

Polo



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS – IPH
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE
RECURSOS HÍDRICOS – PROFÁGUA

***BACKGROUND* GEOQUÍMICO DE INDICADORES
RELACIONADOS A ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE CARVÃO
EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: IMPACTO PARA A GESTÃO DE
RECURSOS HÍDRICOS**

BRUNA BORSATTO LIMA

Porto alegre/RS
2022

Polo



ProfÁgua



ProfÁgua



CIP - Catalogação na Publicação

Borsatto Lima, Bruna

Background geoquímico de indicadores relacionados a atividade de mineração de carvão em bacias hidrográficas: impacto para a gestão de recursos hídricos / Bruna Borsatto Lima. -- 2022.
118 f.

Orientador: Cristovão Vicente Scapulatempo Fernandes.

Dissertação (Mestrado Profissional) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Porto Alegre, BR-RS, 2022.

1. Background. 2. Condutividade elétrica. 3. Mineração de carvão. 4. Qualidade das águas superficiais. I. Vicente Scapulatempo Fernandes, Cristovão, orient. II. Título.

BRUNA BORSATTO LIMA

**BACKGROUND GEOQUÍMICO DE INDICADORES
RELACIONADOS A ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE CARVÃO
EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: IMPACTO PARA A GESTÃO DE
RECURSOS HÍDRICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua) Polo IPH/UFRGS como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Orientador: Ph.D Cristovão Vicente Scapulatempo Fernandes

Banca examinadora:

Prof^ª. Dra. Jussara Cabral Cruz

Prof^ª. Dra. Caroline Kozak

Prof. Dr. Carlyle Torres Bezerra de Menezes

Porto Alegre/RS
2022

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Agradeço ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e a todos os professores pelo conhecimento compartilhado e pela amizade construída. Em especial ao meu orientador Cristovão Vicente Scapulatempo Fernandes que dedicou seu tempo, não medindo esforços, para juntos alcançarmos o êxito do trabalho. Pelo seu espírito crítico que me fez observar alternativas, quando eu já não mais sabia o caminho a seguir. Espero, pelo menos em partes, ter adquirido tal característica. Obrigada por me direcionar ao caminho, todas as vezes que me encontrei perdida.

Aos meus amigos agradeço pelos momentos que passamos juntos, cada um de vocês contribuiu com o meu crescimento profissional e pessoal. Sou grata por se fazerem presente na minha trajetória.

A minha família, que fez do meu objetivo, o objetivo deles, pois só por isso e não mais que isso, me concederam a oportunidade de concretiza-lo. Meu mais sincero amor e obrigada.

E por fim, meu agradecimento ao Centro de Pesquisa e Estudos Ambientais (CPEA) da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) e todos os profissionais que me concederam a oportunidade de compartilhar experiências e conhecimentos. Abro aqui o agradecimento especial para Nadja Zim Alexandre e Gustavo Simão.

RESUMO

LIMA, Bruna Borsatto. *Background* geoquímico de indicadores relacionados a atividade de mineração de carvão em bacias hidrográficas: impacto para a gestão de recursos hídricos. Dissertação. Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Programa de Pós-graduação em Rede Nacional ProfÁgua, IPH/UFRGS, Porto Alegre. 2022.

A determinação geoquímica das águas superficiais é um método utilizado para estabelecer as características naturais da água, tendo como premissa distinguir concentrações naturais de um elemento, estabelecida pela integração dos compartimentos do meio ambiente, e a influência das atividades antrópicas nestas concentrações. Para a definição dos valores naturais da água, as áreas que serão abordadas como referência são consideradas fator determinante no alcance de tais objetivos. Nesse trabalho, para a definição do *background geoquímico*, foram realizadas quatro campanhas de monitoramento ambiental em nove estações amostrais localizadas próximo as nascentes de rios na Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia. O método utilizado para definição dos valores de referência foi o indireto, também conhecido como estatístico. Esse visa eliminar valores que apresentam diferença significativa dos demais valores, ou seja, aqueles considerados antropogenicamente influenciados. A definição da correlação da condutividade elétrica com as contribuições de drenagem ácida de mina foi realizada a partir do monitoramento desse indicador ao longo dos rios Mãe Luzia e São Bento e a sobreposição dos resultados alcançados com a base cartográfica de uso e ocupação do solo dentro da bacia em estudo. Os valores de *background* dos indicadores relacionadas à atividade de mineração de carvão determinados para a área de estudo, demonstraram que as águas superficiais possuem concentrações dos elementos avaliados melhores do que o determinado para o seu enquadramento, bem como dentro dos padrões de potabilidade para uso destinado ao consumo humano. A determinação da correlação da condutividade elétrica com a contaminação dos rios, se mostrou positiva para a avaliação de contribuições advindas de drenagens ácidas de mina (DAM). Uma análise criteriosa dos resultados alcançados e a avaliação dos resultados de monitoramento ambiental realizado pelo Grupo Técnico de Assessoramento do Ministério Público Federal, indicaram que, conforme vem sendo estudado ao longo dos anos por outros pesquisadores, muitos corpos hídricos apresentam-se em situação de vulnerabilidade frente a poluição ambiental, o que dificulta a utilização desses recursos para diferentes usos, especialmente para o uso destinado ao abastecimento humano, tornando assim, a Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia, uma região com conflito de uso da água.

Palavras-chave: *background*, condutividade elétrica, mineração de carvão, qualidade das águas superficiais.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Processo de formação do carvão.	17
Figura 2 - Tipo de carvão.	18
Figura 3 – Limite administrativo da Bacia Carbonífera de Santa Catarina.	21
Figura 4- A) Estéril; B) Rejeito; C) Nódulo de pirita; D) Carvão.	23
Figura 5- Principais aspectos e impactos da atividade de mineração de carvão.	24
Figura 6 – A) Área degradada recuperada; B) Área degradada não recuperada.	27
Figura 7 – Métodos para determinação dos valores de <i>background</i>	31
Figura 8- Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia.	38
Figura 9 – Localização das estações amostrais de qualidade da água superficial do monitoramento realizado pelo GTA.	41
Figura 10 – Localização das estações amostrais de qualidade da água superficial na Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia.	44
Figura 11 – Localização das estações amostrais para monitoramento da condutividade elétrica nos rios Mãe Luzia e São Bento.	45
Figura 12 – Realização da coleta de água.	46
Figura 13 – A e B) Calibração da sonda multiparâmetros; C e D) Análises realizadas em campo. ...	48
Figura 14 – Exemplo de boxplot para a concentração de um elemento.	49
Figura 15 – Delimitação das áreas determinadas para aplicação do modelo indireto utilizado para a definição do <i>background</i>	52
Figura 16 – Mapa geológico da área de estudo.	53
Figura 17 – Surgência de água próximo ao ponto de amostragem P1.	57
Figura 18 – Localização das minas subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia.	58
Figura 19 – Boxplot para determinação dos valores de <i>background</i> para o pH.	60
Figura 20 – Boxplot para determinação dos valores de <i>background</i> para o oxigênio dissolvido (mg/L).	62
Figura 21 – Boxplot para determinação dos valores de <i>background</i> para a condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$).	64
Figura 22 – Boxplot para determinação dos valores de <i>background</i> para o Fe^{+3} (mg/L).	65
Figura 23 – Boxplot para determinação dos valores de <i>background</i> para o ferro total (mg/L).	66
Figura 24 – Estações amostrais de condutividade elétrica no rio São Bento.	71
Figura 25 – Estações amostrais de condutividade elétrica no rio Mãe Luzia.	74
Figura 26 – A) Estação amostral CM14; B) Lagoa localizada no Campo Vila Funil.	76
Figura 27 – Concentração de pH do rio Mãe Luzia.	79
Figura 28 – Concentração de oxigênio dissolvido no rio Mãe Luzia.	80
Figura 29 – Condutividade elétrica no rio Mãe Luzia.	80
Figura 30 – Concentração de ferro dissolvido no rio Mãe Luzia.	81
Figura 31 – Concentração de ferro total no rio Mãe Luzia.	81
Figura 32 – Concentração de manganês total no rio Mãe Luzia.	82
Figura 33 – Concentração de sulfatos no rio Mãe Luzia.	82
Figura 34 – Concentração de pH do rio Sangão.	83
Figura 35 – Concentração de oxigênio dissolvido no rio Sangão.	83
Figura 36 – Condutividade elétrica no rio Sangão.	84
Figura 37 – Concentração de ferro dissolvido no rio Sangão.	84
Figura 38 – Concentração de ferro total no rio Sangão.	85
Figura 39 – Concentração de manganês total no rio Sangão.	85
Figura 40 – Concentração de sulfatos no rio Sangão.	86

Figura 41 – Diagrama unifilar de vulnerabilidade da qualidade do rio Mãe Luzia.	87
Figura 42 – Diagrama unifilar de vulnerabilidade da qualidade do rio Sangão.	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros físico-químicos.....	32
Tabela 2 – Resultados do <i>background</i> estabelecido no estudo de Simão et al. (2019).	35
Tabela 3 – Levantamento da área ocupada por tipo de uso do solo.....	40
Tabela 4 - Métodos de análise, unidade de medida e limite mínimo detectável para os parâmetros químicos das águas.....	48
Tabela 5 – Valores de <i>background</i> para o pH.....	59
Tabela 6 – Valores de <i>background</i> para o oxigênio dissolvido (mg/L).....	61
Tabela 7 – Valores de <i>background</i> para a condutividade elétrica (µS/cm).	62
Tabela 8 – Valores de <i>background</i> para o Fe ⁺³ (mg/L).	65
Tabela 9 – Valores de <i>background</i> para o ferro total (mg/L).	65
Tabela 10 - Valores de <i>background</i> para a Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia.....	68
Tabela 11 – Resultados do monitoramento da condutividade elétrica (µS/cm) no rio São Bento.....	70
Tabela 12 – Dados de chuva na Estação Pluviométrica 2849029 – Barragem.....	72
Tabela 13 – Resultados do monitoramento da condutividade elétrica (µS/cm) no rio Mãe Luzia.	73
Tabela 14 – Resultados do monitoramento do pH no rio São Bento.....	75
Tabela 15 – Resultados do monitoramento do pH no rio Mãe Luzia.	75
Tabela 16 – Resultados do monitoramento do OD no rio São Bento.	77
Tabela 17 – Resultados do monitoramento do OD no rio Mãe Luzia.	77

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	SÍNTESE DE MÉTODO.....	14
1.2	ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	FORMAÇÃO DO CARVÃO.....	16
2.2	CONSTITUINTES DO CARVÃO	18
2.2.1	Característica do carvão de Santa Catarina.....	19
2.3	BACIA CARBONÍFERA DE SANTA CATARINA	20
2.4	PRINCIPAIS IMPACTOS DA ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE CARVÃO	22
2.4.1	Drenagem ácida de mina.....	24
2.4.2	Recursos hídricos superficiais.....	25
2.5	ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE CARVÃO NA BACIA CARBONÍFERA DE SANTA CATARINA.....	27
2.6	CLASSIFICAÇÃO DOS CORPOS DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MÃE LUZIA.....	28
2.7	DETERMINAÇÃO DE <i>BACKGROUND</i> GEOQUÍMICO.....	29
2.8	PARAMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	32
2.9	SÍNTESE DO CAPÍTULO	33
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	36
3.1	ÁREA DE ESTUDO	36
3.2	LEVANTAMENTO DOS DADOS DE MONITORAMENTO AMBIENTAL	39
3.3	DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.....	42
3.4	DEFINIÇÃO DAS ESTAÇÕES AMOSTRAIS DE QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL	43
3.5	PROCEDIMENTO PARA COLETA DAS AMOSTRAS DE ÁGUA SUPERFICIAL	46
3.6	PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS 47	
3.6.1	Análise de campo	47
3.6.2	Análise laboratorial.....	48
3.7	TRATAMENTO DE DADOS	48
3.9	DEFINIÇÃO DOS DIAGRAMAS UNIFILARES DE VULNERABILIDADE	54
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1	BACKGROUND GEOQUÍMICO PARA OS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA	56
4.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS DE MONITORAMENTO AMBIENTAL	68

5	CONCLUSÕES	89
	APÊNDICE 1 - FOTOS DAS CAMPANHAS DE MONITORAMENTO	
	ANEXO 1 - DADOS DE MONITORAMENTO DO GTA	

1 INTRODUÇÃO

Segundo Von Sperling (2005), a qualidade da água é determinada pelos processos das condições naturais do ambiente e das interferências humanas quanto ao uso do solo na bacia hidrográfica.

Quando se tratando das condições naturais, a qualidade da água é afetada pelo escoamento superficial e pela infiltração do solo, sendo o resultado do impacto relacionado ao contato que a água, em escoamento ou infiltração, tem com as partículas, substâncias e impurezas presentes no solo. Assim mesmo que a bacia hidrográfica se mantenha totalmente preservada, existe a influência das características da cobertura e da composição do solo natural (VON SPERLING, 2007).

Dentre as interferências humanas quanto ao uso do solo, cita-se a atividade de mineração, que tem como um dos resultantes do seu processo a geração de drenagem de água subterrânea ou da afluência de águas superficiais. Para tal fator, se faz necessário garantir que essas mantenham a qualidade aceitável, a fim de evitar quaisquer problemas ambientais ao meio o qual está inserida (RUBIO et al., 2006).

No sul do Estado de Santa Catarina esta atividade é classificada como de alto potencial poluidor, tendo cadastrados na Bacia Carbonífera de Santa Catarina cerca de 786 km de rios comprometidos por drenagem ácida de mina (DAM), perfazendo porções significativas das bacias dos rios Araranguá, Tubarão e Urussanga (SCHNEIDER, 2006).

A DAM, ocasionada pela presença de sulfetos de ferro (FeS_2) nos resíduos (rejeitos finos e grossos) e no estéril do carvão, pode conter metais pesados e outros contaminantes que tendem atingir os cursos d'água superficiais, subterrâneos e o solo (CASTILHOS et al., 2010 apud VAN HUYSSTEEN et al., 1998). Desta forma, segundo Castilhos et al. (2010), a drenagem ácida gerada pela oxidação de sulfetos, em especial o controle e a minimização dos seus efeitos, é atualmente um dos principais problemas enfrentados pela atividade de mineração.

Adicionalmente, para Alexandre (2000), a acidez gerada pela oxidação da pirita, constitui um desequilíbrio das condições ambientais da área de influência do empreendimento mineiro, bem como aumenta a mobilidade de diversos metais tóxicos. Ademais, nesse ambiente pode-se ter a ocorrência de chuvas ácidas, decorrente da emissão atmosférica de SO_2 proveniente dos sulfetos de ferro.

No sul de Santa Catarina, onde fica localizada a Bacia Carbonífera de Santa Catarina com influência direta nas bacias hidrográficas do rio Araranguá, Urussanga e Tubarão, a camada Barro Branco, distribuída em toda a bacia, vem passando pelo processo de lavra a mais de um século. Na década de 1970, com a crise do aumento do preço do petróleo, houve uma significativa elevação da produção de carvão, entretanto poucos cuidados foram realizados em decorrência do paralelo aumento do volume de efluentes ácidos gerados (VALIATI; ALMEIDA, 2006). Por consequência de tal fator, a região carbonífera foi considerada, por meio do Decreto n° 85.206 de 25 de setembro de 1980, a XIV Área Crítica Nacional para Efeito de Controle de Poluição e Qualidade Ambiental.

A partir de então foram sendo instauradas medidas de controle e de novos métodos operacionais visando a diminuição do volume de efluentes ácidos gerados e conseqüentemente a melhoria substancial dos parâmetros de qualidade da água dos recursos hídricos receptores dos efluentes (VALIATI; ALMEIDA, 2006).

Considerando a problemática ambiental decorrente da exploração do carvão, em 5 de janeiro de 2000, o Juiz Federal da 1ª Vara, proferiu sentença referente a ação civil pública 93.8000533-4 do Ministério Público Federal, o qual condena solidariamente as empresas carboníferas de Santa Catarina e a União a recuperarem a degradação ambiental proveniente da exploração supracitada.

Desde então, se vem realizando os Planos de Recuperação de Área Degradada e suas ações, os quais contemplam diferentes processos de recuperação. Concomitante ao início das obras, são realizadas as respectivas atividades de monitoramento ambiental com foco na qualidade dos recursos hídricos.

Dada a significativa quantidade de áreas degradadas pela mineração de carvão na Bacia Carbonífera de Santa Catarina e o comprometimento da qualidade das águas, surge a necessidade de avaliar a efetividade da melhoria da qualidade das águas superficiais dos rios. Avaliação essa que pode se alicerçar no conjunto de atividades de monitoramento ambiental realizadas ao longo dos anos e nas características naturais das águas na bacia hidrográfica.

Diante do exposto o presente estudo tem como objetivo geral estabelecer o *background* geoquímico dos indicadores relacionadas à atividade de mineração de carvão (pH, condutividade elétrica, ferro, manganês e sulfatos) na Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia. Sendo os objetivos específicos a avaliação da dinâmica da qualidade das águas superficiais ao longo dos principais rios da bacia, a determinação da condutividade elétrica da nascente do rio

Mãe Luzia até a junção com o rio Fluorita e da nascente do rio São Bento até a junção com o rio Mãe Luzia e o estabelecimento de informações e resultados que fomentem instrumentos para a gestão dos recursos hídricos.

Desta forma, o estudo da qualidade das águas naturais e da poluição dos rios, tende a propiciar aos Comitês Gestores das bacias hidrográficas e os órgãos ambientais a tomada de decisões quanto ao gerenciamento das recuperações ambientais, visando a melhoria dos corpos hídricos.

1.1 SÍNTESE DE MÉTODO

Neste trabalho é apresentado o resultado obtido para o *background* geoquímico da Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia, determinado com uso do método indireto, que consiste na aplicação estatística para eliminação de valores considerados de origem antrópica dentro de um conjunto de amostras realizadas *in situ*. Para aplicação da metodologia, detalhada nos capítulos seguintes, realizou-se quatro campanhas de monitoramento da qualidade das águas superficiais na área de estudo. Os resultados dos parâmetros químicos avaliados foram utilizados para comparar as características naturais das águas superficiais e a alteração qualitativa dos rios.

A conclusão do estudo demonstrou a importância do conhecimento das características naturais das águas como ferramenta para identificação de contaminações dos rios por fontes de poluição pontuais ou difusas, bem como um instrumento de suma importância para a gestão dos recursos hídricos.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

No intuito de contextualizar o leitor com o desenvolvimento do trabalho, dividiu-se este em cinco capítulos, sendo os itens principais sintetizados abaixo para o melhor entendimento da dissertação:

Capítulo 2 – Fundamentação teórica: é apresentada uma síntese do processo de formação do carvão e seus constituintes, os principais impactos gerados na atividade de extração desse mineral, a classificação dos corpos hídricos e as metodologias utilizadas para a determinação de valores de *background* geoquímico.

Capítulo 3 – Materiais e métodos: apresenta-se a abordagem utilizada para realização das amostragens de água superficial na área de estudo e o método ao qual os resultados laboratoriais foram submetidos para tratamento estatístico a fim de definir os valores de *background* geoquímico.

Capítulo 4 – Resultados e discussão: são apresentados os resultados obtidos com a realização da investigação das características naturais das águas superficiais na Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia e a inter-relação da atividade de extração de carvão na área de estudo com a alteração da qualidade das águas superficiais.

Capítulo 5 – Conclusões: nesse capítulo são apresentados os principais resultados obtidos durante a elaboração dessa dissertação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 FORMAÇÃO DO CARVÃO

A Organização Internacional de Padronização, composta por órgãos de normatizações nacionais, define por meio da ISO 11.760 de 2018, que o carvão consiste em uma rocha sedimentar carbonácea formada por restos de plantas com um conteúdo mineral associado, correspondente a um rendimento de cinza menor, ou igual, a 50% em massa (base seca).

De acordo com Fonseca (1980), a crosta da terra sofreu lentos e violentos cisalhamentos resultantes dos diferentes episódios de furacões, maremotos, vendavais e terremotos. Tais fenômenos, ao longo das épocas geológicas, fez com que materiais vegetais (ricos em CO₂) fossem afundados ou soterrados. Essa matéria orgânica morta foi então submetida, em contato com a água, à pressão e à fermentação por ação de bactérias. Tais depósitos de matéria orgânica, associados aos sedimentos, foram acumulados em fundo de lagos ou pântanos, formando bacias carboníferas, ou nos casos em que as bactérias conseguiram desenvolver condições ideais para decomposição em ambientes superficiais, a camada de carvão se alocou próximo a superfície da terra.

No processo de formação do carvão (Figura 1), inicialmente tem-se a formação das turfeiras, fase que ocorre o processo de alteração bioquímica (ação das bactérias). As turfeiras são gradativamente soterradas pelos sedimentos, que devido ao seu peso extraem grande parcela da água contida na matéria orgânica. Esse material é então submetido à pressão e à altas temperaturas, e com o decorrer do tempo passa pelo processo de alteração geoquímica. Esses processos, conhecido como carbonificação, faz com que se tenha diferentes tipos de transformações, originando assim carvão de diferentes qualidades, sendo esses o linhito, o sub-betuminoso, o betuminoso e o antracito (FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ; ACCIOLI, 1983).



Figura 1- Processo de formação do carvão.

FONTE: ADAPTADO DE GEOLOGICAL SURVEY UNIVERSITY OF KENTUCKY (2019)

Dentre os diferentes tipos de carvão, o linhito, com coloração marrom e textura terrosa e quebradiça, é classificado como o de mais baixa qualidade. Possui um teor de água que varia entre 10 a 30% e seu poder calorífico é inferior a 4.600 kcal/kg. O carvão sub-betuminoso, também considerado de baixa categoria, apresenta cor preta e camadas lenhosas. O poder calorífico é de 4.600 a 6.400 kcal/kg. Classificado como categoria média, o carvão betuminoso, possui um poder calorífico acima de 6.400 kcal/kg e caracteriza-se por ser duro e de cor preta e brilhante. A presença de matéria volátil nesse tipo de carvão começa abundante, mas com o aumento da sua qualidade a matéria volátil é perdida. Já com a melhor qualidade, tem-se o carvão antracito, com textura densa e semelhante a rocha, possui materiais voláteis inferior a 14% e teores de carbono fixos superiores a 86%. Na Figura 2 é apresentado os tipos de carvão de acordo com o processo de carbonificação.



Figura 2 - Tipo de carvão.

FONTE: ADAPTADO DE GEOLOGICAL SURVEY UNIVERSITY OF KENTUCKY (2019)

2.2 CONSTITUINTES DO CARVÃO

O carvão é composto por partículas macerais e minerais, sendo a qualidade do carvão e o uso o qual será empregado influenciados pela quantidade dessas partículas (GEOLOGICAL SURVEY UNIVERSITY OF KENTUCKY, 2019).

As partículas macerais são remanescentes da matéria orgânica vegetal que foi decomposta e deu origem à turfa. Esses componentes podem apresentar suas estruturas preservadas (identificados até o estágio betuminoso) ou não reconhecidas (INTERNATIONAL COMMITTEE FOR COAL AND ORGANIC PETROLOGY, 1971).

De acordo com Geological Survey University of Kentucky (2019 apud Stach e outros, 1982; Bustin et al, 1983; Teichmüller, 1989), os macerais são formados a partir dos diferentes constituintes das plantas, alterados por bactérias, ações químicas ou físicas, os quais originam composições químicas distintas. Os macerais são então divididos em três grupos, os inertinita, liptinita e vitrinista, caracterizados da seguinte forma:

- **Liptinitas:** derivadas de esporos, pólenes, cutículas e resinas do material vegetal original. Essas partes da planta são mais ricas em hidrogênio do que outros macerais. Eles também são fluorescentes em algumas fileiras de carvão.
- **Vitrinitas:** compostas de madeira, casca e raízes parcialmente "gelificadas" e contêm menos hidrogênio do que os liptinitos.

- **Inertinitos:** são principalmente produtos da oxidação de outros macerais e, conseqüentemente, mais ricos em carbono do que os liptinitos ou vitrinitos, porque muito do oxigênio nas partes ou resíduos originais da planta foi consumido pela oxidação.

As partículas minerais do carvão são a fração inorgânica, não combustível. Ela é constituída de minerais singenéticos e diagenéticos, introduzidos no carvão na primeira ou segunda fase de carbonificação. A camada de carvão pode conter até 50% de minerais, acima desse percentual a rocha é denominada de xisto carbonoso (rocha rica em material orgânico) (FONSECA, 1980).

Os metais singenéticos (partículas minúsculas – micros) são originados durante o processo de formação turfa, sendo suas fontes as plantas que possuem minerais em suas estruturas e alguns organismos que vivem ou são transportados até a turfeira (suas estruturas corporais também contêm minerais). Nessa categoria ainda são incluídos os minerais detritos oriundos de argilas ou sedimentos transportados até as turfeiras. Esses podem formar partições rochosas no carvão, quando em tamanhos espessos ou em forma concentrada, ou estar disseminado no carvão, sem que haja uma rocha visível ou um leito. Ademais, pode-se ter a presença de minerais originados pelos processos ocorrentes na turfa, tal como a redução bacteriana de sulfatos nas águas presentes nos poros da turfa (GEOLOGICAL SURVEY UNIVERSITY OF KENTUCKY, 2019).

Quanto aos minerais diagenéticos, eles ocorrem quando o carvão atingiu o estágio lignito. Os minerais são depositados em fraturas visíveis a olho nu, possuindo assim concentrações maiores. Ressalta-se que esse material é mais fácil de ser retirado do carvão (GEOLOGICAL SURVEY UNIVERSITY OF KENTUCKY, 2019).

Além desses minerais, quando o carvão é exposto à superfície, ocorre a oxidação de sulfetos ou de outros elementos dando origem a outros minerais, denominados de terciários.

2.2.1 Característica do carvão de Santa Catarina

De acordo com Kalkreuth et al. (2010) os depósitos de carvão economicamente importantes no Brasil têm ocorrência na parte sul da Bacia do Paraná, onde ocorrem camadas de carvão na Formação Permiana Rio Bonito, estando grande parte do carvão localizado nos estados do Rio Grande de Sul (89%) e Santa Catarina (10%).

O carvão do sul catarinense é em sua maior parte betuminosos voláteis e localmente alterado termicamente por intrusões vulcânicas (diabásio). Em sua composição apresenta

concentrações elevadas de ferro (Fe), enxofre (S), manganês (Mn), boro (B), níquel (Ni), cromo (Cr), cobalto (Co), chumbo (Pb), vanádio (V) e zinco (Z). A partição dos componentes mineralógicos e geoquímicos dos carvões de Santa Catarina é influenciada pelos processos de beneficiamento industrial (OLIVEIRA et al., 2013).

2.3 BACIA CARBONÍFERA DE SANTA CATARINA

A Bacia Carbonífera de Santa Catarina (Figura 3), com área de aproximadamente 2.750 km², trata-se de uma definição econômica, histórica e cultural, ou seja, a delimitação dessa abrange as áreas que ao longo dos anos tiveram sua economia e seu desenvolvimento influenciados pela atividade de mineração de carvão. De acordo com Castilhos e Fernandes (2011), os municípios que mais tiveram impactos econômico, histórico e cultural foram Lauro Muller, Urussanga, Siderópolis, Orleans, Tubarão, Criciúma e Içara. Ressalta-se que a área da Bacia Carbonífera de Santa Catarina não delimita os limites da formação geológica e das bacias hidrográficas.

Com a expansão da exploração de carvão nessa região, houve o crescimento econômico, entretanto, até os dias atuais essa área apresenta conflitos relacionados ao planejamento territorial, principalmente para as atividades que requerem do uso dos recursos hídricos, uma vez que uma parcela significativa dos rios se encontra comprometida, principalmente pela atividade de mineração de carvão.

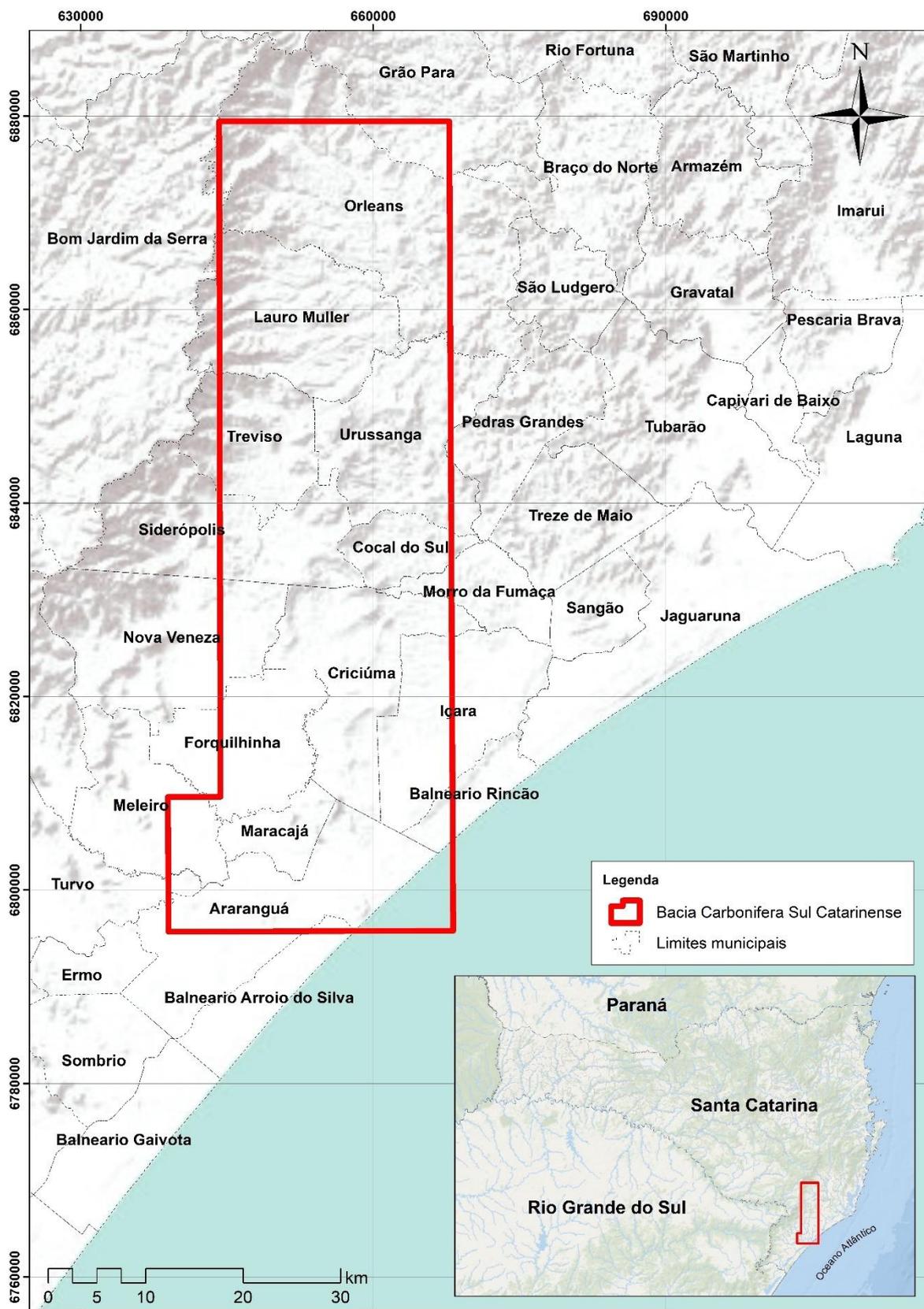


Figura 3 – Limite administrativo da Bacia Carbonífera de Santa Catarina.

2.4 PRINCIPAIS IMPACTOS DA ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE CARVÃO

A Resolução Conama n. 1 de 23 de janeiro de 1986, que dispõe sobre os critérios básicos e diretrizes gerais para avaliação de impacto ambiental, estabelece no artigo 1 que impacto ambiental é:

[...] qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais.

Diante do exposto, compreende-se que a degradação ambiental é decorrente das atividades humanas as quais tende a ocasionar o desequilíbrio do meio físico, químico e biológico, gerando perda dos elementos naturais e/ou antrópicos, danos nas funções ambientais, alteração na paisagem natural e risco a saúde e segurança das pessoas. De maneira concisa, Calijuri (2019) destaca que o impacto ambiental está associado, entre outros fatores, da retirada de material geológico (escavação e erosão), acréscimo de material (aterro, disposição de resíduos e rejeitos) e alterações das características naturais do solo.

Frente as possíveis modificações no meio ambiente ocasionadas por atividade humana, a resolução supracitada estabelece a necessidade da elaboração de estudo de impacto ambiental (EIA) e do relatório de impacto ambiental (RIMA) para a aprovação ambiental de determinadas atividades junto aos órgãos ambientais competentes. Entre as atividades elencadas, o inciso VIII do artigo 2º cita a extração de combustível fóssil (petróleo, xisto e carvão).

O estudo de impacto ambiental contempla entre outros aspectos técnicos, o diagnóstico ambiental (meio físico, biológico e socioeconômico) da área de influência da atividade, a análise dos aspectos e impactos ambientais, a indicação de medidas mitigadoras de impactos negativos e a indicação dos programas ambientais para acompanhamento e monitoramento dos impactos negativos e positivos nas diferentes fases do empreendimento, que compreendem a instalação, operação e desativação.

De acordo com Alba (2010) os impactos da atividade de mineração de carvão estão associados à remoção de estéril e à exposição do rejeito no meio ambiente. O estéril, constituído pela mistura de arenito, siltitos e folhelhos carbonosos e piritosos, é o material de cobertura, camada intermediária ou circundante do mineral, sendo esse gerado durante o processo de

extração de carvão. Já o rejeito é gerado no processo de beneficiamento e metalurgia extrativa, sendo constituído principalmente pela pirita (FeS_2). Na Figura 4 são demonstrados o estéril, o rejeito, a pirita e o carvão.



Figura 4- A) Estéril; B) Rejeito; C) Nódulo de pirita; D) Carvão.

FONTE: DO AUTOR (2021)

Na Figura 5 são demonstrados os principais aspectos e impactos ambientais decorrentes da atividade de mineração de carvão.

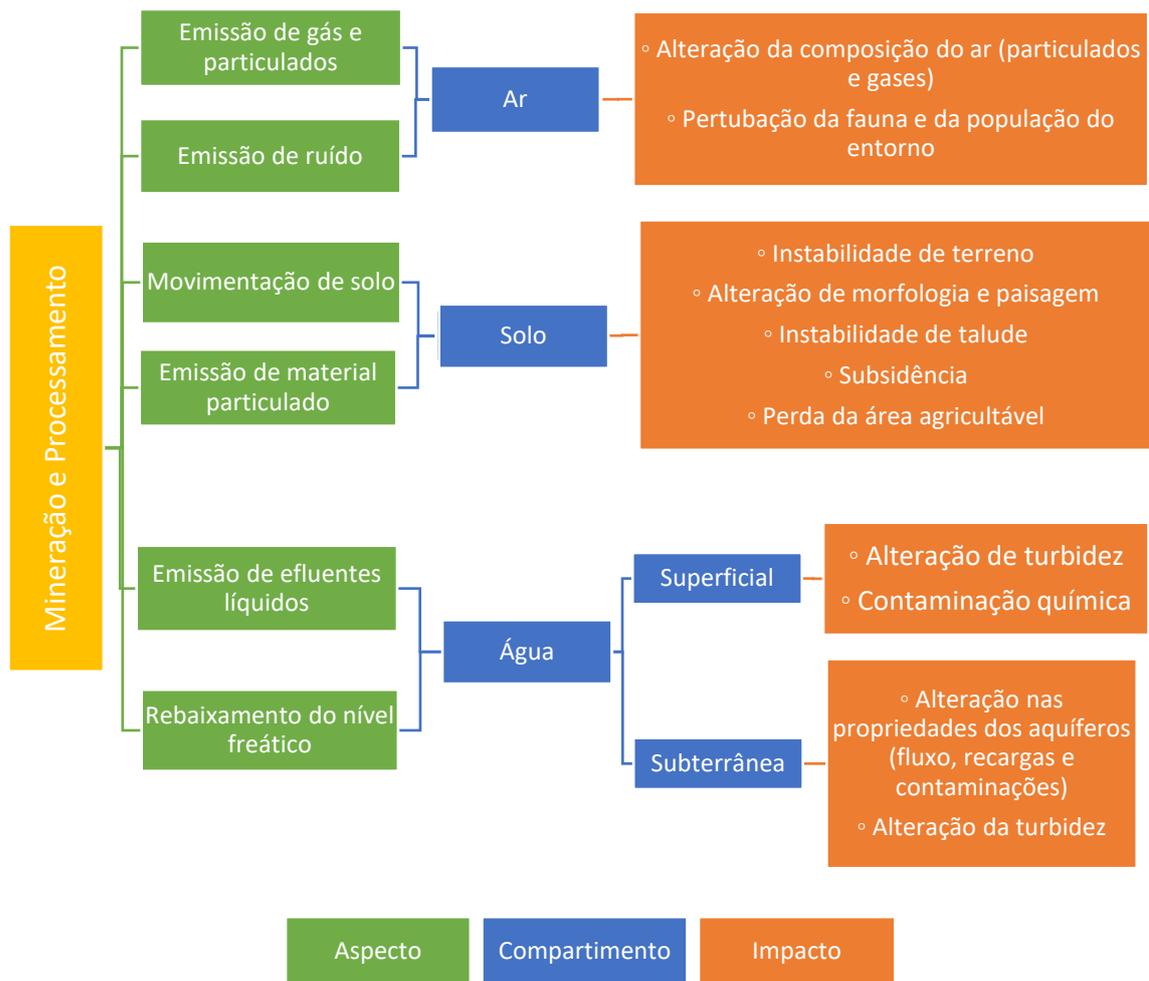


Figura 5- Principais aspectos e impactos da atividade de mineração de carvão.

FONTE: ADAPTADO DE BORMA E SOARES, 2004 APUD HUYSSSTEEN, 1998

Entre os impactos ambientais gerados pela atividade, destaca-se na área de estudo os problemas relacionados à contaminação dos recursos hídricos. A disposição inadequada desse material associada a umidade e ao oxigênio ocasiona a oxidação da pirita e dos materiais sulfetados, dando origem a drenagem ácida de mina - DAM. Ressalta-se que a cada tonelada de carvão comercializada se tem a geração de aproximadamente 0,5 toneladas de rejeito (UBALDO; SOUZA, 2008).

