



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO
AMBIENTAL

IVANIR MEDEIRO DE ÁVILA

AVALIAÇÃO DE MANANCIAL PARA CAPTAÇÃO E ANÁLISE DE RISCOS DO
SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE MARIANA PIMENTEL/RS

Porto Alegre

2024

IVANIR MEDEIRO DE ÁVILA

AVALIAÇÃO DE MANANCIAL PARA CAPTAÇÃO E ANÁLISE DE RISCOS DO
SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE MARIANA PIMENTEL/RS

Dissertação de Mestrado submetida ao
Programa de Pós-Graduação em
Recursos Hídricos e Saneamento
Ambiental do Instituto de Pesquisas
Hidráulicas – IPH.

Orientador: Profa. Dra. Maria Cristina de
Almeida Silva

Co-orientador: Prof. Dr. Alfonso Risso

Porto Alegre

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

CIP - Catalogação na Publicação

Medeiros de Avila, Ivanir

AVALIAÇÃO DE MANANCIAL PARA CAPTAÇÃO E ANÁLISE DE RISCOS DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE MARIANA PIMENTEL/RS / Ivanir Medeiros de Avila. -- 2024.

144 f.

Orientadora: Maria Cristina de Almeida Silva de Almeida Silva.

Coorientador: Alfonso Risso.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2024.

1. Sistema de Abastecimento de Água. 2. Avaliação de Manancial para Captação. 3. Análises de Riscos. 4. Qualidade de água. I. de Almeida Silva, Maria Cristina de Almeida Silva, orient. II. Risso, Alfonso, coorient. III. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

IVANIR MEDEIRO DE ÁVILA

AVALIAÇÃO DE MANANCIAL PARA CAPTAÇÃO E ANÁLISE DE RISCOS DO
SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE MARIANA PIMENTEL/RS

Dissertação de Mestrado submetida ao
Programa de Pós-Graduação em Recursos
Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto
de Pesquisas Hidráulicas – IPH. Orientador:
Profa. Dra. Maria Cristina de Almeida Silva
Co-orientador: Prof. Dr. Alfonso Risso

Aprovada em: Porto Alegre, RS, 31 de janeiro de 2024.

BANCA EXAMINADORA:

Fernando Mainardi Fan
UFRGS - Instituto de Pesquisas Hidráulicas

Fernando Jorge Corrêa Magalhães Filho
UFRGS - Instituto de Pesquisas Hidráulicas

José Carlos Alves Barroso Júnior
Universidade Federal do Ceará

DEDICATÓRIA

À minha mãe, Notely (in memoriam) mesmo sendo analfabeta sempre me incentivou a estudar e perseverar em meus objetivos, com certeza, lá de cima, continua a iluminar os caminhos que trilho em prol dos meus sonhos. Mãe; espero que esteja orgulhosa de mim.

AGRADECIMENTOS

No final dessa dissertação tudo é omitindo: a extensa caminhada para chegar até esse momento, tantas noites em claro estudando. Além de esconder, normalmente um número muito grande de contribuições, sugestões, apoios, comentários ou até mesmo as críticas foram muito bem-vindas. Pois sem a ajuda de tantas pessoas, com toda a certeza seria bem pior chegar a qualquer resultado honrado de menção.

Acima de tudo gostaria de agradecer primeiramente a Deus, por estar ao meu lado e me dar discernimento nessa caminhada.

Agradecer a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas e ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

A minha orientadora Professora Dr^a. Maria Cristina de Almeida Silva pelo suporte e todas as contribuições para a elaboração do trabalho ao co-orientador, Prof. Alfonso Risso.

A todos os Professores que colaboraram, contribuído e agregando valor a esse trabalho, assim como os meus colegas e técnicos do IPH que me ajudaram e muito nas atividades de campos e de laboratório (Anselmo, Antônio, Aron, Cassio, Guilherme, Jessica, Leonel, Loudi, Pedro, Rodrigo, entre outros...), sem vocês tudo seria mais difícil.

Aos meus ex-colegas e colaboradores da CORSAN de Porto Alegre (André, Esther, Jean, Lariane, Rafael, entre outros...) e a US (Unidade de Saneamento) do Município de Mariana Pimentel (Leticia, Marcos, ...), pela recepção e tensão e disposição em todos os momentos que visitei a US. Ao município de Mariana Pimentel e de todos aqueles que de alguma forma envolveram-se nessa pesquisa.

Por fim, não menos importante, muito pelo contrário, toda minha família que de alguma forma estiveram envolvidas neste trabalho, sem as quais nada disso seria possível. Em especial a minha esposa Tania Marli Sória por estar ao meu lado com muita paciência e amor em mais essa etapa da minha vida.

Enfim, agradeço a todos aqueles que direta ou indiretamente estiveram de alguma forma envolvida nessa pesquisa acadêmica, o meu muito obrigado por fazer parte da minha formação.

RESUMO

Cada vez mais se evidencia a preocupação com a quantidade e com a qualidade da água ofertada à população, e essa abordagem é ainda mais necessária nos sistemas de pequeno porte. No Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) de Mariana Pimentel/RS verificou-se a realidade do município em relação ao manancial utilizado para captação com risco de desabastecimento. A comunidade Marianense já enfrentou episódios de falta de água, sendo utilizado caminhão pipa para atender a população urbana. Assim sendo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar um ponto de captação alternativo para o Sistema de Abastecimento de Água (SAA); e realizar a Análise de Risco do sistema atual. As atividades iniciaram a partir dos dados do PMSB e das informações disponibilizado pela Companhia Rio-grandense de Saneamento (CORSAN), a prestadora do serviço. Igualmente, realizou-se atividade de campo; levantamento topográfico no entorno da barragem (açude Linha Preta), atual ponto de captação; e do ponto alternativo, localizado no rio Ribeiro. Foi realizada batimetria no Açude, medição de vazão do rio e coleta de água em ambos os mananciais, para análises. Realizou-se também análise de risco para identificar prováveis perigos e eventos perigosos no SAA, apontando as probabilidades de ocorrência e a severidade inerente a cada perigo, considerando o seu impacto na saúde pública. Utilizou-se o checklist preenchido *in loco* para a identificação dos perigos e caracterização de riscos e, posteriormente, foi construída a matriz de riscos, através da metodologia da árvore de falhas, para avaliação de causas e consequências de ocorrência de um evento crítico. No levantamento topográfico e batimétrico do Açude, após melhorias na barragem, observou que seu volume, passou de 400m³ para 1000m³. As medições de vazão média do Rio tiveram valores superiores a 100L/s, o que representa mais de 20 vezes a vazão do Açude, sendo assim um possível ponto de captação. Já análises dos parâmetros do Índice de Qualidade da Água (IQA) indicaram que a qualidade da água tanto no Açude quanto no Rio é classificada como boa. Entre os parâmetros analisados, destaca-se o fósforo total, em ambos os mananciais, com algum valor acima do estabelecido para enquadramento em Classe três, pela Resolução CONAMA 357/2005. Acredita-se que a sua presença seja decorrente da utilização de fertilizantes nas culturas agrícolas presentes na bacia. Na análise de risco não foram identificados riscos extremos, apenas dois riscos graves (ausência de proteção na entrada da tubulação e a presença de sedimento dentro da mesma inviabilizando a captação de água bruta), reforçando a necessidade de gestão e especial atenção. Os demais riscos identificados são considerados leves ou moderados, com a necessidade de gerenciamento. As características físicas e as práticas operacionais foram fundamentais para o entendimento do sistema, reconhecendo seu potencial, bem como suas limitações e deficiências.

Palavras-chaves: Sistema de Abastecimento de Água; Avaliação de Manancial para Captação; Análises de Riscos, Qualidade de água.

SUMMARY

Concern about the quantity and quality of water offered to the population is increasingly evident, and this approach is even more necessary in small systems. In the Municipal Basic Sanitation Plan of Mariana Pimentel/RS, the reality of the municipality was verified regarding the water source used for water collection with a risk of shortages. The Marianense community has already faced episodes of water shortages, with water trucks being used to serve the urban population. Therefore, the present work aims to evaluate an alternative collection point for the Water Supply System and carry out a Risk Analysis of the current system. The activities began based on PMSB data and information made available by Companhia Rio-grandense de Saneamento (CORSAN), the service provider. Likewise, field activities were carried out: a topographic survey around the dam (Linha Preta dam), the current catchment point, and the alternative point, located on the Ribeiro River. Bathymetry was carried out in the dam, and river flow measurement and water collection were used for analysis at both sources. A risk analysis was also carried out to identify probable hazards and dangerous events in the SAA, pointing out the probabilities of occurrence and the severity inherent to each hazard, considering its impact on public health. The checklist completed on-site was used to identify hazards and characterize risks, and subsequently, the risk matrix was constructed using the fault tree methodology to evaluate the causes and consequences of the occurrence of a critical event. In the topographic and bathymetric survey of the dam, after improvements to the dam, it was observed that its volume increased from 400m³ to 1000m³. Measurements of the river's average flow had values above 100L/s, representing more than 20 times the flow of the dam, making it a possible capture point. Analyzing the Water Quality Index (WQI), parameters indicated that the water quality in both the reservoir and the river is classified as good. Among the parameters analyzed, total phosphorus stands out in both sources, with some value above that established for classification in Class Three by CONAMA Resolution 357/2005. It is believed that its presence is due to using fertilizers in crops in the basin. In the risk analysis, no extreme risks were identified. Only two serious risks (lack of protection at the entrance to the pipe and the presence of sediment inside it, making it impossible to capture raw water) reinforce the need for management and special attention. The other risks identified are considered mild or moderate, requiring management. The physical characteristics and operational practices were fundamental to understanding the system and recognizing its potential, as well as its limitations and deficiencies.

