819/2017		29/10/2020	BRITADORA RAMOS LTDA	1,00	-19,870	-43,454
196149/2017		18/10/2020	IOUSSEF ABDO TAUIL	1,00	-19,750	-43,491
196134/2017		18/10/2020	IOUSSEF ABDO TAUIL	1,00	-19,751	-43,492
193104/2017		16/10/2020	ANGLOGOLD ASHANTI CÔRREGO DO SÍTIO MINERAÇÃO S/A	1,00	-19,975	-43,474
176774/2017		27/09/2020	FERNANDO LUIZ DIAS	1,00	-20,023	-43,535
172684/2017		25/09/2020	MILTON ANTONIO PACHECO	1,00	-19,959	-43,442
138754/2017		13/09/2020	MILENE CARLA FERREIRA 02947351606 - ME	1,00	-19,959	-43,442
98854/2017		13/07/2020	MILTON ANTONIO PACHECO	1,00	-19,958	-43,434
95444/2017		10/07/2020	CONSÓRCIO BRASIL - MOTA - ENGESUR	1,00	-19,749	-43,489
85774/2017		28/06/2020	ANGLOGOLD ASHANTI CÔRREGO DO SÍTIO MINERAÇÃO S/A	1,00	-19,955	-43,456
85654/2017		28/06/2020	ANGLOGOLD ASHANTI CÔRREGO DO SÍTIO MINERAÇÃO S/A	1,00	-19,953	-43,441
75094/2017		19/06/2020	FLAPA - ENGENHARIA E MINERAÇÃO LTDA	1,00	-19,969	-43,588
14843/2017		09/05/2020	MATEUS CRESCENCIO DA ROCHA	1,00	-19,933	-43,392
4168/2017		14/02/2020	FRANCISCO XAVIER DOS SANTOS	1,00	-19,975	-43,429
58080/2019		24/09/2022	MR MINERACAO LTDA	0,99	-20,008	-43,581
245654/2017		26/12/2020	FRANCISCO ULISSES CALDEIRA XAVIER	0,99	-19,982	-43,441
14689/2019		30/01/2022	ANDERSON LUIS LORENZATTO BECHO SILVA	0,98	-19,950	-43,397
62016/2019		15/10/2022	VIVIANE PEREIRA DE FIGUEIREDO	0,95	-19,826	-43,456
92184/2018		16/04/2021	PREFEITURA MUNICIPAL DE BARÃO DE COCAIS	0,93	-19,916	-43,459
57005/2019		18/09/2022	JOSE DE ASSIS TEIXEIRA	0,90	-19,681	-43,429
178470/2018		28/08/2021	RODILON DINIZ DA FONSECA	0,90	-19,762	-43,416
140575/2018		04/07/2021	ALYSSON NASCIEMTNO	0,90	-19,921	-43,466
137610/2018		28/06/2021	DIAMOND PARTICIPAÇÕES & AGRONEGÓCIOS LTDA	0,90	-19,783	-43,445
130064/2018		17/06/2021	JOSÉ ANTÔNIO DE OLIVEIRA	0,90	-19,676	-43,520
126519/2018		12/06/2021	MATEUS DIONES AMBROSIO SANTOS	0,90	-19,772	-43,493
226329/2017		23/11/2020	MR MINERACAO LTDA	0,90	-19,957	-43,579
226284/2017		23/11/2020	MR MINERACAO LTDA	0,90	-19,975	-43,577
225794/2017		23/11/2020	TACIANO MARIA	0,90	-19,942	-43,359
165445/2017		18/09/2020	RONALDO FONSECA DIAS	0,90	-19,713	-43,433
131714/2017		17/09/2020	JOSE RONALDO TEIXEIRA	0,90	-19,693	-43,450
123224/2017		08/08/2020	MATEUS CRESCENCIO DA ROCHA	0,90	-19,933	-43,386
70544/2017		12/06/2020	PROVÍCIA BRASILEIRA DA CONGREGAÇÃO DA MISSÃO	0,90	-20,039	-43,494
4772/2017		02/03/2020	NILSA ROSALINA VIANA	0,90	-19,690	-43,446
57229/2018		19/02/2021	ANTÔNIO PEREIRA DA SILVA-ME	0,85	-19,743	-43,497
62068/2019		15/10/2022	VIVIANE PEREIRA DE FIGUEIREDO	0,85	-19,827	-43,458
62037/2019		15/10/2022	BRIVI PARTICIPACOES LTDA	0,80	-19,761	-43,450
57485/2019		22/09/2022	FLORESTAL BIOFLOR S.A.	0,80	-19,723	-43,327