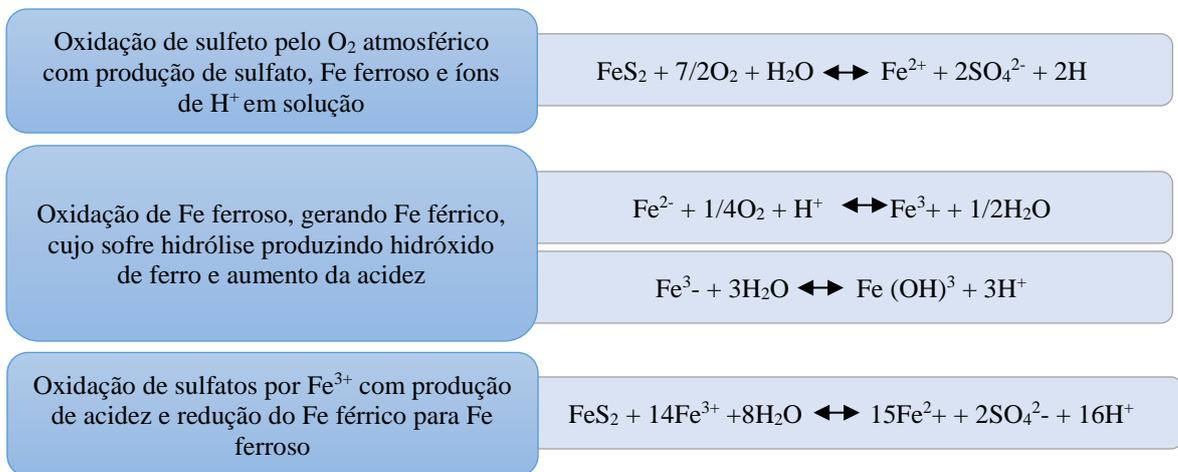
2.4.1 Drenagem ácida de mina

A definição de drenagem ácida de mina – DAM é utilizada para classificar a água contaminada pelo processo de oxidação natural de minerais sulfetados que ocorrem em rochas ou resíduos expostos ao ar e a água (FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ; ACCIOLI, 1983).

De acordo com a Agência Nacional de Mineração - ANM (BRASIL, 2019), a DAM é um dos maiores problemas da atividade de mineração no Brasil devido o mineral e a ganga

mineral (material sem valor econômico que envolve ou está misturado no mineral) apresentarem concentrações elevadas de sulfetos, que em contato com o ar e a água geram um efluente ácido. Esse efluente em contato com os recursos hídricos ocasiona a redução do pH, reduzindo a alcalinidade natural, aumentando a dureza total e acrescentando quantidades indesejadas de ferro, manganês, alumínio, sulfatos, entre outros metais pesados.

Dentre os minerais presentes no estéril ou no rejeito, a pirita apresenta maior potencial de gerar DAM, porém esse processo pode ser gerado por oxidação de outros sulfetos (pirrotita, calcopirita e marcassita). As reações químicas do processo são apresentadas a seguir:



2.4.2 Recursos hídricos superficiais

De acordo com a Agência Nacional de Águas (BRASIL, 2006), no início da exploração de carvão na Bacia Carbonífera de Santa Catarina, os efluentes gerados nos processos de lavra a céu aberto e subterrânea eram lançados nas drenagens receptoras sem qualquer tratamento, acarretando assim no comprometimento dos recursos hídricos, que até hoje refletem em uma problemática para toda região, especialmente na disponibilidade qualitativa para o consumo humano.

Com o passar dos anos, os órgãos ambientais começaram a exigir que as empresas responsáveis pela extração e beneficiamento de carvão aplicassem procedimentos técnicos a fim de minimizar a geração de efluentes líquidos e paralelamente implementassem o tratamento desse, tencionando reduzir os impactos ambientais ocasionados pelo lançamento de efluentes. Entretanto, o histórico da ausência do tratamento ao longo dos anos, já havia contribuído com o comprometimento dos recursos superficiais, o qual corresponde a aproximadamente 786 km

de rios poluídos pela drenagem ácida de mina na Bacia Carbonífera de Santa Catarina (SCHNEIDER, 2006).

O lançamento bruto de efluentes (DAM) nos recursos hídricos, o qual possui uma alta carga de acidez, pH baixo e elevada concentração de metais pesados dissolvidos incide na alteração das características naturais das águas, destruindo a fauna aquática e inviabilizando a sua utilização para os diferentes usos (DO AMARAL; KREBS, 2010). Entre os principais contaminantes identificados em ambiente alterados, um estudo realizado pelo SIECESC (Sindicato da indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina) no ano de 2006 indicou que as águas superficiais da Bacia do Rio Araranguá apresentam concentrações de alumínio, ferro, manganês, cobre, níquel e sulfato acima das concentrações máximas permitida para rios de Classe 2 de acordo com a Resolução Conama n. 357/2005.

Do Amaral e Krebs (2010), destacam que os metais pesados presentes nos corpos hídricos tendem a precipitarem ao longo da sua extensão, sendo incorporados ao sedimento, aumentando gradativamente as concentrações nesse ambiente. Os metais não são biodegradáveis, e quando presentes nas águas e principalmente nos sedimentos podem ser assimilados pelos organismos vivos e entrarem na cadeia alimentar, ocasionando alterações ecológicas e biológicas.

Mesmo com o aperfeiçoamento das técnicas operacionais da atividade de mineração de carvão e com a implementação de normativas ambientais voltadas a proteção do ambiente, muitas áreas mineradas no tempo passado, e que em grande maioria não passaram por estudos ambientais prévios, como o EIA-RIMA, foram abandonadas após serem exploradas, deixando um passivo ambiental que resultou no enquadramento da região carbonífera como a XIV Área Crítica Nacional para Efeito de Controle de Poluição e Qualidade Ambiental.

O passivo ambiental deixado na região, a partir da sentença referente a ação civil pública 93.8000533-4 do Ministério Público Federal, vem sendo alvo de projetos e obras de recuperação ambiental desenvolvidos e implantados por empresas privadas e pela União. Ademais, a União Federal e as demais empresas envolvidas na sentença supracitada executam o monitoramento das temáticas ambientais, esse que visa identificar a dinâmica dos ambientais físicos e biológicos frente as ações aplicadas a restauração do ambiente.

Do montante das áreas impactadas pela atividade, uma parcela foi recuperada e está em fase de monitoramento ambiental, uma segunda parte está em fase de implantação das obras,

outra em processo de elaboração dos estudos e projeto de recuperação ambiental e as demais ainda não tiveram iniciados nenhum processo, entretanto, não foi possível identificar o percentual de área em cada fase apontada acima.

Na Figura 6 A pode ser observada uma das áreas impactadas pela atividade de mineração de carvão que passou pelo processo de recuperação e atualmente é monitorada, e na Figura 6 B uma das áreas que ainda não foi recuperada. Conforme Krebs e Alexandre (2000) a qualidade das águas superficiais em contato com áreas que no passado foram desenvolvidas a mineração e beneficiamento de carvão são alteradas significativamente, sendo atualmente uma realizada vivenciada pelas bacias hidrográficas do extremo sul Catarinense. Ressalta-se que o processo de recuperação dos recursos hídricos superficiais envolve toda a dinâmica ambiental dentro da bacia hidrográfica o qual está inserido, sendo esse período muito longo e ainda não alcançado na área de estudo.



Figura 6 – A) Área degradada recuperada; B) Área degradada não recuperada.

FONTE: DO AUTOR (2022)

2.5 ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE CARVÃO NA BACIA CARBONÍFERA DE SANTA CATARINA

De acordo com Castilhos e Fernandes (2011 apud EA, 1998), na Bacia Carbonífera de Santa Catarina se encontra a maior reserva de mineral de carvão brasileiro mais intensamente minerada nas últimas décadas, sendo que a céu aberto as reservas estão quase esgotadas.

A mineração do carvão em Santa Catarina teve início em 1895, tendo grande destaque durante as guerras mundiais, quando a impossibilidade de importação de carvão da Europa propiciou condições para a consolidação da indústria carbonífera. O mineral era utilizado nas empresas nacionais de iluminação, gás, transporte marítimo e ferroviário (RAVAZZOLI, 2013 apud REBOUÇAS et al, 1997).

Na década de 1970, com a crise do aumento do preço do petróleo, houve uma significativa elevação da produção de carvão, entretanto poucos cuidados foram realizados em decorrência do paralelo aumento do volume de efluentes ácidos gerados (VALIATI; ALMEIDA, 2006).

No início da década de 1980, com a amenização da crise do petróleo, algumas regulamentações foram realizadas pelo governo, tal como o fim da obrigatoriedade do uso do carvão nacional, a extinção de cotas de produção de carvão, a livre importação de carvão com alíquotas zero e a retirada da Companhia Siderúrgica Nacional das atividades ligadas ao carvão nacional (passando a importar a totalidade do carvão consumido com um custo mais baixo e de melhor qualidade). Dessa forma, instalou-se uma crise no setor, a qual foi superada no ano de 1997, com a instalação da Usina Jorge Lacerda (RAVAZZOLI, 2013 apud REBOUÇAS et al, 1997).

Visto o histórico do desenvolvimento da atividade na região, a ausência de tratamentos ambientais nas décadas passadas, ocasionou a degradação de aproximadamente 786 km de rios, perfazendo porções significativas das bacias hidrográficas (SCHNEIDER, 2006).

Segundo o diagnóstico realizado pela Agência de Cooperação Japonesa (JICA, 1998), a Bacia Carbonífera de Santa Catarina possui cerca de 4.780 ha de áreas degradadas por rejeitos de beneficiamento e estéreis de mineração a céu aberto, incluindo minas em atividades, paralisadas e coquerias que, efetivamente, contribuem para a degradação dos recursos hídricos.

2.6 CLASSIFICAÇÃO DOS CORPOS DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MÃE LUZIA

De acordo com Von Sperling (2007), a qualidade dos recursos hídricos é resultado de fenômenos naturais, onde o impacto é dependente do contato da água (precipitação atmosférica), em escoamento ou infiltração, com as partículas, substâncias e impurezas no solo, ou por interferência dos seres humanos, a qual pode ocorrer de forma concentrada ou dispersa, essas ligadas diretamente com o uso e ocupação do solo.

Quanto a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, o artigo 42 da Resolução Conama n. 357/2005, determina que “enquanto os estados não efetivarem o enquadramento, as águas doces serão consideradas como de Classe 2”. Desta forma, como o estado de Santa Catarina e o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá não efetivaram o enquadramento de suas águas como determina o Conama, as águas

interiores, com salinidade inferior a 0,5 partes por mil, ou águas doces, são consideradas como águas de Classe 2.

O artigo 4º, inciso III define que as águas de classe 2 são destinadas:

- a) Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução Conama nº 274, de 2000;
- d) irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
- e) aquicultura e à atividade de pesca.

A Lei n. 9.433 de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, no artigo 9º estabelece que o enquadramento dos corpos das águas, segundo os usos preponderantes, visa garantir que a qualidade das águas sejam compatíveis com os usos mais exigentes ao qual foram destinadas. Entretanto, a qualidade das águas superficiais de uma parcela significativa dos rios localizados na Bacia Carbonífera de Santa Catarina está em desacordo com os usos estabelecidos para os rios de Classe 2, supracitados acima, acarretando assim problemas da disponibilidade de água com qualidade para diferentes usos, principalmente ao consumo humano, uso prioritário dos recursos hídricos.

2.7 DETERMINAÇÃO DE *BACKGROUND* GEOQUÍMICO

De acordo com Rohde (2004), a geoquímica é a ciência que estuda a química da terra como um todo e suas partes constituintes. A integração destes compartimentos, na visão geoquímica clássica, é feita pelo ciclo geoquímico, caracterizado por uma fonte, um transporte e uma deposição de um elemento químico nos diversos compartimentos, considerando sua abundância, distribuição e valores limites ou limiares nos diferentes compartimentos terrestres.

A partir da determinação dos valores naturais do compartimento, um desvio nos valores previstos para a realidade de tal componente, constitui-se um padrão químico anormal ou uma irregularidade denominada anomalia (ROHDE 2004 apud ROSE; HAWKES; WEBB, 1991). Entretanto, sobre as anomalias encontradas em um determinado ambiente, quando comparada a caracterização geral da geosfera, a ciência normal (definida por Kuhn, 1975)

justifica na maioria das vezes pela existência de recursos naturais, especialmente jazidas de minérios.

Dessa forma, a geoquímica ambiental surge com o objetivo de estabelecer as mudanças ambientais químicas realizadas em escala ou contexto geológico pela intervenção humana. Rohde (2004) ressalta que a contaminação ambiental, seja profunda ou superficial, pode se manifestar nas rochas, nas águas superficiais e subterrâneas e nos materiais sobrejacentes (solos, plantas, etc.) pela variação das características químicas destes materiais, possibilitando assim uma detecção por meio de estudos geoquímicos.

Quando observado a abundância de um elemento sem que haja influência antrópica ou antropogênica, é denominado *background*. Esse pode variar em função do material, do tipo de influências ambientais e de outras características locais, correspondendo ao estado disperso de um elemento em um material amostrado, não atuando nenhum agente contaminante.

Ressalta-se que algumas vezes, as concentrações naturais do ambiente podem apresentar valores superiores às concentrações associadas a fontes antropogênicas ou aquelas definidas em normativas ambientais (CHIPRÉS et al., 2009). Um exemplo que demonstra tal situação é o estudo desenvolvido na região de Daba, South Qinling Mountain na China. De acordo com Kunli et al. (2004), a diferença do teor de selênio nas águas, no solo e nas plantações na região de Daba são decorrentes das variações do leito rochoso do qual o solo é formado. O estudo aponta que inicialmente acreditava-se que as elevadas concentrações de selênio no ambiente eram resultantes da queima de carvão enriquecido com selênio, entretanto, foi observado que na vila de Naore, onde não é realizada a extração e nem a queima de carvão, as concentrações de selênio encontradas no ambiente eram muito maiores do que as encontradas na cidade de Haoping e outros locais onde há o uso e a queima de carvão. Desta forma, o estudo geoquímico indicou que as rochas ricas em selênio e enxofre, presentes na região da vila de Naore, é o fator que resulta em concentrações superiores às encontradas em na região de Daba, onde ocorre a exploração e a queima de carvão, porém apresentam outras formações geológicas, essas com menores concentrações de selênio.

Um contaminante, é um elemento ou uma substância que ocorre no ambiente e apresenta concentração acima das consideradas como sendo os níveis de *background*, tal elemento é estabelecido como perigoso quando apresenta níveis com potencial nocivo aos organismos (ROHDE, 2004 apud GOUGH, 1993).

Dentro dos valores de *background*, são caracterizados como anomalias o aumento da concentração do elemento relacionado a contaminação ambiental. Caracteriza-se por anomalia significativa aquela relacionada com a intervenção humana de forma direta ou indireta, já a anomalia não-significativa é originada por processos naturais desde que não apresentem consequências ambientais.

Quando observada a contaminação por um elemento, a zona afetada é definida como halo de dispersão, sendo a amplitude de sua dispersão determinada pela permeabilidade de rochas, solos e sedimentos, da capacidade de substituição de elementos, da concentração e mobilidade (facilidade que um elemento ou substância se desloca em um determinado meio) da solução ou fonte contaminante (ROHDE, 2004).

De acordo com Gałuszka (2007), a determinação do *background* compreende o entendimento de dois aspectos: a distinção se áreas estão ou não estão contaminadas ou poluídas (ou identificação de concentrações de elementos considerados poluentes); e o modelamento da influência antrópica na amplitude da dispersão de substâncias no ambiente.

O mesmo autor cita que para a determinação dos valores de *background*, são empregados três métodos de avaliação, o método direto (geoquímico), o indireto (estatístico) e o integrado (Figura 7).

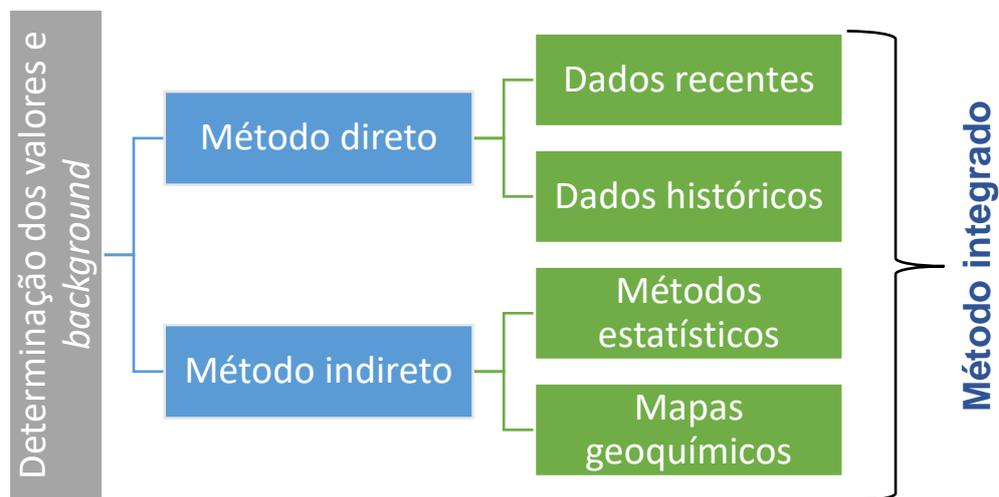


Figura 7 – Métodos para determinação dos valores de *background*.

FONTE: ADAPTADO GALUSZKA, 2011.

O método direto consiste em análises de amostras reconhecidas como sem influência antrópica, sendo os valores apresentados como médios ou medianos. Nesse estudo, o *background* pode ser elaborado com dados históricos, ou seja, amostras coletadas antes do período pré-industrial, ou dados recentes, coletados em áreas intocadas.

Podendo abranger diferentes técnicas, o método indireto, também conhecido como estatístico, visa eliminar os outliers. Esse são dados que apresentam diferença significativa dos demais valores, ou seja, são valores considerados antropogenicamente influenciados, o qual podem causar anomalias nos resultados obtidos. Dentre as metodologias estatísticas empregadas para avaliação, o estudo publicado por Reimann, et al. (2005), destaca que a construção de boxplots e gráficos de probabilidade cumulativa conjuntamente com mapas geoquímicos da área de estudo são as melhores formas de avaliar as características naturais do ambiente.

Já o método integrado, como o próprio nome sugere, faz a junção dos dois métodos referidos acima. Entretanto, para a aplicação desse é necessário que as amostras sejam oriundas de áreas relativamente intocadas, tais como parques nacionais, reservas naturais e ecossistemas florestais, de forma garantir que os dados obtidos para a análise estatística não tenham recebido nenhuma influência antrópica.

2.8 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Na Tabela 1 é apresentado a definição dos parâmetros físico-químicos e os limites estabelecidos pela Resolução Conama n. 357 de 17 de março de 2005 a qual dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como a Portaria GM/MS n. 888, de 4 de maio de 2021 que altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, e dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Tabela 1 – Parâmetros físico-químicos.

Parâmetro	Definição	Resolução Conama n. 357/2005 – Rios de classe 2	Portaria GM/MS n. 888/2021
pH	Corresponde à concentração de íons de hidrogênio (H ⁺), em escalada antilogarítmica, do meio, indicando assim a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água	6 a 9	6 a 9
Oxigênio dissolvido	O oxigênio dissolvido (OD) é um importante determinante da qualidade das águas de rios e lagos, sendo necessário para manter uma comunidade balanceada de organismos dentro do ambiente.	> 5,0	-

Parâmetro	Definição	Resolução Conama n. 357/2005 – Rios de classe 2	Portaria GM/MS n. 888/2021
Condutividade elétrica	Refere-se à capacidade da água em conduzir a corrente elétrica. Sua unidade de medida é dada por micromhos/cm que corresponde ao microsiemens/cm (SI)	-	-
Ferro	O ferro na maioria das vezes está associado ao manganês e confere a água cor e um sabor amargo e adstringente. A ocorrência de ferro dissolvido na água (Fe^{+2}) é muito mais frequente nas águas subterrâneas do que nas águas superficiais, devido a presença de oxigênio nessa restarem na sua oxidação, dando origem ao ferro menos solúvel (Fe^{+3})	0,3 mg/L	0,3 mg/L
Manganês	O manganês possui características semelhantes ao ferro, ou seja, a presença desse elemento no seu estado reduzido (Mn^{+3}) é frequentemente encontrada nas águas subterrâneas, uma vez que nas águas superficiais o oxigênio oxida a forma menos solúvel do óxido de manganês hidratado.	0,1 mg/L	0,1 mg/L
Sulfatos	Os sulfatos são encontrados na água devido a lixiviação de gesso e outros minerais, bem como pela oxidação de sulfetos, sulfitos, tiosulfatos e da matéria orgânica no ciclo do enxofre, que por sua vez, é fonte de energia para as sulfobactérias, que transformam os sulfitos em sulfatos.	250 mg/L	250 mg/L

2.9 SÍNTESE DO CAPÍTULO

A variação das concentrações de elementos químicos na água está associada aos mecanismos de recarga e de descarga dos corpos hídricos. Em áreas sem influência de atividades antrópicas, as condições de equilíbrio são decorrentes dos processos de interação água/rocha, o qual ocasionam a dissolução de minerais e, conseqüentemente, inserem ao ambiente os íons dissolvidos.

Entretanto, atividades antrópicas podem de forma direta ou por meio da transformação da paisagem natural, contribuir com a inserção de metais pesados ou outros

elementos químicos na água. Portanto, para definir as concentrações naturais e antropogênicas é necessário conhecer as características naturais do ambiente de estudo, e assim determinar por meio do *background* geoquímico os valores de referência, ou seja, os limites máximo e mínimo que a concentração de um parâmetro químico poderá apresentar.

Contudo, a pesquisa por trabalhos desenvolvidos no Brasil que tenham como objetivo a determinação do *background* geoquímico, indicou que tal área de estudo tem sido pouco trabalhada, apresentando ocorrência pontual em algumas regiões do país, tendo o estado de Minas Gerais, devido sua peculiaridade com o desenvolvimento da mineração, exibido mais estudos referentes a essa temática. Ou seja, essa ferramenta que caracteriza a realidade de um determinado local, ainda não se tornou peça fundamental para a gestão dos recursos hídricos dentro das bacias hidrográficas.

Na região do extremo sul do estado de Santa Catarina, semelhante ao que ocorre no Brasil, tem-se a realização de apenas dois estudos para determinação de *background* geoquímico. O trabalho desenvolvido por Simão et al. (2019), estabeleceu valores de referência para parâmetros relacionados à contaminação de carvão no município de Criciúma, esse localizado dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia. Já o outro, elaborado por uma empresa, foi desenvolvido para um projeto ambiental na região do Distrito Fluorítico de Santa Catarina, o qual visou a determinação do Flúor na água subterrânea.

O trabalho desenvolvido no município de Criciúma, impactado pela atividade de mineração de carvão, estabeleceu os valores de *background* para pH, ferro, manganês e sulfato das águas subterrâneas. O estudo foi desenvolvido a partir dos resultados analíticos de 100 nascentes localizadas em Criciúma. Após a seleção dos 100 pontos, realizou-se uma avaliação no ambiente SIG, verificando quais nascentes recebiam influência das áreas superficiais impactadas pela atividade de mineração de carvão e por bocas de minas localizadas a montante do ponto amostral. Com a avaliação foi eliminado do banco de dados 17 pontos consideradas impróprios para utilização na análise estatística, resultando assim em um conjunto com 83 nascentes.

A determinação dos valores de *background* foi realizada a partir do método *Exploratory Data Analysis (EDA)*, empregando os gráficos de boxplot para o estabelecimento das concentrações médias e as demais variáveis dos parâmetros químicos estudados. Os resultados obtidos no estudo são sintetizados na Tabela 2.

A análise estatística apontou que a concentração do *background* do manganês encontra-se três vezes maior que os valores estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888 de 2021, que dispõe sobre a potabilidade da água para consumo humano. Dessa forma, evidenciou-se que as concentrações dos parâmetros químicos no meio ambiente naturalmente podem apresentar valores superiores aos limites estabelecidos pelas legislações ambientais, ou seja, águas sem interferência de atividades antrópicas podem apresentar-se impróprias para determinados usos.

Tabela 2 – Resultados do *background* estabelecido no estudo de Simão et al. (2019).

	pH	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Sulfatos (mg/L)
Média	6,4	0,88	0,12	11,37
Mediana	6,3	0,31	0,08	<10,00
Desvio padrão	0,59	1,27	0,17	14,62
Mínimo	5,1	0,02	0,01	5,00
Máximo	7,7	7,30	1,26	88,00
Primeiro quartil	5,90	0,12	0,03	5,00
Terceiro quartil	6,70	1,11	0,14	11,00
Limite superior	7,90	2,58	0,30	20,00
Limite inferior	5,50	0,00	0,00	2,00

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A escolha da área de estudo (Figura 8) foi efetuada baseando-se no comprometimento dos recursos hídricos superficiais impactados pela atividade de mineração de carvão. Segundo Krebs e Alexandre (2000), a Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia concentrou cerca de 70% das atividades voltadas a produção de carvão nas décadas de 70 e 80 no Brasil, fazendo com que praticamente toda a extensão dos recursos hídricos fosse comprometida pelos impactos decorrentes da atividade.

Localizada no extremo sul de Santa Catarina, a Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia é constituinte da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, pertencente à Região Hidrográfica do Extremo Sul Catarinense (RH 10), conforme divisão proposta pela Secretaria de Estado e Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente - SDM em 1997.

De acordo com a Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável de Santa Catarina (2015), a RH 10 situa-se entre as coordenadas 28,436° Sul 49,016° Oeste e 29,355° Sul 50,167° Oeste, tendo aproximadamente 4.992 km², um perímetro de 702 km e 7.956 km de rios, que englobam a área, total ou parcial, de 29 municípios catarinenses.

Da área total da RH 10 (4.992 km²), 680 km² compreendem a Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga, 3.089 km² da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá e 1.223 km² dos afluentes da margem esquerda da Bacia Hidrográfica do Rio Mampituba, esta última localizada na divisa entre os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (SANTA CATARINA, 2015).

A Bacia do Rio Araranguá está localizada total ou parcialmente nos municípios de Araranguá, Balneário Arroio do Silva, Balneário Rincão, Criciúma, Ermo, Forquilha, Içara, Jacinto Machado, Maracajá, Meleiro, Morro Grande, Nova Veneza, Siderópolis, Timbé do Sul, Treviso e Turvo. Essa bacia hidrográfica possui aproximadamente 5.397 km de rios, sendo o rio Araranguá, principal recurso hídrico, formado pela união dos rios Itoupava e Mãe Luzia.

De acordo com Profill Engenharia e Ambiente Ltda (2015 apud SEDUMA, 1997), além do rio Araranguá, os rios Mãe Luzia, Sangão, Fiorita, Sanga do Coqueiro e São Bento se destacam como principais corpos hídricos importantes da bacia. Todos possuem suas nascentes na Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia o qual drenam desde a escarpa da Serra Geral até a baixada litorânea, desaguando no rio Araranguá que segue para o Oceano Atlântico. Essa bacia

está dividida em cinco sub-bacias, sendo a do Rio Araranguá, Rio dos Porcos, Rio Mãe Luzia, Rio Manoel Alves e Rio Itoupava.

A Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia, área de estudo dessa dissertação, abrange uma área de 1.111,70 km², a qual drena os municípios de Treviso, Siderópolis e Forquilha e parte dos municípios de Nova Veneza, Meleiro, Criciúma e Maracajá (PROFILL ENGENHARIA E AMBIENTE LTDA, 2015).

De acordo com Castilhos et al. (2010), essa bacia hidrográfica possui qualidade comprometida em praticamente toda sua extensão, devido às atividades produtoras de carvão do país. Entretanto, ressalta-se que tal comprometimento dos recursos hídricos também se deriva das contribuições de efluentes industriais e esgoto doméstico.

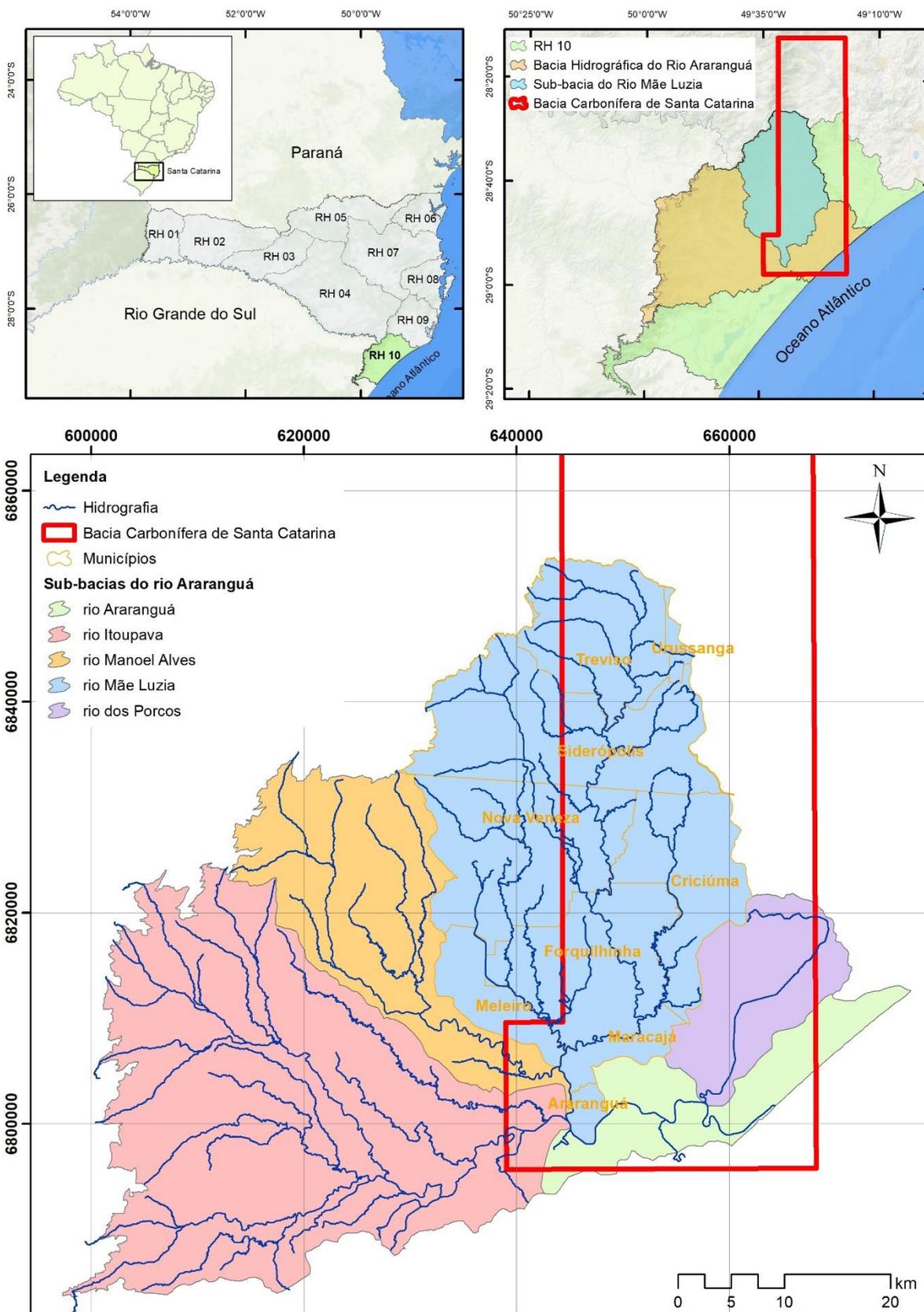


Figura 8- Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia.

3.2 LEVANTAMENTO DOS DADOS DE MONITORAMENTO AMBIENTAL

Decorrente da ação civil pública que condenou as empresas carboníferas de Santa Catarina e a União a recuperarem a degradação ambiental proveniente da exploração supracitada, em setembro de 2006 os réus apresentaram um plano de monitoramento ambiental com o objetivo de mensurar a eficiência das recuperações ambientais no meio ambiente, incluindo nesse plano a qualidade dos recursos hídricos superficiais.

O plano de monitoramento estabeleceu um conjunto de parâmetros químicos (precipitação, vazão, pH, ferro total, manganês total, acidez total, oxigênio dissolvido, condutividade, alumínio total, sulfatos e temperatura) que são amostrados em uma frequência semestral nos 140 pontos de monitoramento definidos pelo grupo. Os relatórios do monitoramento compreendem campanhas amostrais realizadas desde o ano de 2002, antes mesmo da elaboração do plano de monitoramento, esse que vem sendo executado até os dias atuais.

Os dados históricos do monitoramento da qualidade das águas superficiais realizado pelo Grupo Técnico de Assessoramento do Ministério Público Federal no âmbito da ACP 93.8000533-4 (GTA) e utilizados no trabalho foram retirados dos Relatórios de Monitoramento dos Indicadores Ambientais disponibilizados no site da ACP do carvão.

Do total de estações amostrais avaliadas no monitoramento ambiental do GTA, selecionou-se 61 pontos que estão localizadas na área de estudo e que se referem à coleta em rios. A partir desses pontos, realizou-se, com base no mapa de uso do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia, a seleção de 23 estações amostrais que caracterizam toda a influência da atividade de mineração de carvão que os rios recebem ao longo dos seus percursos (Figura 9).

Após a tabulação dos dados de monitoramento em planilha do Software Microsoft Excel, e a seleção das estações amostrais a serem utilizadas no estudo, realizou-se a manipulação e avaliação dos diagramas gerados, a fim de compreender o histórico comportamental da qualidade das águas superficiais na área de estudo.

O levantamento de dados do uso do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia é apresentado na Tabela 3. Conforme pode ser observado, do total de 1.111,70 km², apenas 3,60% correspondem às áreas mineradas, entretanto o impacto causado por essa atividade ocasiona comprometimento significativo na qualidade dos recursos hídricos da bacia.

Tabela 3 – Levantamento da área ocupada por tipo de uso do solo.

Classe	Área total (km ²)	%
Agricultura	319,30	28,72
Área de mineração	40,00	3,60
Área urbanizada e/ou construída	49,71	4,47
Corpos d'água	8,70	0,78
Florestas em estágio inicial (pioneiro)	1,97	0,18
Florestas em estágio médio ou avançado e/ou primárias	451,07	40,57
Pastagens e campos naturais	199,44	17,94
Reflorestamentos	39,78	3,58
Solo exposto	1,72	0,15
Total Geral	1.111,70	100

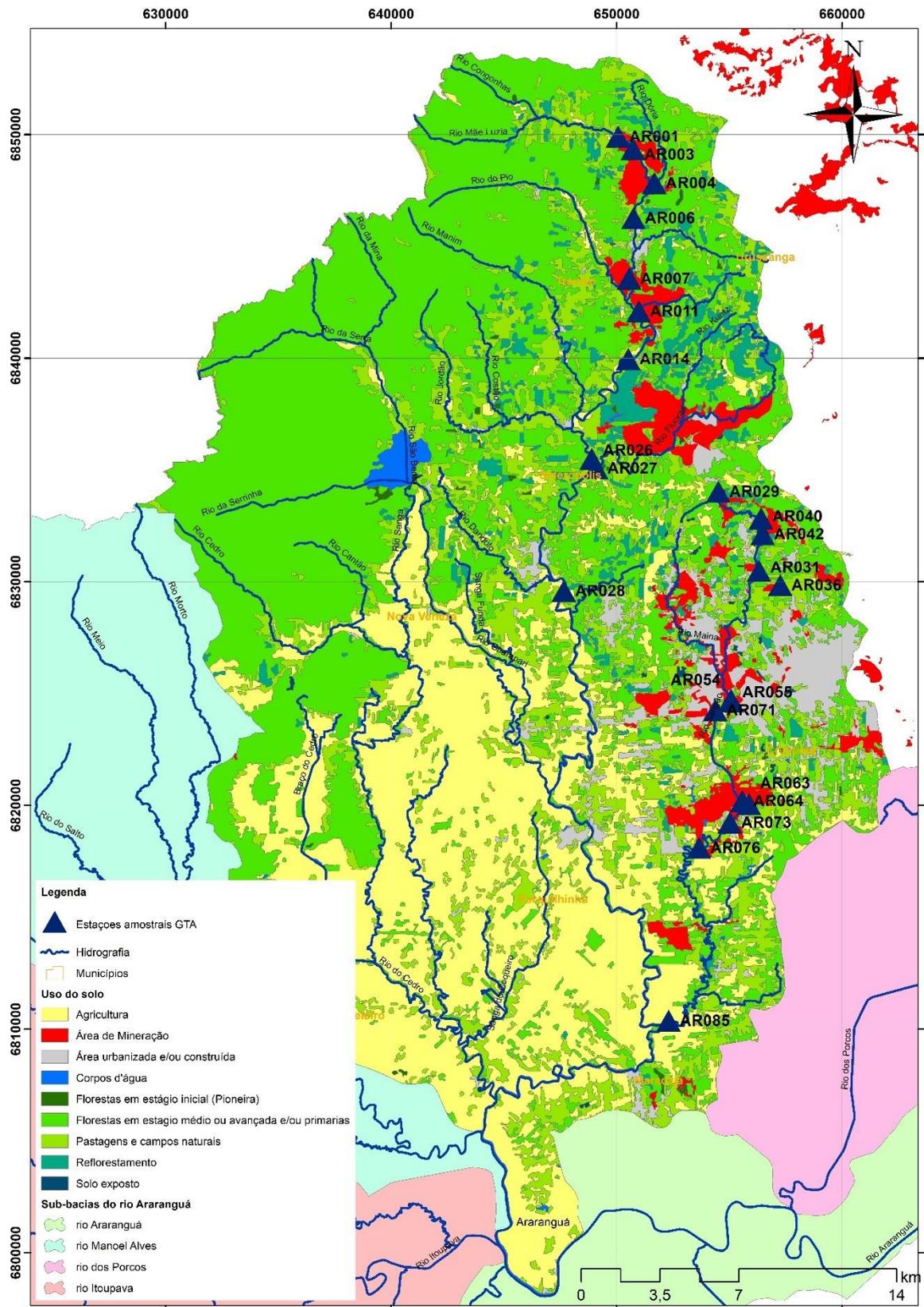


Figura 9 – Localização das estações amostrais de qualidade da água superficial do monitoramento realizado pelo GTA.

3.3 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Para definição dos parâmetros químicos avaliados, levou-se em consideração os principais poluentes gerados pela drenagem ácida de mina oriunda da atividade de mineração de carvão, a fim de permitir um comparativo das concentrações dos parâmetros ambientais nas áreas com e sem influência da atividade.

Durante o processo de formação de DAM, os rejeitos e estéreis, em contato com o oxigênio e a água, oxidam a pirita presente em sua composição, uma vez que é o sulfeto com maior taxa de oxidação. Esse processo da origem aos íons ferrosos (Fe^{+2}), hidrogênio (H^{+}) e o sulfato (SO_4^{2-}). O ferro ferroso em contato com o oxigênio vai gerar ferro férrico (Fe^{+3}), esse que poderá precipitar, reduzindo o pH, ou causar a oxidação de mais pirita, resultando em um ciclo propagatório. Com a redução do pH, os metais são dissolvidos na água, aumentando significativamente as concentrações de acidez, sulfatos e metais dissolvidos.