Keywords: Water Supply System; Source Assessment for Intake; Risk Analysis; Water Quality.

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AIA	– Associação Internacional da Água (IWA)
CDC	– Centro de Controle e Prevenção de Doenças
CORSAN	– Companhia Rio-grandense de Saneamento
DBO	– Demanda Bioquímica de Oxigênio
ETA	– Estação de Tratamento de Água
FT	– Fósforo Total
IQA	– Índice de Qualidade da Água
ISH-U	– Índice de Segurança Hídrico Urbano
MS	– Ministério da Saúde
NT	– Nitrogênio Total
OD	– Oxigênio Dissolvido
ODM	– Objetivos de Desenvolvimento do Milênio
ODS	– Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
OMS	– Organização Mundial da Saúde (WHO)
ONU	– Organização das Nações Unidas
OPS	– Organização Pan-Americana de Saúde
pH	– Potencial Hidrogeniônico
PMSB	– Plano Municipal de Saneamento Básico
PNSH	– Plano Nacional de Segurança Hídrica
PSA	– Plano de Segurança da Água
Q	– Vazão
RT	– Resíduo Total
SAA	– Sistema de Abastecimento de Água
UNESCO	– Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura.
US	– Unidade de Saneamento

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Resume o Sistema de Abastecimento de Água	23
Figura 2 – Ilustrações esquemática das etapas do tratamento convencional	25
Figura 3 – Resume os componentes a serem considerados na gestão de risco no SAA ...	26
Figura 4 – Classificação da água doce superficial	32
Figura 5 – Enquadramento e usos da água doce superficial	33
Figura 6 – Resume as etapas do Plano de Segurança da Água.....	39
Figura 7 - Princípios e conceitos de múltiplas barreiras e boas práticas	40
Figura 8 - Os 7 Princípios do APPCC.	42
Figura 9 - Procedimento de aplicação da árvore de decisão.....	44
Figura 10 - Mapa de localização da área de estudo.....	53
Figura 11 - Fluxograma das principais etapas dos procedimentos metodológicos ...	55
Figura 12 - Abrangência municipal e estimativa de massa d'água inserida.	58
Figura 13 - Localização dos principais elementos do SAA Mariana Pimentel	59
Figura 14 - Localização do ponto de captação de água bruta.....	60
Figura 15 - Componentes do sistema de captação, (a) barramento de nível, (b) estrutura para retenção de sólidos e (c) régua para nível d'água.	62
Figura 16 – Mapa dos municípios com necessidade de um novo manancial para captação.....	63
Figura 17 – Barragem de acumulação d'água (açude Linha Preta)	64
Figura 18 - Imagens de satélite mostra a ETA os locais de coletas das amostras d'água...65	
Figura 19 – Levantamento topográfico, do açude Linha Preta utilizando GPS-RTK	66
Figura 20 – Batimetria do açude Linha Preta utilizando RTK acoplado ao ADCP (M9).....	67
Figura 21 – Sonda marca Horiba U-52 Multiparameter Meter (a=açude) (c=rio)	68
Figura 22 – Levantamento do perfil topo-batimétrico (a) e medição da descarga líquida (b).....	69
Figura 23 - Cartela da marca Colilert para análise (meio de cultura) de coliformes totais e fecais	71
Figura 24 – Bacia hidrográfica do rio Ribeiro e do açude Linha Preta (ponto de captação).....	72
Figura 25 – Uso e ocupação do solo na bacia de captação do açude Linha Preta, com criação de animais.....	73

Figura 26 - a) Imagem de 08/2020 - solo sem vegetação, b) Imagem de 08/2023 - solo com vegetação.	73
Figura 27 - Estação de Tratamento de Água de Mariana Pimentel.....	74
Figura 28 - Filtro Russo (circular) construído em alvenaria (ETA).....	75
Figura 29 – Os reservatórios 01, 02 e 03 de alvenaria apoiado e o 08 de inox elevado.....	75
Figura 30 – Reservatórios 04 e 05 de alvenaria apoiado	76
Figura 31 – Imagem do SAA de Mariana Pimentel.	77
Figura 32 - Diagrama de fluxo SAA de Mariana Pimentel	79
Figura 33 – Com as curvas batimétrica do açude Linha Preta	96

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curvas médias de variação dos parâmetros de qualidade da água para o cálculo do IQA.....	30
Gráfico 2 – Série temporal de vazão do Rio Ribeiro	94
Gráfico 3 – Perfil transversal do Rio Ribeiro.....	95
Gráfico 4 – Comparativo das análises de Resíduo Total do Açude Linha Preta e no Rio Ribeiro, durante o período avaliado.	100
Gráfico 5 – Comparativo das análises de Fósforo Total do Açude Linha Preta e no Rio Ribeiro, durante o período avaliado.	101
Gráfico 6 – Comparativo das análises de Nitrogênio Total do açude Linha Preta e no rio Ribeiro, durante o período avaliado.	102
Gráfico 7 – Valores de Turbidez medidos no açude Linha Preta e no rio Ribeiro, durante o período avaliado.....	104
Gráfico 8 – Comparativo das medições de pH do açude Linha Preta e do rio Ribeiro, no período avaliado.....	105
Gráfico 9 – Comparativo da temperatura da água do Açude Linha Preto e do Rio Ribeiro, no período avaliado.....	107
Gráfico 10 – Comparativo da série temporal de OD (mg/L) do açude Linha Preta e do rio Ribeiro, no período avaliado.....	108
Gráfico 11 – Comparativo das análises de condutividade elétrica do açude Linha Preta e do rio Ribeiro, no período avaliado.....	109
Gráfico 12 – Comparativa das análises de Potencial Oxidação-Redox do açude Linha Preta e do rio Ribeiro, no período avaliado.	111
Gráfico 13 – Comparativo das análises de DBO do Açude Linha Preto e do Rio Ribeiro, no período avaliado.	112
Gráfico 14 – Comparativa das análises de coliforme Escherichia coli do açude Linha Preta e do rio Ribeiro, no período avaliado.	113
Gráfico 15 – Comparativa das análises de IQA do açude Linha Preta e do rio Ribeiro em conjunto com o gráfico de caixa	114
Gráfico 16 – Resultado das análises de IQA do açude Linha Preta, no período avaliado.....	115
Gráfico 17 – Resultado das análises de IQA do rio Ribeiro, no período avaliado. ...	116

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Unidades componentes de um SAA.....	23
Quadro 2 – Parâmetro que compõe o IQA, significado e peso (w) ou (%).....	28
Quadro 3 – Classificação do IQA	31
Quadro 4 - Identificação de Pontos Críticos de Controle	44
Quadro 5 - Exemplo de Escala de Severidade de Consequências.....	48
Quadro 6 - Escala de Probabilidade de Ocorrência	48
Quadro 7 - Escala de Severidade da Consequência.....	49
Quadro 8 - Exemplo de Matriz de Classificação quantitativa de Riscos.....	49
Quadro 9 - Exemplo de Matriz de Classificação qualitativa de Riscos.....	50
Quadro 10 - População de Mariana Pimentel, segundo dados do IBGE.....	56
Quadro 11 - Formas de abastecimento verificadas em Mariana Pimentel	57
Quadro 12 - Aspectos gerais do manancial captação em Mariana Pimentel	61
Quadro 13 - Descrição das coordenadas dos pontos de coletas e da ETA	66
Quadro 14 - Descrição das coordenadas e altitude dos pontos de coletas com data e hora	68
Quadro 15 - Análises realizadas para cada ponto em todas as 10 coletas.....	70
Quadro 16 - Descrição do SAA da cidade de Mariana Pimentel.....	78
Quadro 17 - Lista de Verificação (checklist) pra identificação dos perigos e classificação dos riscos.....	82
Quadro 18 - Árvore de decisão para a identificação do Ponto Crítico de Controle (PCC).	85
Quadro 19 – Medidas de Controle para o SAA	88
Quadro 20 – Medidas de Controle para os Riscos Existente no SAA.....	89
Quadro 21 - Pontos identificados para o Plano de Emergência e Contingência	91
Quadro 22 - Valores de referência para avaliação da eficiência do Sistema.	93
Quadro 23 - Os resultados das análises e parâmetros do açude Linha Preta	98
Quadro 24 - Os resultados das análises e parâmetros do rio Ribeiro	99