Usuários da bacia do rio Santa Bárbara – Parte 3

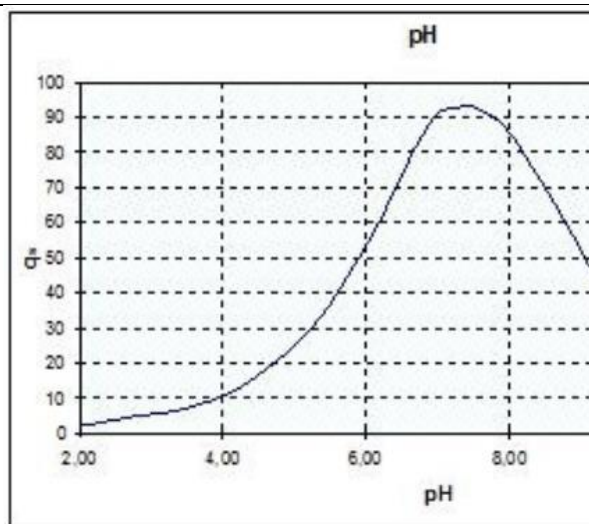
Nº Proc. Adm	Nº Port.	Data Vencido	Usuário	Vazão (l/s)	Lat	Long
140920/2018		04/07/2021	JOAO BERCHMANS PESSOA TEIXEIRA	0,80	-19,913	-43,458
169554/2017		21/09/2020	LUZIA DOS SANTOS DA CRUZ	0,80	-19,729	-43,240
70514/2017		12/06/2020	PROVÍCIA BRASILEIRA DA CONGREGAÇÃO DA MISSÃO	0,80	-20,041	-43,492
12462/2017		19/04/2020	RONALDO DOS SANTOS MARTINS	0,80	-19,736	-43,263
12461/2017		19/04/2020	RONALDO DOS SANTOS MARTINS	0,80	-19,736	-43,264
11739/2019		24/01/2022	MAURO ANTONIO SILVA	0,77	-19,974	-43,466
47684/2017		24/05/2020	FRANCISCO INACIO AZEVEDO JUNIOR	0,75	-20,013	-43,482
94729/2018		19/04/2021	PREFEITURA MUNICIPAL DE BOM JESUS DO AMPARO	0,74	-19,713	-43,475
55013/2019		09/09/2022	PROVÍCIA BRASILEIRA DA CONGREGAÇÃO DA MISSÃO	0,70	-20,137	-43,563
24141/2019		07/03/2022	HINDALCO DO BRASIL IND. E COM. DE ALUMINA LTDA	0,70	-19,914	-43,459
69604/2018		12/03/2021	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA BÁRBARA	0,70	-19,943	-43,457
62072/2019		15/10/2022	BRIVI PARTICIPACOES LTDA	0,65	-19,759	-43,450
62028/2019		15/10/2022	BRIVI PARTICIPACOES LTDA	0,65	-19,765	-43,448
34576/2019		16/05/2022	MARCOS AURÉLIO PIRES CALDEIRA	0,60	-19,927	-43,436
5294/2019		15/01/2022	MARCOS JOSE DE PAULA	0,60	-19,787	-43,431
70584/2017		12/06/2020	PROVÍCIA BRASILEIRA DA CONGREGAÇÃO DA MISSÃO	0,60	-20,028	-43,488
7711/2017		12/03/2020	RONY FONSECA	0,60	-19,936	-43,372
43875/2019		15/07/2022	LUIZ DAVI DE BARCELOS	0,50	-19,776	-43,450
30165/2019		14/04/2022	VALDEVINO ZACARIAS MARTINS	0,50	-19,756	-43,292
60444/2018		26/02/2021	JULIO VASCONCELOS DA MOTTA MACIEIRA	0,50	-19,742	-43,498
55259/2018		15/02/2021	CARLOS ANTÔNIO MACELLANI	0,50	-19,982	-43,450
209129/2017		31/10/2020	GLAUDER LUIZ DUARTE MELO	0,50	-19,768	-43,495
63615/2019		24/10/2022	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA BÁRBARA	0,46	-19,924	-43,368