Nesse trabalho, optou-se por realizar a análise do pH, que possui influência direta na determinação dos processos de oxidação dos íons presentes no rejeito/estéril do carvão, o oxigênio dissolvido que sofre significativa redução devido ao consumo nos processos químicos/biológicos ocorrentes na geração de DAM, e do ferro dissolvido, ferro em suspensão, ferro total, manganês e sulfatos, principais elementos gerados no processo.

Ademais, foi realizada a execução do monitoramento da condutividade elétrica nos rios São Bento e Mãe Luzia, tencionando avaliar se esse parâmetro pode ser utilizado como indicativo de alteração da qualidade das águas, especificamente pela atividade de mineração de carvão. Desta forma, realizou-se o monitoramento no rio São Bento, compreendendo desde a sua cabeceira até a confluência do rio Mãe Luzia, trecho esse que não é interferido por fontes de poluição relacionadas a atividade supracitada, entretanto, está localizado em uma área utilizada para a agricultura, principalmente para plantio de arroz irrigado. Já as estações amostrais estabelecidas no rio Mãe Luzia compreenderam o trecho entre a sua cabeceira até a confluência com o rio Fluorita, nesse percurso objetivou analisar as águas superficiais antes de receberem contribuições de áreas degradadas e após as contribuições.

A escolha pela avaliação da condutividade elétrica está relacionada ao baixo custo da realização do seu monitoramento e o indicativo que os seus resultados demonstram, ou seja, a condutividade elétrica indica a capacidade da água em conduzir corrente elétrica, essa que provém dos íons que estão presentes no meio. Os valores resultantes evidenciam a ocorrência

de sólidos dissolvidos no meio o qual está se analisando, sendo que quanto maior for o resultado obtido da condutividade elétrica, mais íons estão presentes na água.

3.4 DEFINIÇÃO DAS ESTAÇÕES AMOSTRAIS DE QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL

Para a definição das estações amostrais para determinação do *background* geoquímico das águas superficiais realizou-se o cruzamento de dados da base hidrográfica e do arquivo *Shapefile* com o uso do solo elaborado pelo Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina (IMA) no ano 2014 no software ArgGis.

Com o levantamento dos dados, definiu-se por meio do imageamento pontos localizados próximo as nascentes dos principais rios da Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia, o qual possuíam fácil acesso e não recebiam influência de atividades de significativo impacto ambiental. Conforme pode ser observado na Figura 10, os pontos selecionados para o monitoramento estão inseridos em áreas com predominância de florestas em estágio médio ou avançado e/ou primários.

Com os critérios de escolha e limitando os valores financeiros a serem destinados para análise laboratorial, foi definido nove estações amostrais de qualidade da água superficial na área de estudo.

Com o uso da base cartográfica supracitada, definiu-se para a realização do monitoramento da condutividade elétrica ao longo dos rios Mãe Luzia e São Bento uma estação amostral a cada um quilômetro de rio. Ao total foram definidos 14 pontos amostrais no rio Mãe Luzia e 10 no rio São Bento (Figura 11).

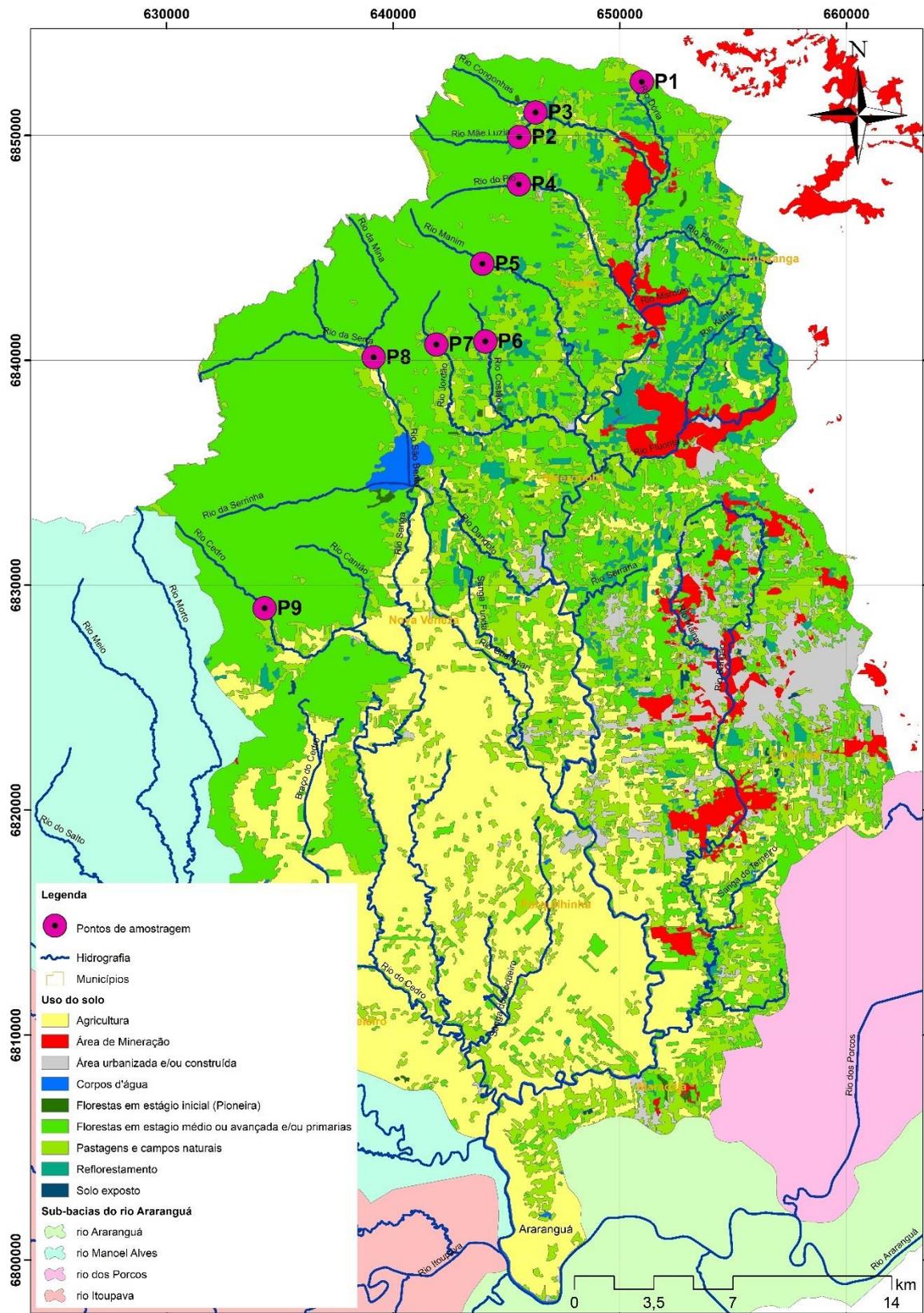


Figura 10 – Localização das estações amostrais de qualidade da água superficial na Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia.

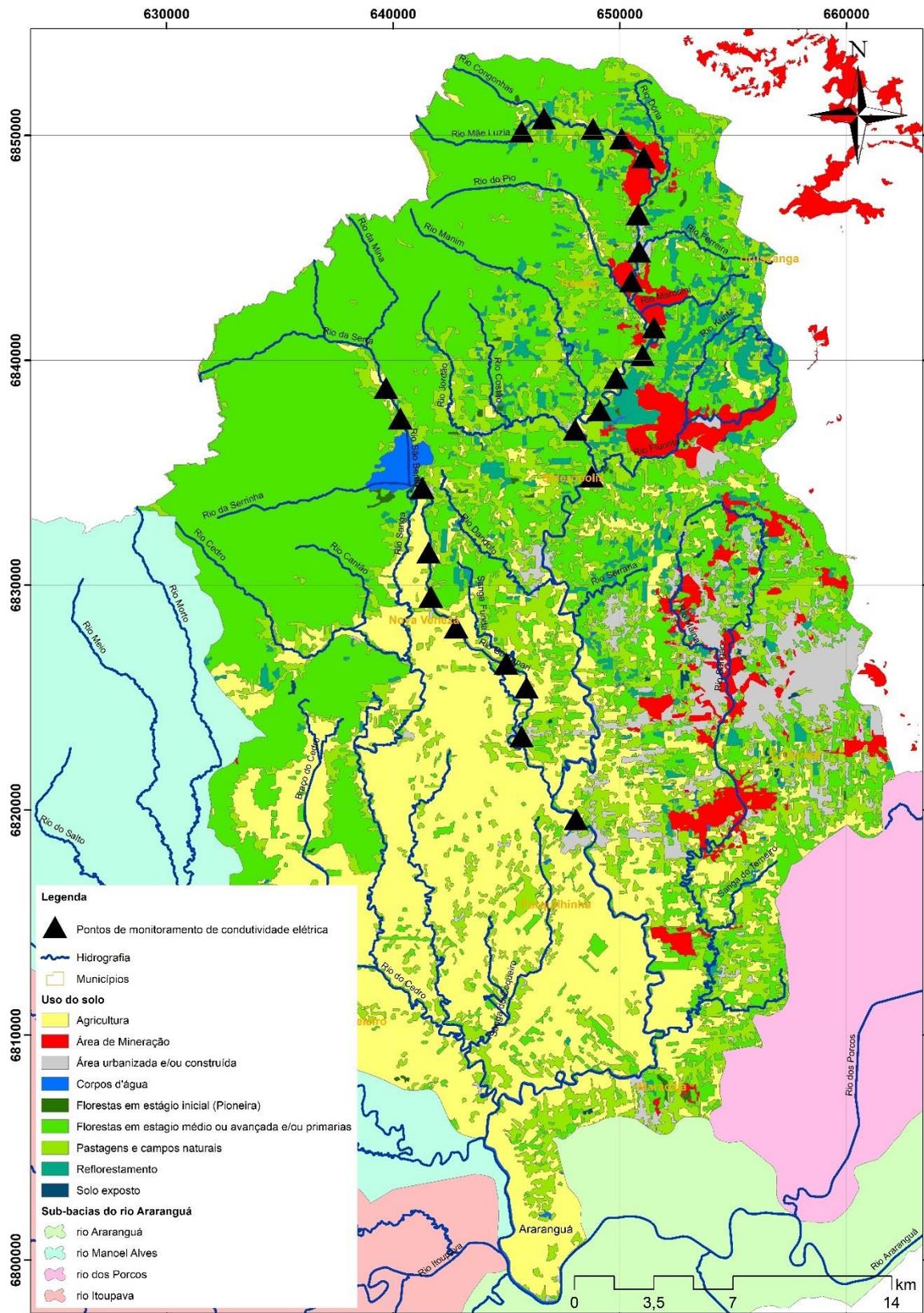


Figura 11 – Localização das estações amostrais para monitoramento da condutividade elétrica nos rios Mãe Luzia e São Bento.

3.5 PROCEDIMENTO PARA COLETA DAS AMOSTRAS DE ÁGUA SUPERFICIAL

Para realizar a coleta de água superficial nas estações amostrais seguiu-se os consecutivos procedimentos:

- Realização da coleta de água diretamente no rio com o uso de um frasco.
- Após a coleta, a água foi transferida para os frascos de coleta, devidamente identificados, que ficaram armazenadas em um caixa térmica com gelo artificial (garantindo que a amostra se mantivesse a uma temperatura inferior 9 °C);
- Realizou-se o preenchimento da ficha técnica com os dados dos parâmetros analisados em campo e com as informações referentes à coleta;
- Encaminhou-se as amostras para o Laboratório de Águas do Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas – IPAT no período não superior a 12 horas.

Os frascos para coleta eram de polietileno ou polipropileno, sendo que os frascos para amostra de manganês continham o reagente ácido nítrico, para amostra de ferro dissolvido, o reagente ácido clorídrico e para os demais parâmetros químicos não havia reagentes.

Em cada campanha de monitoramento, as coletas foram realizadas no mesmo dia, garantindo assim que as águas superficiais não sofressem interferência de possíveis mudanças climáticas. Ademais, as coletas foram realizadas após ao menos três dias sem chuvas torrenciais. Na Figura 12 pode ser observado a coleta sendo realizada, bem como no Apêndice 1 são apresentadas as figuras das coletas realizadas neste trabalho.



Figura 12 – Realização da coleta de água.

3.6 PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

3.6.1 Análise de campo

Inicialmente foi realizada a calibração da sonda multiparâmetros, modelo HANNA HI9829 (Figura 13 A e B). Para efetivação das análises de campo (pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido) realizou-se os seguintes procedimentos:

- Inserção da sonda multiparâmetros no rio;
- Posteriormente foi esperado a estabilização das concentrações dos parâmetros químicos;
- Gravou-se os dados no equipamento e preencheu-se a ficha de campo.

Após todas as análises de campo, foi feita a limpeza do equipamento com água deionizada, a fim de evitar possíveis contaminações do ambiente a ser amostrado. O monitoramento nas estações amostrais de condutividade elétrica foi realizado no dia posterior à coleta de água, contemplando no mesmo dia os 24 pontos de monitoramento. Na Figura 13 C e D é demonstrado a realização das análises de campo, bem como no Apêndice 1 são apresentadas as figuras da primeira coleta realizada neste trabalho.





Figura 13 – A e B) Calibração da sonda multiparâmetros; C e D) Análises realizadas em campo.

3.6.2 Análise laboratorial

Os métodos para análise química laboratorial empregados são de aceitação internacional e foram realizados com base nas metodologias prescritas no Standard Methods for Examination of the Water e Wastewater, no Laboratório de Águas do Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - IPAT. A Tabela 4 traz os parâmetros químicos da água analisados, o método de análise e o limite mínimo detectável para cada indicador.

Tabela 4 - Métodos de análise, unidade de medida e limite mínimo detectável para os parâmetros químicos das águas

Parâmetro químico	Unidade	Método adotado	Limite mínimo detectável
Ferro Total		Determinação de elementos traços totais e dissolvidos em água utilizando espectrometria de emissão de plasma indutivamente acoplado.	0,05
Fe ⁺²			0,10
Fe ⁺³	mg.L ⁻¹	SMEWW – Method 3120 B (ICP-OEP).	0,10
Manganês			0,01
Sulfatos		Cromatografia iônica. EPA 300.1 / SMEWW – Method 4110 B	5,00

3.7 TRATAMENTO DE DADOS

Entre os métodos utilizados para determinação do *background*, tem-se o direto, o indireto e o integrado. No desenvolvimento desse trabalho, optou-se por utilizar o método indireto, que consiste na aplicação estatística, pelo uso dos gráficos de boxplot, sobre resultados de análises realizadas dentro de uma área de estudo. Tal método foi escolhido devido os demais (direto e integrado) se embasarem em amostras coletadas em áreas intocadas, necessidade essa que não se aplica à região escolhida.

A metodologia adotada seguiu o *Exploratory Data Analysis* (EDA), a qual consiste de análise de gráficos, aqui adotado o uso de boxplot, e estatísticas descritivas que objetivam eliminar resultados considerados anômalos dentro do conjunto de dados, os chamados *outliers*. Para a construção do modelo, os dados foram inseridos no Software Microsoft Excel, e posteriormente gerados os gráficos com a definição dos valores do primeiro quartil (Q1), segundo quartil (Q2) e terceiro quartil (Q3).

Conforme pode ser observado na Figura 14, o conjunto de dados é dividido pelos quartis, estando entre o intervalo Q1 e o Q3, 50% dos dados. Ou seja, do limite mínimo até o Q1, estão 25% dos valores do conjunto, e do Q3 até o limite máximo estão os outros 25%. O Q2 representa a mediana dos valores, e indica a existência de simetria dos dados quando localizada no centro do gráfico, a sua proximidade ao Q1 indica que os dados são assimétricos positivamente, já se próximo ao Q3 a assimetria é negativa. A dispersão dos dados (IQR - *Inter Quartil e Range*) é verificada pela diferença entre Q3 e o Q1. As linhas, também chamadas de *whiskers*, se estendem da extremidade do box em direção aos valores mínimo e máximo e são determinadas por 1,5 vezes o comprimento aos valores das amplitudes interquartis 25-50% e 50-75%, respectivamente. Todos os valores fora dessa linha são determinados como *outliers* (MATSCHULLAT et al. 2000).

Determinados os valores supracitados, é estabelecido os valores do limite inferior (LI) e do limite superior (LS) para o *background*. Sendo o limite inferior dado por $Q1 - 1,5 * IQR$ e o limite superior por $Q3 + 1,5 * IQR$.

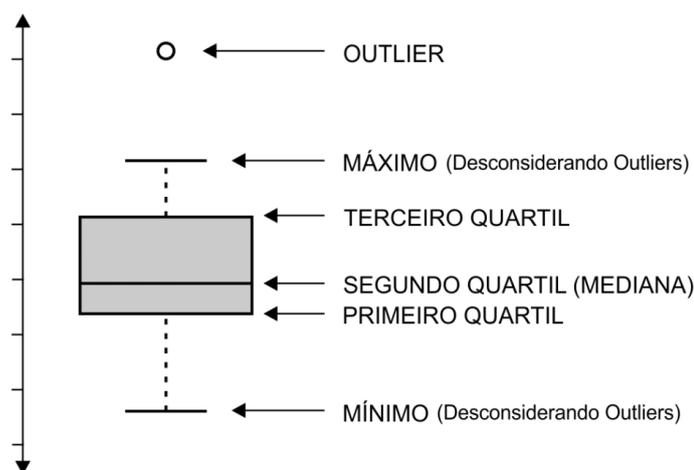


Figura 14 – Exemplo de boxplot para a concentração de um elemento.

FONTE: OLIVEIRA (2019)

Para a definição do *background* foram estabelecidas áreas de estudo de acordo com as estações amostrais, ou seja, inicialmente aplicou-se o modelo estatístico para cada área, e

posteriormente para a Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia. Tal separação objetivou comparar se as características naturais das águas superficiais poderiam sofrer variação de acordo com a área de contribuição que a estação amostral estava localizada.

O estabelecimento das sub-bacias de estudo se deu pela definição da área de drenagem contribuinte para a estação amostrada, conforme pode ser observado na Figura 15. Todas as estações estão localizadas em áreas de florestas em estágio médio ou avançada e/ou primárias, segundo a base de dados do IMA/2014.

De acordo com a Resolução Conama nº 10 de outubro de 1993 as áreas de florestas em estágio médio ou avançado de regeneração, bem como florestas primárias, desempenham um papel crucial na conservação da biodiversidade e na manutenção dos ecossistemas. As florestas primárias, também conhecidas como florestas clímax ou matas virgens, são aquelas que não sofreram alterações significativas pela ação humana, mantendo suas características originais de estrutura e diversidade de espécies, as florestas em estágio médio de sucessão florestal, de forma geral, apresentam uma fisionomia arbórea e/ou arbustiva predominante sobre a herbácea, podendo formar estratos diferenciados, já e as florestas em estágio avançado a fisionomia arbórea é dominante, formando um dossel fechado e relativamente uniforme, com a presença de árvores emergentes em diferentes graus de intensidade. As copas superiores são amplas horizontalmente e a distribuição diamétrica das árvores é de grande amplitude.

Quanto a geologia, de acordo com o mapa geológico do estado de Santa Catarina, elaborado pelo Serviço Geológico do Brasil em 2014, as estações amostrais encontram-se localizados sob a Bacia do Paraná. A Bacia do Paraná, formada entre o Carbonífero e o Cretáceo Inferior, é caracterizada por apresentar sedimentação Gonduanica e Magmatismo Serra Geral. Nos pontos analisados, encontram-se as seguintes formações pertencentes a Bacia: Formação Palermo, Formação Rio Bonito e Formação Teresina, todas de origem sedimentar deposicional (Figura 16).

A estação amostral P1 está localizada na Formação Palermo, datada do Permiano, aproximadamente 275 milhões de anos, apresenta litologia composta por siltito, siltito arenoso, arenito fino e folhelho, lentes de arenito grosso e conglomerado com seixos discoides. Formação depositada em ambiente marinho de costa a fora com influência de tempestades. As estações amostrais P2, P4, P5, P6, P7, P8 e P9 localizam na Formação Teresina, datada do final do Permiano, aproximadamente 255 milhões de anos, é caracterizada por depósitos marinhos rasos representados pela alternância de argilitos e folhelhos cinza-escuro com siltitos e arenitos

muito finos cinza-claro, com ocorrência de calcários. Já a estação amostral P3 está na Formação Rio Bonito, datada do Permiano, aproximadamente 280 milhões de anos, apresenta-se comumente composta por arcoseo, siltito, siltito carbonoso e quartzo-arenito folhelho carbonoso e carvão. Com gênese em ambiente flúvio-deltaico, litorâneo e marinho plataformar.

Vale ressaltar, que o mapa geológico foi realizado sob escala 1:500.000, dessa forma os limites entre as Formações podem não retratar a realidade com precisão, visto que os pontos analisados se apresentam muito próximo a áreas de contato direto entre as litologias.

Destaca-se que nesse estudo não foi realizado a correlação entre os valores de *background* e formação geológica da área.

3.9 DEFINIÇÃO DOS DIAGRAMAS UNIFILARES DE VULNERABILIDADE

De acordo com Aquino, Paletta e Almeida (2017) a vulnerabilidade ambiental consiste do grau em que um sistema natural é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos das interações externas, sejam essas de ocorrência natural do meio ambiente ou causadas por atividades antrópicas.

O meio ambiente, sistema composto pelo solo, recursos hídricos, vegetação, fauna, entre outros compartimentos, são estruturas que se relacionam por meio de seus ciclos, entretanto, quando ocorre a perturbação do equilíbrio do sistema, esse tende a desenvolver a resiliência, capacidade de voltar a sua característica natural, e a persistência, capacidade de se afastar do equilíbrio ou estabilidade sem mudar o seu estado natural (AQUINO, PALETTA E ALMEIDA, 2017).

Para a geração dos diagramas unifilares de vulnerabilidade da qualidade das águas superficiais dos rios Mãe Luzia e Sangão, utilizou-se os dados históricos do monitoramento do Grupo Técnico de Assessoramento do Ministério Público Federal no âmbito da ACP realizado entre os anos de 2002 até 2019. Foram utilizados os dados das 23 estações amostrais que caracterizam a área de influência, conforme explicado no Capítulo 3.2, sendo 10 localizadas no rio Mãe Luzia e 14 no rio Sangão.

Inicialmente elencou-se os parâmetros físico-químicos a serem considerados para a definição da vulnerabilidade. De todos os parâmetros monitorados pelo GTA, foram selecionados o pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, ferro dissolvido, ferro total, manganês e sulfatos. A escolha desses vem de encontro com a definição do *background* estabelecido nesse trabalho, o qual será utilizado como fator de ponderação.

Na estruturação do diagrama unifilar foi utilizado os dados da base cartográfica das hidrografias para a delimitação dos corpos hídricos, disponibilizada pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS) de Santa Catarina datada do ano de 2011, e o arquivo *Shapefile* com o uso do solo, elaborado pelo Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina (IMA) no ano 2014, com a definição das áreas impactadas pela atividade de mineração de carvão.

Sequencialmente, foram especificadas pelo autor três classes de vulnerabilidade baseadas ao atendimento do limite inferior (LI) e limite superior (LS) determinados no *background*. Desse modo, foram criadas as seguintes classes de vulnerabilidade:

- Vulnerabilidade baixa: estação amostral que apresentou de zero a dois parâmetros físico-químicos em desacordo com os valores de referência.
- Vulnerabilidade média: estação amostral que apresentou de três a quatro parâmetros físico-químicos em desacordo com os valores de referência;
- Vulnerabilidade alta: estação amostral que apresentou de cinco a sete parâmetros físico-químicos em desacordo com os valores de referência.

Por fim, definiu-se a média histórica dos parâmetros físico-químicos para cada estação amostral, confrontando-os com os resultados de *background* estabelecidos nesse estudo e definindo quais as estações apresentavam-se em acordo ou desacordo.

Para o oxigênio dissolvido considerou-se o atendimento ao valor de referência do *background* quando a média histórica se apresentou superior ao LI. Ao pH, considerou-se em acordo quando a média histórica se encontrava entre o LI e o LS. Já para a condutividade elétrica, o ferro dissolvido, o ferro total, o manganês e o sulfato as concentrações consideradas em atendimento foram aquelas que apresentaram valores inferiores ao LS.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 *BACKGROUND* GEOQUÍMICO PARA OS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

A realização das campanhas amostrais permitiu estabelecer o *background* das águas superficiais nas sub-bacias localizadas na cabeceira da Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia. Neste contexto, foram determinadas nove estações amostrais para avaliação qualitativa das águas superficiais dentro da área de estudo, entretanto, na estação amostral P1, foi verificado na primeira campanha de monitoramento, assim como nas demais, que a área possui influência de uma possível surgência de drenagem ácida de mina. As surgências são conhecidas como um ponto onde a água contaminada das galerias das minas subterrâneas emerge naturalmente na superfície tornando fontes pontuais de contaminação do meio ambiente.

Não foram realizados estudos detalhados para comprovação de que a surgência de água identificada no local (Figura 17) trata-se de água ácida proveniente de atividade de mineração subterrânea. Entretanto, com os resultados das análises realizadas nesse trabalho, o qual apresentaram concentrações elevadas de metais, com as características visuais do ambiente e com a base cartográfica das minas subterrâneas do GTA, observou-se que a estação amostral está inserida em uma área com mineração de carvão subterrânea, conforme pode ser observado na Figura 18.

Sabe-se que as águas superficiais, como rios e lagos, e as águas subterrâneas, presentes nos aquíferos, estão constantemente interagindo, o que faz com que a qualidade da água também seja interdependente, ou seja, quando as águas superficiais infiltram no solo e atingem os aquíferos, ou as águas subterrâneas emergem na superfície e alimentam os rios e lagos, os poluentes na água superficial podem contaminar os aquíferos, e a contaminação dos aquíferos pode afetar os corpos d'água superficiais. Desta forma, optou-se por excluir os resultados desse ponto amostral, visto a grande probabilidade de ser um ambiente com influência de atividade antrópica significativa para o objeto do trabalho.



Figura 17 – Surgência de água próximo ao ponto de amostragem P1.

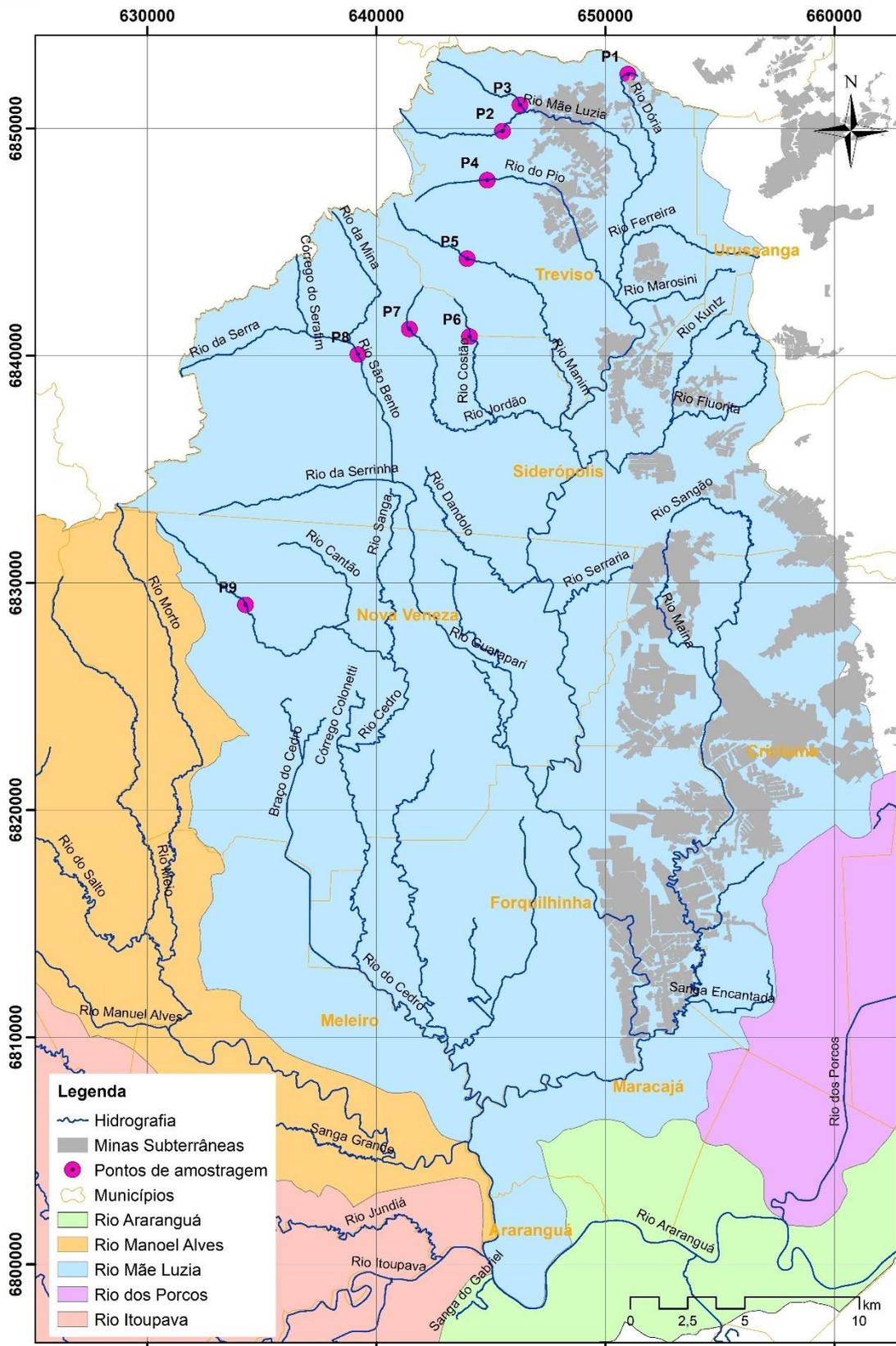


Figura 18 – Localização das minas subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia.

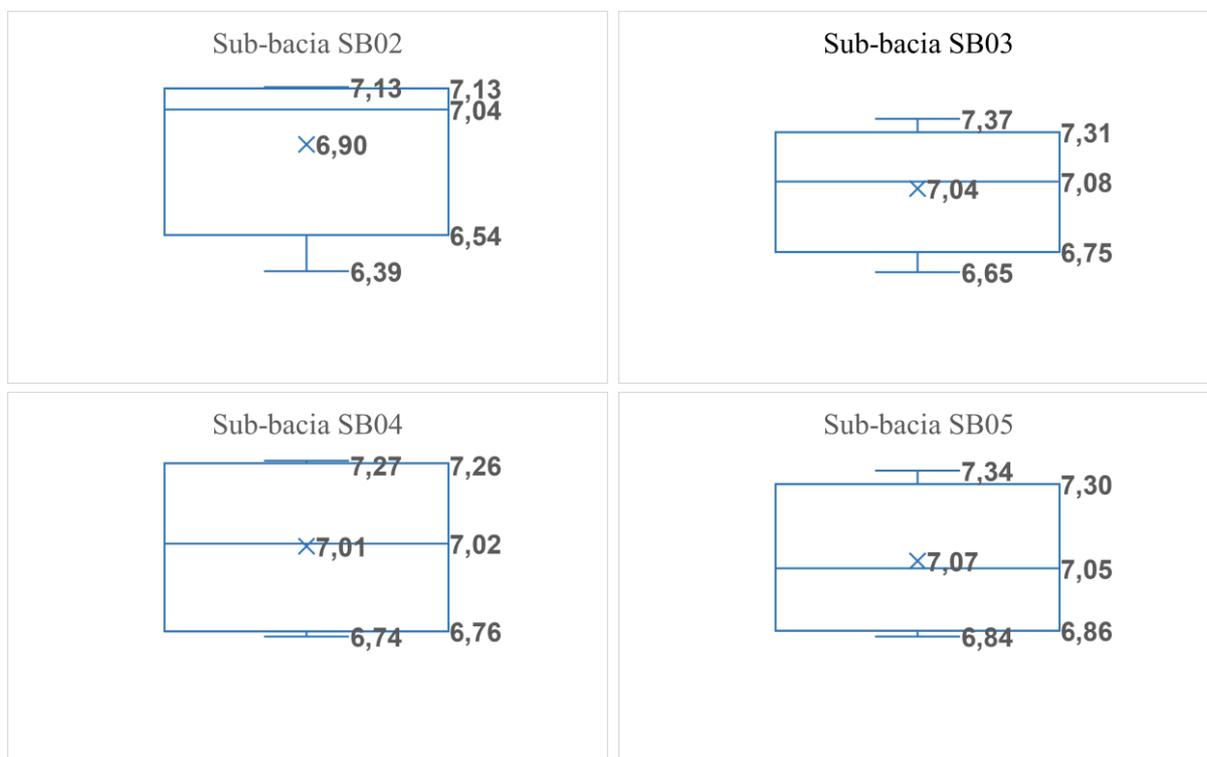
Com a análise aplicada para cada sub-bacia e posteriormente para a Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia, verificou-se que os valores encontrados para todos os parâmetros químicos avaliados apresentam um desvio padrão baixo, o que indica a similaridade dos valores nos diferentes cenários estudados.

Na Tabela 5 é apresentado os resultados de *background* do pH estabelecidos para os cenários adotados neste estudo e na Figura 19 os boxplots gerados para esse compartimento.

Tabela 5 – Valores de *background* para o pH.

Sub-bacia	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão	Q1	Q3	LI	LS
SB02	6,39	7,13	6,90	7,04	0,35	6,54	7,13	5,66	8,02
SB03	6,65	7,37	7,04	7,08	0,30	6,75	7,31	5,91	8,15
SB04	6,74	7,27	7,01	7,02	0,28	6,76	7,26	6,01	8,01
SB05	6,84	7,34	7,07	7,05	0,23	6,86	7,30	6,20	7,96
SB06	6,80	7,47	7,05	6,97	0,30	6,82	7,37	6,00	8,20
SB07	6,48	6,98	6,71	6,69	0,21	6,52	6,92	5,92	7,53
SB08	6,53	7,19	6,79	6,73	0,29	6,55	7,10	5,73	7,93
SB09	6,22	6,83	6,49	6,46	0,29	6,24	6,78	5,43	7,59
Bacia Hidrográfica Rio Mãe Luzia	6,22	7,47	6,88	6,87	0,32	6,64	7,13	5,91	7,87

Q1: primeiro quartil; Q2: terceiro quartil; LI: Limite inferior do *background*; LS: Limite superior do *background*.



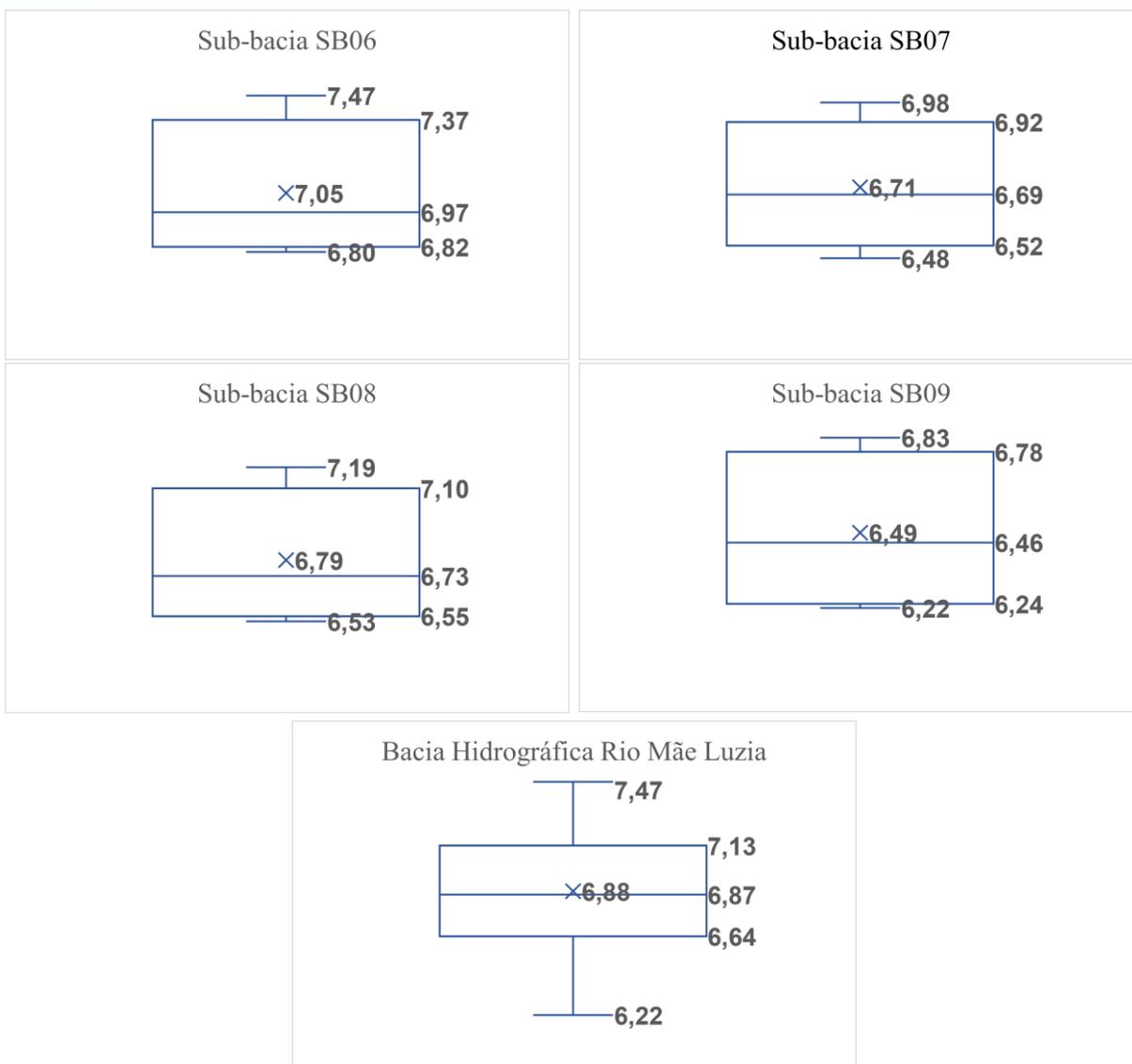


Figura 19 – Boxplot para determinação dos valores de *background* para o pH.

FONTE: DO AUTOR (2021)

Quanto ao pH, na Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia, esse varia de 6,22 a 7,74, com um valor de *background* estabelecido entre 5,91 a 7,87. A faixa determinada como referência indica que em condições sem a influência de atividades antrópicas, os resultados podem apresentar-se abaixo do limite estabelecido pela Resolução Conama n. 357/2005 para rios de Classe 2 (pH 6,0 a 9,0), entretanto, muito próximo desse valor.