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 – Ficha de Processamento do levantamento topográfico no rio.....	126
Anexo 2 – Ficha de Processamento do levantamento topográfico na ETA.....	127
Anexo 3 – Outros pontos do levantamento topográfico na ETA.....	128
Anexo 4 – Lista de Verificação (Checklist)	129
Anexo 5 – Planilha da 1º medição de vazão e gráfico com perfil do rio Ribeiro.....	134
Anexo 6 – Planilha da 2º medição de vazão e gráfico com perfil do rio Ribeiro.....	135
Anexo 7 – Planilha da 3º medição de vazão e gráfico com perfil do rio Ribeiro.....	136
Anexo 8 – Planilha da 4º medição de vazão e gráfico com perfil do rio Ribeiro.....	137
Anexo 9 – Planilha da 5º medição de vazão e gráfico com perfil do rio Ribeiro.....	138
Anexo 10 – Planilha da 6º medição de vazão e gráfico com perfil do rio Ribeiro....	139
Anexo 11 – Planilha da 7º medição de vazão e gráfico com perfil do rio Ribeiro....	140
Anexo 12 – Planilha da 8º medição de vazão e gráfico com perfil do rio Ribeiro....	141
Anexo 13 – Planilha da 9º medição de vazão e gráfico com perfil do rio Ribeiro....	142
Anexo 14 – Planilha da 10º medição de vazão e gráfico com perfil do rio Ribeiro	143

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	OBJETIVOS	19
2.1	Objetivo Geral.....	19
2.2	Objetivos Específicos	19
3	REFERENCIAL TEÓRICO	20
3.1	O Direito a Água a o Objetivo Desenvolvimento Sustentável.....	20
3.2	Sistema de Abastecimento de Água – SAA.....	21
3.3	Índice de Qualidade da Água (IQA).....	27
3.4	Resolução CONAMA nº 357/ 2005.....	31
3.5	Decretos e Portarias Brasileiras de Potabilidade.....	33
3.6	A Origem do PSA	35
3.7	A Implantação do PSA no Brasil.....	36
3.8	Etapas de Elaboração do PSA	38
3.8.1.	Múltiplas Barreiras e Boas Praticas.....	40
3.8.2.	Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle - APPCC.....	41
3.8.3.	Análise de Riscos	45
3.8.4.	Identificação de perigos e avaliação de riscos	46
3.8.5.	Priorização dos Riscos	47
3.8.6.	Caracterização dos Riscos	48
3.8.7.	Matriz de Priorização de Risco	49
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	53
4.1	Localização e Caracterização Fisiografia da Área de Estudo.....	53
4.2	Avaliação de Risco do SAA	54
4.3	Fase Inicial	56
4.4	Etapa 1 – Pesquisa Documental	56
4.4.1	Levantamento de dados secundários	56
4.4.2	Panorama Geral do SAA de Mariana Pimentel	56
4.4.3	Informações e indicadores de referência.....	57
4.4.4	Acesso ao Saneamento.....	58
4.4.5	Informações do SAA da Zona Urbana	58
4.4.6	Sistema de Captação e Adução de Água Bruta	59
4.4.7	A Escassez de Água no Município	62

4.5	Etapa 2 – Visita Exploratória (in loco) e Definição dos Pontos de Coletas ...	63
4.5.1	Atividades <i>in loco</i>	66
4.5.2	Coletas das amostras	67
4.5.3	Análises físicas, químicas e biológicas.....	69
4.6	Etapa 3 – Descrição do Sistema de Abastecimento de Água.....	71
4.6.1	Validação do Diagrama de Fluxo.....	77
4.7	Etapa 4 – Análise de Perigo/Eventos Perigosos e Avaliação de Risco	80
4.7.1	Identificação, Caracterização e Priorização de Risco.....	80
4.7.2	Árvore de decisão para definir os Pontos Crítico de Controle (PCC)	84
4.7.3	Definição de Medidas dos Pontos de Controle.....	87
4.7.4	Elaboração dos documentos de gestão aplicados no SAA	90
4.7.5	Indicador de avaliação da eficiência das medidas de controle	92
4.8	Comparação dos Mananciais Avaliados.....	93
4.8.1	Gráficos com a série temporal de vazão do rio Ribeiro	94
4.8.2	Gráficos do perfil transversais do rio Ribeiro	95
4.8.3	Mapa com as curvas batimétricas do Açude Linha Preto	96
4.8.4	Comparação das Análises dos Mananciais	97
4.8.5	Quadros com os Resultados das Análises	98
4.8.6	Gráficos com os Resultados das Análises.....	100
5	RECOMENDAÇÕES	118
6	NOTA FINAL	120
7	CONCLUSÃO.....	121
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123
	LISTA DE ANEXOS	126

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial à vida. No entanto, ainda que abundante na superfície terrestre, a água disponível para abastecimento humano mostra-se limitada, já que apenas 2,5% da sua totalidade é doce (VON SPERLING, 2006). Desta percentagem, a maior parte, 1,8%, está retida em forma de gelo na Antártida, no Ártico e nos glaciares. Apenas 0,7% da água doce está disponível para uso humano. Além da baixa disponibilidade, a água ofertada à população pode apresentar-se comprometida igualmente em qualidade, tanto com poluentes de origens naturais quanto antrópicos (BRAGA, 2015).

A escassez desse recurso e as doenças transmitidas pela veiculação hídrica são questões de preocupação mundial, pois a quantidade e a qualidade da água estão diretamente relacionadas à saúde pública (PATO, 2011). Dada à necessidade do planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos de forma racional, são necessárias ferramentas de gestão, compartilhadas e sustentáveis, que auxiliem no entendimento e na conservação desse recurso.

Uma das maneiras mais eficazes de garantir água segura para consumo é através da “*Avaliação e Gestão de Riscos*”, envolvendo todo o sistema de abastecimento (captação, tratamento e distribuição). Neste sentido, a análise de perigos e pontos críticos de controle se mostra uma ferramenta adequada para essa finalidade. Com isso, vem notando-se uma evolução no conceito de água potável, para água segura para consumo humano, o que é diretamente relacionado com a qualidade dos serviços de saneamento básico. Isso inclui diversas ações a fim de promover a melhora da qualidade de vida das pessoas. O progresso no acesso a água potável a nível mundial tem-se traduzido num incremento de infraestruturas que necessitam de ser adequadamente geridas de forma a garantir água segura às populações. A gestão de um sistema de abastecimento público de água constitui, assim, uma tarefa que exige, da respectiva entidade gestora, o desenvolvimento de procedimentos que confirmam confiança ao consumidor na água que lhe é fornecida.

Para isso, é necessário garantir a qualidade (segurança em aspectos microbiológicos, químicos, organolépticos e de manutenção dos órgãos constituintes dos sistemas de distribuição), a quantidade (caudais de consumo e pressão nas redes) e a confiabilidade na continuidade da prestação de todo o serviço de produção e distribuição de água, tanto em quantidade como em qualidade.

O desenvolvimento e a adaptação de instrumentos metodológicos de avaliação e gerenciamento de riscos à saúde, associados aos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA), da captação ao consumidor, facilita a implementação de múltiplas barreiras e gerenciamento de perigo. Essa ferramenta é conceituada pela Organização Mundial de Saúde (OMS) como “Plano de Segurança da Água” (PSA), que representa uma melhora do conceito de investigações sanitárias e avaliações de vulnerabilidade, que abrangem todo o sistema, por meio da organização e sistematização das práticas de gerenciamento aplicada ao SAA (WHO, 2011). O PSA integra as novas Guias da OMS sobre qualidade da água, buscando promover maior integração das instituições e organizações em torno da responsabilidade do controle e qualidade da água.

De acordo com esta nova abordagem, a entidade gestora deve assegurar a qualidade da água fornecida, implementando PSA com base nos seguintes aspectos essenciais: (i) identificação, avaliação e priorização dos principais riscos para a saúde pública relacionados com o sistema de abastecimento; (ii) detecção das lacunas importantes no sistema e avaliação da capacidade de resposta aos riscos identificados; (iii) estabelecimento de medidas de controle para atender a situações operacionais de rotina e a eventos de carácter excepcional. A implementação de planos de segurança da água, estabelecendo um processo sistemático para a identificação de perigos e procedimentos de gestão efetivos para o seu controle em sistemas de abastecimento de água, constitui uma nova abordagem a esta problemática (VIEIRA, 2013).