7710/2017		12/03/2020	RONY FONSECA	0,45	-19,937	-43,371
57487/2019		22/09/2022	FLORESTAL BIOFLOR S.A.	0,40	-19,719	-43,312
209225/2018		17/10/2021	VILLAGI URBANISMO EMPREENDIMENTOS S/A	0,34	-19,721	-43,468
11454/2019		24/01/2022	CÉSAR DUARTE MOTTA	0,32	-19,700	-43,511
7383/2017		05/04/2020	ADÃO MARCOS CONRADO	0,32	-19,916	-43,379
15465/2019		31/01/2022	KLEITON SANTOS BATISTA	0,30	-19,945	-43,400
87634/2017		30/06/2020	JOSÉ REGINALDO DA FONSECA	0,30	-19,834	-43,509
87554/2017		30/06/2020	JOSÉ EUSTÁQUIO DA SILVA	0,30	-19,834	-43,509
19531/2019		05/02/2022	ACF COMBUSTÍVEIS LTDA ME	0,29	-19,750	-43,533
49384/2019		12/08/2022	IVAN LANA GASTELOIS	0,20	-19,652	-43,536
23145/2019		25/02/2022	CARLOS ANTÔNIO MACELLANI	0,20	-19,941	-43,517
26826/2019		26/03/2022	MINERAÇÃO BONSUCESSO LTDA	0,19	-19,779	-43,532
70969/2018		14/03/2021	MINERAÇÃO BONSUCESSO LTDA	0,19	-19,779	-43,532
245559/2017		26/12/2020	MARCIONILIA CALDAS DA SILVA	0,17	-19,775	-43,437
36701/2019		02/06/2022	CONCEIÇÃO DE LOURDES DA SILVA CELESTINO	0,11	-19,981	-43,427
33608/2019		10/05/2022	EDUARDO RAIMUNDO FONSECA	0,10	-19,733	-43,444
209189/2017		31/10/2020	GLAUDER LUIZ DUARTE MELO	0,10	-19,766	-43,494
209184/2017		31/10/2020	GLAUDER LUIZ DUARTE MELO	0,10	-19,767	-43,495
209179/2017		31/10/2020	GLAUDER LUIZ DUARTE MELO	0,10	-19,767	-43,495
209164/2017		31/10/2020	GLAUDER LUIZ DUARTE MELO	0,10	-19,767	-43,495
209154/2017		31/10/2020	GLAUDER LUIZ DUARTE MELO	0,10	-19,767	-43,495
209139/2017		31/10/2020	GLAUDER LUIZ DUARTE MELO	0,10	-19,767	-43,495
63573/2019		23/10/2022	JOSE TOMAZ DE SOUZA	0,09	-19,595	-43,076
26726/2019		25/03/2022	DÉLIO REIS CUNHA	0,08	-19,726	-43,430
143304/2017		28/10/2020	ADELAINÉ DA CUNHA E SILVA	0,07	-19,931	-43,370
71779/2017		13/06/2020	RUI BARBOSA RODRIGUES	0,05	-19,705	-43,313
31801/2019		26/04/2022	ANGELO TADEU JUSTE	0,02	-19,924	-43,413
63169/2017		05/06/2020	CENSPS LTDA ME	0,01	-19,788	-43,431

Fonte: IGAM (2019)