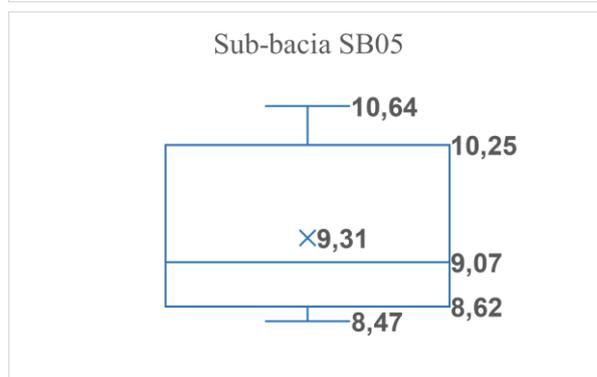
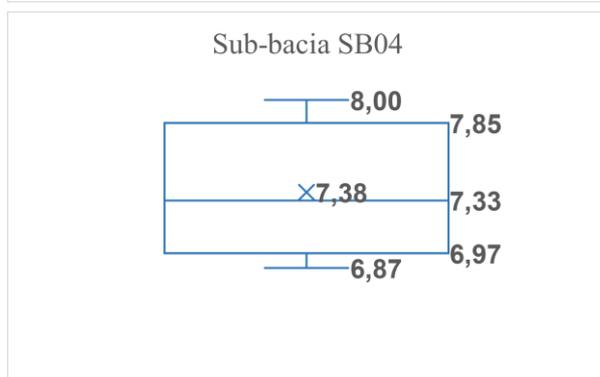
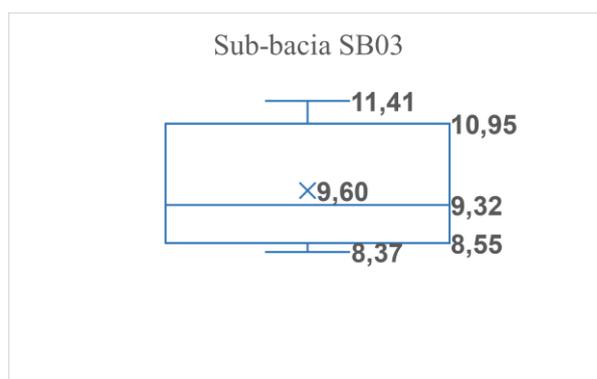
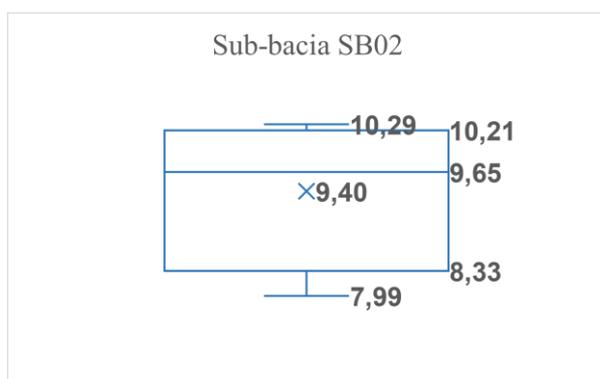
As concentrações de oxigênio dissolvido identificadas ao longo do estudo, apresentaram um valor mínimo de 6,87 mg/L e um valor máximo de 11,41 mg/L. Com o estudo o valor de *background* determinado para a Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia foi de 6,21 a 11,57 mg/L (Tabela 6). O valor mínimo determinado, vem de acordo com o estabelecido pela resolução supracitada, a qual estabelece que o oxigênio dissolvido em qualquer amostra não

deve ser inferior a 5 mg/L. Os boxplot gerados a partir dos resultados das campanhas de monitoramento são apresentados na Figura 20.

Tabela 6 – Valores de *background* para o oxigênio dissolvido (mg/L).

Sub-bacia	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão	Q1	Q3	LI	LS
SB02	7,99	10,29	9,40	9,65	1,02	8,22	10,21	5,51	13,03
SB03	8,37	11,41	9,60	9,32	1,30	8,55	10,95	4,95	14,55
SB04	6,87	8,00	7,38	7,22	0,47	6,97	7,85	5,65	9,17
SB05	8,47	10,64	9,31	9,07	0,93	8,62	10,25	6,18	12,70
SB06	7,65	10,06	9,01	9,17	1,05	7,93	9,94	4,92	12,96
SB07	8,32	9,55	8,80	8,66	0,58	8,33	9,40	6,73	11,01
SB08	8,18	9,63	8,81	8,72	0,65	8,24	9,48	6,38	11,34
SB09	8,00	9,83	8,74	8,56	0,80	8,09	9,57	5,87	11,79
Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia	6,87	11,41	8,88	8,87	1,02	8,22	9,56	6,21	11,57

Q1: primeiro quartil; Q2: terceiro quartil; LI: Limite inferior do *background*; LS: Limite superior do *background*.



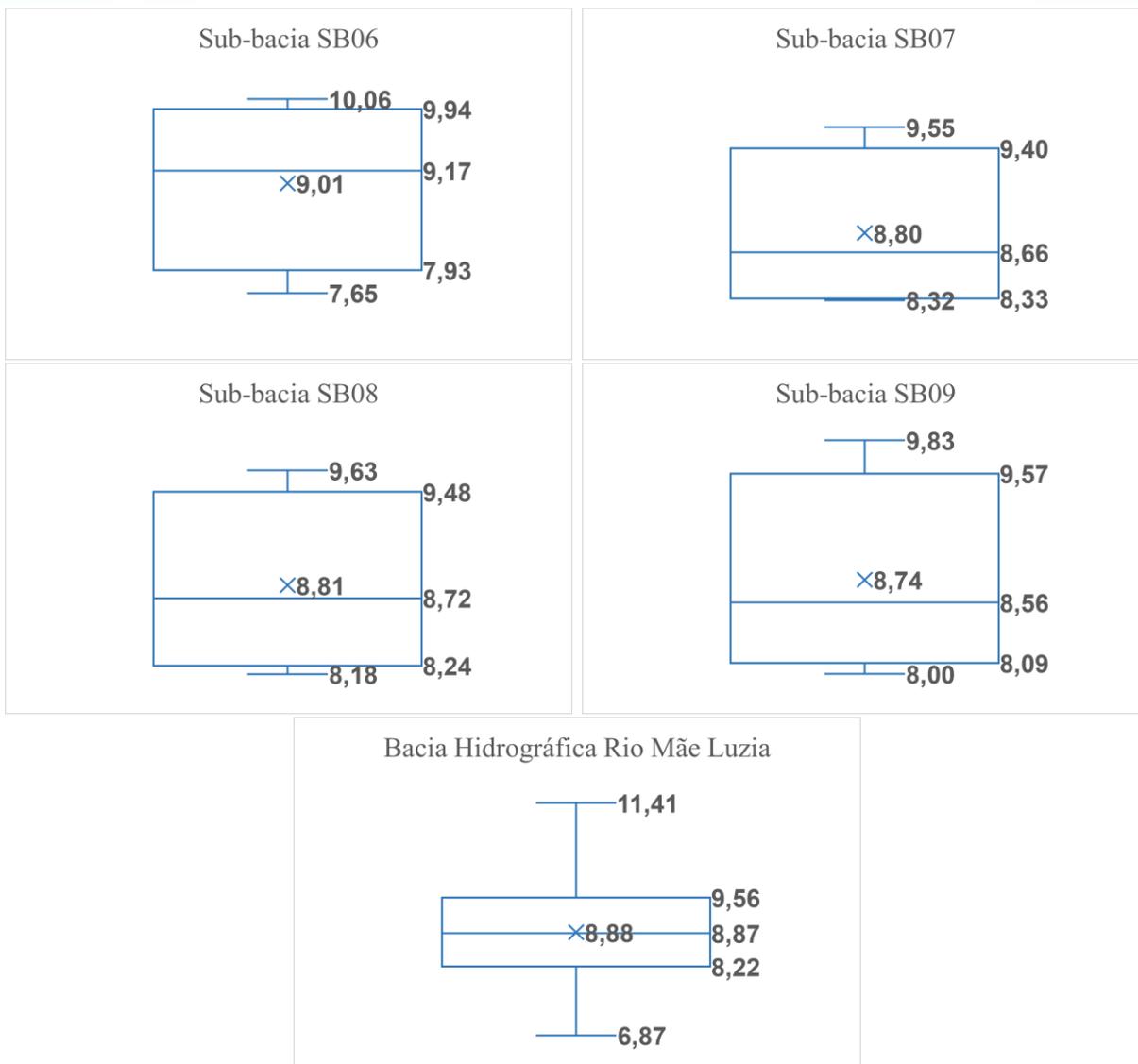


Figura 20 – Boxplot para determinação dos valores de *background* para o oxigênio dissolvido (mg/L).

FONTE: DO AUTOR (2021)

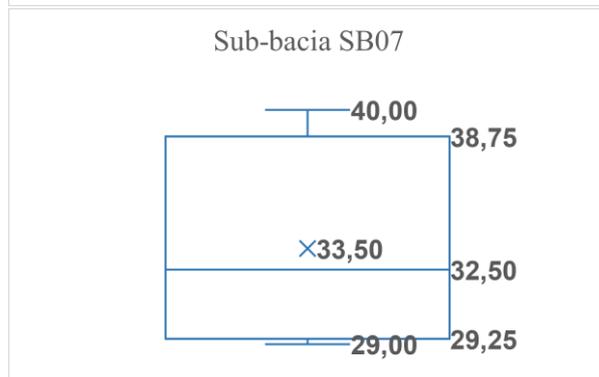
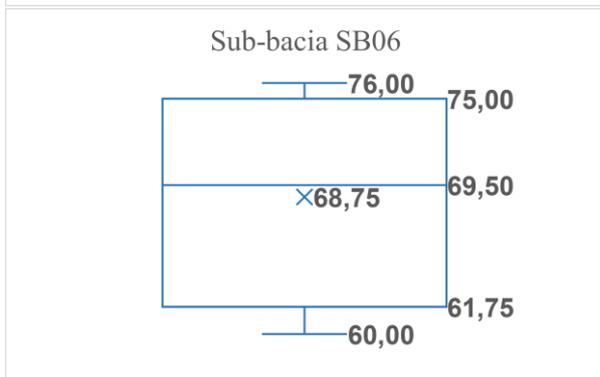
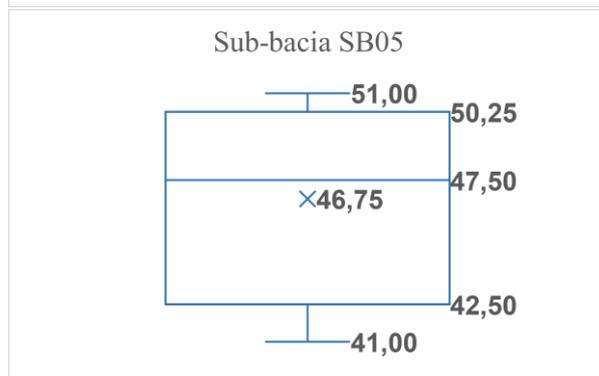
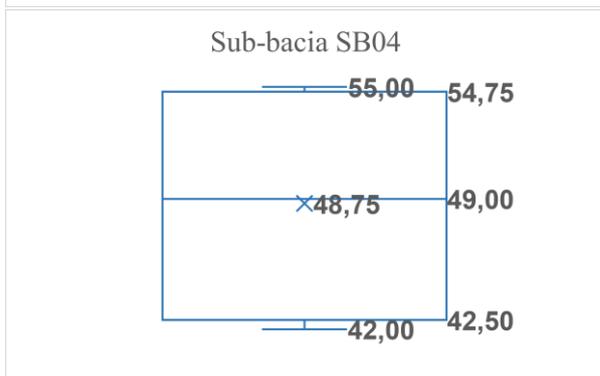
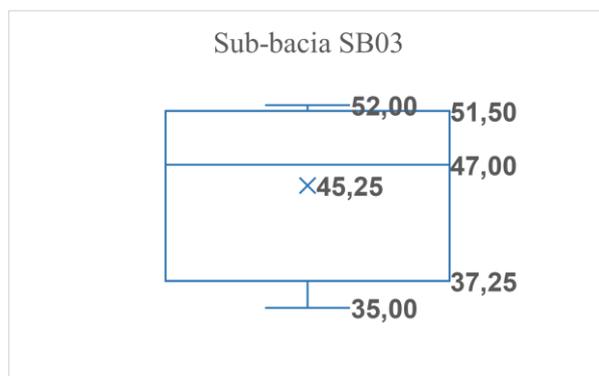
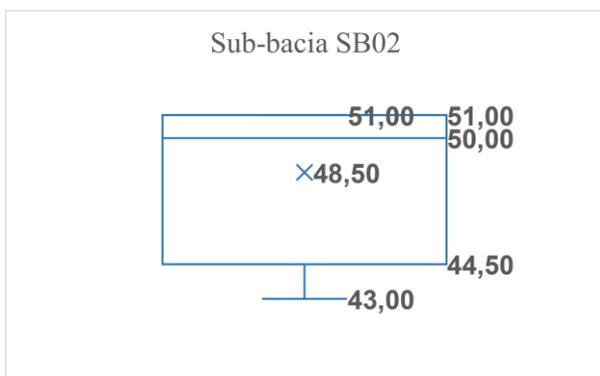
Para a condutividade elétrica na Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia, as concentrações variaram de 28 a 76 $\mu\text{S}/\text{cm}$, apresentando uma média de 48,30 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com desvio padrão de 12,10 $\mu\text{S}/\text{cm}$. O valor inferior e superior estabelecido para o *background* foi de 11,00 e 75,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente, conforme é apresentado na Tabela 7. Na Figura 21 são apresentados os boxplot.

Tabela 7 – Valores de *background* para a condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Sub-bacia	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão	Q1	Q3	LI	LS
SB02	43,00	51,00	48,54	50,0	3,79	44,50	51,00	34,75	60,75
SB03	35,00	52,00	45,25	47,0	7,63	37,25	51,50	15,88	72,88
SB04	42,00	55,00	48,75	49,0	6,70	42,50	54,75	24,13	73,13
SB05	41,00	51,00	46,75	47,5	4,19	42,50	50,25	30,88	61,88

Sub-bacia	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão	Q1	Q3	LI	LS
SB06	60,00	76,00	68,75	69,5	6,90	62,75	75,00	41,88	94,88
SB07	29,00	40,00	33,50	32,5	5,07	29,25	38,75	15,00	53,00
SB08	32,00	49,00	39,75	39,0	7,72	31,75	47,50	10,63	69,63
SB09	28,00	34,00	31,75	32,5	2,63	29,00	33,50	22,25	40,25
Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia	28,00	76,00	45,38	44,00	12,10	35,00	51,00	11,00	75,00

Q1: primeiro quartil; Q2: terceiro quartil; LI: Limite inferior do *background*; LS: Limite superior do *background*.



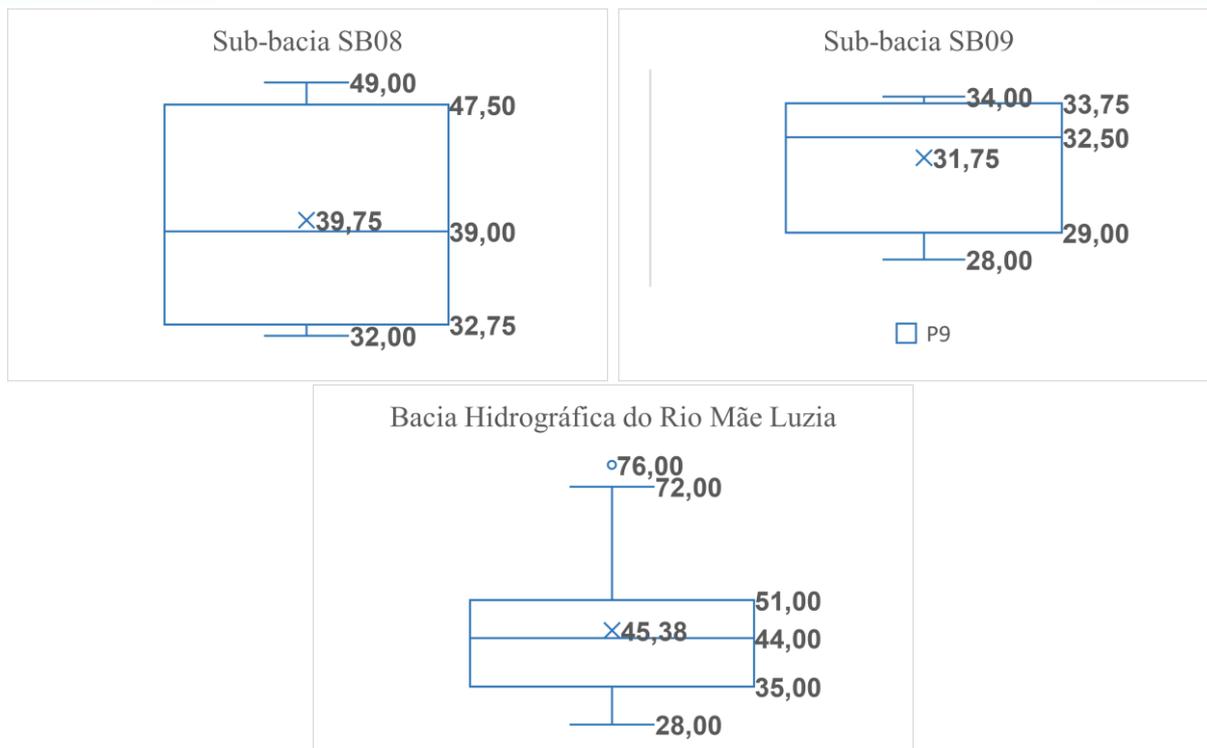


Figura 21 – Boxplot para determinação dos valores de *background* para a condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

FONTE: DO AUTOR (2021)

No que se refere à presença de ferro nas águas naturais da Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia, não foi possível determinar quantitativamente a presença de ferro dissolvido com o método de análise laboratorial utilizado. Dessa forma, o *background* superior estabelecido foi de uma concentração de 0,05 mg/L e o inferior de 0,01 mg/L. Esses valores foram determinados de acordo com o limite de quantificação (LQ) e o limite de detecção (LD) do método utilizado para análise, ou seja, não é possível descartar a presença de ferro dissolvido nas amostras coletadas, porém concentrações menores que 0,05 mg/L não foram possíveis de serem quantificados com precisão aceitável.

Comparando o *background* do ferro dissolvido com a Resolução Conama n. 357/2005 para rios de Classe 2, afirma-se que a concentração desse parâmetro químico está muito abaixo do que é determinado como o valor máximo pela normativa (0,3 mg/L).

Na Tabela 8 e Figura 22 e na e Tabela 9 e Figura 23 são apresentados os valores para o *background* e os boxplots do Fe^{+3} e do ferro total, respectivamente.

Tabela 8 – Valores de *background* para o Fe⁺³ (mg/L).

Sub-bacia	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão	Q1	Q3	LI	LS
SB05	<0,10	0,19	0,19	0,19	0,00	0,00	0,14	0,01	0,35
SB06	<0,10	0,16	0,14	0,14	0,03	0,00	0,15	0,01	0,38
SB07	<0,10	0,16	0,16	0,16	0,00	0,00	0,12	0,01	0,30
SB08	<0,10	0,16	0,16	0,16	0,00	0,00	0,12	0,01	0,30

Q1: primeiro quartil; Q2: terceiro quartil; LI: Limite inferior do *background*; LS: Limite superior do *background*.

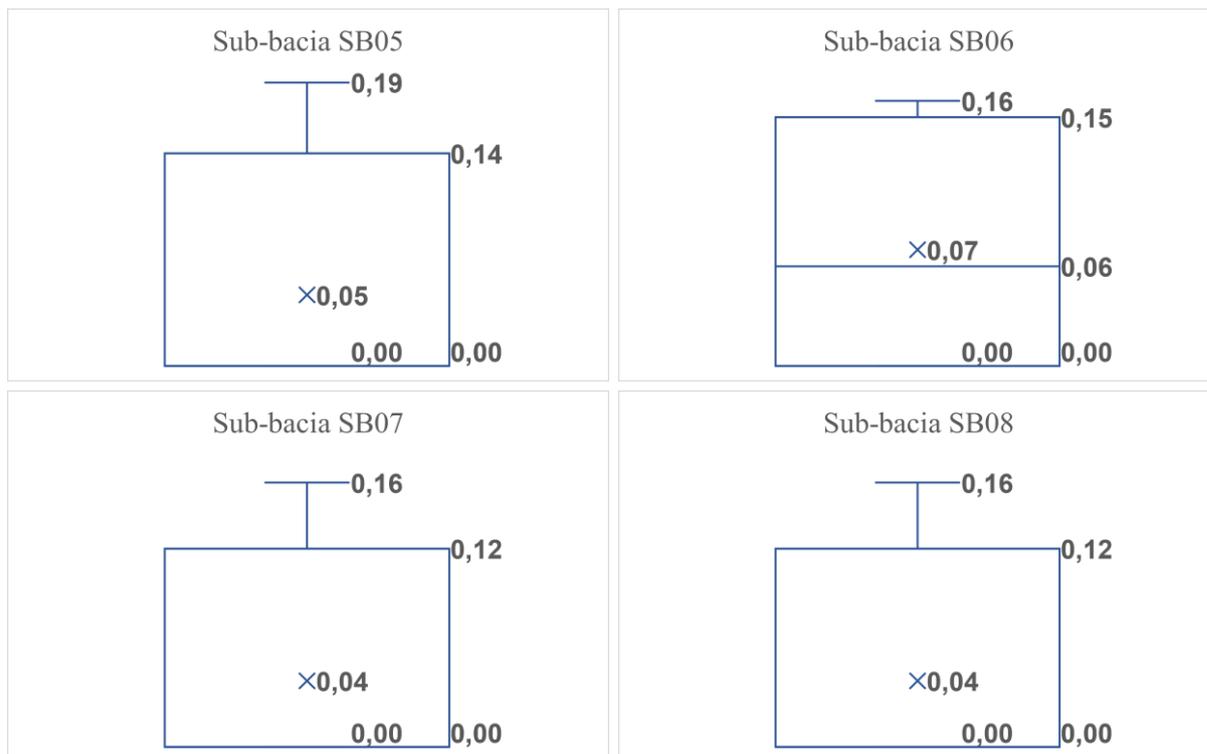


Figura 22 – Boxplot para determinação dos valores de *background* para o Fe⁺³ (mg/L).

FONTE: DO AUTOR (2021)

Tabela 9 – Valores de *background* para o ferro total (mg/L).

Sub-bacia	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão	Q1	Q3	LI	LS
SB02	<0,05	0,09	0,09	0,09	0,00	0,00	0,09	0,01	0,23
SB03									
SB04	<0,05	0,07	0,06	0,06	0,01	0,00	0,07	0,01	0,18
SB05	<0,05	0,22	0,22	0,22	0,00	0,00	0,17	0,01	0,43
SB06	0,08	0,26	0,14	0,12	0,08	0,09	0,23	0,01	0,44
SB07	<0,05	0,08	0,07	0,07	0,01	0,00	0,08	0,01	0,20
SB08	<0,05	0,06	0,06	0,06	0,00	0,00	0,06	0,01	0,15
SB09	<0,05	0,06	0,06	0,06		0,00	0,05	0,01	0,13
Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia	<0,05	0,26	0,10	0,08	0,06	0,00	0,08	0,01	0,20

Q1: primeiro quartil; Q2: terceiro quartil; LI: Limite inferior do *background*; LS: Limite superior do *background*.

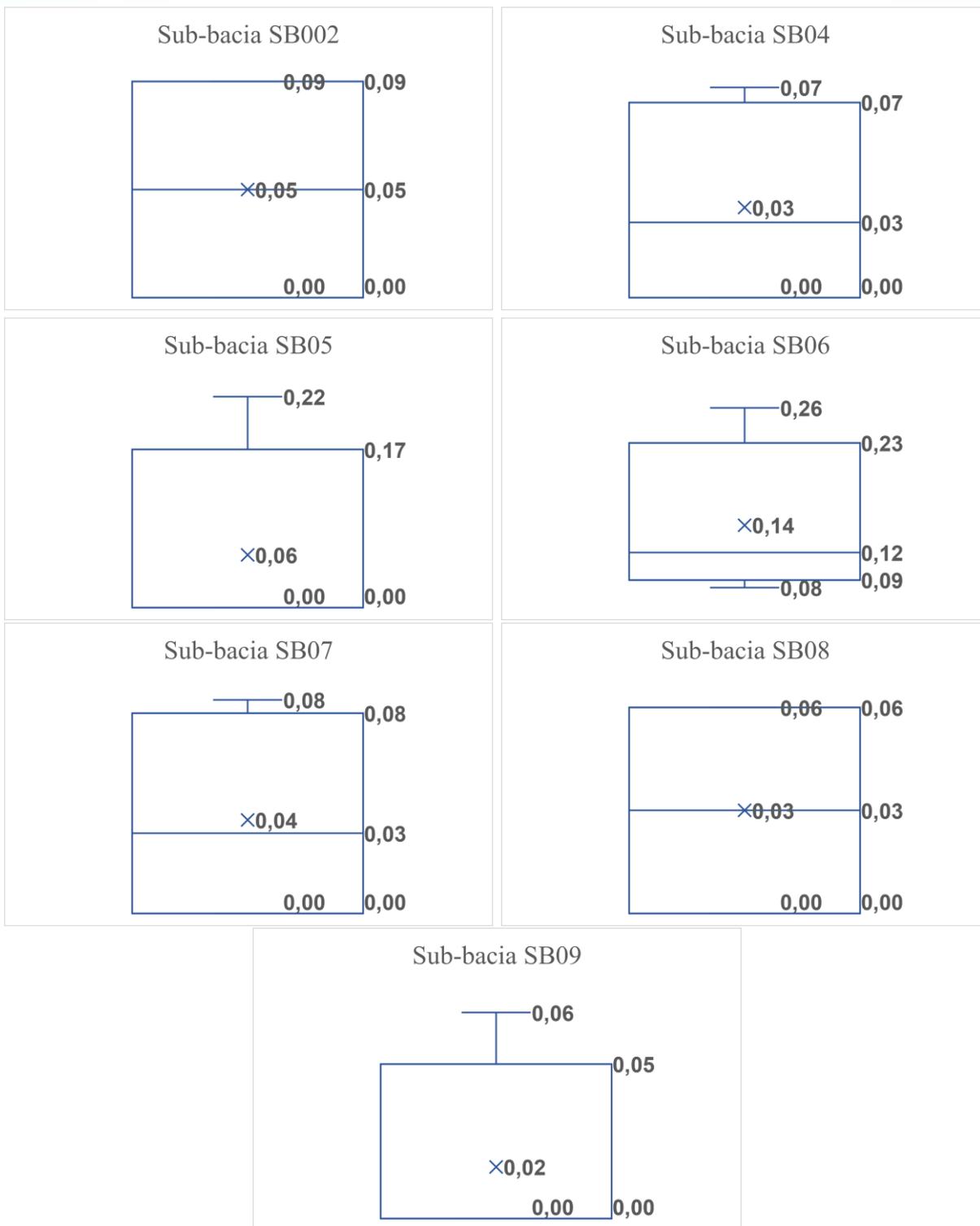


Figura 23 – Boxplot para determinação dos valores de *background* para o ferro total (mg/L).

FONTE: DO AUTOR (2021)

Na avaliação do Fe^{+3} , foi identificado a presença desse na sub-bacia SB05, SB06, SB07 e SB08 apenas na terceira e quarta campanha. Para essas sub-bacias os valores de *background* estão apresentados acima (Tabela 8), ressalta-se que para o limite inferior, adotou-se o limite detectável do método utilizado (0,01 mg/L). Já para as demais sub-bacias onde não

foi possível quantificar a presença de Fe^{+3} , o limite superior foi definido como menor que 0,10 mg/L (LQ) e o limite inferior de 0,01 mg/L (LD).

Quando analisados os dados para a definição do *background* na Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia, verificou-se que os valores de Fe^{+3} identificados na terceira campanha (estação amostral P5, P6, P7 e P8) e na quarta campanha (estação amostral P6), tornaram-se *outliers*, ou seja, a presença desse elemento, mesmo que em concentrações baixas, estão fora dos limites das linhas de valor máximo e mínimo, desta forma, chegou-se a definição de que para a Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia o *background* a ser adotado para o limite superior e inferior são os valores de LQ (0,10 mg/L) e LD (0,01 mg/L).

Para o ferro total, todo o ferro presente na amostra *in natura*, com exceção da sub-bacia SB03, todas as demais indicaram presença desse elemento. A concentração média de ferro total na bacia objeto desse estudo é de 0,10 mg/L, sendo o valor de *background* superior e inferior definido como 0,20 e 0,01 mg/L (Tabela 9). O limite inferior foi estabelecido pelo valor de LD do método de análise laboratorial.

Ressalta-se que tanto para o Fe^{+3} como para o ferro total, se comparados os valores superiores de *background* nas sub-bacias estudadas nesse trabalho, tem-se concentrações maiores ao valor de *background* estabelecido para a área de estudo (Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia). Esse panorama ocorre nas sub-bacias SB05, SB06, SB07 e SB08 para o Fe^{+3} e nas sub-bacias SB02, SB05 e SB06 para o ferro total. Quando analisados os resultados individuais de cada estação amostral, verifica-se o aumento das concentrações nos períodos com maior índice pluviométrico, o que indica uma relação direta ao carreamento de solos e a ocorrência de processos de erosão nas margens dos rios provocadas pelas águas pluviais. Entretanto, analisando a Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia como um todo, tais variações das concentrações de ferro, por se tratarem de ocorrências pontuais e de pequena magnitude, não possuem significativa expressão no resultado.

Os outros dois parâmetros químicos avaliados nas águas superficiais foram o manganês e os sulfatos. Em todas as 32 análises laboratoriais realizadas, não foi possível quantificar a presença de ambos os elementos com o método de análise utilizado. Sendo assim, para a Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia, bem como para as demais sub-bacias, o *background* do manganês foi definido como valor superior de 0,01 mg/L e inferior de 0,001 mg/L e para os sulfatos o valor superior foi de 5,00 mg/L e o inferior de 1,0 mg/L. Para a definição desses limites utilizou-se a mesma metodologia adotada para os demais parâmetros

que não foram possíveis de quantificar nas análises laboratoriais, ou seja, aplicou-se os valores do limite de quantificação (LQ) e o limite de detecção (LD).

Tanto para o manganês como para os sulfatos, os valores superiores estabelecidos pelo *background* não excedem as concentrações máximas permitida para rios de Classe 2, conforme determinado pela Resolução Conama n. 357/2005 (0,1 mg/L para manganês e 250 mg/L para sulfatos).

Na Tabela 10 é apresentado os valores de *background* estabelecido para a Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia.

Tabela 10 - Valores de *background* para a Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia.

Parâmetro químico	Resolução Conama n. 357/2005		Portaria GM/MS n. 888/2021	LI (Limite inferior)	LS (Limite superior)
	Classe 1	Classe 2			
pH	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	5,91	7,87
Oxigênio dissolvido (mg/L)	> 6,0	> 5,0	-	6,21	11,57
Condutividade elétrica (µS/cm)	-	-	-	11,00	75,00
Ferro dissolvido (mg/L)	0,3	0,3	-	0,01	0,05
Fe ⁺³ (mg/L)	-	-	-	0,01	0,10
Ferro total (mg/L)	-	-	0,3	0,01	0,20
Manganês (mg/L)	0,1	0,1	0,1	0,001	0,01
Sulfatos (mg/L)	250,0	250,0	250,0	1,0	5,00

As características naturais determinadas para as águas superficiais da área de estudo, apresentam concentrações de acordo com o estabelecido para rios de Classe 2, bem como para rios de Classe 1, ou seja, rios que podem ser utilizados para abastecimento humano após tratamento simplificado, com exceção do limite inferior de pH (5,91). Porém, enfatiza-se que tal valor está muito próximo do valor mínimo estabelecido para o pH, ademais, ao longo das campanhas de monitoramento, nenhuma das análises alcançaram valores inferiores a 6,0.

Em relação a Portaria GM/MS n. 888 de 4 de maio de 2021, que altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS n. 5, de 28 de setembro de 2017, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, ficou evidente, assim como na comparação supracitada, que apenas o valor inferior de pH fica em desacordo com a portaria.

4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS DE MONITORAMENTO AMBIENTAL

Com a conclusão dos estudos, pela primeira vez foram definidos valores de *background* para os parâmetros físico-químicos pH, oxigênio dissolvido, condutividade

elétrica, ferro, manganês e sulfatos na Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia, e se tratando das características naturais das águas superficiais, constatou-se que os valores determinados atendem aos parâmetros estabelecidos para o uso mais restritivos (consumo humano), ou seja, apresentam baixa concentração dos elementos avaliados, o que permite afirmar que concentrações significativas ou acima do limite estabelecido pelas normativas indicadas nesse estudo, advertem possíveis impactos ambientais decorrentes de atividades antrópicas.

Evidenciada a correlação entre os resultados de *background* das sub-bacias, recomenda-se que os valores de referência a serem utilizados sejam os estabelecidos para a Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia, uma vez que o estudo da qualidade das águas superficiais demonstrou que as características qualitativas dos recursos hídricos naturais, sem interferência de atividades antrópicas, são semelhantes em ambos os locais avaliados.

Com relação à avaliação da condutividade elétrica, tencionou-se, antes da realização do monitoramento ambiental, estabelecer o coeficiente de relação entre a condutividade elétrica e os sulfatos a partir dos resultados das nove estações amostrais, e dessa forma, correlacionar os resultados com as amostragens de campo realizadas da nascente do rio Mãe Luzia até a junção com o rio Fluorita e da nascente do rio São Bento até a junção com o rio Mãe Luzia. Entretanto, como nos resultados analíticos não foi possível quantificar a concentração de sulfato, não foi estabelecido o coeficiente de relação.

Com a impossibilidade encontrada durante os estudos, utilizou-se o monitoramento ambiental realizado em 14 estações amostrais no rio Mãe Luzia e 10 no rio São Bento, bem como a base cartográfica com o uso do solo da área de estudo, para a análise da correlação da condutividade elétrica com a atividade de mineração de carvão.

Conforme Cetesb (2020), a condutividade elétrica corresponde ao potencial de uma água em conduzir corrente elétrica. Tal capacidade é proveniente da quantidade de sais dissolvidos (íons) presentes no meio, esses que em geral são íons de cloreto, de sódio, de magnésio, de cálcio, de potássio, de bicarbonato ou de sulfato. Com o aumento de íons na água, maior será a medida da condutividade elétrica, indicando dessa forma o incremento de sólidos dissolvidos no ambiente.

Em ambientes naturais sem a interferência de atividades antrópicas, a condutância específica da água tende a manter uma constância, sendo a variação significativa um indicador de perturbação do sistema, que pode ser decorrente de atividades naturais, como a alteração hidrológica dentro da bacia hidrográfica (períodos de seca ou chuvosos), ou pela contribuição

antrópica. Um fator importante a ser considerado na avaliação desse parâmetro é a relação com períodos chuvosos, uma vez que as águas pluviais podem tanto ocasionarem o incremento da condutividade elétrica devido a dissolução de partículas suspensas no ar, como reduzir tais valores devido ao aumento significativo das vazões dos rios.

De acordo com Cetesb (2020) níveis superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam ambientes impactados. Dessa forma, compreendido que a geração de drenagem ácida de mina tem como resultantes concentrações elevadas de ferro, manganês, alumínio, sulfatos, entre outros metais pesados, e que esses são os principais elementos que alteram a condutividade elétrica da água, pode-se determinar que alterações nas águas superficiais superiores às características naturais dos corpos hídricos estabelecidas pelo *background* (LI 11,00 e LS 75,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$), indicam contribuições advindas da atividade de mineração de carvão.

Na Tabela 11 é apresentado os resultados do monitoramento da condutividade elétrica no rio São Bento e na Figura 24 a localização espacial das estações amostrais e o mapeamento do uso do solo.

Tabela 11 – Resultados do monitoramento da condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) no rio São Bento.

Estação amostral	Campanha de monitoramento			
	26/06/2021	29/07/2021	30/08/2021	28/09/2021
CB1	37	46	46	42
CB2	37	46	46	43
CB3	36	42	41	45
CB4	38	44	41	38
CB5	43	48	46	43
CB6	46	50	62	114
CB7	53	62	88	100
CB8	62	76	103	92
CB9	67	88	104	97
CB10	297	541	698	252
Mínimo	36	42	41	38
Máximo	297	541	698	252
Média	71,6	104,3	127,5	86,6
Mediana	44,5	49,0	54,0	68,5
Desvio padrão	80,0	154,2	202,0	65,2

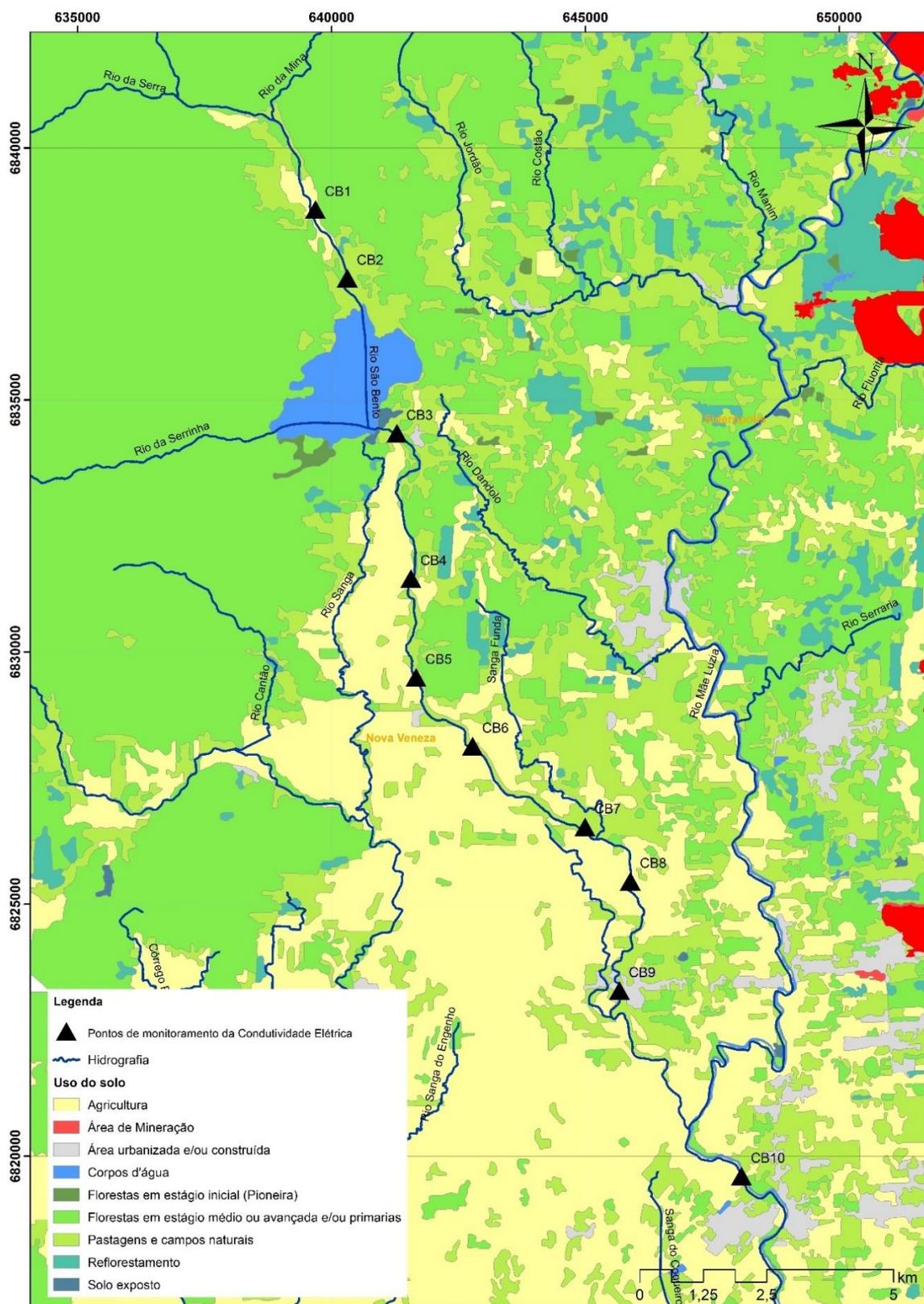


Figura 24 – Estações amostrais de condutividade elétrica no rio São Bento.