O presente estudo possui dois objetivos: O primeiro é avaliar a qualidade e a vazão de ponto localizado no rio Ribeiro, como alternativa à atual captação, localizada no Açude Linha Preta. No Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) de Mariana Pimentel, verificou-se a realidade do município em relação ao manancial utilizado para captação, com risco de desabastecimento. A comunidade Marianense já enfrentou episódios de escassez de água, em que se utilizou de caminhão pipa para atender a população urbana.

O segundo objetivo é realizar a Avaliação de Riscos do SAA, considerando as condições e particularidades locais do pequeno município de Mariana Pimentel, localizado no estado do Rio Grande do Sul. O sistema de abastecimento desse município é gerido pela Companhia Rio-grandense de Saneamento (CORSAN). A Avaliação de Riscos é uma etapa importante para a elaboração do PSA, e por isso,

as informações encontradas nesse trabalho poderão subsidiar um futuro Plano de Segurança da Água para a cidade de Mariana Pimentel, RS. Sendo assim, a problemática do abastecimento de água motivou a escolha do município de Mariana Pimentel para o estudo de caso. Tal fato torna evidente a importância de estudos técnicos e científicos no SAA do município, tanto para análise de riscos quanto para segurança hídrica.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o Sistema de Abastecimento de Água da cidade de Mariana Pimentel, em relação aos riscos de fontes poluidoras e à demanda e à oferta hídrica.

2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo principal, este trabalho foi dividido nos seguintes objetivos específicos:

- a) Avaliar dois mananciais de forma qualitativa e quantitativa, sendo um utilizado atualmente para captação, a fim de subsidiar melhorias, ou a implantação de um novo ponto de captação, em outro manancial, para abastecer o município, comparando as vantagens e desvantagens de ambos;
- b) Mapear os eventos perigosos mais relevantes ao SAA, e avaliar os riscos que eles representam para o sistema.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A revisão bibliográfica foi subdividida nos principais temas aqui tratados, e expostos os principais conceitos bibliográficos relacionados à temática abordada na pesquisa. Também são descritas as diferentes denominações, classificações, e legislações relacionadas ao tema, considerando a metodologia da Organização Mundial da Saúde (OMS), que é reconhecida internacionalmente como boas práticas no Sistema de Abastecimento Água (SAA).

3.1 O Direito a Água a o Objetivo Desenvolvimento Sustentável

A universalização ao acesso à água segura para consumo humano com garantia de qualidade é globalmente considerada uma questão de direitos humanos, sendo assim reconhecida pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2010, para “*gozar plenamente de todos os outros direitos humanos*” (ONU, 2011).

Em 2000, a «Declaração do Milênio das Nações Unidas», traduzida em oito «Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) », tendo como grande objetivo político comprometer todos os países numa parceria global para reduzir a pobreza extrema em todas as suas múltiplas dimensões, estabeleceu um conjunto de metas. Significativamente, um desses objetivos (garantir a sustentabilidade ambiental) continha à meta de «reduzir para metade, a percentagem da população sem acesso permanente a água potável e a saneamento básico» (Vieira, 2018).

A água segura e o saneamento básico para a população são metas do objetivo 6º dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), a atual agenda de desenvolvimento seguida pela ONU. Conhecida como “Agenda 2030”, esse conjunto de objetivos tem como propósito melhorar a qualidade de vida das pessoas e dar força ao desenvolvimento sustentável e pacífico através de metas a serem cumpridas até 2030. Além de tratar da água de maneira mais geral, o objetivo 6º do ODS dá atenção às questões de sustentabilidade na sua gestão, bem como da participação das comunidades locais na tomada de decisão. Algumas das metas que estão no Objetivo 6, a fim de assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos, são:

6.1 Até 2030, alcançar o acesso universal e equitativo a água potável e segura para todos;

- 6.2 Até 2030, alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos para todos, e acabar com a defecação a céu aberto, com especial atenção para as necessidades das mulheres e meninas e daqueles em situação de vulnerabilidade;
- 6.3 Até 2030, melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente;
- 6.4 Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água, e reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água;
- 6.5 Até 2030, implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis, inclusive via cooperação transfronteiriça, conforme apropriado;
- 6.a Até 2030, ampliar a cooperação internacional e o apoio à capacitação para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados à água e saneamento, incluindo a coleta de água, a dessalinização, a eficiência no uso da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e as tecnologias de reuso;
- 6.b apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento.

O SAA tem como função básica a captação da água, tratamento a determinado nível de qualidade, e distribuição na quantidade desejada à população, durante todo o tempo possível, de forma a não haver descontinuidade em seu suprimento. Assim sendo, o estudo e a compreensão do funcionamento de um SAA são fundamentais, pois permitem produzir e manter a qualidade e a quantidade mínimas necessária à população atendida.

3.2 Sistema de Abastecimento de Água – SAA

Conforme Braga (2015), o SAA tem a finalidade de produzir e distribuir água em quantidade e qualidade satisfatória por meio de rede de distribuição. A água potável, destinada ao consumo humano, não deve oferecer riscos à saúde da população. Para isso, é necessária a adoção de procedimentos de controle e de

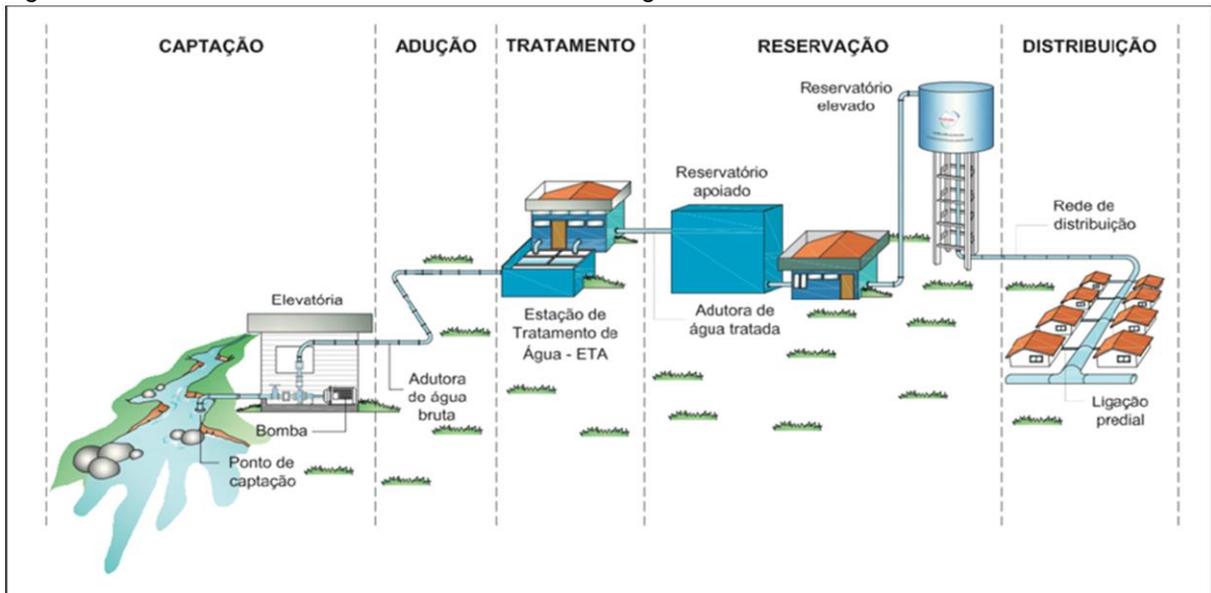
vigilância da qualidade, como também a aferição dos seus padrões de potabilidade (BRASIL, 2011).

Segundo a Agência Nacional das Águas (ANA), a água destinada ao abastecimento urbano no território brasileiro é predominantemente superficial, e está presente em rios, lagos e represas (ANA, 2012). Entretanto, é também o local de recebimento de resíduos sólidos e líquidos para fins de diluição, transporte ou disposição final (BRASIL, 1997). A presença desses resíduos na água, oriundos de atividades antrópicas, podem alterar suas características físicas, químicas e microbiológicas (MOURA et al, 2013). Para avaliar os riscos que sistemas e soluções alternativas de abastecimento representam à saúde humana, é necessário implantar medidas de vigilância e controle no SAA (BRASIL, 2015). As suas ações têm como objetivo (BRASIL, 2012):

- a) Reduzir a morbimortalidade por doenças e agravos de transmissão hídrica, por meio da vigilância sistemática da qualidade da água consumida pela população;
- b) Buscar a melhoria das condições sanitárias das diversas formas de abastecimento de água para consumo humano;
- c) Avaliar e gerenciar o risco à saúde das condições sanitárias das diversas formas de abastecimento de água;
- d) Monitorar sistematicamente a qualidade da água consumida pela população, nos termos da legislação vigente;
- e) Informar a população sobre a qualidade da água e os riscos à saúde;
- f) Apoiar o desenvolvimento de ações de educação em saúde e mobilização social.