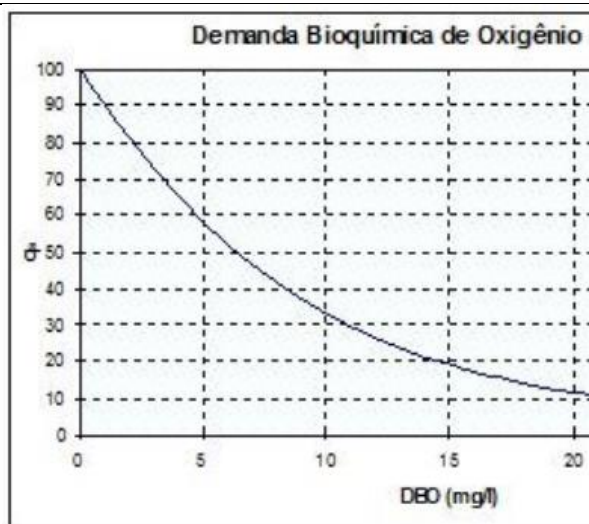
ANEXO III – Curvas do q_i para cálculo do IQA



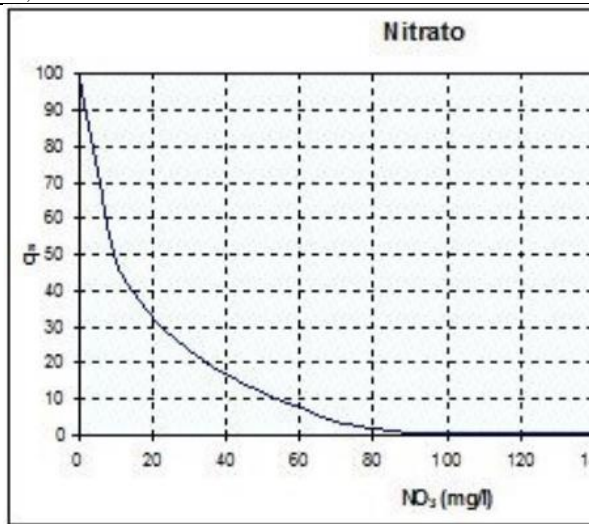
Para CT > 105 NMP/100mL => q_i = 3,0



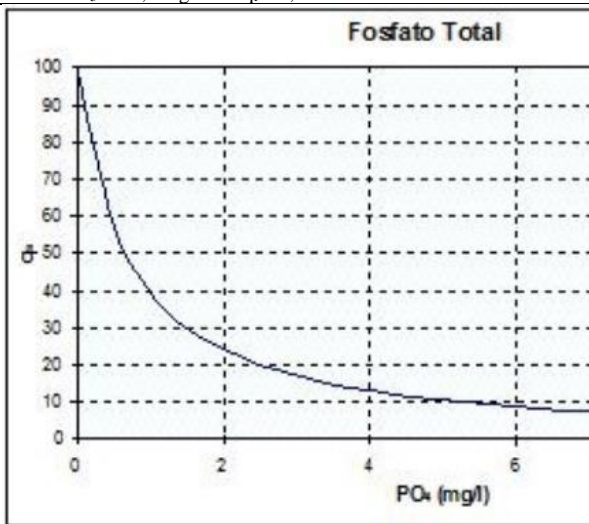
Para pH ≤ 2,0 => q_i = 2,0 // Para pH ≥ 12,0 => q_i = 12,0