Conforme pode ser observado na Figura 24, as áreas adjacentes às estações amostrais localizadas próximo a nascente do rio São Bento são ocupadas por florestas em estágio médio ou avançado e/ou primárias, entretanto quando percorrido a área em direção a

confluência com o rio Mãe Luzia, tem-se a predominância de ambientes destinadas à pastagem, campos naturais e agricultura, principalmente rizicultura. Com os resultados obtidos nas quatro campanhas de monitoramento realizadas *in loco* (Tabela 11), constatou-se que em todas as amostragens a condutividade elétrica da água, antes da confluência com o rio Mãe Luzia, apresentou-se dentro dos valores de *background* estabelecido por esse estudo, com exceção do monitoramento realizado em agosto e setembro nas estações amostrais CB6, CB7, CB8 e CB9. Contudo, ressalta-se que esses valores se apresentam muito próximo do esperado para as características naturais das águas superficiais na Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia.

A concentração um pouco acima do estabelecido no *background* para as estações amostrais supracitadas está relacionada à redução significativa da vazão do rio decorrente do bombeamento de água para as lavouras de arroz, que ocorre dos meses de agosto a fevereiro, fato esse constatado pela visualmente ao longo do rio do uso das bombas para irrigação do arroz, cenário não observado para os meses de junho e julho. Ressalta-se que os dados de chuva da Estação Pluviométrica 2849029 – Barragem, localizada no município de Siderópolis (coordenadas 28,612° Sul 49,551° Oeste), demonstram uma variação entre 15,6 a 65,9 mm nos dez dias que antecederam as amostragens de campo (Tabela 12), não resultando assim em variações significativas do volume de água nos rios.

Após a confluência com o rio Mãe Luzia (CB10), constata-se, em todas as campanhas de monitoramento, que a condutividade elétrica tem um aumento significativo, ultrapassando os valores estabelecidos para o *background*. Nesse ponto tem-se o recebimento de toda a carga de poluição da atividade de mineração de carvão advinda do rio Mãe Luzia.

Tabela 12 – Dados de chuva na Estação Pluviométrica 2849029 – Barragem.

Dados	Mês	Resultados
Chuva acumulada no mês (mm) ¹	Junho	114,8
Chuva acumula em dez dias (mm) ²		65,9
Chuva acumulada no mês (mm) ¹	Julho	30,8
Chuva acumula em dez dias (mm) ²		16,9
Chuva acumulada no mês (mm) ¹	Agosto	54,0
Chuva acumula em dez dias (mm) ²		15,6
Chuva acumulada no mês (mm) ¹	Setembro	166,2
Chuva acumula em dez dias (mm) ²		61,0

FONTE: ANA – HIDROWEB (2020)

¹ Acumulo do dia 1º de cada mês até o dia anterior a amostragem.

² Acumulado dos dez dias antecedentes a amostragem.

Na Tabela 13 e na Figura 25 são apresentados os resultados do monitoramento de condutividade elétrica do rio Mãe Luzia e a localização espacial e uso do solo, respectivamente.

Tabela 13 – Resultados do monitoramento da condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) no rio Mãe Luzia.

Estação amostral	Campanha de monitoramento			
	26/06/2021	29/07/2021	30/08/2021	28/09/2021
CM1	40	52	48	49
CM2	42	55	50	49
CM3	50	70	63	54
CM4	57	80	75	59
CM5	315	652	392	241
CM6	334	1.219	670	541
CM7	358	886	746	469
CM8	499	1.163	1.347	452
CM9	368	490	708	356
CM10	328	376	908	349
CM11	331	362	783	319
CM12	316	357	619	312
CM13	258	329	452	258
CM14	463	775	907	360
Mínimo	40	52	48	49
Máximo	499	1.219	1.347	541
Média	268,5	490,4	554,9	276,3
Mediana	322,0	369,0	644,5	315,5
Desvio padrão	157,2	396,8	394,8	166,7

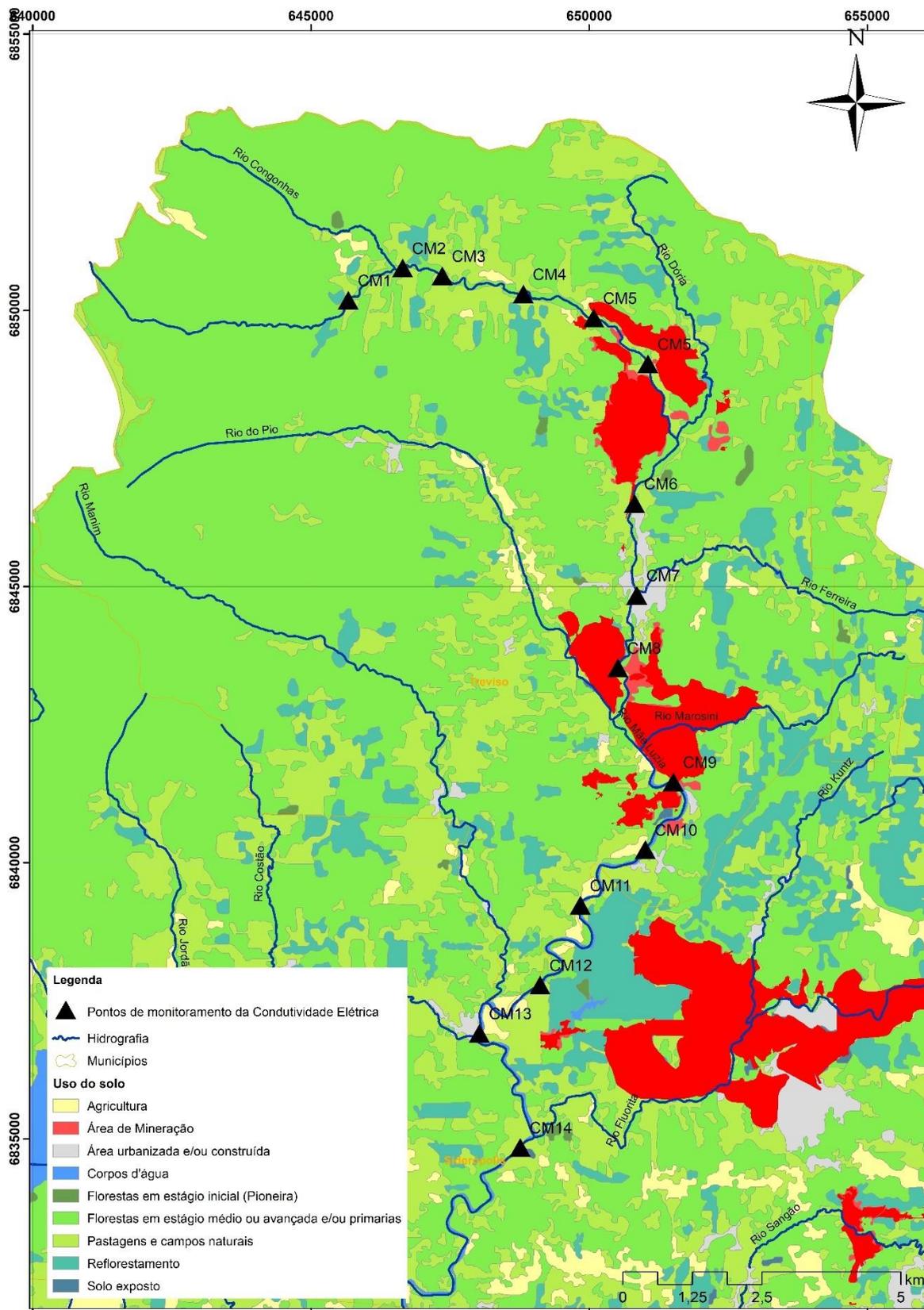


Figura 25 – Estações amostrais de condutividade elétrica no rio Mãe Luzia.

Quando comparados os resultados do monitoramento do rio Mãe Luzia (Tabela 13), nota-se que até a estação amostral CM4, sem a influência de atividades de mineração de carvão e com predominância de ambientes com florestas em estágio médio ou avançado e/ou primárias e pastagem e campos naturais, a condutividade elétrica apresenta valores em consonância com o *background* estabelecido, entretanto, a partir do ponto CM5, tem-se uma variação significativa. Com a intercepção do uso do solo (Figura 25) e as vistorias de campo, constatou-se que a partir desse ponto, o rio Mãe Luzia recebe a contribuição de áreas impactadas pela mineração de carvão, bem como por atividades em operação.

Na Tabela 14 e Tabela 15 são apresentados os resultados de pH obtidos no monitoramento do rio São Bento e Mãe Luzia, respectivamente.

Tabela 14 – Resultados do monitoramento do pH no rio São Bento.

Estação amostral	Campanha de monitoramento			
	26/06/2021	29/07/2021	30/08/2021	28/09/2021
CB1	6,81	6,41	6,26	7,54
CB2	6,63	6,05	6,56	7,54
CB3	6,68	6,58	6,54	7,26
CB4	6,84	6,56	6,77	6,84
CB5	6,79	6,34	6,66	6,79
CB6	6,65	6,93	6,69	7,37
CB7	6,83	6,99	6,43	7,54
CB8	6,74	6,93	6,66	7,58
CB9	6,85	6,84	6,61	7,52
CB10	3,75	3,16	2,73	4,44
Mínimo	3,75	3,16	2,73	4,44
Máximo	6,85	6,99	6,77	7,58
Média	6,46	6,28	6,19	7,04
Mediana	6,67	6,57	6,59	7,45
Desvio padrão	0,95	1,14	1,12	0,96

Tabela 15 – Resultados do monitoramento do pH no rio Mãe Luzia.

Estação amostral	Campanha de monitoramento			
	26/06/2021	29/07/2021	30/08/2021	28/09/2021
CM1	6,41	6,40	6,25	7,47
CM2	6,93	6,73	6,45	7,65
CM3	6,99	6,86	6,54	7,62
CM4	6,97	6,69	6,45	7,63
CM5	6,21	6,07	6,77	7,12
CM6	6,05	6,41	6,01	7,16
CM7	6,13	6,32	6,49	7,25
CM8	6,10	6,54	6,14	7,15
CM9	5,43	5,43	5,46	6,94
CM10	5,57	5,83	5,30	6,93
CM11	5,31	5,03	4,51	6,85
CM12	5,92	5,29	4,60	6,07

Estação amostral	Campanha de monitoramento			
	26/06/2021	29/07/2021	30/08/2021	28/09/2021
CM13	5,83	5,20	5,01	5,93
CM14	3,54	3,05	3,23	4,41
Mínimo	3,54	3,05	3,23	4,41
Máximo	6,99	6,86	6,77	7,65
Média	5,96	5,85	5,66	6,87
Mediana	6,08	6,20	6,08	7,14
Desvio padrão	0,88	1,01	1,02	0,88

As análises de campo demonstraram que o pH ao longo do rio São Bento se apresentou entre 6,05 a 7,58, valores esses dentro do *background* estabelecido neste trabalho, à exceção do ponto CB10 que teve valores entre 2,73 e 4,44. Conforme supracitado, nesse ponto o rio São Bento recebe a contribuição do rio Mãe Luzia, impactado pela atividade de mineração de carvão.

Ao longo do rio Mãe Luzia, semelhante ao rio São Bento, o pH não apresentou mudanças significativas, mesmo em áreas com influência de atividades objeto desse estudo, ficando os valores dentro, ou muito próximo do estabelecido como característica natural das águas da Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia. O único ponto que apresentou uma variação expressiva foi na estação amostral CM14 (Figura 26 A), localizada após a confluência com o rio Fiorita, esse que recebe a contribuição do campo Vila Funil, maior campo de lavra a céu aberto da região de Siderópolis – SC. Neste local as atividades de mineração produziram o que ficou conhecido como “paisagem lunar”, com pilhas de estéril que em alguns lugares ultrapassavam os 30 metros de altura, e cinco lagoas ácidas formadas pelos cortes de extração. (Figura 26 B).



Figura 26 – A) Estação amostral CM14; B) Lagoa localizada no Campo Vila Funil.

Na Tabela 16 e na Tabela 17 são apresentados os resultados de oxigênio dissolvido.

Tabela 16 – Resultados do monitoramento do OD no rio São Bento.

Estação amostral	Campanha de monitoramento			
	26/06/2021	29/07/2021	30/08/2021	28/09/2021
CB1	9,26	9,99	8,99	9,24
CB2	7,40	8,65	8,79	8,58
CB3	9,30	10,14	9,26	8,29
CB4	9,28	10,52	9,97	9,28
CB5	8,33	10,57	7,68	8,33
CB6	8,96	11,05	8,97	8,82
CB7	6,75	7,72	6,60	6,34
CB8	9,94	11,12	10,52	8,78
CB9	6,14	7,35	6,65	6,65
CB10	6,71	6,72	6,65	6,04
Mínimo	6,14	6,72	6,60	6,04
Máximo	9,94	11,12	10,52	9,28
Média	8,21	9,37	8,41	8,04
Mediana	8,65	10,07	8,88	8,46
Desvio padrão	1,35	1,63	1,43	1,22

Tabela 17 – Resultados do monitoramento do OD no rio Mãe Luzia.

Estação amostral	Campanha de monitoramento			
	26/06/2021	29/07/2021	30/08/2021	28/09/2021
CM1	9,00	8,69	8,73	8,17
CM2	8,82	9,87	11,32	9,39
CM3	9,50	10,94	11,52	9,85
CM4	8,82	10,03	8,57	8,53
CM5	5,63	8,49	7,02	8,77
CM6	7,36	7,73	8,70	5,78
CM7	5,70	7,13	7,78	5,63
CM8	5,95	8,38	7,44	5,74
CM9	5,60	11,01	9,53	9,22
CM10	5,77	8,57	7,63	6,03
CM11	9,59	11,50	10,66	9,23
CM12	7,91	11,10	9,30	8,34
CM13	5,85	8,06	6,48	5,85
CM14	9,45	10,65	9,39	9,35
Mínimo	5,60	7,13	6,48	6,63
Máximo	9,59	11,50	11,52	9,85
Média	7,50	9,44	8,86	7,85
Mediana	7,64	9,28	8,72	8,44
Desvio padrão	1,68	1,45	1,55	1,64

O oxigênio dissolvido, essencial para os organismos aeróbios (que vivem na presença de oxigênio), se dissolve nas águas naturais devido a diferença de pressão parcial, sendo a sua reintrodução dependente da característica hidráulica a qual é proporcional a velocidade. Outra fonte importante é pelo processo de fotossíntese das algas. A perda desse elemento é causada pela decomposição da matéria orgânica (oxidação), por perdas para a

atmosfera, respiração de organismos aquáticos, nitrificação e oxidação química abiótica de substâncias.

Nos resultados obtidos no monitoramento, as estações amostrais de ambos os rios apresentaram concentrações de OD acima de 5,60 mg/L, valor muito próximo ao limite mínimo estabelecido no *background* (6,21 mg/L). Tais resultados evidenciam que mesmo nas estações amostrais as quais recebem contribuições de poluição de áreas impactadas pela mineração de carvão as concentrações de OD não sofrem redução significativas, essa que tende a ocorrer pela oxidação química. Desta forma, observa-se que a carga hidráulica dos rios monitorados favorece a incorporação de oxigênio na água, evitando que as concentrações de OD sejam reduzidas nos trechos que passam a ser impactados pela atividade supracitada.

Com os resultados obtidos no monitoramento da condutividade elétrica nos rios Mãe Luzia e São Bento, o qual demonstraram um aumento significativo dos valores nos trechos em que o rio recebe contribuições advindas de drenagem ácida de mina, conclui-se que a avaliação desse parâmetro nos corpos hídricos permite identificar a ocorrência de alteração qualitativa das águas em decorrência de drenagem ácida de mina. Corroborando, Vasconcelos, Cajazeiras e Sousa (2019), afirma que apesar da condutividade elétrica não ser considerada um parâmetro de potabilidade no Brasil, essa pode ser utilizada como indicativo de baixo custo para a avaliação básica da qualidade das águas, fornecendo suporte para a realização de análises detalhadas das condições químicas em ambiente inicialmente identificado com possíveis alterações.

Contudo, o pH e o OD não se mostraram parâmetros eficientes para a identificação de tais alterações, uma vez que mantiveram sua estabilidade mesmo em locais com a alteração da qualidade das águas, sendo que o pH apresentou variação apenas em situações extremas de poluição. Tal característica identificada na conclusão desse trabalho, alerta para possíveis interpretações errôneas sobre a qualidade dos corpos hídricos, quando levado em consideração apenas o pH e o OD da água.

Com a sistematização dos resultados obtidos nesse trabalho, os dados de monitoramento do GTA (Anexo 1) e a intersecção com o mapa de uso do solo, verificou-se que as águas superficiais dos rios localizados na Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia encontram-se alteradas pela atividade de mineração de carvão, não atendendo os padrões determinados para os rios de classe 2.

Os dados históricos de monitoramento do GTA utilizados (abril de 2002 até setembro de 2019), vem de encontro com as conclusões estabelecidas na análise de condutividade elétrica, ou seja, os resultados da condutividade elétrica frente a poluição decorrente da atividade de mineração de carvão, indicou que o rio Mãe Luzia não apresenta alterações qualitativas até o ponto em que começa a receber contribuições de áreas impactadas. No monitoramento de condutividade elétrica realizado neste trabalho foi identificado que a área sem influência vai até a estação amostral CM4. Verificando os diagramas apresentados abaixo (Figura 27 até a Figura 33), constata-se que no rio Mãe Luzia o primeiro ponto de monitoramento do GTA (AR01), inserido próximo à estação amostral CM4, ao longo dos anos apresentou resultados de acordo com os valores estabelecidos pelo *background*. Já a partir das demais estações amostrais, as concentrações de todos os parâmetros físico-químicos avaliados (pH, OD, condutividade elétrica, ferro dissolvido, ferro total, manganês e sulfatos) excedem o limite determinado como característica natural das águas superficiais.

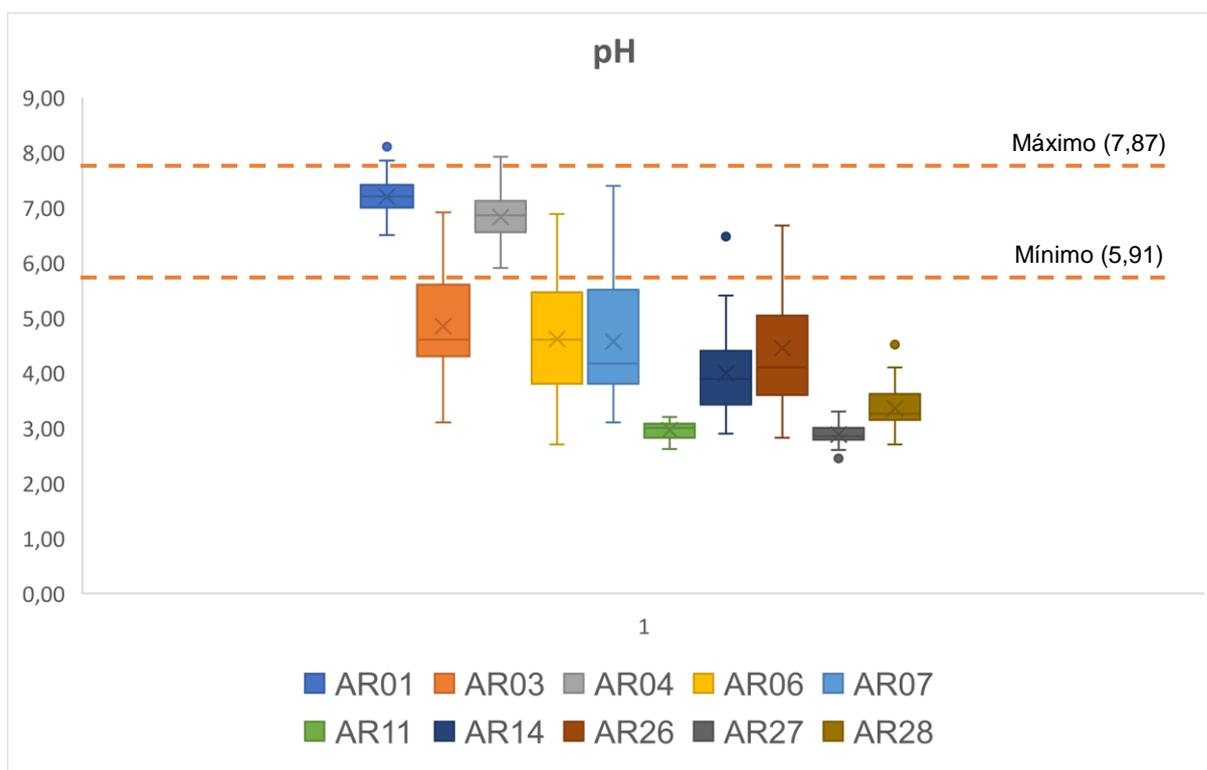


Figura 27 – Concentração de pH do rio Mãe Luzia.

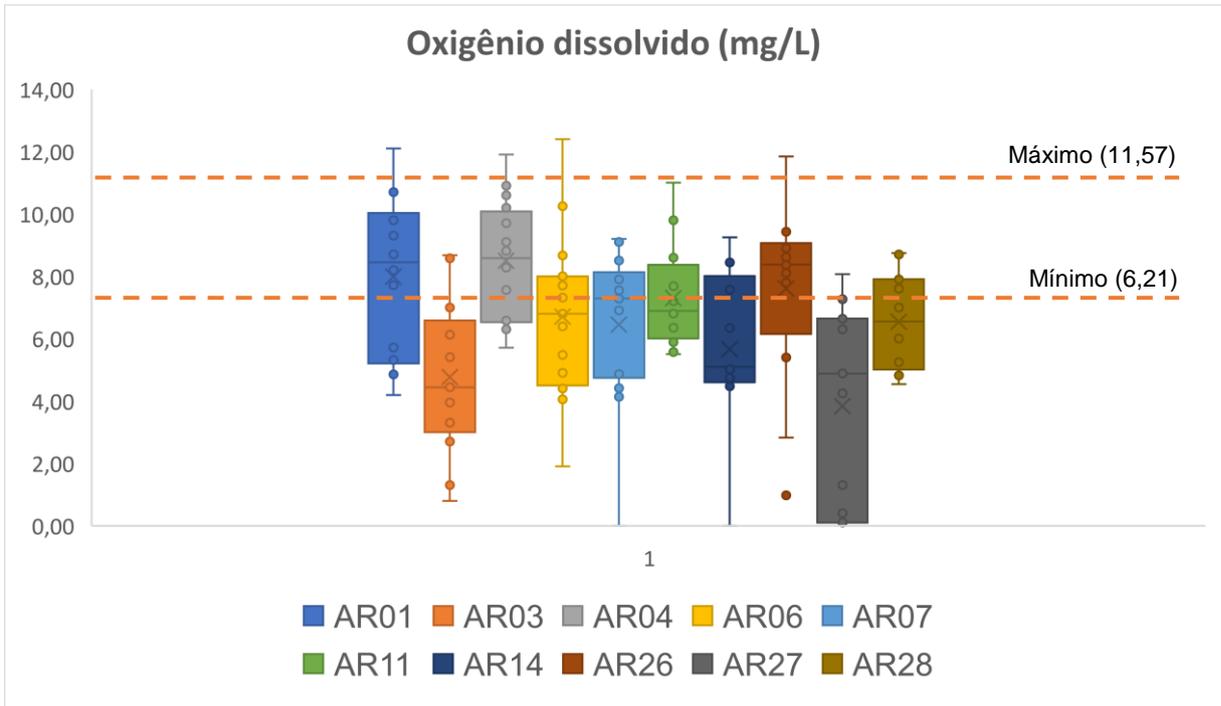


Figura 28 – Concentração de oxigênio dissolvido no rio Mãe Luzia.

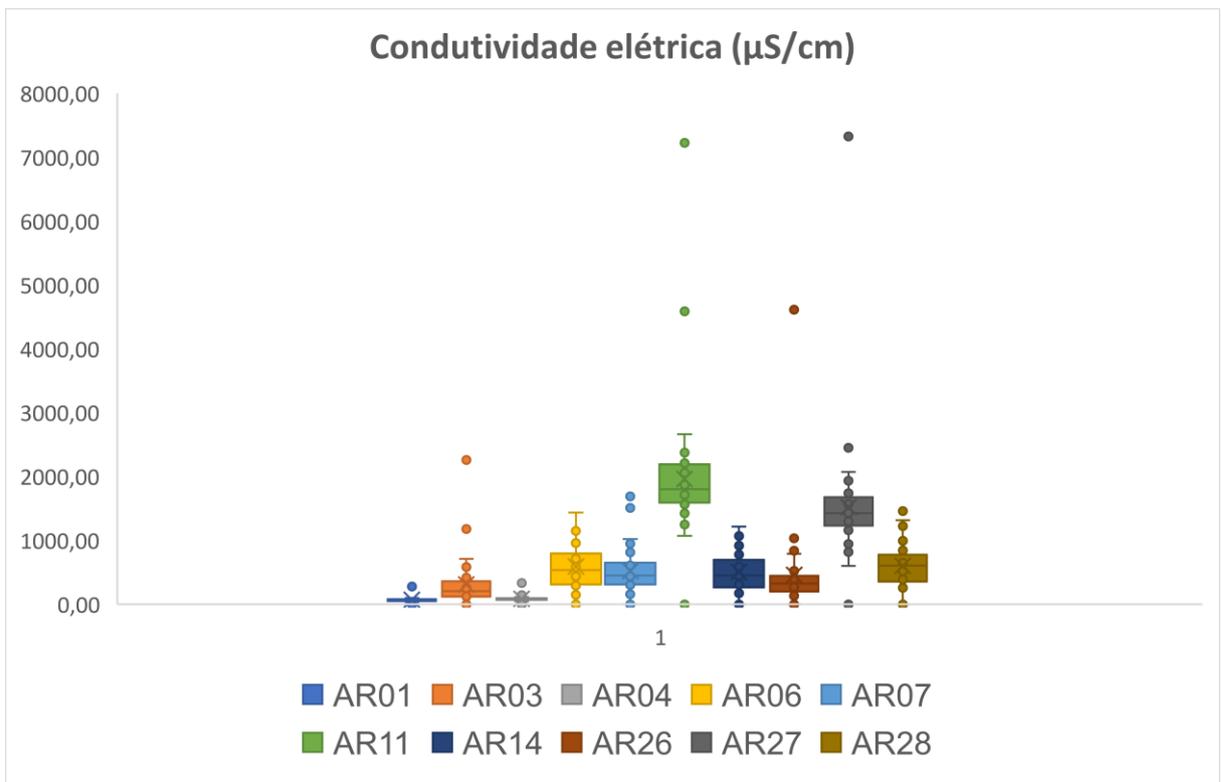


Figura 29 – Condutividade elétrica no rio Mãe Luzia.

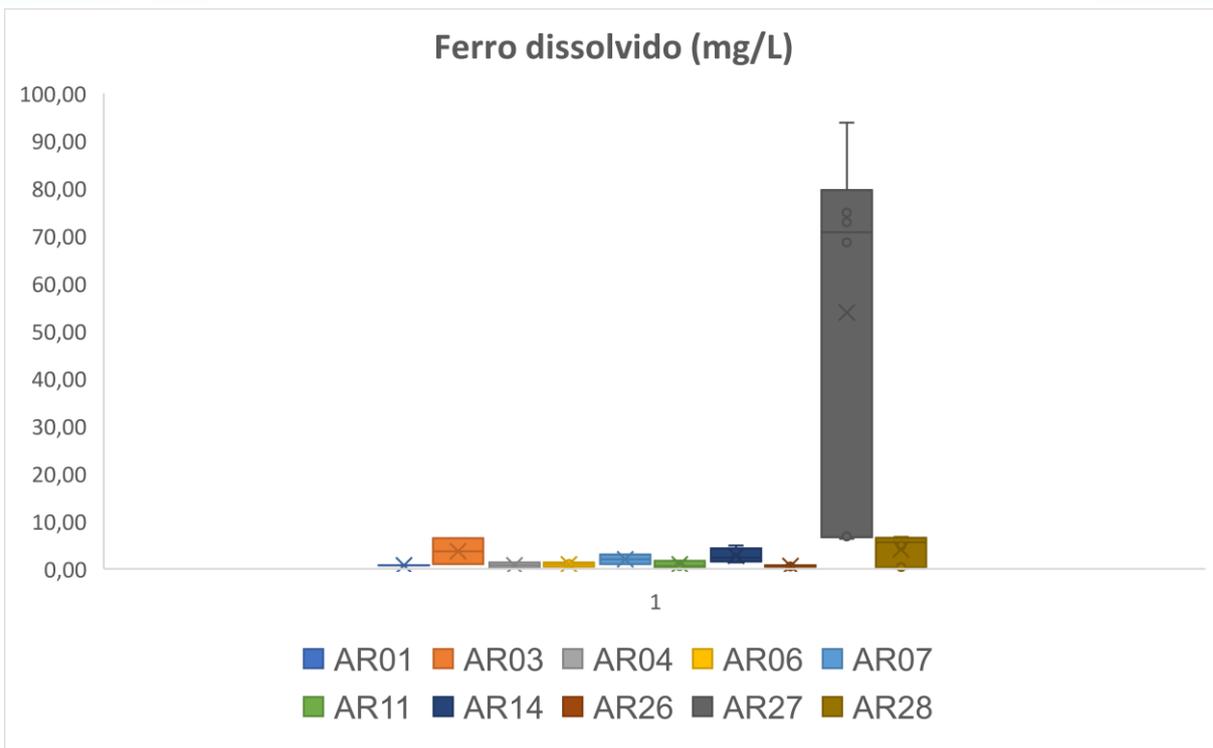


Figura 30 – Concentração de ferro dissolvido no rio Mãe Luzia.

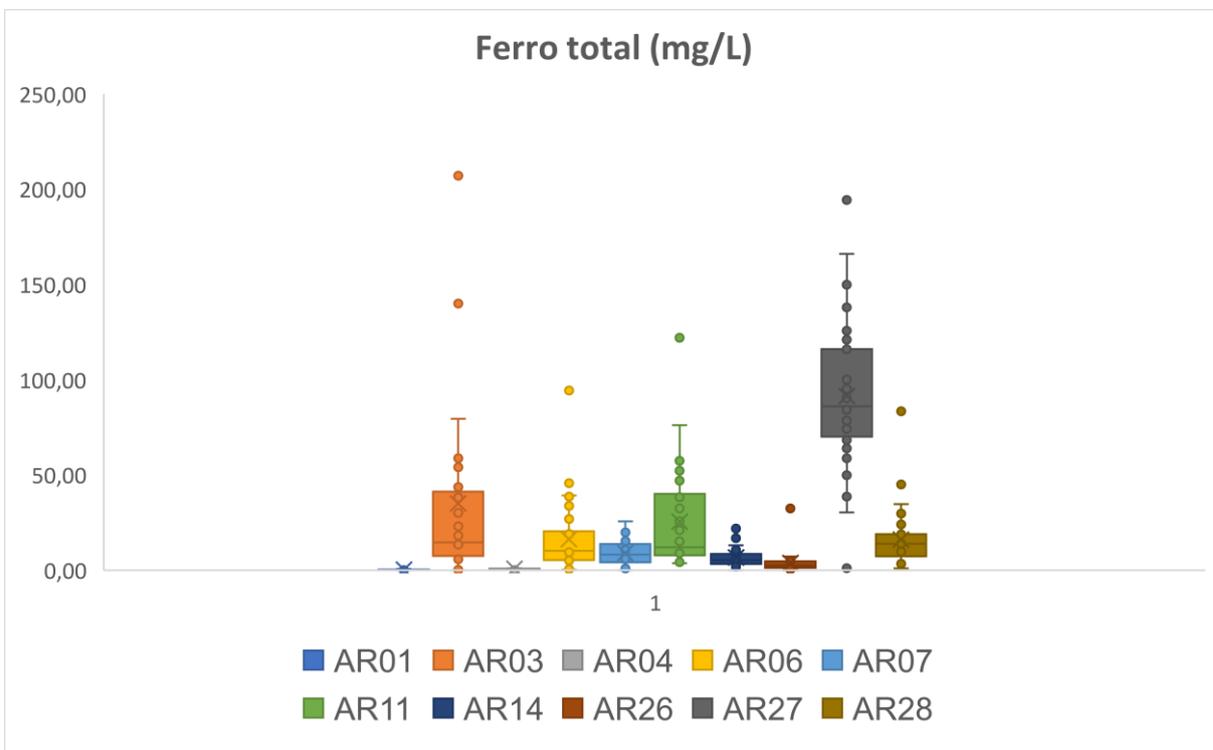


Figura 31 – Concentração de ferro total no rio Mãe Luzia.

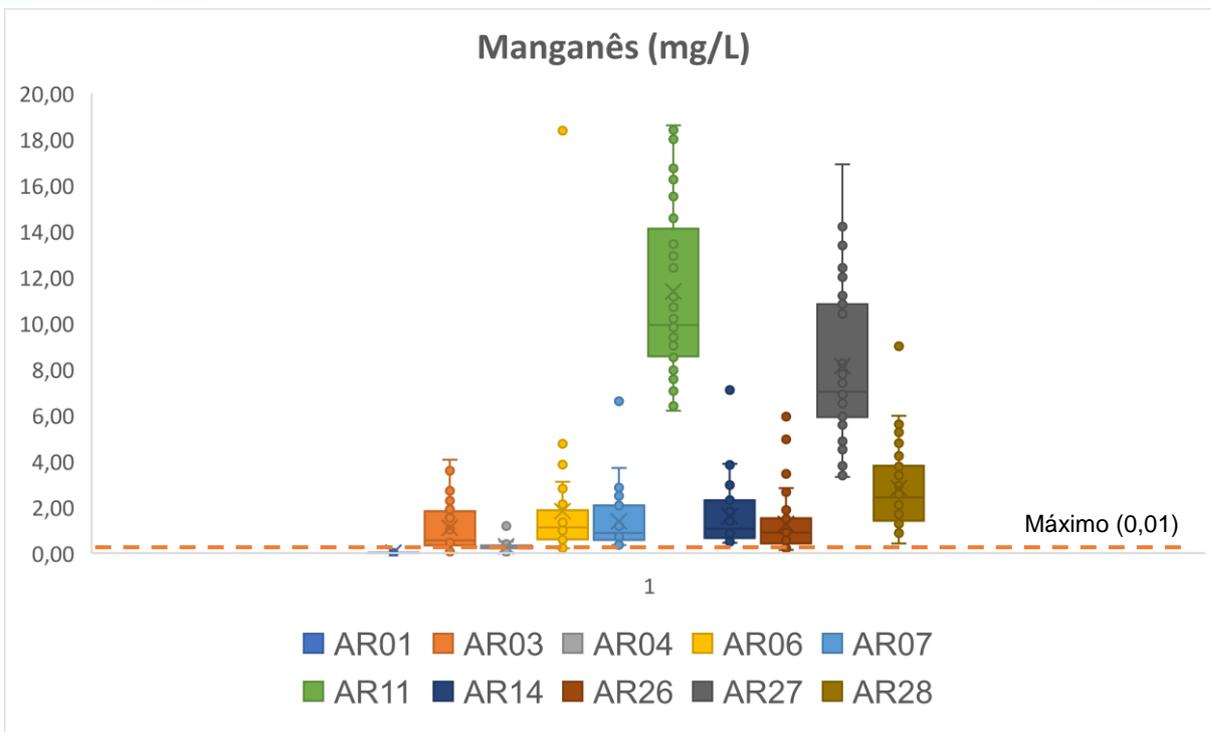


Figura 32 – Concentração de manganês total no rio Mãe Luzia.

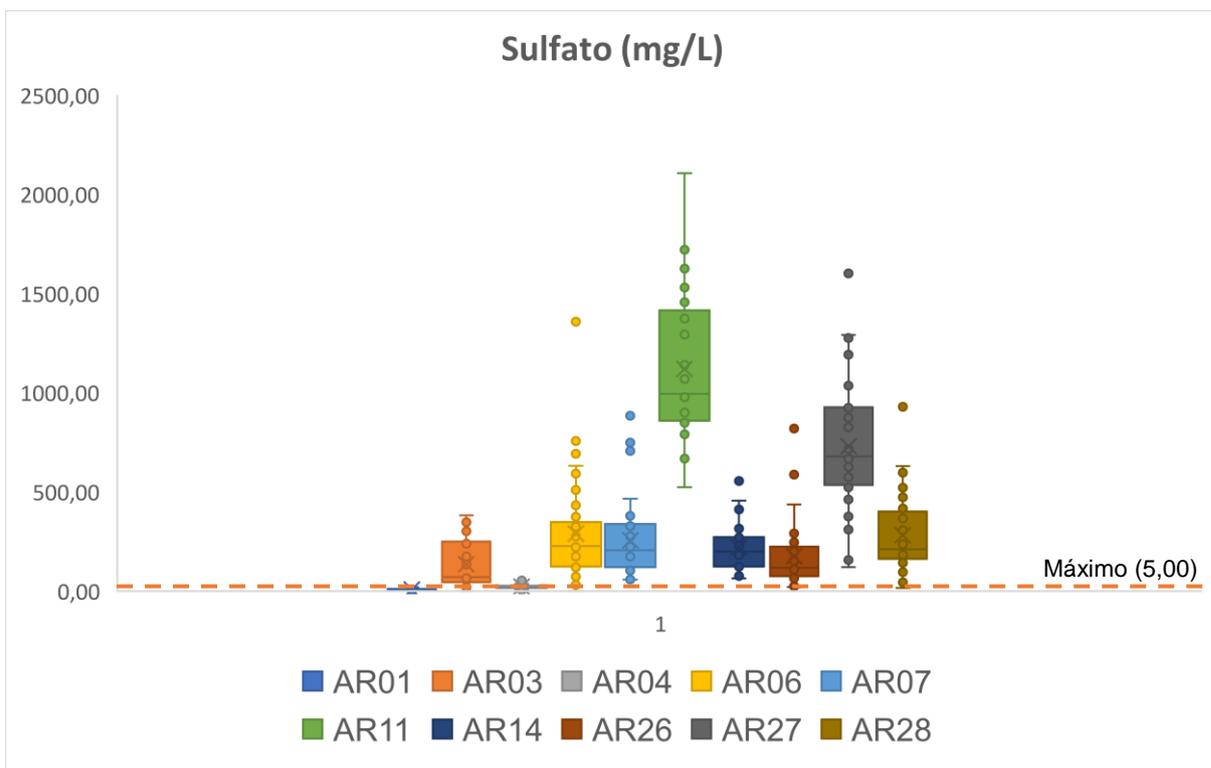


Figura 33 – Concentração de sulfatos no rio Mãe Luzia.