Segundo a Agência Nacional de Águas (2010), um sistema de abastecimento pode ser composto por diferentes peças construtivas, independentes da dimensão do município ou aglomerado populacional que se pretende abastecer. Esses componentes podem ser descritos em dois sistemas: **sistema produtor de água** (captação, elevatórias, adutoras e estações de tratamento de água) e o **sistema de distribuição** (reservatórios e redes de distribuição), conforme figura 1.

Figura 1 – Resume o Sistema de Abastecimento de Água



Fonte: BRASIL, (2019).

O quadro 1 mostra as unidades do sistema de abastecimento de água, bem como suas finalidades e exemplos.

Quadro 1 – Unidades componentes de um SAA

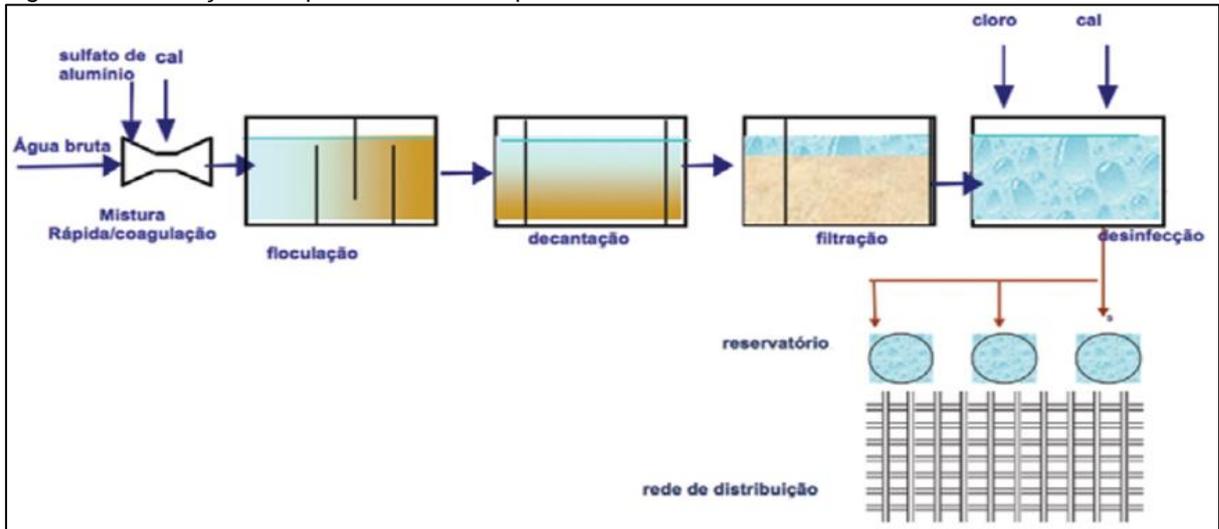
Unidade	Definição / finalidade	Variantes / exemplos
Manancial	Fonte de água: nascente, poço de uso familiar ou coletivo, manancial de superfície, água de chuva.	Superficial ou subterrâneo.
Captação	Estrutura responsável pela extração de água do manancial.	Direta; com barragem; reservatório ou poços.
Estação elevatória	Estrutura necessária quando existem variações de nível elevadas na linha adutora.	Água bruta ou tratada diferentes tipos de bomba.
Adução	Tubulação e acessórios destinados a interligar unidades.	Água bruta ou tratada conduto livre conduto forçado ou recalque.
Tratamento	Operações unitárias necessárias para atingir os padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação vigente.	Coagulação: naturais, ou produtos químicos. Floculação. Decantação. Filtração: filtros de areia, filtros domésticos. Desinfecção: solar, cloro, fervura. Fluoretação.
Reservação	Unidade elevada ou apoiada que se destinam principalmente a absorver as variabilidades entre a vazão de produção de água de chuva, pequenos reservatórios de água tratada as vazões de consumo.	Reservatórios domiciliares (caixa d'água), cisternas ou caixas para armazenamento de água de chuva, pequenos reservatórios públicos.
Rede de distribuição	Conjunto de tubulações e acessórios que levam a água até os consumidores	Condutos, conexões, peças especiais, rede ramificada ou malhada. Chafariz, torneiras públicas, veículos transportadores.

Fonte: adaptado de Heller e Pádua (2016).

- **Manancial** – é o corpo de água superficial ou subterrâneo, do qual é retirada água para o abastecimento. O manancial deve fornecer vazão suficiente para atender à demanda de água durante todo o período de projeto e, sob o ponto de vista sanitário de qualidade, deve ser adequado ao tratamento proposto, de maneira que a água produzida apresente um risco tolerável e possa ser usada para consumo humano.
- **Reservação/Acumulação de Água Bruta** – Esta unidade pode desempenhar o papel de pré-tratamento com vistas à redução do número de agentes patogênicos ou diminuição da concentração de determinados contaminantes; atuar como unidade de segurança no caso de contaminação acidental do manancial e, também, para regularização das vazões no manancial de captação.
- **Captação** – é o conjunto de estruturas e dispositivos, construídos ou montados junto ao manancial, para retirada de água destinada ao SAA.
- **Adução de Água Bruta** – conjunto de tubulações destinado a conduzir a água desde a captação até a unidade de tratamento da água (ETA).
- **Tratamento** – conjunto de unidades destinado a tratar a água (ETA) para adequar suas características aos padrões de potabilidade e não apresentar riscos à saúde humana.
- **Adução de Água Tratada** – conjunto de tubulações destinadas a conduzir água entre as unidades que precedem a rede de distribuição. Não distribuem água aos consumidores.
- **Reservação de Água Tratada** – ou simplesmente reservação de distribuição, é o elemento do SAA destinado a regularizar as variações entre as vazões de adução e distribuição e condicionar as pressões na rede de distribuição.
- **Distribuição de Água** – Esse nome é dado à parte do SAA formada de tubulações, estações pressurizadoras e acessório destinado a disponibilizar água segura para consumo humano, de forma contínua, em qualidade e quantidade com pressão adequada (MAYS, 2000).

No Brasil, o tratamento convencional é um termo consagrado na literatura como sinônimo de tratamento em ciclo completo para a clarificação e desinfecção da água. A maioria dos municípios brasileiros possui tratamento de água classificado como convencional conforme figura 2, envolvendo as seguintes etapas sequenciais: mistura rápida ou coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção (usualmente cloração) e correção de pH (BRASIL, 2006).

Figura 2 – Ilustrações esquemática das etapas do tratamento convencional



Fonte: Bastos (2010).

3.2.1. Controle de qualidade da água no SAA

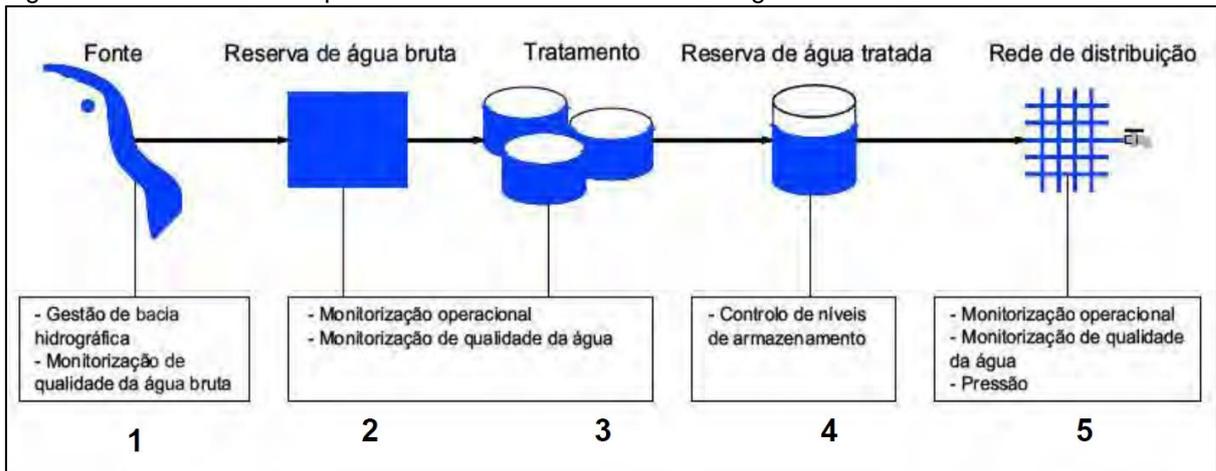
Garantir a qualidade da água fornecida por um sistema de abastecimento constitui elemento essencial das políticas de saúde pública. Assim sendo, os riscos identificados e avaliados nos SAA devem ser detectados em todo percurso feito pela água, desde as zonas de captação até as ligações prediais (WHO, 2004). Nesse sentido, é imprescindível caracterizar os SAA, identificando suas fragilidades para que as intervenções necessárias aconteçam com o intuito de ofertar água segura aos usuários dos serviços (BRAGA, 2015).