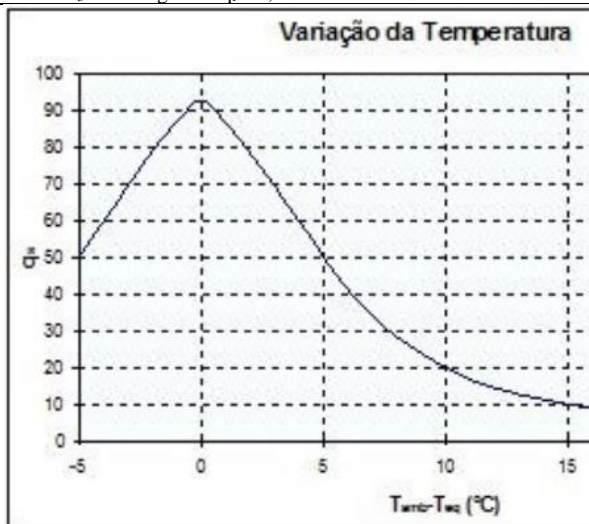
Para DBO₅ > 30,0 mg/L => q_i = 2,0



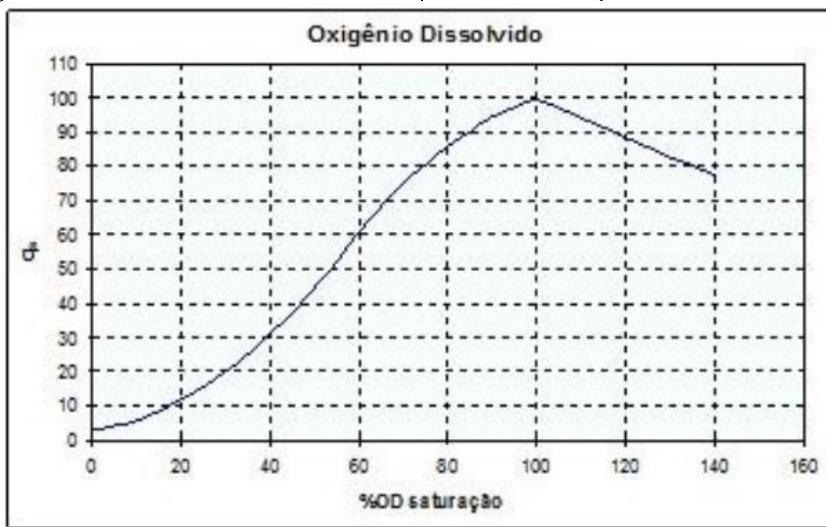
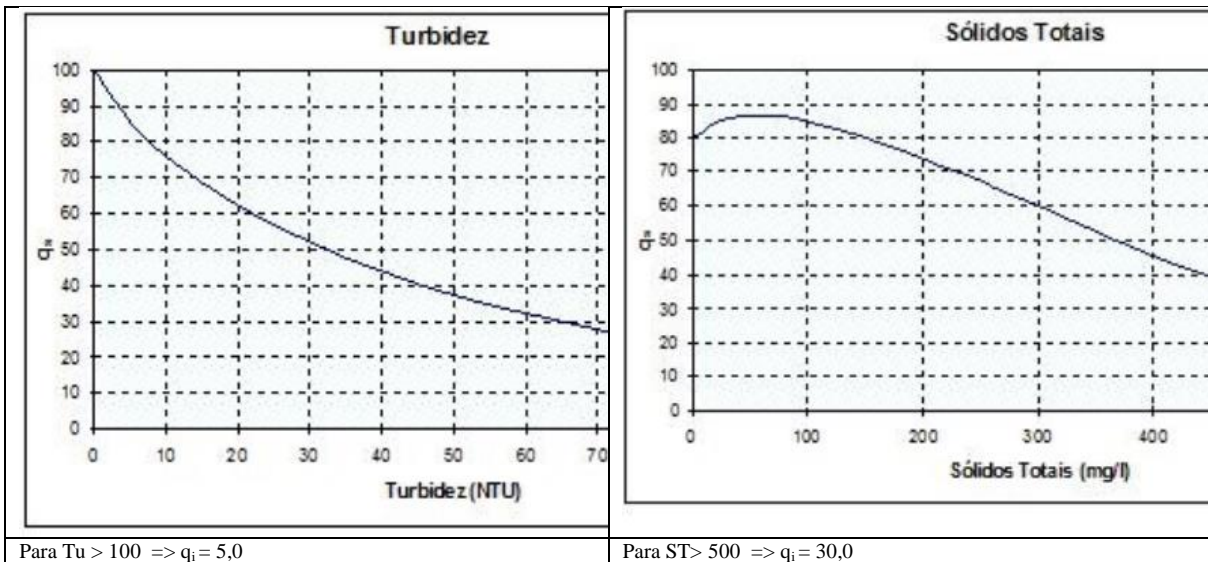
Para NO₃⁻ > 90 mg/L => q_i = 1,0



Para PO₄²⁻ > 10,0 mg/L => q_i = 5,0



Para ΔT > 15 °C => q_i = 9,0



Para OD% saturação > 140 mg/L $\Rightarrow q_i = 47,0$

Fonte: InfoHidro (2019)