Para o rio Sangão, os resultados do conjunto de estações amostrais operadas pelo GTA (Figura 34 até a Figura 40), apresentam alterações, com valores superiores ao limite do *background*, desde o ponto AR29 (estação amostral localizada próximo a nascente do rio), uma

vez que essa já recebe interferência de áreas impactadas pela atividade. Percorrendo as estações subsequentes, constata-se que as concentrações dos elementos avaliados tendem a aumentar ainda mais, isso porque o rio insere-se em uma paisagem com maior contexto de mineração de carvão e conseqüentemente maior influência das contribuições de drenagem ácida de mina.

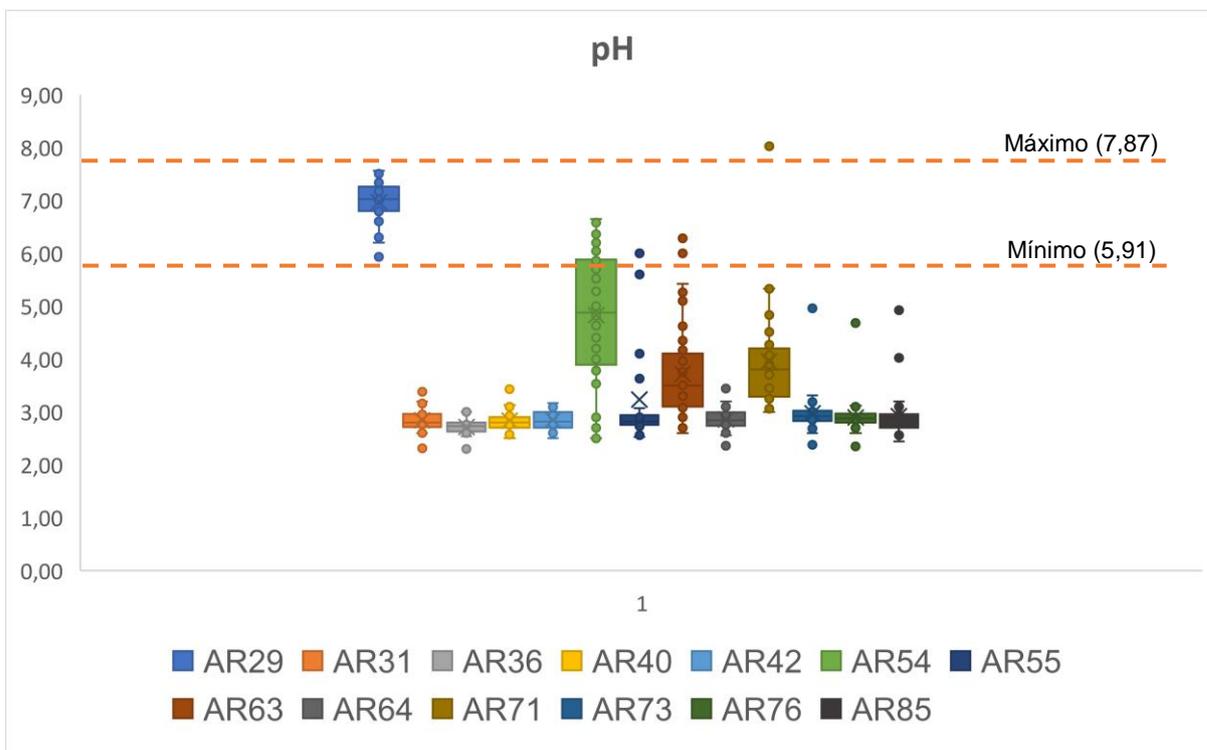


Figura 34 – Concentração de pH do rio Sangão.

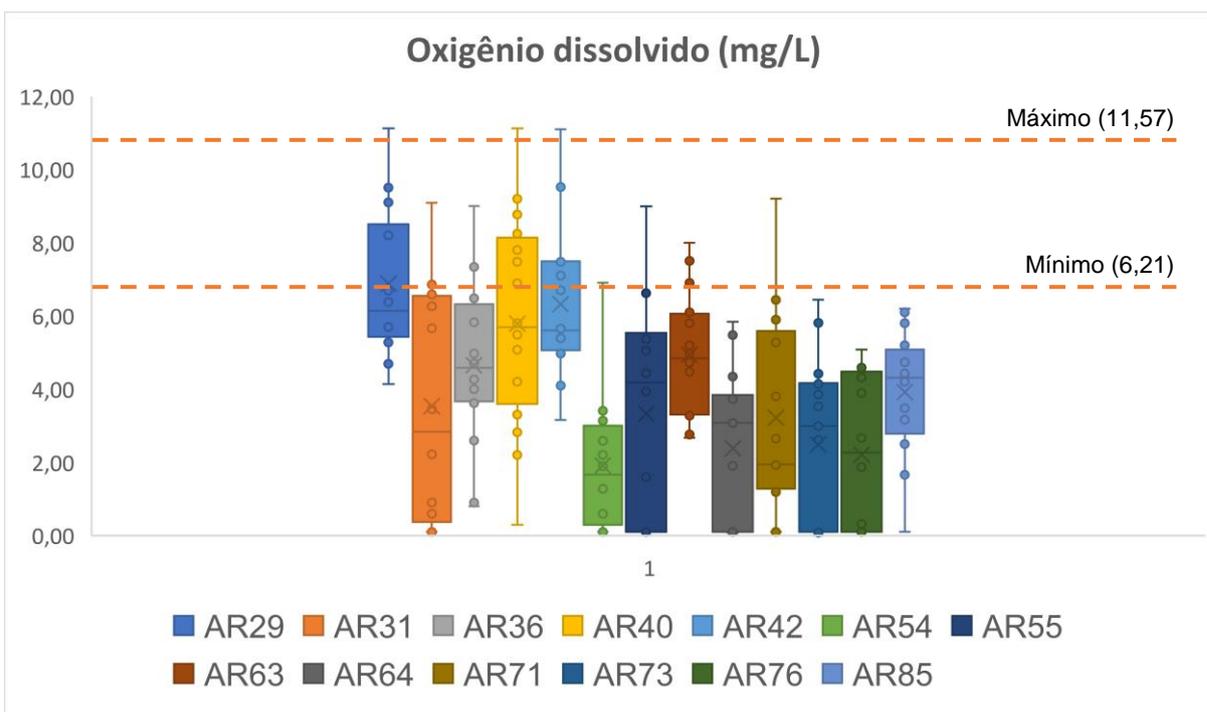


Figura 35 – Concentração de oxigênio dissolvido no rio Sangão.

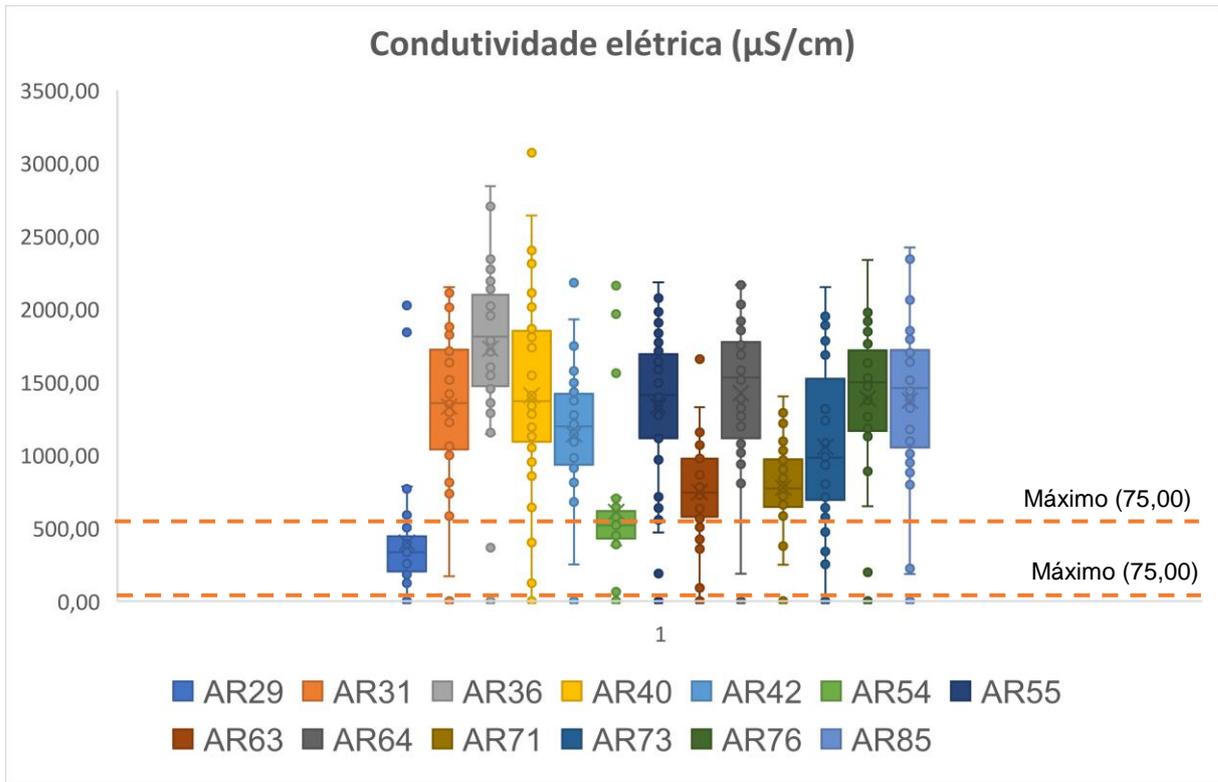


Figura 36 – Condutividade elétrica no rio Sangão.

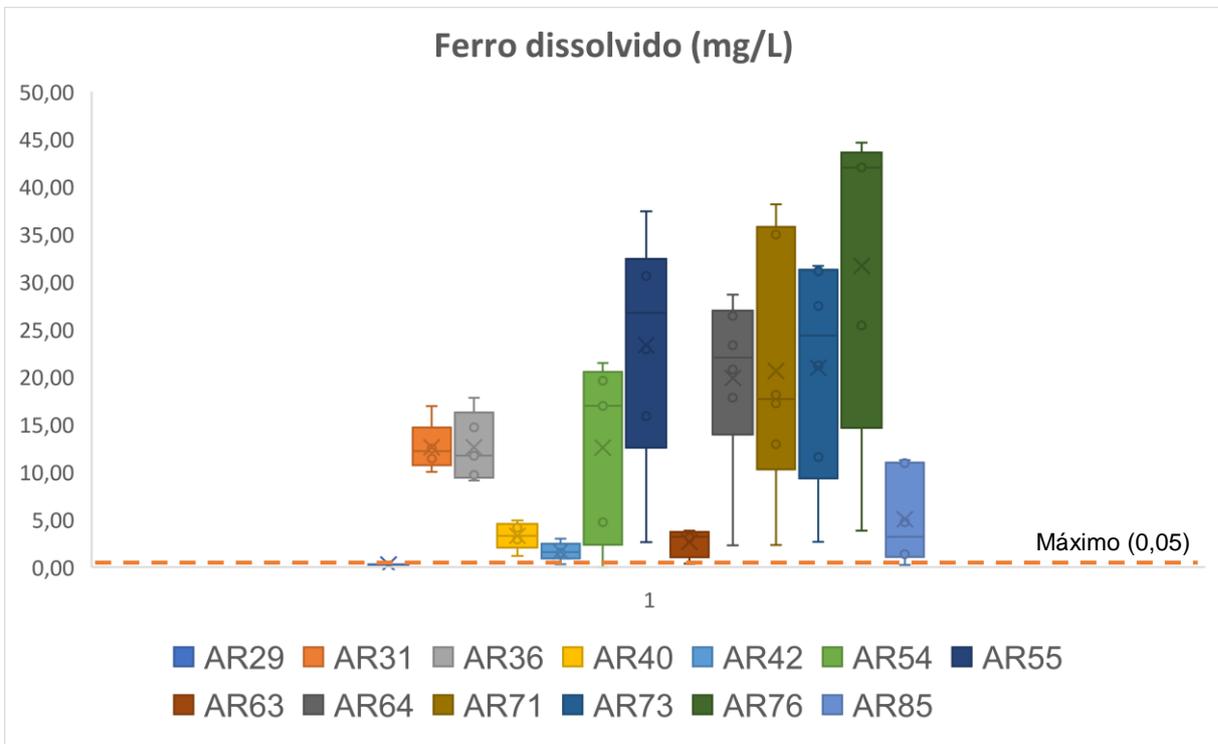


Figura 37 – Concentração de ferro dissolvido no rio Sangão.

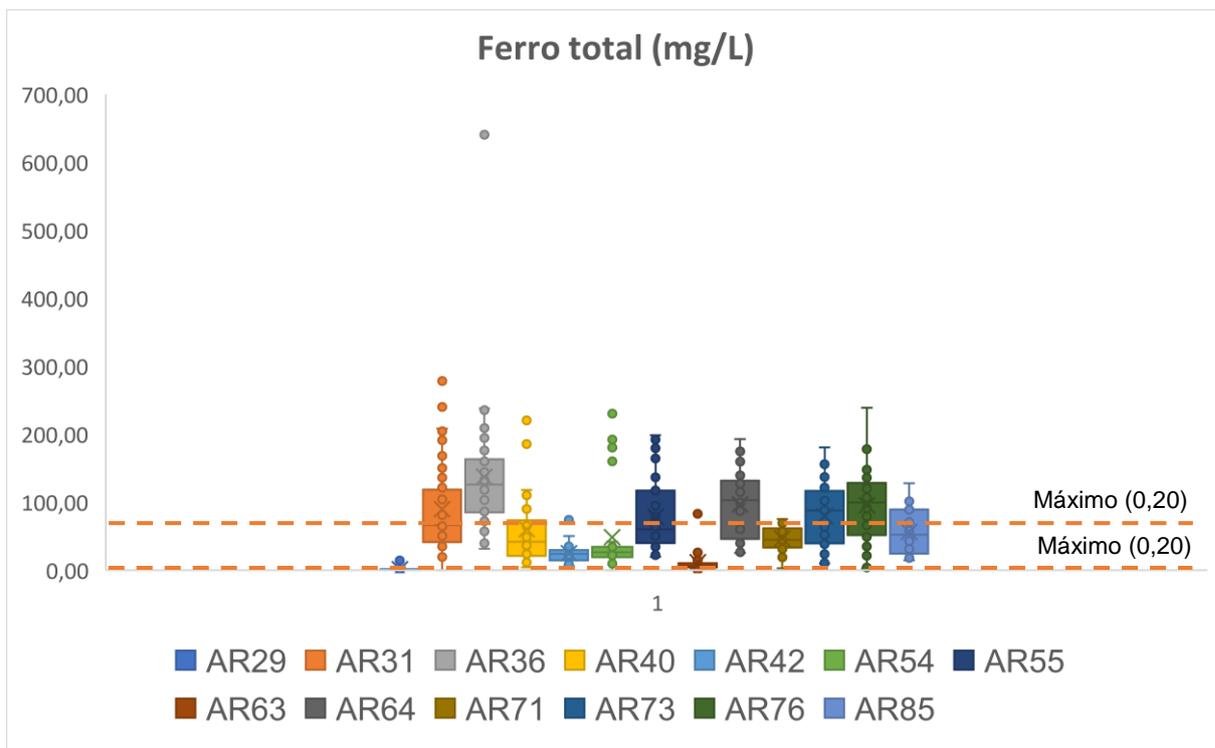


Figura 38 – Concentração de ferro total no rio Sangão.

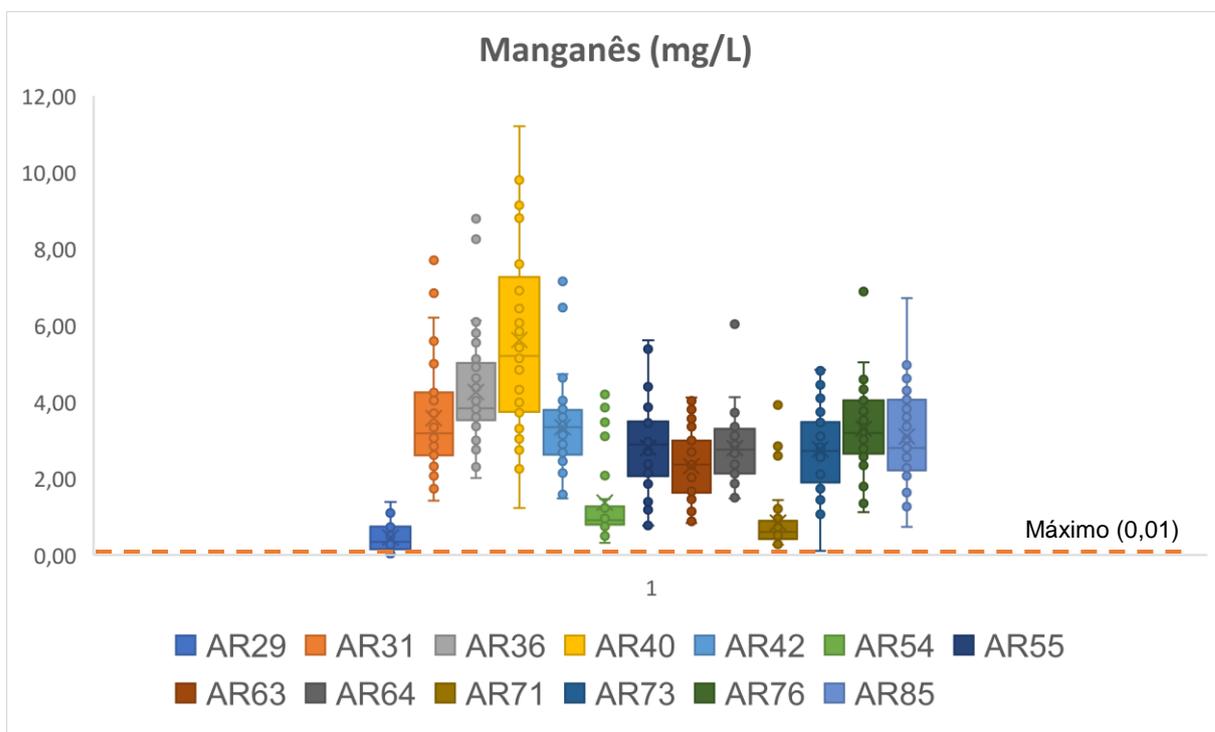


Figura 39 – Concentração de manganês total no rio Sangão.

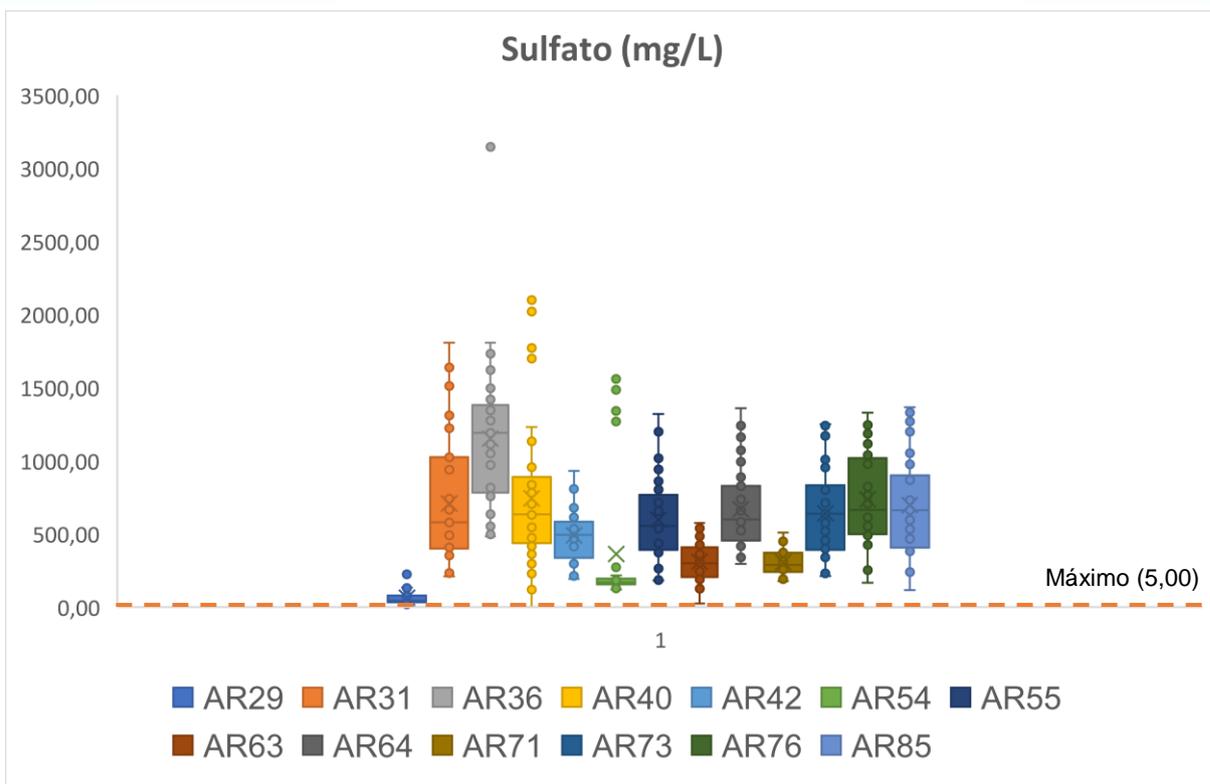


Figura 40 – Concentração de sulfatos no rio Sangão.

Na Figura 41 e Figura 42 são apresentados os diagramas unifilares da vulnerabilidade dos rios Mãe Luzia e Sangão tomando como base os valores de *background* estabelecido para a Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia. A classificação de vulnerabilidade dos corpos hídricos foi definida a partir da média da concentração dos parâmetros químicos ao longo do histórico de monitoramento do GTA, ou seja, conforme a quantidade de elementos acima do estabelecido como referência, definiu-se o nível de vulnerabilidade.

O diagrama da Figura 41 demonstra que com exceção do rio Mãe Luzia a montante da estação amostral AR01 e no rio Doria, afluente do rio Mãe Luzia, a montante da estação amostral AR04, as águas superficiais encontram-se altamente vulneráveis à contaminação decorrente da geração de drenagem ácida de mina. No rio Sangão (Figura 42), a alta vulnerabilidade à contaminação acontece a jusante da estação amostral AR29.

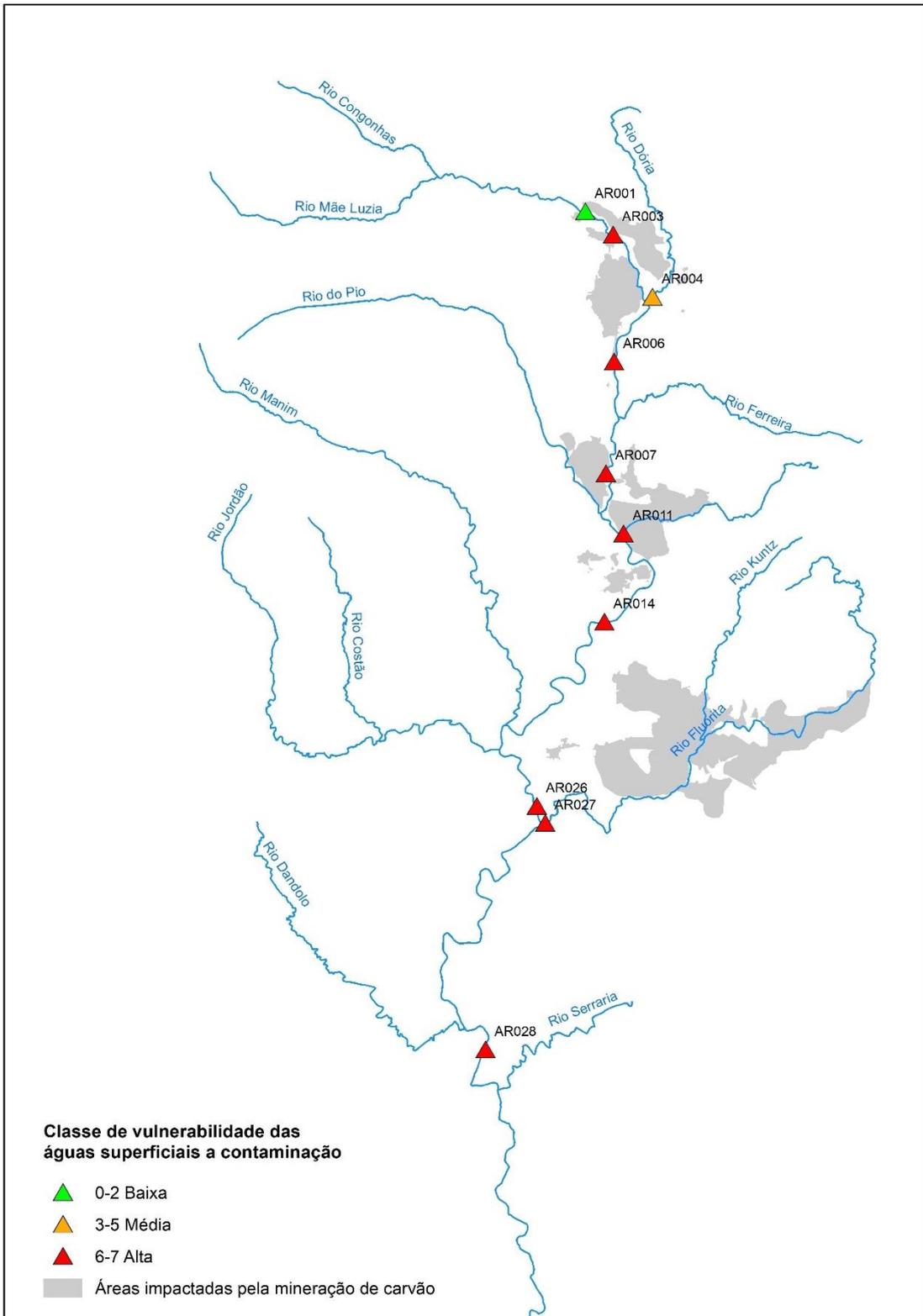


Figura 41 – Diagrama unifilar de vulnerabilidade da qualidade do rio Mãe Luzia.

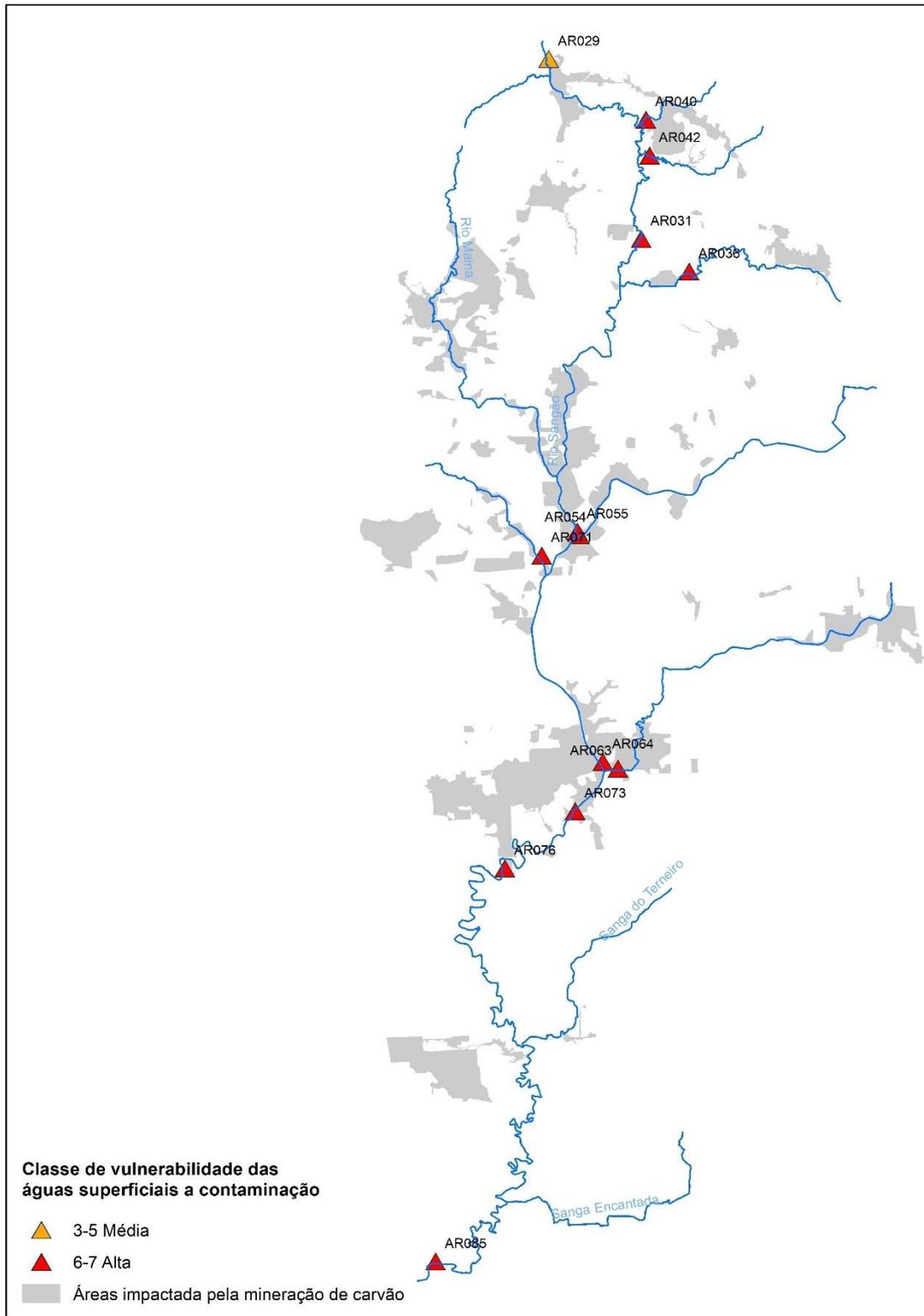


Figura 42 – Diagrama unifilar de vulnerabilidade da qualidade do rio Sangão.

5 CONCLUSÕES

A análise estatística realizada para os dados obtidos a partir do monitoramento ambiental efetivado ao longo de quatro campanhas, permitiu estabelecer as concentrações médias, além de outras variáveis importantes dos parâmetros físico-químicos estudados nesse trabalho, bem como os respectivos valores de *background* das águas superficiais na Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia, essa que se encontra atualmente comprometida pela atividade de mineração carvão, que teve expressiva significância nas décadas de 70 e 80, quando concentrava 70% da produção do Brasil.

Foram observadas 36 amostras, entretanto, as inserções *in loco* demonstraram que do total, 32 estavam localizadas em paisagem sem influência de atividade antrópicas, e quatro amostras, referentes a mesma estação amostral (P1), indicaram contribuição de possível surgência de drenagem ácida de mina, desconsiderando assim tais resultados para esse estudo.

O estudo delineou o comportamento de cada elemento avaliado, concluindo que as águas naturais possuem concentrações abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução Conama n. 357/2005 para rios de classe 2, bem como para rios de Classe 1, destinados ao consumo humano após tratamento simplificado. É possível ainda afirmar que as concentrações estabelecidas como característica natural não apresentam risco prejudicial à saúde humana, uma vez que atende aos padrões de potabilidade determinado pela Portaria GM/MS n. 888 de 4 de maio de 2021.

No que se refere à condutividade elétrica da água, o *background* indicou um valor máximo de 75 $\mu\text{S}/\text{cm}$, concentrações acima desse limite tendem a decorrer de contaminação (mistura) das águas naturais com contribuições de atividades antrópicas, especialmente pela geração de drenagem ácida de mina proveniente da atividade de mineração de carvão.

Elevadas concentrações de condutividade elétrica foram identificadas no rio Mãe Luzia a partir do ponto que o corpo hídrico recebe alta influência de áreas de passivo ambiental e atividade de mineração de carvão. Fator esse que se diferenciou quando avaliado o rio São Bento, ou seja, os resultados nesse corpo hídrico, mesmo quando em ambientes com influência de atividades agrícolas, não apresentou concentrações de condutividade elétrica elevadas, mantendo-se abaixo do limite máximo do *background*, com exceção de valores um pouco acima de 75 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em trechos do rio que teve sua vazão comprometida pelo bombeamento de água para uso na agricultura.

Conclui-se, com a determinação do *background* (pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, ferro, manganês e sulfatos) para a Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia que a avaliação desses parâmetros físico-químicos permitirá contribuir com a identificação da ocorrência de alteração das características qualitativas das águas superficiais ocasionada pela geração de DAM. Ademais, o monitoramento da condutividade elétrica nos corpos hídricos, quando demonstrada alterações significativamente superiores ao *background*, pode ser utilizado como indicativo preliminar de possível alteração qualitativa das águas superficiais ocasionada pela DAM.

Desta forma, como o método de análise da condutividade elétrica pode ser realizado *in loco* e envolve custos menores quando comparado a realização de análises laboratoriais dos principais íons relacionados à atividade de mineração de carvão, a implantação de um monitoramento de condutividade elétrica, admitirá estabelecer uma rede de monitoramento ambiental mais ampla, contemplando uma teia de pontos amostrais o qual abrange áreas que hoje não são monitoradas. Além disso, o monitoramento poderá ser efetivado em intervalo de tempo menor ao programa estabelecido pelo GTA.

A proposição da implantação desse monitoramento, vem de encontro com o objetivo de acompanhar a dinâmica da qualidade das águas diante dos processos de recuperação ambiental que vêm ocorrendo ao longo dos últimos anos nas áreas que compõem a região da Bacia Carbonífera de Santa Catarina. Ou seja, os resultados do monitoramento, servirão de subsídio inicial para determinar se tais recuperações estão apresentando resultados positivos para os recursos naturais, especificamente para a recuperação dos rios que se encontram vulneráveis à contaminação. E a partir da análise preliminar da condutividade elétrica, poderá ser realizada as análises laboratoriais, nos pontos com evidência de contaminação, para avaliação dos resultados obtidos com os valores de *background* estabelecidos para a Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia e legislações pertinentes.

Recomenda-se ainda, que a determinação do *background* na Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia, seja utilizada como referência nos estudos realizados na área objeto dessa dissertação, bem como ferramenta de gestão para os órgãos gestores da bacia hidrográfica, a fim de estabelecer não apenas a relação com contribuições advindas de mineração de carvão, mas também das demais atividades antrópicas que contribuem com lançamentos diretos ou indiretos nos corpos receptores, bem como subsidie estudos futuros que sigam nesse propósito.

O estabelecimento das características naturais das águas superficiais, vem também ao encontro da Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei n. 9.433/1997, uma vez que estabelece, entre os instrumentos de gestão das águas, o enquadramento dos recursos hídricos. As análises conclusivas indicaram que as águas naturais atendem aos padrões estabelecidos para rios de Classe 1, entretanto tal qualidade é prejudicada ao longo do rio Mãe Luzia e Sangão, tornando-os em desacordo com o seu enquadramento atual, rios de Classe 2. Dessa forma, recomenda-se que o enquadramento dos corpos hídricos dentro da Bacia do Rio Mãe Luzia seja efetivamente realizado, tendo como referência os valores apresentados nesse trabalho, bem como novas operações de monitoramento a serem realizadas em afluentes não caracterizados por este estudo.

Frente ao enquadramento dos recursos hídricos, a busca pela melhoria da qualidade ambiental desses e a prevenção da saúde pública, é de suma importância que o sistema de outorga de água, realizado pela Secretaria de Estado e Desenvolvimento Econômico Sustentável do estado de Santa Catarina, preconize a autorização de atividades que não acarretem o comprometimento dos recursos hídricos, bem como vise, em paralelo com o enquadramento, a melhoria qualitativa dos rios, a fim de estabelecer a recuperação dos ambientes atualmente degradados. Ressalta-se a importância de não permitir o uso da água para abastecimento humano nas áreas comprometidas pela atividade de extração de carvão, uma vez que o consumo de água com concentrações em desacordo com os padrões de potabilidade pode ocasionar problemas de saúde pública para a região abastecida.

Em consonância com a tratativa da qualidade das águas superficiais, a compreensão da geoquímica do sedimento, que consiste da composição química e suas interações com o ambiente, tende a proporcionar o entendimento das fontes de poluição contribuintes de uma área de estudo. O sedimento versa de partículas provenientes do intemperismo que começam a sofrer transporte mecânico e são transportados para outras regiões, sendo depositados e, então consolidados por processos de compactação, cimentação ou recristalização as rochas sedimentares (SCHNITZLER, 2008 apud BITTENCOURT, 1978; GARGIONI, 1991). Nos corpos hídricos, os sedimentos são transportados e por ação da gravidade, as partículas suspensas na coluna da água são depositadas no leito do rio, sendo que a inter-relação entre a água e os sedimentos pode levar à formação de complexos químicos que influenciam a solubilização e a mobilidade de poluentes presentes no sedimento.

Desta forma, sugere-se para pesquisas futuras o estudo da correlação entre as características qualitativas das águas superficiais e dos sedimentos e as fontes de poluição provenientes da atividade de mineração carvão, a fim de estabelecer possíveis relações que possam permitir a utilização do compartimento sedimento como um indicador ambiental para monitoramento das bacias hidrográficas.

Conforme apresentado ao longo do trabalho, o estabelecimento do *background* na Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia foi realizado a partir de quatro campanhas amostrais, isto posto, é de suma importância destacar que a obtenção de dados não capturou todas as variações sazonais, eventos extremos, bem como uma série histórica de diferentes anos. Além disso o estudo foi focado exclusivamente em parâmetros físico-químicos das águas superficiais, sem incluir análises biológicas, como a presença de macroinvertebrados, e a avaliação qualitativa dos sedimentos. Por consequência, a abordagem unidimensional e o curto espaço temporal das amostragens limitam a capacidade de identificar e compreender melhor a dinâmica do ambiente estudado, podendo assim levar a conclusões errôneas. Assim, recomenda-se que o estabelecimento do *background* aqui proposto seja objeto de novos estudos, buscando expandir o período de monitoramento e locais de amostragem ao longo da área de estudo, tencionando reduzir as fragilidades aqui encontradas.