A prevenção no controle da qualidade consiste num conjunto de ações adotadas continuamente para garantir que a água consumida atenda aos padrões de potabilidade vigentes, de tal modo a evitar a transmissão de enfermidades de vinculação hídrica à população. De acordo com OMS (2005), os SAA podem ser considerados como uma série de etapas destinadas para garantir a segurança da água potável, incluindo:

- a) prevenção da poluição das fontes de águas;
- b) coleta seletiva de água;
- c) armazenamento controlado;
- d) tratamento antes da distribuição;
- e) proteção durante a distribuição,
- f) armazenamento seguro dentro de casa e, em algumas circunstâncias, tratamento no ponto de consumo.

Dessa forma, é possível eliminar ou reduzir a presença de determinadas substâncias, elementos químicos e microrganismos que possam estar presentes na água. A figura 3, mostra de forma resumida, os cinco componentes a serem considerados no controle da qualidade da água e na prevenção de riscos em um sistema de abastecimento público (VIEIRA & MORAIS, 2005).

Figura 3 – Resume os componentes a serem considerados na gestão de risco no SAA



Fonte: adaptada de Vieira & Morais (2005).

De acordo com a WHO (2004, 2011), **água segura** é aquela que não representa qualquer risco significativo para a saúde, considerando diferentes suscetibilidades que podem ocorrer durante os estágios de vida dos indivíduos. Desta forma, a garantia da qualidade microbiológica e química da água para consumo humano requer um plano de gestão para o controle do processo e proteção do sistema, para que patógenos e substâncias químicas não representem risco à saúde pública, e que a água esteja dentro dos padrões aceitável para os consumidores (WHO, 2011).

A Organização Mundial da Saúde (*World Health Organization - WHO*), através das suas recomendações da Qualidade da Água para Consumo Humano e a Associação Internacional da Água (*International Water Association - IWA*), através da carta de Bona, propuseram às entidades gestoras de sistemas de abastecimento público de água uma nova abordagem para a garantia água segura. Sugeriu-se a aplicação de estratégias de avaliação e gestão de riscos para o controle da qualidade da água para consumo humano, adaptando, para isso, uma abordagem preventiva de barreiras múltiplas ao longo de todo o sistema de abastecimento, desde a fonte até ao consumidor. Neste contexto, a OMS (WHO, 2004) sugeriu novos procedimentos

para avaliar e administrar os riscos expostos em um SAA de forma abrangente, conectada, rotineira e preventiva, denominado **Plano de Segurança da Água (PSA)**.

Seu objetivo principal é minimizar as fontes de contaminação, sejam elas pontuais ou difusas, abrangendo a captação, a estação de tratamento de água (ETA), sistema de reservação e distribuição, além de prevenir recontaminação na distribuição. Essa é uma ferramenta baseada nos princípios de múltiplas barreiras, boas práticas, **análise de perigos e pontos críticos de controle (APPCC)**, **análise de risco e gestão de qualidade (BRASIL, 2012)**.

Segundo Vieira (2011), para o controle da qualidade hídrica em um sistema, além de processos físicos e químicos aplicados na água bruta, é fundamental a elaboração de ferramentas preventivas. Nesse contexto, o PSA possibilita o planejamento futuro dos recursos hídricos e tem o intuito de minimizar os riscos de contaminação, no manancial e no tratamento, bem como adotar medidas preventivas na distribuição da água para garantir resultados propícios à saúde pública e à universalização do saneamento (WHO, 2011).

3.3 Índice de Qualidade da Água (IQA)

A qualidade da água é de difícil mensuração, pois são inúmeros os parâmetros que podem indicar a sua qualidade. Dessa forma, diversas técnicas para elaboração de índice de qualidade de água (IQA) foram desenvolvidas, sendo a mais empregada, inclusive pelo Brasil, aquela desenvolvida pela *National Sanitation Foundation (NSF)*: NSF-IQA. (LILIENFELD, 1984; OLIVEIRA, 1993). O IQA foi criado em 1970, nos Estados Unidos, ele baseou-se numa pesquisa de opinião junto a especialistas em qualidade de águas, que indicaram as variáveis a serem avaliadas, o peso relativo e a condição com que se apresenta cada parâmetro, segundo uma escala de valores “rating”.

A partir de 1975, esse índice começou a ser adaptado e utilizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2015). Nas décadas seguintes, outros Estados brasileiros adotaram o IQA modificado pela CETESB, que hoje é o principal índice de qualidade da água utilizado no país. O IQA foi adaptado para avaliar a qualidade da água bruta visando seu uso para o abastecimento público, após tratamento (ANA, 2022).

O cálculo do IQA é composto por nove parâmetros 1) **temperatura da água**, 2) **oxigênio dissolvido (OD)**, 3) **potencial hidrogeniônico (pH)**, 4) **turbidez**, 5) **coliformes totais e fecais (termotolerantes)**, 6) **demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅₋₂₀)**, 7) **nitrogênio total (NT)**, 8) **fósforo total** e 9) **resíduo total**, utilizados com seus respectivos pesos específicos (%), que foram fixados em função da sua importância para a conformação global da qualidade da água. As variáveis de qualidade, que fazem parte do cálculo do IQA, refletem, principalmente, a contaminação dos corpos hídricos ocasionada pelo lançamento de esgotos domésticos. Os parâmetros que compõem o cálculo do IQA e seu significado, assim como o seu peso correspondente estão apresentados no quadro 2.

Quadro 2 – Parâmetro que compõe o IQA, significado e peso (w) ou (%)

Parâmetro	Significado/Problemas ambientais	Peso específico (w) / (%)
Temperatura	A temperatura influencia os valores de diversos parâmetros como, por exemplo, tensão superficial e viscosidade. Altas temperaturas causam impedimento do crescimento e reprodução da fauna e flora aquática.	0,1
pH	Medida de concentração de hidrogênio presente na água. Alterações no pH podem ocasionar o aumento do efeito de substância química tóxicas, como metais pesados.	0,12
Turbidez	Indica o grau de atenuação ao atravessar a água. Valores altos de turbidez são devidos à presença de sólidos suspensos em águas provenientes de despejos domésticos ou industriais. Afeta a preservação da fauna e flora aquática.	0,08
Oxigênio dissolvido	Representa a quantidade de oxigênio dissolvido em água. Um valor baixo de oxigênio dissolvido pode causar a morte de animais e indica que o corpo hídrico apresenta contaminação por matéria orgânica.	0,17
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	Quantidade de oxigênio necessário para oxidar a matéria orgânica presente na água por microrganismos. Valores elevados de DBO indicam despejos de esgotos domésticos no corpo hídrico, contribuindo para o consumo de oxigênio dos mananciais.	0,1
Coliformes Fecais ou termo tolerante	Bactéria, indicadores de poluição por esgotos domésticos. Não são patogênicas, mas sua presença indica a possibilidade de existência de patogênicas.	0,15
Nitrogênio total	Concentração de nitrogênio presente na água em suas diversas formas. É um nutriente para o crescimento das algas contribuindo para a eutrofização.	0,1
Fósforo total	Concentração de fósforo presente na água. É um nutriente para o crescimento das algas, contribuindo para a eutrofização.	0,1
Resíduo total	Representa a matéria que permanece após a evaporação, secagem ou calcinação de uma amostra de água. Pode contribuir para o assoreamento e aumento de turbidez em mananciais.	0,08

Fonte: adaptado da ANA (2015).

O IQA varia de 0 a 100, sendo que 0 representa uma água totalmente poluída e 100 representa a água sem interferência humana. O cálculo do IQA é realizado por meio do produto ponderado dos nove parâmetros, segundo a equação:

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

Em que:

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

q_i =: representa a qualidade do i -ésimo parâmetro, um valor entre 0 e 100, obtido do respectivo gráfico de qualidade, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise);

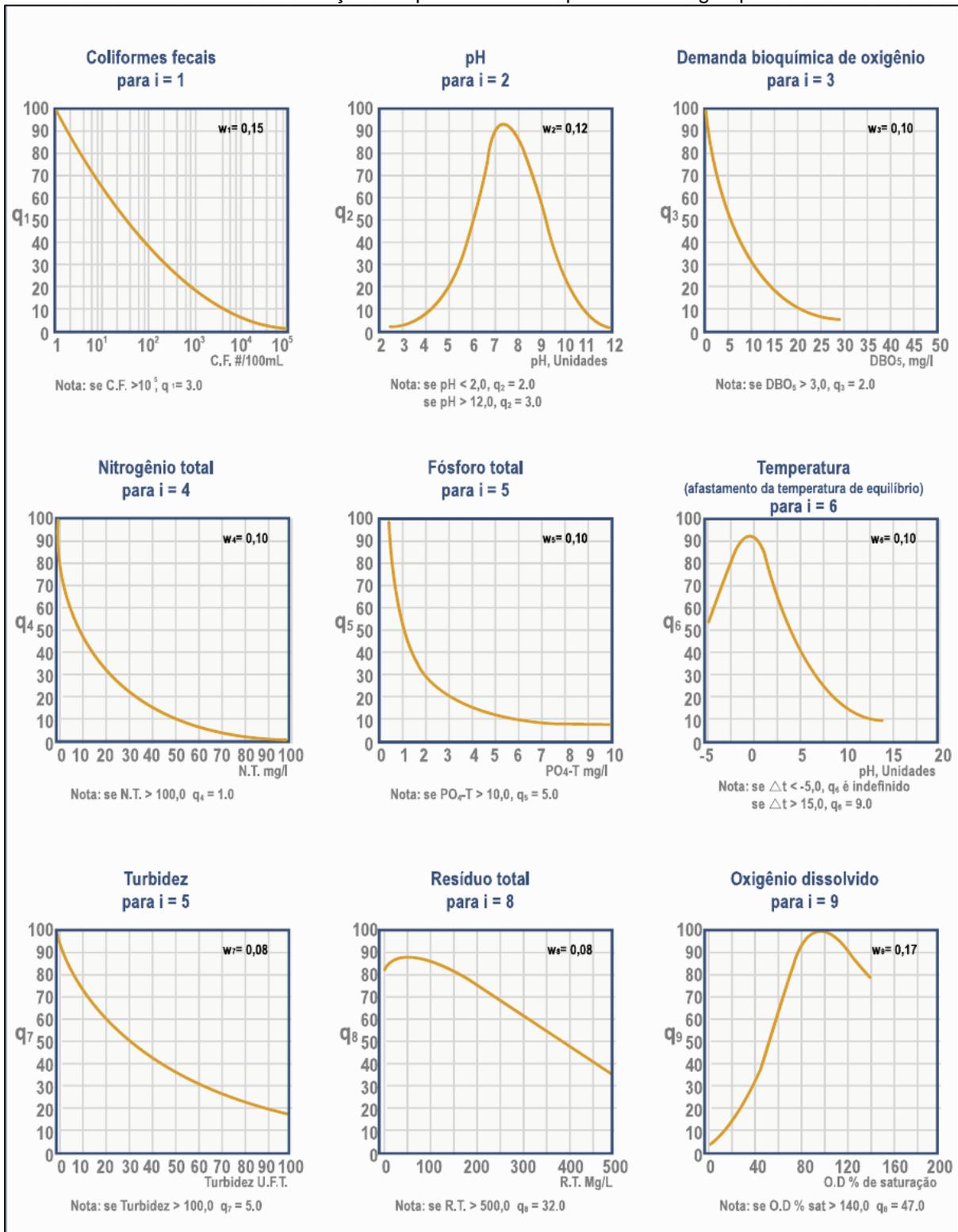
w_i = representa o peso correspondente do i -ésimo parâmetro, parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade água, isto é, um número entre 0 e 1, de forma que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Sendo n o número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

Além de seu peso específico (%), cada parâmetro possui um valor de qualidade (q), obtido do respectivo gráfico de qualidade em função de sua concentração ou medida (gráfico 1).

Gráfico 1 – Curvas médias de variação dos parâmetros de qualidade da água para o cálculo do IQA



Fonte: ANA, (2004)

O Índice da Qualidade da Água é utilizado para avaliar a qualidade da água e do seu potencial de uso. Cada parâmetro avaliado recebe um peso específico e, ao final, os valores são combinados para obter o índice geral de qualidade da água,

conforme os valores de ponderação que variando numa escala de 0 a 100. O resultado pode ser de ótimo a péssimo, conforme representado no quadro 3.

Quadro 3 – Classificação do IQA

Ponderação	Categoria
$80 < \text{IQA} \leq 100$	Ótima
$51 < \text{IQA} \leq 80$	Boa
$36 < \text{IQA} \leq 51$	Razoável
$19 < \text{IQA} \leq 36$	Ruim
$\text{IQA} \leq 19$	Péssima

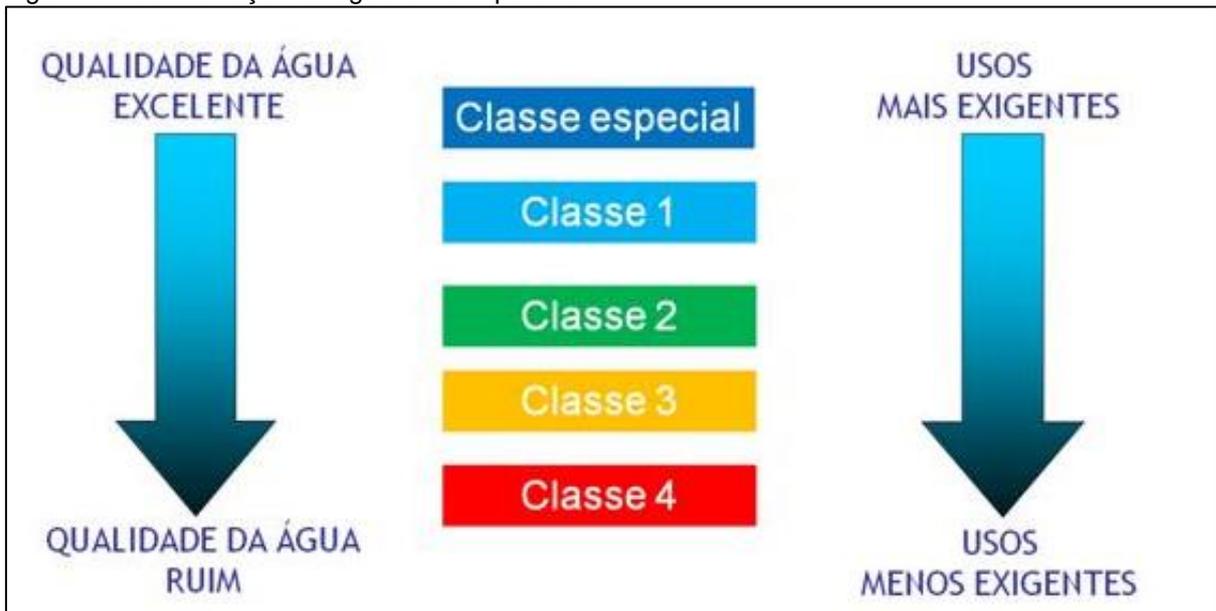
Fonte: adaptado da ANA (2017).

As principais vantagens dos índices são as facilidades de comunicação com o público leigo, o status maior do que as variáveis isoladas e o fato de representar uma média de diversas variáveis em um único número, combinando unidades de medidas diferentes em uma única unidade. No entanto, sua principal desvantagem consiste na perda de informação das variáveis individuais e da sua interação. O índice, apesar de fornecer uma avaliação integrada, jamais substituirá uma avaliação detalhada da qualidade das águas de uma determinada bacia hidrográfica (LOPES & LIBÂNIO, 2005).

3.4 Resolução CONAMA nº 357/ 2005

A Resolução CONAMA nº 357 de 2005 “*dispõe sobre a classificação dos corpos de água superficiais e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*”. Nessa Resolução são estabelecidos valores máximos permitidos de parâmetros físicos, químicos e biológicos, permitindo a classificação e enquadramento de corpos de água superficiais. As águas doces são subdivididas em cinco (5) classes, como mostrado na figura 4.

Figura 4 – Classificação da água doce superficial



Fonte: http://pnqa.ana.gov.br/Padres/enquadramento_basesconceituais.aspx.

Além do enquadramento, essa Resolução também estabelece as etapas necessárias de tratamento da água para abastecimento e consumo humano, conforme as classes:

- **Classe especial:** Abastecimento humano, com desinfecção;
- **Classe 1:** Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- **Classe 2:** Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- **Classe 3:** Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- **Classe 4:** Não é previsto o seu uso para abastecimento humano, sendo destinado somente à navegação e harmonia paisagística.

Conforme o Art.3º da Resolução CONAMA nº 357/2005, as águas superficiais do território nacional são classificadas, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em classes de qualidade. De acordo com o enquadramento, são previstos os seus usos, conforme a figura 5.

Figura 5 – Enquadramento e usos da água doce superficial

USOS DAS ÁGUAS DOCES		CLASSES DE ENQUADRAMENTO				
		ESPECIAL	1	2	3	4
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas		Classe mandatória em Unidades de Conservação de Proteção Integral				
Proteção das comunidades aquáticas			Classe mandatória em Terras Indígenas			
Recreação de contato primário						
Aquicultura						
Abastecimento para consumo humano		Após desinfecção	Após tratamento simplificado	Após tratamento convencional	Após tratamento convencional ou avançado	
Recreação de contato secundário						
Pesca						
Irrigação			Hortalças consumidas cruas e frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película	Hortalças, frutíferas, parques, jardins, campos de esporte e lazer,	Culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras	
Dessedentação de animais						
Navegação						
Harmonia paisagística						

Fonte: <http://nicholegal.blogspot.com.br/2012/12/res-conama-35705-classificacao-dos.html>.