Ainda, se recomenda para a melhoria estatística dos diagramas unifilares de vulnerabilidade da Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia que estudos futuros estabeleçam métricas a partir do uso do método Delphi, o qual envolve a coleta de opiniões de especialistas de forma sistemática, por meio de várias rodadas de questionários, com o objetivo de alcançar um consenso sobre determinado assunto. Bem como, seja simulado para o estabelecimento do *background* diferentes técnicas estatísticas a fim de poder proporcionar diferentes visões que possam influenciar nos resultados.

Propõe-se que futuros estudos trabalhem a interdisciplinaridade dos compartimentos ambientais, envolvendo também a correlação das características naturais e antrópicas com a formação geológica da área de estudo, visando estabelecer o peso dessas características nos resultados a serem obtidos.

Por fim, esse trabalho abre um limiar para futuras pesquisas que correlacionem as características ambientais atuais dos recursos hídricos frente aos distintos processos de recuperação ambiental que são executados na área de estudo, o qual visam entre outras

finalidades, a recuperação das águas superficiais. Tais trabalhos podem, como sugestão, avaliar a efetiva melhoria das diferentes técnicas aplicadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBA, José Maria Filippini. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Recuperação de áreas mineradas**. 2. ed. rev. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2010. 326 p.

ALEXANDRE, Nadja Zim. **Análise integrada da qualidade das águas da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá (SC)**. Dissertação de Mestrado em geografia. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000.

AQUINO, Afonso Rodrigues de; PALETTA, Francisco C.; ALMEIDA, Josimar Ribeiro de. Vulnerabilidade ambiental. Editora Blucher, 2017.

BORMA, Laura de Simone; SOARES, Paulo Sergio Moreira; **Drenagem Ácida e Gestão de Resíduo Sólido da Mineração**: disponível em: http://www.cetem.gov.br/publicacao/extracao_de_ouro/capitulo_10.pdf. Acesso em: 3 de fev. de 2021.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **A gestão dos recursos hídricos e a mineração**. / Agência Nacional de Águas, Coordenação-Geral das Assessorias; Instituto Brasileiro de Mineração; organizadores, Antônio Félix Domingues, Patrícia Helena Gambogi Boson, Suzana Alípaz. Brasília: ANA, 2006.334 p.

BRASIL. Agência Nacional de Mineração. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br>. Acesso em: 15 out. 2021.

BRASIL. **Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1.214 da Lei n. 7.661, de 16 de maio de 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 15 out. 2021

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, 29 p. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. PDF. Acesso em: 10 mar. de 2022.

CALIJURI, Maria do Carmo. **Engenharia ambiental conceitos, tecnologias e gestão**. 2. Rio de Janeiro GEN LTC 2019

CASTILHOS, Zuleica Carmem et al. (). **Metodologia para o monitoramento da qualidade das águas da Bacia Carbonífera Sul Catarinense: ferramenta para gestão em poluição ambiental**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 103 p.

CASTILHOS, Z. C.; FERNANDES, F. R. C. **A bacia carbonífera sul catarinense e os impactos e passivos da atividade da indústria extrativa mineral de carvão na territorialidade**. In: Recursos minerais & sustentabilidade territorial. Grandes minas. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2011. v.1. p.361-386.

CETESB (São Paulo). **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo – Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. São Paulo, 2020.

CHIPRÉS, J.A., CASTRO-LARRAGOITIA B.A.J., MONROY, M.G., **Exploratory and spatial data analysis (EDA–SDA) for determining regional background levels and anomalies of potentially toxic elements in soils from Catorce–Matehuala, Mexico**. Applied Geochemistry, v. 24, p. 1579-1589, 2009.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 357 de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: [https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stor](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stor-extension://efaidnbmnnnibpajpcgclefindmkaj/)

ies/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfeda_altr
d_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Conama nº 10, de 1º de outubro de 1993.** Estabelece parâmetros básicos para análise dos estágios de sucessão da Mata Atlântica. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/1993/res_conama_10_1993_estagiossucessaomataatlantica.pdf.

DO AMARAL, J. E.; KREBS, A. S. J. **Drenagem ácida da mineração de carvão e sua interrelação com metais pesados e recarga de aquíferos na bacia carbonífera do estado de Santa Catarina.** Águas Subterrâneas, [S. l.], 2010.

FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ, Miguel; ACCIOLI, Affonso Augusto Naegele. **O controle da poluição das águas pela mineração de carvão no Estado de Santa Catarina.** Camboriú, SC: ABES, 1983. 70p.

FONSECA, Elmar. **Carvão.** Rio de Janeiro: Bloch, 1980. 64 p. (Biblioteca Educação é Cultura; 3).

GALUSZKA, A. A review of geochemical *background* concepts and an exemplifying data from Poland. *Environ Geol* 52, 861-870 (2007). <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0528-2>

GEOLOGICAL SURVEY UNIVERSITY OF KENTUCKY. **What Is Coal.** Lexington, Kentucky. 2019. Disponível em: <https://www.uky.edu/KGS/coal/index.php#>. Acesso em: 13 mar. 2021.

INTERNATIONAL COMMITTEE FOR COAL AND ORGANIC PETROLOGY. 1971. **International handbook of coal petrography**, 2ª ed., Paris, ICCP, Centre National de La Recherche Scientifique. Supplement, 494p.

ISO (International Organization for Standardization) 2018, **Classification of coal:** Geneva, Switzerland, ISO (International Organization for Standardization), 11760, 1st edition.

JICA. Japan International Cooperation Agency. **The feasibility study on recuperation of mined-out areas in the South Region of Santa Catarina in the Federative Republic of Brazil.** Japão, Main reporter. 397p. 1998.

KALKREUTH, W.; HOLZ, M.; MEXIAS, A.; BALBINOT, M.; LEVANDOWSKI, J.; WILLETT, J.; FINKELMAN, R.; BURGER, H.. **Depositional setting, petrology and chemistry of Permian coals from the Paraná Basin: 2. south santa catarina coalfield, brazil.** International Journal Of Coal Geology, [S.L.], v. 84, n. 3-4, p. 213-236, dez. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coal.2010.08.008>.

KREBS, A. S. J.; ALEXANDRE, N. Z. **RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARARANGUÁ - SC: DISPONIBILIDADE E CONFLITOS.** Águas Subterrâneas, 2000. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/24313>. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/24313>. Acesso em: 2 abr. 2021.

KUNLI, L., LIRONG, X., JIAN'AN, T., DOUHU, W., LIANHUA, X. **Fonte de selênio na área de selenose da região de Daba, South Qinling Mountain, China.** Environ. Geol. 45, 426–432. 2004.

MATSCHULLAT, J., OTTENSTEIN, R. & REIMANN, C. **Geochemical background – can we calculate it?** Environmental Geology 39, 990–1000 (2000). <https://doi.org/10.1007/s002549900084>. Acesso em: 10 de mar. de 2022.

OLIVEIRA, Bruno. **Boxplot: como interpretar.** São Paulo, 2019. Disponível em <https://operdata.com.br/blog/como-interpretar-um-boxplot/>. Acesso em: 10 de mar. de 2022.

OLIVEIRA, Marcos L.s.; WARD, Colin R.; SAMPAIO, Carlos H.; QUEROL, Xavier; CUTRUNEO, César M.N.L.; TAFFAREL, Silvio R.; SILVA, Luis F.O.. **Partitioning of mineralogical and inorganic geochemical components of coals from Santa Catarina, Brazil, by industrial beneficiation processes.** International Journal Of Coal Geology, [S.L.], v. 116-117, p. 75-92, set. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coal.2013.07.002>.

PROFILL ENGENHARIA E AMBIENTE LTDA. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Araranguá**: Relatório B1: Consolidação das informações sobre recursos hídricos. Porto Alegre, 2015. 206 p. Disponível em: https://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/DHRI/Planos%20de%20Bacias/Plano%20da%20Bacia%20Hidrografica%20do%20Rio%20Ararangua/Relatorio%20B%201%20-%20Consolidacao%20das%20informacoes%20sobre%20recursos%20hidricos.pdf. Acesso em: 26 abr. 2021.

RAVAZZOLI, Cláudia. A PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DO CARVÃO EM SANTA CATARINA: SUA EVOLUÇÃO ATÉ OS TERMOS DE AJUSTAMENTO DE CONDUTA VIGENTE ENTRE OS ANOS DE 2005 E 2010. **Geografia em Questão**, v. 6, n. 1, p. 179-201, mar. 2013. Semestral. Disponível em: <http://e-revista.unioeste.br/index.php/geoemquestao/article/view/6516>. Acesso em: 11 abr. 2021.

REIMANN, Clemens; FILZMOSE, Peter; GARRETT, Robert G. **Background and threshold: critical comparison of methods of determination**. *Sci. Total Environ.* 346, 1, 2005.

ROHDE, Geraldo Mario. **Geoquímica ambiental e estudos de impacto**. 2. ed. São Paulo: Signus, 2004. 157 p.

RUBIO, C.; HARDISSON, A.; REGUERA, J. I.; REVERT, C.; LAFUENTE, M. A.; GONZÁLEZ-IGLESIAS, T. **Cadmium Dietary Intake in the Canary Islands, Spain**. *Environmental Research*, v. 100, n. 1, p. 123–129, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935105000101?via%3Dihub>. Acesso em: 15 out. 2024.

SANTA CATARINA. SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL. (org.). **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina – PERH/SC**. 2015. Disponível em: http://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/DHRI/Plano%20Estadual/Documento%20Sintese/documento_sintese_do_plano_2018-03-15.pdf. Acesso em: 10 mai. 2021.

SCHNEIDER, C.H. 2006. **Controle da drenagem ácida de minas na mineração de carvão de Santa Catarina: caso da mina UM II - Verdinho**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. (Dissertação de Mestrado).

SIMÃO, Gustavo; PEREIRA, Jader Lima; ALEXANDRE, Nadja Zim; GALATTO, Sergio Luciano; VIERO, Antonio Pedro. **Estabelecimento de valores de *background* geoquímico de parâmetros relacionados a contaminação por carvão**. *Águas Subterrâneas*, [S.L.], v. 33, n. 2, p. 109-118, 2 abr. 2019. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v33i2.29207>

SCHNITZLER, Danielle Caroline. Avaliação da qualidade de sedimentos de rios na região metropolitana de Curitiba com ênfase em espécies metálicas. 2008. 158 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Química, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

UBALDO, Mariluce de Oliveira; SOUZA, Vicente Paulo de. Controle e mitigação dos impactos da drenagem ácida em operações de mineração In: SOARES, Paulo Sergio Moreira et al. **Carvão Brasileiro: Tecnologia e Meio Ambiente**, Rio de Janeiro: CETEM, 2008. 300p.

VALIATI, Dario; ALMEIDA, Dário Moraes de. **Gestão de recursos hídricos na mineração de carvão – caso da mina do Trevo – Siderópolis – SC**. Brasília, DF: Agência Nacional de Águas, 2006. Cap 5, p 175-197.

VASCONCELOS, Mickaelon Belchior; CAJAZEIRAS, Claudio Cesar de Aguiar; SOUSA, Rafael Rolim de. **Aplicação da condutividade elétrica da água nos estudos hidrogeológicos da região nordeste do Brasil**. In: **XXIII SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. XXIII SBRH 2019, Foz do Iguaçu: Abrhidro, 2019. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=6031>. Acesso em: 2 mar. 2023.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2.ed. Belo Horizonte: DESA, 2005. 243 p.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Instituto de Filosofia e Teologia de Goiás, 2007. 211 p.

APÊNDICE 1 - FOTOS DAS COLETAS E ANÁLISES DE CAMPO



Primeira campanha – Estação amostral P1



Primeira campanha – Estação amostral P2



Primeira campanha – Estação amostral P3



Primeira campanha – Estação amostral P4



Primeira campanha – Estação amostral P5



Primeira campanha – Estação amostral P6



Primeira campanha – Estação amostral P7



Primeira campanha – Estação amostral P8



Primeira campanha – Estação amostral P9



Segunda campanha – Estação amostral P1



Segunda campanha – Estação amostral P2



Segunda campanha – Estação amostral P3



Segunda campanha – Estação amostral P4



Segunda campanha – Estação amostral P5



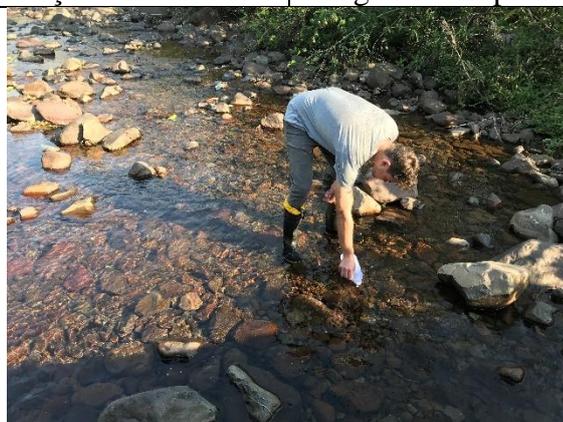
Segunda campanha – Estação amostral P6



Segunda campanha – Estação amostral P7



Segunda campanha – Estação amostral P8



Segunda campanha – Estação amostral P9



Terceira campanha – Estação amostral P1



Terceira campanha – Estação amostral P2



Terceira campanha – Estação amostral P3



Terceira campanha – Estação amostral P4



Terceira campanha – Estação amostral P5



Terceira campanha – Estação amostral P6



Terceira campanha – Estação amostral P7



Terceira campanha – Estação amostral P9



Terceira campanha – Estação amostral P9



Quarta campanha – Estação amostral P1



Quarta campanha – Estação amostral P2



Quarta campanha – Estação amostral P3



Quarta campanha – Estação amostral P4



Quarta campanha – Estação amostral P5



Quarta campanha – Estação amostral P6



Quarta campanha – Estação amostral P7



Quarta campanha – Estação amostral P8



Quarta campanha – Estação amostral P9



Estação amostral CM1



Estação amostral CM2



Estação amostral CM3



Estação amostral CM4



Estação amostral CM5



Estação amostral CM6



Estação amostral CM7



Estação amostral CM8



Estação amostral CM9



Estação amostral CM10



Estação amostral CM11



Estação amostral CM12



Estação amostral CM13



Estação amostral CM14



Estação amostral CB1



Estação amostral CB2



Estação amostral CB3



Estação amostral CB4



Estação amostral CB5



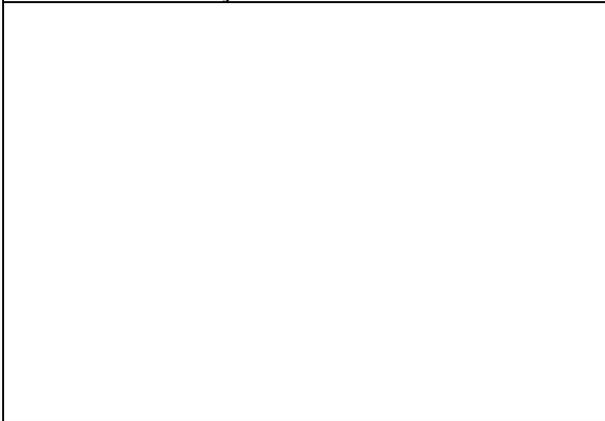
Estação amostral CB6



Estação amostral CB7



Estação amostral CB8



Estação amostral CB9



Estação amostral CB10

ANEXO 1 - DADOS DE MONITORAMENTO DO GTA

		pH																						
Campanha	Data	AR01	AR03	AR04	AR06	AR07	AR11	AR14	AR26	AR27	AR28	AR29	AR31	AR36	AR40	AR42	AR54	AR55	AR63	AR64	AR71	AR73	AR76	AR85
1	15/04/2002	6,80	4,50	6,60	3,30	3,40	2,70	3,00	3,20	2,60	3,00	7,10	2,80	2,80	2,70	2,70	6,20	2,70	3,20	2,80	4,20	2,70	2,80	2,70
2	17/06/2002	7,50	4,70	6,90	3,50	3,80	2,90	3,70	3,90	3,10	3,20	7,20	2,90	2,70	2,80	2,80	4,20	2,80	3,10	2,80	3,60	2,80	2,90	2,90
3	07/08/2002	7,20	4,90	6,40	2,70	3,80	3,10	3,70	3,40	3,00	3,10	7,50	2,80	2,80	2,80	2,80	6,10	2,90	3,60	3,20	4,20	3,10	3,00	3,20
4	03/01/2003	7,40	4,50	6,50	4,20	4,10	2,80	3,40	3,40	2,70	2,90	7,10	2,60	2,60	2,60	2,70	4,20	2,70	2,90	2,70	3,70	2,70	2,70	2,70
5	24/02/2003	6,90	4,10	6,70	3,30	3,40	2,80	3,10	3,10	2,70	3,20	6,90	2,70	2,60	2,70	2,70	2,60	4,10	2,90	2,60	3,50	2,60	2,60	2,60
6	15/04/2003	7,10	4,20	6,50	3,30	3,10	2,70	3,20	3,20	2,70	3,40	6,80	2,70	2,60	2,60	2,70	2,50	5,60	2,90	2,60	4,00	2,70	2,70	2,70
7	12/05/2003	7,20	4,40	6,70	3,30	3,20	2,70	2,90	3,10	2,70	2,70	6,80	2,70	2,60	2,70	2,60	2,50	6,00	3,20	3,00	4,60	2,80	3,00	2,70
8	09/06/2003	7,10	4,60	6,80	4,10	3,30	2,80	3,30	3,70	3,00	3,20	7,20	2,80	2,70	2,80	2,70	2,70	6,10	3,10	2,70	3,20	2,90	2,90	2,70
9	02/09/2003	7,00	4,30	6,60		3,10		3,10	3,10	2,80	2,80	6,90	2,70		2,70		2,70	5,70	2,90			3,10	3,00	2,60
10	14/10/2003	6,60	4,00	6,10		3,50		3,30	3,60	2,90	3,10	6,60	2,90		2,90		2,90	6,10	3,00			2,90	2,80	2,70
11	15/09/2004	7,00	5,00	7,00	4,00	4,00	3,00	4,00	4,00	3,00	4,00	7,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
12	07/03/2005	7,40	4,30	6,70	4,10	3,80	3,20	3,50	3,60	2,80	3,50	7,30	2,60	2,80	2,50	3,00	4,82	2,90	2,60	2,70	4,10	3,20	2,80	3,10
13	28/09/2005	7,24	4,40	6,42	3,16	4,17	2,90	3,78	3,81	2,98	3,67	7,28	2,90	2,82	2,78	2,88	5,81	2,79	3,21	2,89	3,36	3,23	2,94	2,89
14	29/03/2006	7,11	5,06	6,71	3,41	3,99	2,84	4,44	3,80	3,06	3,27	7,00	2,98	2,76	2,84	2,91	6,04	2,86	3,08	2,84	3,94	3,00	2,88	2,80
15	18/09/2006	7,85	5,94	6,86	3,22	3,26	3,08	3,15	3,27	2,91	3,12	7,02	2,73	2,74	2,68	2,68	6,61	2,75	3,13	2,92	4,42	2,96	3,00	2,82
16	07/03/2007	7,10	5,00	7,00	4,80	5,90	2,90	4,50	3,80	3,20	3,20	7,20	3,10	2,80	3,20	3,00	4,40	2,80	3,30	2,90	3,20	2,90	2,90	2,80
17	17/10/2007	6,90	4,60	6,60	6,40	5,20	2,80	4,60	4,80	3,10	3,60	6,20	2,90	2,90	2,90	2,90	5,70	2,90	3,10	3,10	3,70	3,00	3,10	2,80
18	18/03/2008	6,50	4,50	5,90	4,80	4,70	2,80	4,30	3,60	3,00	3,20	6,40	3,00	2,80	3,10	3,00	6,10	2,80	3,40	3,10	3,80	3,00	3,00	2,80
19	22/09/2008	6,60	5,60	6,50	6,00	3,70	3,00	3,30	3,90	3,00	3,20	6,30	3,20	2,80	3,00	3,00	6,20	2,80	2,70	2,90	3,90	2,90	2,90	3,00
20	16/03/2009	8,10	4,30	6,00	4,60	4,70	3,00	3,70	4,80	3,30	4,10	6,30	2,80	2,80	3,00	3,10	4,40	2,90	3,40	2,80	3,60	3,00	3,00	3,00
21	14/10/2009	7,05	3,10	6,38	3,80	3,85	2,82	3,92	2,82	2,45	2,76	7,02	3,38	2,30	2,57	2,50	6,65	2,56	3,19	2,36	8,02	2,38	2,35	2,44
22	02/06/2010	7,45	3,10	7,21	4,04	4,23	3,02	4,20	4,10	2,81	3,23	7,27	2,77	2,70	2,90	2,93	3,53	2,77	3,63	2,76	3,27	2,92	2,76	2,83
23	26/10/2010	7,53	4,63	7,16	5,46	4,01	2,62	3,78	6,06	2,80	3,63	7,35	2,31	2,62	2,76	2,75	4,63	2,68	3,61	2,74	3,30	2,75	2,74	2,94
24	11/06/2011	7,40	4,36	6,94	3,82	3,81	2,94	4,90	4,11	2,85	3,02	7,21	2,69	2,64	2,86	2,80	5,00	2,93	4,35	2,97	5,33	3,04	2,86	2,94
25	27/10/2011	7,17	4,86	7,11	5,95	6,37	2,85	5,05	6,34	3,02	3,82	7,36	2,70	2,60	2,81	2,77	5,86	2,70	4,44	2,69	4,83	2,88	2,90	2,85
26	23/05/2012	7,49	6,88	7,13	3,80	3,88	2,93	3,50	4,02	2,85	3,02	6,79	2,66	2,68	2,83	2,82	6,36	2,69	5,42	2,78	5,33	2,87	2,83	2,88
27	09/10/2012	7,09	3,84	7,10	3,97	4,06	3,10	3,88	4,54	3,28	3,30	7,33	2,77	2,68	2,83	2,91	5,52	2,74	3,50	2,82	3,20	2,91	2,82	2,84
28	24/05/2013	7,63	5,77	7,29	4,06	4,19	3,20	3,56	4,57	2,82	3,21	6,91	2,77	2,66	2,78	2,89	5,82	2,76	3,96	2,80	4,07	2,81	2,80	2,83
29	02/10/2013	7,12	3,82	6,95	4,76	4,87	3,20	4,41	4,48	2,89	3,57	6,89	2,81	2,75	2,78	3,02	4,07	2,81	3,75	2,80	4,08	2,90	2,80	2,85
30	03/06/2014	7,34	3,90	6,85	4,71	4,45	3,03	4,14	4,67	2,86	3,28	6,79	2,79	2,81	3,43	3,09	3,78	2,80	3,75	2,81	3,17	2,86	2,79	2,91
31	09/10/2014	7,32	4,85	7,17	4,62	5,20	3,03	4,31	4,91	2,78	3,36	7,33	2,80	2,70	2,86	3,02	4,76	2,85	4,62	2,85	4,27	3,15	2,85	2,95
32	05/05/2015	7,42	5,45	7,04	4,69	4,41	3,03	3,90	4,74	2,89	3,38	7,00	3,04	2,73	2,92	3,02	3,63	3,63	4,04	2,94	3,29	2,99	2,91	3,08
33	27/10/2015	7,34	3,29	6,64	5,11	5,91	3,08	5,40	4,77	2,92	3,68	7,56	3,16	2,82	3,13	3,17	3,78	2,94	4,17	3,06	3,15	3,31	3,12	4,02
34	20/05/2016	7,41	6,20	7,18	6,71	6,67	3,17	4,99	6,14	2,83	3,42	7,29	2,95	2,83	2,99	2,95	4,76	2,94	6,28	3,04	4,13	3,07	2,94	3,01
35	13/09/2016	7,47	6,51	7,06	5,12	4,32	3,04	4,36	5,16	2,77	3,17	6,90	2,74	2,63	2,79	2,81	5,70	2,73	5,10	2,86	4,84	2,96	2,86	2,96
36	20/04/2017	7,38	6,91	7,28	5,13	5,81	3,03	3,96	5,68	2,74	3,26	7,24	2,89	2,74	2,80	2,74	5,81	2,82	5,26	3,04	3,72	3,19	2,91	2,94
37	26/09/2017	7,10	6,54	7,17	5,65	6,13	3,08	4,13	6,30	2,79	3,66	5,93	3,04	2,81	2,88	2,63	5,04	2,78	3,76	2,93	3,45	2,93	2,82	2,90
38	03/05/2018			7,41	6,88	6,65	3,09	3,50	6,42	2,83	3,75	7,00	2,77	2,70	2,78	2,81	5,90	2,86	6,00	2,99	3,81	3,01	2,89	2,77
39	26/09/2018			6,95	6,85	6,09	3,04		6,48	2,66	4,51	7,10	2,82	2,36	2,65	2,70	5,28	2,53	3,52	2,56	3,06	2,69	2,49	2,56
40	02/05/2019	6,65	5,88	6,21	6,43	6,78	3,04	6,47	6,67	2,88	3,88	6,03	2,83	2,54	2,71	2,70	4,88	2,86	3,83	2,74	3,25	2,85	2,75	2,68
41	25/09/2019	6,65	6,20	7,92	6,30	7,39	3,08	5,40	6,22	2,84	3,20	7,17	2,97	3,00	2,87	2,82	6,58	3,07	4,46	3,44	4,51	4,96	4,68	4,92
Média		7,20	4,85	6,82	4,62	4,57	2,96	3,99	4,45	2,88	3,36	6,97	2,84	2,72	2,83	2,85	4,83	3,24	3,72	2,86	3,95	2,97	2,90	2,92
Desvio padrão		0,34	0,99	0,41	1,17	1,17	0,15	0,76	1,13	0,17	0,37	0,39	0,19	0,14	0,18	0,15	1,27	1,04	0,88	0,19	0,90	0,36	0,32	0,40
Coef. de assimetria		0,05	0,46	-0,09	0,48	0,83	-0,39	1,08	0,62	0,32	0,86	-1,08	0,32	-0,74	1,06	0,00	-0,42	2,19	1,33	0,32	2,61	4,09	4,29	3,72
Coef. de variação (%)		4,76	20,39	5,96	25,25	25,70	5,15	19,08	25,47	6,01	11,11	5,58	6,56	5,10	6,26	5,37	26,22	32,16	23,72	6,73	22,83	12,27	11,08	13,73
Mediana		7,20	4,60	6,86	4,60	4,17	3,00	3,89	4,10	2,85	3,26	7,02	2,80	2,73	2,80	2,82	4,88	2,82	3,50	2,84	3,80	2,92	2,88	2,85
Máximo		8,10	6,91	7,92	6,88	7,39	3,20	6,47	6,67	3,30	4,51	7,56	3,38	3,00	3,43	3,17	6,65	6,10	6,28	3,44	8,02	4,96	4,68	4,92
Mínimo		6,50	3,10	5,90	2,70	3,10	2,62	2,90	2,82	2,45	2,70	5,93	2,31	2,30	2,50	2,50	2,50	2,53	2,60	2,36	3,00	2,38	2,35	2,44

Oxigênio dissolvido (mg/L)																								
Campanha	Data	AR01	AR03	AR04	AR06	AR07	AR11	AR14	AR26	AR27	AR28	AR29	AR31	AR36	AR40	AR42	AR54	AR55	AR63	AR64	AR71	AR73	AR76	AR85
1	15/04/2002																							
2	17/06/2002	12,10	7,00	9,70	12,40	9,20	11,00		0,98	1,30	8,70		0,10	0,80	9,20	11,10	0,10	0,10	5,20	0,10		0,10	0,10	0,10
3	07/08/2002	10,90		10,90	7,70	0,00	5,50		2,83	0,10	7,00		0,10	6,60			1,90	0,10	2,90				0,10	2,50
4	03/01/2003																							
5	24/02/2003	8,70	0,80	10,20	1,90	6,90	6,40		5,40	0,10	5,30	8,30	0,30	0,90	5,80	4,10	0,10	1,60	6,10	0,10	5,90	0,10	0,10	5,80
6	15/04/2003	9,30	2,70	9,10	4,40	7,90	7,20		7,80	0,10	7,90	8,20	0,90	2,60	7,80	5,10	0,60	0,10	7,50	0,10	3,80	0,10	0,10	4,60
7	12/05/2003	10,70	1,30	11,90	4,90	8,50	9,80		8,40	0,10	6,10	9,10	0,60	3,80	0,30	6,70	0,20	0,10	6,90	0,10	0,10	0,10	0,10	6,20
8	09/06/2003	9,80	3,30	10,60	6,80	8,00	8,60		8,10	0,40	6,00	9,50	0,80	4,00	3,30	7,10	0,10	0,10	5,80	0,10	0,10	0,10	0,10	5,20
9	02/09/2003																							
10	14/10/2003								11,84															
11	15/09/2004	9,36	3,52	9,12	7,76	7,28	7,68				7,12	11,12	0,24	6,48	11,12	9,52	1,44	0,16	4,96	0,08		0,08	0,32	1,66
12	07/03/2005																							
13	28/09/2005																							
14	29/03/2006																							
15	18/09/2006																							
16	07/03/2007																							
17	17/10/2007																							
18	18/03/2008																							
19	22/09/2008																							
20	11/03/2009																							
21	14/10/2009	4,85	4,44	5,71	5,48	5,08	7,00	5,02	5,60	5,01	5,24	5,70	2,22	4,97	5,08	5,14	2,06	4,44	3,28	1,91	1,38	4,19	4,53	3,35
22	03/05/2010	4,19	6,12	6,51	4,05	4,41	5,75	4,47	9,43	8,07	8,74	5,84	6,59	4,70	6,00	5,56	3,41	5,05	2,67	5,84	1,19	6,44	4,72	6,10
23	26/10/2010	4,91	3,95	6,58	4,50	4,14	5,57	4,74	9,11	6,64	7,91	5,48	6,95	4,47	5,80	5,65	3,14	5,50	2,76	5,48	1,92	3,85	4,59	4,43
24	18/05/2011	5,71	6,16	8,35	6,39	7,29	6,35	6,34	9,14	6,30	4,82	6,38	3,45	3,62	5,59	4,97	2,59	5,56	4,73	3,08	1,95	5,81	4,32	4,20
25	01/11/2011	5,31	5,41	6,41		4,86	5,89	5,09	8,92	7,26	7,90	5,90	5,66	4,26	5,49	5,39	3,23	5,37	3,38	3,84	1,94	4,14	5,08	4,74
26	28/05/2012																							
27	09/10/2012														5,10									
28	11/06/2013														4,20									
29	02/10/2013														2,20									
30	03/06/2014														8,40									
31	09/10/2014														2,25									
32	05/05/2015														3,40									
33	26/10/2015																							
34	20/05/2016																							
35	13/09/2016														5,23									
36	20/04/2017														8,77									
37	26/09/2017														2,82							0,00		
38	03/05/2018			8,81	7,31		6,38	7,57	8,62	6,32	7,60	4,69	9,09	9,00	7,48		1,28	8,99	8,00	3,12	2,65	3,53	1,87	4,53
39	26/09/2018			7,56	10,25		9,82	0,00	8,90	4,25	4,93	6,69	6,86	5,83	8,45	7,48	1,34	5,55	4,52	3,73	9,20	3,68	2,67	2,66
40	02/05/2019	7,71	8,58	8,28	8,00	9,10	6,98	9,25	8,36	6,64	4,92	5,28	6,26	5,12	6,89	3,16	6,91	6,62	5,93	4,34	6,44	2,99	3,90	3,16
41	25/09/2019	8,20	8,67	6,30	8,67	7,55	6,80	8,44	8,20	4,88	4,54	4,14	6,43	7,34	8,25	7,51	2,20	3,93	4,47	3,80	5,28	2,61	2,69	3,48
Média		7,98	4,77	8,50	6,70	6,44	7,30	5,66	7,60	3,83	6,55	6,88	3,53	4,66	5,79	6,32	1,91	3,33	4,94	2,38	3,22	2,48	2,21	3,92
Desvio padrão		2,58	2,51	1,87	2,65	2,51	1,67	2,73	2,68	3,10	1,48	2,04	3,19	2,17	2,61	2,11	1,76	2,96	1,69	2,14	2,74	2,25	2,06	1,66
Coef. de assimetria		-0,10	0,08	0,14	0,37	-1,35	1,07	-0,86	-1,27	-0,20	0,08	0,73	0,27	-0,03	-0,09	0,91	1,49	0,17	0,26	0,14	0,93	0,15	0,15	-0,68
Coef. de variação (%)		32,29	52,62	22,00	39,52	38,88	22,87	48,31	35,25	80,85	22,54	29,64	90,34	46,57	45,17	33,45	92,05	88,89	34,08	89,74	85,13	90,63	93,46	42,37
Mediana		8,45	4,44	8,58	6,80	7,29	6,89	5,09	8,38	4,88	6,55	6,14	2,84	4,59	5,70	5,61	1,67	4,19	4,85	3,08	1,95	2,99	2,27	4,32
Máximo		12,10	8,67	11,90	12,40	9,20	11,00	9,25	11,84	8,07	8,74	11,12	9,09	9,00	11,12	11,10	6,91	8,99	8,00	5,84	9,20	6,44	5,08	6,20
Mínimo		4,19	0,80	5,71	1,90	0,00	5,50	0,00	0,98	0,10	4,54	4,14	0,10	0,80	0,30	3,16	0,10	0,10	2,67	0,08	0,10	0,00	0,10	0,10

Conductividade elétrica (µS/cm)																								
Campanha	Data	AR01	AR03	AR04	AR06	AR07	AR11	AR14	AR26	AR27	AR28	AR29	AR31	AR36	AR40	AR42	AR54	AR55	AR63	AR64	AR71	AR73	AR76	AR85
1	15/04/02	55	345	80	744	397	2210	692	468	1431	893	131	1730	1816	2310	1263	454	1644	772	1752	421	1926	1285	2060
2	17/06/02	54	240	65	508	305	2150	326	307	1281	703	167	2010	2150	1448	1274	702	1979	975	1926	1401	1888	1846	1800
3	07/08/02	70	242	94	404	454	1818	545	791	1755	510	265	2150	1544	3070	2180	628	2120	1068	1853	978	1780	1914	1903
4	03/01/03	83	365	90	381	368	2660	697	425	1392	1316	183	1633	1707	1572	1032	501	1395	1161	1770	862	1786	1960	2420
5	24/02/03	125	711	146	763	535	2400	951	1032	2070	905	341	1930	2180	1863	856	1559	555	1205	1916	750	1950	1954	2090
6	15/04/03	86	359	74	619	950	1257	256	635	1741	515	334	2110	2020	2400	1576	1965	673	832	1385	632	1350	1262	1675
7	12/05/03	89	455	116	829	833	2170	1012	866	1932	1226	538	2040	2060	2110	1478	2000	714	1327	1899	772	1819	889	2340
8	09/06/03	63	334	94	406	704	2480	826	383	1422	996	382	1837	2340	2640	1286	2160	637	1199	2030	1039	1978	1976	1651
9	02/09/03																							
10	14/10/03																							
11	15/09/04	38	298	48	240	220	1489	236	385	944	391	126	1224	1478	1138	980	540	1367	724	2164	1080	1711	1657	1485
12	07/03/05	58	1178	100	714	628	4583	1218	525	2450	583	334	1711	2702	1836	1495	711	2183	1193	2063	1080	2150	2335	2368
13	28/09/05	58	662	101	957	318	2115	352	325	1793	364	213	1557	2019	1886	1515	655	1864	762	2164	1216	720	1671	1383
14	29/03/06	56	196	75	826	516	2269	214	324	1498	649	335	1060	2135	1567	1130	641	1711	1155	1802	1055	803	1761	1542
15	18/09/06	45	107	53	1218	372	1070	449	400	896	647	210	1295	1144	1050	910	380	1113	601	937	377	826	910	928
16	07/03/07	45	139	84	262	161	1977	218	437	1278	850	504	1514	1963	1190	1372	589	1833	612	1580	883	757	1632	1690
17	17/10/07	54	247	67	227	274	2390	280	195	1338	609	207	1277	1954	1280	1224	410	1606	1023	1686	902	639	1490	1636
18	18/03/08	77	434	86	536	248	2375	371	369	1569	661	231	1244	1963	856	994	601	1671	798	1560	679	802	1774	1738
19	22/09/08	68	169	69	165	488	2060	406	328	1666	676	256	1294	2190	1735	1294	648	1583	1656	1556	861	843	1629	1519
20	16/03/09	65	583	56	301	246	1674	781	167	817	260	123	1417	1587	992	825	549	1334	731	1530	774	251	1535	908
21	14/10/09	364	2260	332	1151	1021	7220	1070	4610	7320	115	21	169	366	123	250	64	188	90	188	249	713	198	185
22	02/06/10	70	628	77	444	356	1777	307	259	1352	613	200	1315	1784	1127	1089	521	1398	607	1530	723	574	1517	1438
23	26/10/10	59	130	92	485	453	2230	379	161	1451	340	426	1403	2150	1546	1511	577	1649	864	1634	965	665	1471	1097
24	11/06/11	75	174	67	658	414	1803	206	455	1208	900	448	1878	1994	1197	1195	518	1419	560	1435	1095	340	1579	1516
25	27/10/11	50	98	94	233	256	1660	236	134	933	275	395	1355	2031	1407	1406	488	1626	783	1515	955	519	1149	1094
26	23/05/12	86	109	112	439	439	1881	686	837	1679	1460	768	2018	2840	2013	1745	603	1906	975	1776	840	674	1844	1851
27	09/10/12	278	255	102	1058	870	1782	640	269	600	690	428	1556	2271	1544	1209	426	1734	780	1561	1031	1237	1524	1700
28	24/05/13	86	131	114	1221	616	1871	921	620	1965	915	784	1822	2367	1916	1294	482	1770	757	1722	786	1686	1780	1793
29	02/10/13	57	228	93	582	480	1688	465	284	1532	510	438	1359	1962	1880	1103	560	1639	754	1565	703	1314	1576	1511
30	03/06/14	72	244	89	961	826	1811	587	190	1427	606	262	1347	1286	400	723	490	1313	471	1433	859	1358	1527	1322
31	09/10/14	74	163	92	739	815	1832	442	421	1669	701	226	1349	1339	1303	988	464	1409	514	1394	667	711	1497	1458
32	05/05/15	66	205	80	662	607	1745	527	243	1374	518	413	787	1601	1104	955	17	469	507	1079	1289	989	1146	797
33	27/10/15	54	420	63	292	186	1489	174	169	1027	310	218	583	1154	641	679	428	967	357	806	738	474	650	223
34	20/05/16	63	116	83	707	322	1713	327	211	1770	496	381	1016	1463	1080	1165	442	1271	590	1194	600	1081	1375	1401
35	13/09/16	68	108	79	1028	610	1496	653	337	1255	626	621	1362	1810	1449	1262	493	1498	638	1322	682	981	1134	880
36	20/04/17	49	116	86	521	502	1685	365	337	1621	709	2023	1007	1453	1363	1518	450	1319	593	1102	582	722	1314	1184
37	26/09/17	78	126	108	1438	1509	1771	1191	165	1514	345	589	812	1357	1370	1929	520	1492	634	1265	718	1274	1385	1176
38	03/05/18	0	0	89	508	671	1425	451	206	1377	322	524	1323	1650	1336	1145	426	1321	601	1126	617	1088	1209	1009
39	26/09/18	0	0	70	151	423	1252	0	60	1157	98	137	735	1791	951	678	395	1162	423	1077	698	933	1127	947
40	02/05/19	87	165	78	557	332	1620	783	248	1297	472	335	998	1575	1244	811	388	2074	743	1016	632	981	1182	1187
41	25/09/19	100	124	98	322	1687	1563	492	437	1677	843	1840	1403	1617	1808	1432	564	1117	565	1070	658	1042	1186	1382
Média		77,56	329,86	92,12	621,89	548,99	2063,05	531,54	487,53	1602,00	631,16	419,37	1400,77	1815,68	1480,66	1199,24	641,24	1403,12	784,56	1496,96	816,66	1111,11	1457,69	1443,24
Desvio padrão		62,41	390,23	43,81	324,24	329,89	1018,58	298,67	711,09	1006,89	302,09	396,32	443,49	456,36	579,63	361,97	464,70	470,22	302,10	408,88	240,88	519,86	401,28	504,66
Coef. de assimetria		3,48	3,61	4,51	0,65	1,78	3,94	0,68	5,39	5,02	0,71	3,04	-0,44	-0,51	0,35	0,14	2,36	-0,72	0,59	-0,79	0,16	0,47	-0,72	-0,35
Coef. de variação (%)		80,46	118,30	47,56	52,14	60,09	49,37	56,19	145,86	62,85	47,86	94,50	31,66	25,13	39,15	30,18	72,47	33,51	38,51	27,31	29,49	46,79	27,53	34,97
Mediana		65,80	228,00	86,30	557,00	454,00	1810,60	450,80	336,60	1431,00	613,00	335,00	1359,00	1816,00	1407,00	1209,00	519,70	1419,00	754,00	1556,00	774,00	981,30	1517,00	1485,00
Máximo		364,00	2260,00	332,00	1438,20	1687,10	7220,00	1218,20	4610,00	7320,00	1460,00	2023,00	2150,00	2840,00	3070,00	2180,00	2160,00	2183,00	1656,00	2164,00	1401,00	2150,00	2335,00	2420,00
Mínimo		0,00	0,00	47,50	150,50	161,00	1069,80	0,00	60,20	600,00	98,20	21,00	169,00	366,00	123,00	250,00	17,00	188,00	90,00	188,00	249,00	251,40	198,00	185,00

Ferro total (mg/L)																								
Campanha	Data	AR01	AR03	AR04	AR06	AR07	AR11	AR14	AR26	AR27	AR28	AR29	AR31	AR36	AR40	AR42	AR54	AR55	AR63	AR64	AR71	AR73	AR76	AR85
1	15/04/2002																							
2	17/06/2002	0,16		0,52	19,00		42,00		6,51	64,00	21,40	14,00	208,00	176,00			34,00	192,00	26,00				154,00	127,80
3	07/08/2002	0,08		0,48	22,00		76,20		6,80	149,80	34,60		204,00	144,00			29,60	179,40	22,80				150,00	101,00
4	03/01/2003	0,15	43,60	0,62	21,00	10,66	57,40	13,00	3,55	100,00	14,00	0,24	191,00	202,50	110,00	23,60	33,00	180,00	16,60	174,40	70,00	180,40	178,00	107,60
5	24/02/2003	0,19	210,00	0,44	45,60	25,60	47,00	6,65	4,80	100,00	14,60	1,11	136,00	160,00	46,00	20,00	160,00	25,00	9,80	124,00	61,00	126,00	124,00	94,00
6	15/04/2003	0,05	207,00	0,39	38,60	19,80	48,00	7,50	4,40	118,00	29,80	0,34	150,00	118,00	118,00	26,40	182,00	38,00	10,20	166,00	34,80	144,00	156,00	98,00
7	12/05/2003	0,05	42,00	0,41	33,80	14,40	52,20	9,80	4,60	104,00	20,80	1,52	160,00	110,00	192,00	74,00	180,00	19,80	9,80	168,00	69,20	140,00	144,00	100,00
8	09/06/2003	0,13	26,00	0,58	20,00	15,40	60,20	9,58	2,27	86,00	19,40	2,32	108,00	110,00	185,40	19,60	168,00	22,30	15,80	166,00	72,00	128,00	120,00	54,00
9	02/09/2003	0,04	38,20	0,23		22,00		8,40	5,00	166,00	45,00	1,74	168,00		230,00		192,00	32,00	8,80			112,00	136,00	94,00
10	14/10/2003	0,06	54,00	0,35		12,40		10,60	1,90	140,00	16,80	0,99	240,00		220,00		230,00	32,60	17,80			126,00	148,00	109,60
11	15/09/2004		0,00										0,00						0,00					
12	07/03/2005	0,87	139,92	0,77	49,11	13,69	25,67	9,08	1,89	194,32	7,42	0,45	121,40	235,46	89,88	22,18	17,27	198,39	15,91	159,44	72,25	155,88	238,62	111,74
13	28/09/2005	0,12	79,39	2,10	39,27	15,24	32,91	17,00	3,10	123,54	6,14	0,80	107,94	125,89	71,76	18,58	27,06	128,24	8,30	192,65	72,77	98,21	116,38	53,07
14	29/03/2006	0,12	14,03	0,88	26,95	14,81	24,06	5,67	1,78	78,69	3,40	1,55	50,36	183,02	65,17	14,50	29,59	119,98	0,77	129,85	69,88	104,00	111,69	19,59
15	18/09/2006	0,17	13,38	0,58	94,35	14,49	24,37	5,72	3,59	84,23	21,47	3,63	278,16	143,02	76,79	43,52	25,94	164,02	9,22	139,49	61,57	136,92	148,53	82,11
16	07/03/2007	0,60	14,14	0,82	10,74	6,13	21,06	6,00	7,15	90,34	13,91	2,54	106,13	194,30	25,42	29,30	40,64	136,51	6,04	131,47	56,33	97,45	128,26	89,09
17	17/10/2007	0,20	23,05	0,85	5,06	6,26	56,27	3,87	3,01	38,62	7,31	0,87	66,08	135,34	31,74	24,06	22,08	94,74	3,98	139,55	63,49	106,65	106,71	70,39
18	18/03/2008	0,15	56,80	0,61	19,12	13,77	38,26	16,84	4,99	98,61	12,43	0,81	66,37	132,17	26,71	24,60	41,86	117,12	13,97	116,70	46,43	95,63	121,95	73,35
19	22/09/2008	1,30	15,05	2,79	11,68	0,95	32,44	3,27	1,90	125,72	17,36	7,45	89,78	208,92	59,48	50,27	38,04	124,49	82,78	116,17	48,96	121,27	125,34	61,44
20	16/03/2009	1,42	58,74	3,59	12,38	9,19	15,72	21,87	7,01	49,92	11,24	2,46	64,67	63,32	36,19	12,49	31,48	74,95	5,12	120,34	44,46	9,67	101,75	31,16
21	14/10/2009	0,39	31,15	0,07	9,91	8,40	10,40	7,07	32,37	72,37	16,66	1,05	65,87	640,36	17,91	24,70	26,95	74,18	8,93	99,52	56,55	87,86	99,78	43,88
22	02/06/2010		39,15	0,87	11,80	9,53	9,65	8,01	6,13	95,10	83,40	0,92	83,40	110,27	20,70	17,05	20,87	59,97	3,92	127,00	32,56	75,30	3,99	67,50
23	26/10/2010	0,33	9,88	0,67	5,63	6,76	122,00	4,85	1,97	64,35	7,58	0,63	53,70	126,00	43,95	36,70	20,40	72,20	3,15	25,35	50,35	88,60	97,80	34,75
24	11/06/2011		13,55	1,78	10,15	10,65	12,00	2,94	0,67	59,30	18,90	0,09	81,20	139,00	44,85	37,65	30,85	75,70	2,50	103,00	36,40	32,00	91,80	52,00
25	27/10/2011	0,12	7,88		3,90	3,08	6,14	2,68	1,15	30,30	4,44	0,68	54,50	144,00	38,60	33,10	24,00	79,20	4,08	87,30	39,80	64,00	49,10	21,00
26	23/05/2012	0,35	6,04	0,32	9,95	9,95	11,70	3,49	0,64	72,30	24,00	0,59	110,00	238,00	55,10	34,90	26,00	106,00	83,22	116,00	75,30	95,70	107,00	47,60
27	09/10/2012	0,01	0,14	0,04	0,48	0,03	5,11	0,02	0,01	1,01	0,91	0,01	37,50	88,90	41,90	23,60	0,02	25,30	0,11	26,60	2,44	10,20	21,40	26,60
28	24/05/2013	0,07	8,74	0,21	9,38	5,96	10,60	3,75	0,43	138,00	17,40	0,26	104,00	126,00	48,30	16,30	19,70	34,20	3,63	115,00	33,20	102,00	2,29	57,80
29	02/10/2013	0,14	14,00	0,32	5,42	3,95	6,54	4,91	2,38	58,70	6,60	0,45	57,20	103,00	74,40	11,20	27,90	64,60	6,19	87,60	39,30	44,00	71,70	43,00
30	03/06/2014	0,07	18,20	0,34	7,78	5,92	15,20	6,24	3,27	70,10	16,50	0,21	61,90	68,10	4,03	10,30	14,20	54,80	5,61	71,70	37,20	66,20	79,30	36,70
31	09/10/2014	0,11	7,94	0,40	6,77	3,08	7,36	3,39	1,31	70,40	6,21	0,41	41,80	56,80	15,70	14,10	11,80	45,90	4,02	49,80	34,80	26,20	51,40	19,20
32	05/05/2015	0,11	15,40	0,44	12,80	8,01	10,20	8,44	3,67	78,50	14,00	0,37	23,20	86,00	20,90	12,80	12,30	45,80	4,25	43,50	26,50	38,00	51,30	24,20
33	27/10/2015	0,30	30,00	0,45	6,56	4,55	8,94	3,25	3,90	68,40	11,50	0,34	19,40	72,10	11,20	8,72	13,10	39,90	3,65	33,80	33,70	18,30	27,40	19,90
34	20/05/2016	0,14	5,77	0,59	5,74	3,63	11,30	3,24	2,49	121,00	14,40	0,26	41,10	83,60	20,40	27,60	17,70	43,30	2,16	46,90	27,90	51,60	79,70	53,50
35	13/09/2016	0,12	3,33	0,41	10,40	8,47	8,15	3,29	2,48	85,10	13,40	0,54	38,10	86,10	23,70	22,50	19,10	52,60	5,24	49,80	30,90	34,30	55,80	20,40
36	20/04/2017	0,08	1,18	0,41	0,29	3,21	5,69	5,08	1,14	102,00	10,50	0,09	20,80	39,70	19,00	24,00	16,50	43,70	1,34	36,70	19,10	23,60	54,40	23,10
37	26/09/2017	0,08	1,26	0,91	5,36	1,72	6,01	1,88	0,83	74,20	6,42	0,33	21,20	31,40	16,10	46,40	21,70	51,10	6,62	40,10	36,70	40,80	49,80	17,90
38	03/05/2018			0,47	1,13	4,89	4,17	2,11	0,82	91,00	5,84	0,48	44,30	72,10	21,50	17,10	23,60	36,70	5,67	29,20	46,40	41,90	50,20	14,60
39	26/09/2018			0,77	1,62	4,14	5,60		1,30	81,60	4,69	0,67	27,90	166,00	30,00	6,14	24,50	64,00	5,89	60,20	55,50	45,30	66,00	33,80
40	02/05/2019	1,20	7,40		3,40	4,10	9,50	4,20	2,20	104,00	9,70	1,40	34,70	86,80	18,70	11,20	9,50	56,00	4,90	39,50	28,50	31,90	57,60	21,80
41	25/09/2019		2,20	3,70	2,80		3,70	3,70		116,00	13,10		57,20	74,30	46,40	24,70	24,40	50,30	5,50	46,00	31,10	42,10	35,10	32,20
Média		0,28	34,96	0,82	16,21	9,02	25,51	6,59	3,77	91,42	15,98	1,42	89,87	137,31	59,94	24,68	48,40	78,33	11,36	96,53	46,21	79,51	95,18	56,14
Desvio padrão		0,37	50,81	0,87	18,38	6,04	25,50	4,65	5,16	37,04	14,14	2,51	66,03	99,68	58,56	13,71	60,41	51,13	17,66	50,47	17,91	45,77	51,22	33,07
Coef. de assimetria		2,23	2,60	2,40	2,54	0,85	1,89	1,59	4,82	0,39	3,20	4,07	1,13	3,72	1,83	1,61	2,01	1,06	3,57	0,11	-0,06	0,23	0,32	0,53
Coef. de variação (%)		1,32	1,45	1,07	1,13	0,67	1,00	0,71	1,37	0,41	0,88	1,77	0,73	0,73	0,98	0,56	1,25	0,65	1,56	0,52	0,39	0,58	0,54	0,59
Mediana		0,13	14,60	0,52	10,15	8,21	12,00	5,38	2,49	86,00	13,91	0,67	65,98	125,89	41,90	23,60	25,94	59,97	5,78	103,00	44,46	87,86	99,78	52,00
Máximo		1,42	210,00	3,70	94,35	25,60	122,00	21,87	32,37	194,32	83,40	14,00	278,16	640,36	230,00	74,00	230,00	198,39	83,22	192,65	75,30	180,40	238,62	127,80
Mínimo		0,01	0,00	0,04	0,29	0,03	3,70	0,02	0,01	1,01	0,91	0,01	0,00	31,40	4,03	6,14	0,02	19,80	0,00	25,35	2,44	9,67	2,29	14,60

Manganês (mg/L)																								
Campanha	Data	AR01	AR03	AR04	AR06	AR07	AR11	AR14	AR26	AR27	AR28	AR29	AR31	AR36	AR40	AR42	AR54	AR55	AR63	AR64	AR71	AR73	AR76	AR85
1	15/04/2002																							
2	17/06/2002			0,12	1,48		15,80		0,98	6,20	2,63		3,70	3,60			1,23	4,01	3,35				4,06	4,30
3	07/08/2002		0,00	0,28	1,61		18,40		2,83	14,30	5,60		5,00	4,42			0,92	3,93	3,80				4,15	4,00
4	03/01/2003	0,02	1,94	0,40	1,58	1,21	18,60	2,13	1,52	13,50	4,78	0,14	5,00	5,80	10,00	3,60	1,39	3,86	4,12	3,90	1,05	4,30	4,45	4,50
5	24/02/2003	0,02	4,06	0,32	3,10	3,01	18,00	2,50	2,14	11,20	3,07	0,10	3,24	2,99	5,20	2,59	3,10	1,18	2,50	2,80	0,70	3,26	3,36	3,53
6	15/04/2003	0,01	3,58	0,34	3,85	3,70	18,00	2,43	2,65	14,20	1,70	0,66	4,25	3,93	9,80	3,34	4,20	1,39	4,03	3,83	0,80	4,10	4,15	4,47
7	12/05/2003	0,02	2,28	0,28	2,80	2,85	12,40	3,13	2,18	12,00	4,35	0,34	4,26	4,17	9,00	3,14	4,00	0,77	3,62	3,30	0,96	3,46	3,60	3,50
8	09/06/2003	0,01	1,03	0,25	1,34	2,65	12,60	2,96	1,16	6,80	3,76	0,61	3,80	3,70	7,60	2,45	3,47	0,77	2,40	2,97	0,64	3,26	3,10	2,80
9	02/09/2003	0,01	1,61	0,29		6,60		3,20	4,95	10,40	9,00	1,10	6,20		9,20		4,00	0,93	3,56			3,48	3,89	4,96
10	14/10/2003	0,01	2,71	0,25		1,22		1,60	0,90	10,40	3,80	0,88	5,20		8,80		3,85	0,93	2,83			3,20	3,52	3,82
11	15/09/2004											0,00												
12	07/03/2005		3,76	0,03	2,27	2,22	16,25	7,09	2,21	16,90	2,43	0,56	4,05	5,82	6,44	4,04	1,46	4,42	2,36	4,13	1,21	4,44	5,04	4,61
13	28/09/2005		2,49	0,22	3,94	1,18	13,44	1,17	0,75	10,83	1,16		3,18	3,53	6,93	3,38	0,89	3,13	0,84	3,37	1,13	2,82	3,12	2,55
14	29/03/2006		0,33		4,76	2,49	13,67	0,66	0,94	7,78	2,32	0,17	2,19	3,56	5,18	2,65	0,89	2,95	2,89	3,17	0,78	3,11	3,40	2,44
15	18/09/2006		0,63	0,30	18,38	3,02	14,56	3,84	3,44	13,38	4,89	0,54	6,94	4,91	7,63	4,73	0,91	4,40	3,47	3,80	0,47	4,15	4,59	4,06
16	07/03/2007		0,37	0,18	1,04	0,35	12,92	0,60	1,52	7,14	3,66	0,55	3,34	3,60	3,47	3,30	0,96	3,45	1,18	2,85	0,74	2,69	3,66	3,48
17	17/10/2007		0,62		0,34	0,44	15,51	0,61	0,20	7,40	2,10		2,84	3,54	4,14	2,89	0,32	2,90	2,76	3,12	0,56	3,10	3,19	3,04
18	18/03/2008		1,90	0,31	2,12	0,85	16,73	1,40	1,11	8,24	2,56	0,23	3,24	3,83	2,74	2,62	2,08	3,48	2,71	3,25	0,64	3,10	4,08	3,60
19	22/09/2008		0,46		0,21		9,82		1,17	11,13	3,15		3,26	6,09	5,84	3,58		2,31	1,63	2,76		3,74	4,04	3,36
20	11/03/2009		2,16		0,98	0,74	8,51	3,89	0,42	3,32	0,87		2,19	2,37	2,42	1,60	0,69	1,86	1,66	1,88	0,47	0,11	2,34	0,74
21	14/10/2009		0,19	1,18	0,80	0,72	8,81	0,49	5,93	3,80	4,23	0,27	2,63	8,25	3,04	2,93	0,82	2,85	3,14	2,45	0,87	2,56	3,02	2,44
22	03/05/2010		1,60	0,51	0,91	0,66	9,92	0,80	0,57	6,96	2,93	0,27	2,93	3,36	3,30	2,28	0,79	2,02	1,64	2,88	2,59	2,24	1,12	2,67
23	26/10/2010	0,01	0,38	0,25	0,61	1,02	6,39	1,12	0,38	5,91	1,14	0,78	3,20	5,69	6,07	3,84	0,84	3,61	2,81	2,66	0,73	3,21	3,24	2,21
24	18/05/2011		0,39	0,27	1,15		11,15	0,57	1,02	5,19	3,38	0,50	4,04	5,12	5,27	3,75	0,96	3,00	1,46	2,88	3,92	1,73	3,57	3,08
25	01/11/2011	0,04	0,40	0,05	0,50	0,47	9,03	0,50	0,30	3,37	0,92	0,32	2,81	5,55	6,01	3,94	0,98	3,61	2,99	2,46	2,84	2,72	3,02	2,40
26	28/05/2012	0,04	0,28	0,36	1,33	1,33	12,60	1,84	1,48	8,26	5,97	0,73	6,84	8,79	9,14	6,47	1,03	5,38	3,00	3,72	1,44	3,94	4,33	4,21
27	09/10/2012		1,52		2,12	2,07	10,70	2,30	1,88	4,87	5,25		7,70	4,62	11,20	7,15	0,82	3,13	2,54	6,03	0,65	4,81	6,88	6,71
28	11/06/2013		0,40	0,36	1,33	1,30	10,20	1,81	1,13	12,40	4,27	0,77	5,59	6,13	6,91	3,56	0,77	3,49	1,69	3,35	0,41	4,84	2,84	4,43
29	02/10/2013	0,01	0,52	0,44	0,58	0,52	8,84	0,71	0,42	6,89	1,41	0,77	2,37	4,03	5,42	2,68	1,14	3,01	2,69	2,22	0,48	1,86	2,51	2,21
30	03/06/2014		0,63	0,35	0,86	0,83	8,69	1,00	0,55	5,58	1,94	0,16	3,06	2,30	1,23	1,48	0,78	2,06	1,06	2,43	0,48	2,28	2,95	2,12
31	09/10/2014	0,01	0,47	0,29	0,78	0,62	8,51	0,81	0,55	6,71	1,80	0,09	2,94	2,78	4,32	2,14	0,85	5,61	1,69	2,37	0,41	1,19	2,78	2,28
32	05/05/2015	0,00	0,59	0,28	1,12	0,94	8,60	1,17	0,66	6,05	1,77	0,30	1,73	2,75	3,72	2,16	0,75	2,21	1,51	1,68	0,46	1,55	1,97	1,27
33	26/10/2015	0,01	1,07	0,22	0,78	0,43	9,38	0,45	0,59	4,80	1,15	0,32	1,42	2,01	2,25	1,58	0,80	1,90	1,14	1,48	0,52	1,07	1,35	1,36
34	20/05/2016	0,01	0,30	0,33	0,70	0,57	7,39	0,53	0,40	8,26	1,77	0,08	2,61	3,81	4,38	3,42	0,75	2,38	1,81	1,87	0,28	2,72	3,76	4,78
35	13/09/2016	0,01	0,34	0,21	1,20	1,06	9,63	0,99	0,64	6,50	2,43	0,93	2,99	4,08	5,14	3,26	0,82	2,89	2,04	2,37	0,42	2,11	2,65	2,09
36	20/04/2017		0,07	0,18	0,32	0,45	7,96	0,86	0,50	7,81	1,86	0,04	2,32	3,40	3,18	3,73	0,91	2,54	2,10	2,21	0,29	1,56	2,78	2,65
37	26/09/2017		0,12	0,61	1,15	0,88	7,57	1,06	0,22	5,69	1,07	1,39	2,07	3,63	3,77	4,63	0,91	2,57	2,03	2,04	0,35	2,12	2,57	2,19
38	03/05/2018			0,14	0,22	0,68	7,05	0,73	0,26	5,95	1,06	0,14	2,92	3,92	3,99	3,71	0,79	2,71	1,67	2,13	0,27	1,87	2,66	2,09
39	26/09/2018			0,26	0,28	0,59	9,36		0,15	5,94	0,43	0,09	2,25	4,37	4,84	2,80	1,00	3,05	1,59	2,13	0,43	2,26	2,51	2,07
40	02/05/2019	0,01	0,29	0,20	0,42	0,39	7,76	0,68	0,36	4,51	1,27	0,41	1,87	3,66	4,12	3,81	0,50	2,14	0,88	1,50	0,33	1,44	1,79	1,63
41	25/09/2019		0,11	0,10	0,59	0,36	6,20	0,60	0,40	7,02	2,14	0,85	3,17	3,52	6,10	3,79	0,70	2,42	1,47	1,70	0,32	1,92	2,46	2,30
Média		0,01	1,10	0,30	1,83	1,38	11,38	1,61	1,27	8,14	2,82	0,46	3,57	4,26	5,62	3,34	1,37	2,80	2,32	2,79	0,84	2,77	3,29	3,10
Desvio padrão		0,01	1,12	0,20	3,00	1,29	3,72	1,39	1,27	3,37	1,77	0,34	1,50	1,47	2,46	1,18	1,10	1,16	0,91	0,91	0,79	1,11	1,05	1,22
Coef. de assimetria		1,58	1,31	2,89	4,92	2,33	0,62	2,17	2,13	0,80	1,32	0,76	1,16	1,32	0,50	1,29	1,79	0,25	0,25	1,28	2,68	-0,06	0,77	0,58
Coef. de variação (%)		0,77	1,02	0,65	1,64	0,93	0,33	0,86	1,00	0,41	0,63	0,76	0,42	0,35	0,44	0,35	0,80	0,41	0,39	0,33	0,94	0,40	0,32	0,39
Mediana		0,01	0,56	0,28	1,12	0,88	9,92	1,06	0,90	7,02	2,43	0,34	3,18	3,83	5,20	3,34	0,91	2,89	2,36	2,76	0,60	2,72	3,19	2,80
Máximo		0,04	4,06	1,18	18,38	6,60	18,60	7,09	5,93	16,90	9,00	1,39	7,70	8,79	11,20	7,15	4,20	5,61	4,12	6,03	3,92	4,84	6,88	6,71
Mínimo		0,00	0,00	0,03	0,21	0,35	6,20	0,45	0,15	3,32	0,43	0,00	1,42	2,01	1,23	1,48	0,32	0,77	0,84	1,48	0,27	0,11	1,12	0,74

		Sulfatos (mg/L)																						
Campanha	Data	AR01	AR03	AR04	AR06	AR07	AR11	AR14	AR26	AR27	AR28	AR29	AR31	AR36	AR40	AR42	AR54	AR55	AR63	AR64	AR71	AR73	AR76	AR85
1	15/04/2002																							
2	17/06/2002	13,00	96,00	12,00	174,00	84,00	1480,00	110,00			205,00	24,00	1.360,00	1.520,00	732,00									1.200,00
3	07/08/2002	6,70	0,00	24,00	159,00		1720,00		315,00	1.275,00	483,00		1.276,00	1.346,00	0,00		182,00	185,00	403,00				1.144,00	886,00
4	03/01/2003	6,00	190,00	20,00	121,00	110,00	1455,00	248,00	184,00	932,00	426,00	35,00	1.224,00	1.356,00	1.230,00	566,00	273,00	1.320,00	502,00	1.240,00	454,00	1.170,00	1.246,00	1.088,00
5	24/02/2003	4,00	315,00	17,00	300,00	297,00	1625,00	250,00	245,00	830,00	270,00	34,00	1.025,00	1.362,00	635,00	510,00	1.320,00	265,00	387,50	740,00	375,00	1.030,00	1.040,00	1.052,00
6	15/04/2003	7,00	277,00	22,00	510,00	337,00	1530,00	252,00	290,00	940,00	168,00	37,00	1.254,00	1.296,00	632,00	650,00	1.342,00	277,00	492,00	1.162,00	356,00	1.240,00	1.150,00	1.330,00
7	12/05/2003	6,00	301,00	23,00	344,00	337,00	1550,00	269,00	294,00	1.290,00	520,00	39,00	1.310,00	1.668,00	2.020,00	679,00	1.510,00	183,00	575,00	1.360,00	411,00	1.250,00	1.330,00	1.366,00
8	09/06/2003	4,00	301,00	25,00	30,00	302,00	1480,00	335,00	71,00	755,00	390,00	39,00	964,00	1.622,00	1.700,00	932,00	1.270,00	186,00	426,00	1.040,00	397,00	1.010,00	1.012,00	766,00
9	02/09/2003	7,00	238,00	29,00		748,00		419,00	586,00	1.601,00	928,00	130,00	1.512,00		2.100,00		1.486,00	210,00	540,00		971,00	1.117,00	1.342,00	
10	14/10/2003	1,00	381,00	24,00		138,00		217,00	119,00	1.192,00	473,00	53,00	1.639,00		1.771,00		1.560,00	239,00	522,00		1.016,00	1.082,00	1.078,00	
11	15/09/2004				0,00																			
12	07/03/2005	16,80	260,20	26,10	240,40	206,80	1478,00	554,00	198,70	1.219,00	182,60	46,10	666,40	1.807,00	861,50	556,00	175,50	1.200,00	427,10	993,50	344,60	955,00	1.187,00	1.269,00
13	28/09/2005	18,70	337,20	26,00	356,20	117,20	1092,00	115,30	96,40	873,50	100,60	28,00	708,50	1.051,00	836,00	518,80	170,00	951,80	207,60	1.072,00	509,20	719,60	708,10	532,00
14	29/03/2006	6,90	52,20	17,30	374,20	203,60	667,20	63,70	98,50	663,00	186,90	28,10	401,65	1.496,00	781,00	334,70	218,20	989,00	378,00	712,80	450,40	803,00	166,60	614,50
15	18/09/2006		68,10	9,70	1358,00	276,20	795,00	314,20	256,70	825,50	530,40	43,60	1.808,00	1.393,00	956,50	729,50	163,00	861,00	334,80	888,50	281,20	825,50	1.044,00	977,50
16	07/03/2007	8,10	54,80	16,10	119,50	57,30	977,50	89,20	163,10	666,00	198,10	30,00	398,00	1.238,00	566,50	807,50	120,70	1019,00	189,20	830,60	312,70	756,80	1.002,00	900,30
17	17/10/2007		99,10	5,50	72,60	71,30	1167,00	76,20	53,80	492,80	164,10	18,80	401,30	1.421,00	407,60	340,40	127,70	754,50	320,90	828,10	375,50	639,20	623,60	662,90
18	18/03/2008	1,10	347,00	12,20	205,00	125,80	1293,20	145,40	107,60	747,50	194,50	21,00	407,40	1.191,00	252,30	304,40	160,50	803,40	244,60	582,70	235,60	801,50	978,70	758,10
19	22/09/2008	2,40	59,70	11,60	61,60	233,20	1374,00	124,50	127,00	924,30	268,20	39,30	536,60	1.348,00	889,30	502,80	160,80	941,50	484,20	532,70	357,00	842,90	872,40	677,60
20	16/03/2009	4,90	308,00	5,60	125,00	104,00	523,00	411,00	24,40	119,40	15,50	16,30	232,90	526,90	297,00	214,00	168,10	207,90	126,40	391,30	192,20	251,40	446,60	116,30
21	14/10/2009	16,00	174,00	16,00	99,00	93,00	856,00	102,00	819,00	638,00	416,00	41,00	626,00	3.146,00	418,00	495,00	189,00	733,00	333,00	660,00	354,00	713,00	823,00	732,00
22	02/06/2010	7,15	211,50	22,82	221,23	174,49	1069,43	152,15	116,05	629,68	595,86	55,41	595,86	971,39	501,66	447,37	193,52	577,56	267,35	770,48	272,23	574,35	765,38	682,36
23	26/10/2010	2,48	47,24	20,03	229,64	207,81	1301,48	139,28	49,39	500,92	124,01	67,88	442,06	1.150,01	704,66	581,66	168,14	714,95	362,78	562,24	348,51	664,99	563,48	388,96
24	11/06/2011	5,19	64,20	14,97	328,38	176,68	1139,73	83,12	215,68	460,99	365,28	76,95	740,42	1.203,00	562,73	519,19	201,00	663,91	248,19	675,02	384,02	339,64	719,48	668,44
25	27/10/2011	4,27	42,65	22,38	100,84	131,23	936,39	122,22	46,10	309,52	95,08	77,37	490,63	1.113,38	655,68	534,67	177,72	683,67	350,27	623,99	298,00	519,03	435,88	425,18
26	23/05/2012	14,22	44,54	45,02	198,61	198,61	1162,32	252,33	436,16	733,88	628,97	135,07	1.028,24	1.732,22	999,11	731,23	163,63	830,69	463,03	735,73	241,24	674,33	815,48	870,40
27	09/10/2012	10,44	70,67	32,08	592,17	465,39	978,42	275,00	95,09	156,71	239,02	95,35	616,02	1.275,71	716,82	467,70	158,14	717,52	326,69	599,10	373,01	447,16	575,11	382,34
28	24/05/2013	0,90	40,40	21,08	756,30	326,91	1098,08	455,70	326,03	1.035,67	400,85	236,01	939,81	1370,39	973,28	415,10	139,88	655,55	292,66	667,50	276,11	672,28	743,78	783,89
29	02/10/2013	2,21	55,14	22,93	246,68	195,82	856,82	180,17	96,79	538,00	147,42	82,95	431,47	868,46	837,67	312,27	175,88	561,10	307,27	548,91	203,82	385,36	553,53	506,78
30	03/06/2014	10,70	69,97	9,47	432,60	393,08	980,84	253,13	68,74	538,37	210,74	38,28	500,50	500,50	120,19	232,55	165,46	398,43	165,05	538,37	289,35	492,67	572,95	490,63
31	09/10/2014	8,65	56,60	9,67	324,34	378,67	993,19	183,99	168,76	705,07	257,25	33,75	501,74	552,37	491,04	338,34	147,76	549,07	207,86	523,14	263,01	212,39	613,70	553,19
32	05/05/2015	18,93	84,38	36,34	314,05	291,82	935,98	225,15	94,67	577,89	177,81	67,09	247,37	635,21	407,07	295,94	155,17	468,40	206,21	339,98	226,79	342,04	425,59	252,31
33	27/10/2015	17,29	133,36	26,34	149,41	88,08	881,65	83,14	75,73	375,38	149,00	51,86	209,92	497,21	229,26	266,31	170,40	372,91	150,23	296,76	257,25	230,50	253,13	239,55
34	20/05/2016	5,88	28,13	22,12	274,26	120,79	898,88	125,60	84,19	689,95	161,44	75,11	260,94	525,35	362,45	413,95	131,18	458,95	222,44	438,40	195,60	346,91	442,90	595,40
35	13/09/2016	5,07	32,44	26,88	631,16	338,45	869,60	303,88	153,34	487,20	235,46	91,77	457,35	809,90	587,50	442,00	194,78	579,38	269,80	434,35	257,56	455,74	471,85	393,76
36	20/04/2017	7,41	19,76	20,58	223,50	222,68	859,00	143,24	137,06	715,36	259,31	40,75	352,74	596,82	546,60	613,70	141,18	488,98	269,19	416,54	176,99	272,48	505,86	466,75
37	26/09/2017	13,99	34,57	53,10	691,08	705,89	2106,57	561,01	66,27	573,35	141,18	123,89	253,55	484,45	502,98	698,02	183,57	537,14	25,84	438,77	263,42	447,41	500,51	402,96
38	03/05/2018			22,23	258,07	345,33	848,72	210,33	83,97	626,04	132,54	91,38	579,12	866,00	674,61	470,05	128,01	550,31	268,36	455,64	246,14	433,41	526,02	407,48
39	26/09/2018			28,40	59,68	56,80	790,27		20,58	522,73	42,81	32,10	287,30	1.137,66	472,93	479,10	153,94	549,89	196,33	470,46	303,76	399,25	492,27	385,69
40	02/05/2019	0,82	44,04	24,28	193,04	142,00	821,14	150,23	65,03	625,63	181,52	54,74	355,21	757,76	438,77	192,63	128,01	437,12	126,36	390,61	221,44	366,32	466,34	401,72
41	25/09/2019	9,05	32,93	53,51	125,95	884,12	852,01	198,39	176,98	931,86	307,05	224,73	603,41	816,61	1.133,55	583,65	165,46	540,84	202,51	469,22	232,14	439,59	607,52	551,54
Média		7,84	134,37	22,47	289,49	254,90	1120,09	221,45	174,36	729,43	281,35	64,62	708,83	1152,76	743,70	490,73	364,19	596,38	311,10	669,41	306,74	640,83	737,47	697,37
Desvio padrão		5,31	116,78	10,84	254,42	189,10	337,72	128,45	160,07	311,01	186,02	49,98	430,57	513,13	478,00	174,37	463,85	286,95	130,75	266,88	82,15	295,31	297,47	330,49
Coef. de assimetria		0,71	0,82	1,17	2,34	1,78	0,84	1,14	2,38	0,62	1,41	2,13	0,98	1,46	1,39	0,36	1,98	0,49	0,17	0,96	0,51	0,47	0,28	0,54
Coef. de variação (%)		67,79	86,90	48,23	87,89	74,19	30,15	58,01	91,80	42,64	66,12	77,34	60,74	44,51	64,27	35,53	127,36	48,12	42,03	39,87	26,7			

Ferro dissolvido (mg/L)																								
Campanha	Data	AR01	AR03	AR04	AR06	AR07	AR11	AR14	AR26	AR27	AR28	AR29	AR31	AR36	AR40	AR42	AR54	AR55	AR63	AR64	AR71	AR73	AR76	AR85
36	20/04/2017						0,61	4,91		74,88	6,32		12,18	17,80	4,15			15,85		20,75	12,90	11,55		1,35
37	26/09/2017						0,06			6,77	0,31					1,57	0,00	2,62		2,27	2,31	2,63	3,84	0,22
38	03/05/2018			0,17	0,41	0,98	0,52	1,30	0,47	72,83	4,85	0,25	10,02	9,67	4,91	1,89	16,95	22,86	0,36	26,40	34,97	31,67	42,52	10,91
39	26/09/2018						1,60		0,49	6,31	0,00		12,46	14,70	1,18	0,29	21,44	37,41	3,81	28,64	38,13	27,45	42,00	11,23
40	02/05/2019	0,70	6,40		1,30	3,00	1,70	2,50	0,70	93,80	6,70		16,90	11,70	2,90	1,50	4,70	30,60	3,30	23,30	17,20	21,20	44,60	1,70
41	25/09/2019		1,00	1,30	1,00			2,20		68,60	6,40		11,40	9,10	3,30	3,00	19,60	30,70	3,10	17,80	18,10	31,10	25,40	4,70
Média		0,70	3,70	0,74	0,90	1,99	0,90	2,73	0,55	53,87	4,10	0,25	12,59	12,59	3,29	1,65	12,54	23,34	2,64	19,86	20,60	20,93	31,67	5,02
Desvio padrão			3,82	0,80	0,45	1,43	0,72	1,54	0,13	37,66	3,12		2,59	3,64	1,41	0,97	9,58	12,57	1,55	9,44	13,60	11,70	17,36	4,92
Coef. de assimetria					-0,91		0,22	1,34	1,71	-0,72	-0,81		1,47	0,71	-0,67	-0,03	-0,62	-0,87	-1,77	-1,59	0,20	-0,82	-1,38	0,62
Coef. de variação (%)			103,20	108,03	49,89	71,99	80,26	56,48	23,18	69,92	76,16		20,56	28,92	42,93	58,89	76,42	53,87	58,72	47,56	66,03	55,88	54,82	98,02
Mediana		0,70	3,70	0,74	1,00	1,99	0,61	2,35	0,49	70,71	5,58	0,25	12,18	11,70	3,30	1,57	16,95	26,73	3,20	22,03	17,65	24,33	42,00	3,20
Máximo		0,70	6,40	1,30	1,30	3,00	1,70	4,91	0,70	93,80	6,70	0,25	16,90	17,80	4,91	3,00	21,44	37,41	3,81	28,64	38,13	31,67	44,60	11,23
Mínimo		0,70	1,00	0,17	0,41	0,98	0,06	1,30	0,47	6,31	0,00	0,25	10,02	9,10	1,18	0,29	0,00	2,62	0,36	2,27	2,31	2,63	3,84	0,22