De acordo com o parágrafo único do Art.3º da Resolução CONAMA nº 357/2005, “as águas de melhor qualidade podem ser aproveitadas em uso menos exigentes, desde que este não prejudique a qualidade da água, atendidos outros requisitos pertinentes”. Os padrões de qualidade das águas determinados nesta Resolução estabelecem limites individuais para cada substância em cada classe. Além disso, o conjunto de parâmetros de qualidade de água selecionado para subsidiar a proposta de enquadramento deverá ser monitorado periodicamente.

3.5 Decretos e Portarias Brasileiras de Potabilidade

O Decreto Federal nº 79.367, de 9 de março de 1977, atribuiu competência ao Ministério da Saúde a responsabilidade por editar normas e estabelecer o Padrão de Potabilidade da água para consumo humano, assim como, zelar pelo seu efetivo cumprimento (BRASIL, 2012).

O primeiro padrão brasileiro de potabilidade da água foi estabelecido na Portaria nº 56 do Ministério da Saúde, de 14 de março de 1977. Nele foram descritos 36 parâmetros, com seus respectivos limites máximos para as diversas características físicas, químicas e biológicas referentes à qualidade da água para consumo humano

(BRASIL, 2012). A Portaria nº 56/1977 foi revogada em 1990, surgindo então a Portaria nº 36 de 1990, estabelecendo a avaliação de 50 parâmetros.

Após uma década, depois de um extenso processo de revisão da Portaria nº 36 de 1990, a mesma é revogada. Integrando diversos segmentos relacionados à qualidade da água, foi publicado, em dezembro de 2000 a Portaria nº 1.469, passando a ter 74 parâmetros para monitoramento. Em junho do mesmo ano, foi instituída a Secretaria de Vigilância em Saúde, do Ministério da Saúde que assumiu as atribuições do Centro de Epidemiologia (LIBÂNIO, 2010). Em virtude desse novo ordenamento a Portaria nº 1.469/2000 foi revogada. (RIBEIRO, 2012). Logo passou a vigorar a Portaria nº 518 de 2004, a qual se manteve inalterado os números de parâmetros e os valores máximo e mínimo permissíveis da antiga Portaria (LIBÂNIO, 2010).

A Portaria nº 518 de 2004 foi revogada pela Portaria nº 2.914 de 2011. Na Portaria atualizada, foram estabelecidos 98 parâmetros (características químicas, físicas e biológicas) referentes à qualidade da água para monitoramento. Esta foi a primeira Portaria a citar a necessidade de o responsável pelo SAA a manter avaliação sistemática do sistema para evitar riscos à saúde. Para isso, adotou-se como embasamento a qualidade da água distribuída, conforme os princípios dos PSA recomendados pela OMS ou definidos em diretrizes vigentes no país. Desta forma, o Brasil tornou-se o primeiro país do mundo a incorporar o tema PSA em legislação nacional.

Na atual Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021, contempla 114 parâmetros para avaliação, e altera o anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017 (mesmos parâmetros definidos pela Portaria nº 2.914/2011).

Art. 49 da Portaria GM/MS Nº 888/2021: A Autoridade de Saúde Pública poderá exigir dos responsáveis por SAA e SAC a elaboração e implementação de Plano de Segurança da Água (PSA), conforme a metodologia e o conteúdo preconizados pela Organização Mundial da Saúde ou definidos em diretrizes do Ministério da Saúde, para fins de gestão preventiva de risco à saúde; § 5º Art. 50, Quando observada a não implementação do PSA por parte do responsável por SAA ou SAC, será exigido o cumprimento integral do plano de amostragem estabelecido neste Anexo.

Percebe-se a importância desta ferramenta de gestão de riscos à saúde, frente ao reconhecimento das limitações técnicas convencionais de tratamento e do controle

laboratorial para garantir a qualidade e segurança da água de abastecimento público, (WHO, 2011).

A forma mais eficaz de garantir sistematicamente a segurança de um sistema de abastecimento de água para consumo humano consiste numa metodologia integrada de avaliação e gestão de riscos que englobe todas as etapas do abastecimento de água, desde a captação até ao consumidor. Neste documento, este tipo de abordagens denomina-se "Planos de Segurança da Água (PSA)" (WHO, 2011).

3.6 A Origem do PSA

Desde 1958, a OMS publica orientações e manuais relacionados à qualidade da água potável, inicialmente denominados **Padrões Internacionais para Água Potável** (*International Standards for Drinking Water*) (WHO, 2017). Nas publicações do século XX, a metodologia estabelecida pela agência era baseada na verificação da conformidade das características da água abastecida de acordo com normas vigentes, por meio de programas de amostragem, numa abordagem de controle de qualidade do tipo fim de linha (VIEIRA & MORAIS, 2005).

Na segunda edição das Diretrizes para a Qualidade da Água Potável (*Guidelines for Drinking Water Quality - GDWQ*), publicada entre 1993 e 1997, foi introduzido o conceito de gestão de risco como parte das diretrizes de vigilância de qualidade da água. No documento, Diretrizes para Qualidade da Água e Normas de Saúde em inglês "*Water Quality: Guidelines, Standards and Health*", de 2001, a OMS organiza as diretrizes de avaliação e gestão de risco para doenças infecciosas de veiculação hídrica, passando a recomendar a **Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC)** (DEERE, 2001). Finalmente, na terceira edição das Diretrizes para a Qualidade da Água Potável (GDWQ), os procedimentos de gestão de risco são estruturados na forma de um Plano de Segurança da Água (WHO, 2017).

Um Plano de Segurança da Água para Consumo Humano, tal como preconizado pelas *Guidelines for Drinking-Water Quality* (GDWQ) da Organização Mundial da Saúde (OMS), pode ser definido como um documento que identifica e prioriza riscos potenciais que podem ser verificados em um sistema de abastecimento, incluindo todas as etapas desde o manancial até à torneira do consumidor, estabelecendo medidas de controle para eliminar ou reduzi-los e estabelecer processos para verificar a eficiência da gestão dos sistemas de controle e a qualidade da água produzida. O seu principal objetivo é o de garantir a qualidade da água para consumo humano através da utilização de boas práticas no sistema de abastecimento de água, tais como: minimização da contaminação nas

origens da água, remoção da contaminação durante o processo de tratamento e a prevenção de pós-contaminação durante o armazenamento e a distribuição da água na distribuição. (SOUZA, 2008).

Em abril de 2003, a OMS organizou em Berlim uma conferência internacional sobre “Estratégias de Gestão de Riscos em Água para Consumo Humano”. Nesse evento foram apresentados e discutidos os pressupostos teóricos e as especificidades de aplicação prática de ferramentas operacionais para a gestão de riscos em SAA, desenvolvendo o conceito de **Plano de Segurança da Água**, conforme assumido nas suas Diretrizes para a Qualidade da Água Potável (GDWQ, 2004).

Com isso, esse tema tornou-se parte integrante das novas Guias da OMS sobre qualidade da água. Busca-se, assim, promover maior integração das instituições e organizações em torno da responsabilidade no controle da qualidade da água, ao inserir conceitos de avaliação e controle dos riscos (BARTRAM, 2009).

O objetivo primordial desses Guias tem sido atendido, ou seja, as metodologias recomendadas têm sido aplicadas nos procedimentos legislativos de muitos países e tem-se verificado um avanço significativo na proteção da saúde pública, em todo o mundo (VIEIRA et al., 2005). Destaca-se que os primeiros países a adotarem a metodologia de PSA como a Islândia, em 1997, e posterior Austrália, em 1999.

Segundo o relatório de progresso da implementação de PSA publicado pela OMS, a abordagem estava presente em várias partes do mundo onde já começaram a implantar com adaptações as novas práticas e métodos associados ao processo de tratamento de água para abastecimento público (BATES et al., 2008). Como exemplos, cita-se Portugal (VIEIRA & MORAIS, 2005), Bangladesh (MAHMUD et al., 2007), Alemanha (JOACHIM et al., 2008), Colômbia (VIDAL et al., 2009), África do Sul (VILOGEN, 2010), EUA, Holanda, Reino Unido e Suécia (TSITSIFLI & TSOUKALAS, 2019).

3.7 A Implantação do PSA no Brasil

A cidade pioneira no Brasil para a implantação do **PSA** foi Viçosa em Minas Gerais, em escala piloto em seu próprio SAA. Para efetividade do projeto, houve a participação de uma equipe multidisciplinar do Ministério da Saúde (MS) e pelas agências norte-americanas *US Center for Disease Control and Prevention* (CDC) e *US Environmental Protection Agency* (EPA) – em que foi desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), sob a coordenação do Departamento de

Engenharia Civil, em parceria com o Serviço Autônomo de Água e Esgotos de Viçosa (SAAE Viçosa-MG).

O projeto piloto ficou em vigor de 2007 a 2010, o principal objetivo da ação foi validar a metodologia e adaptá-la à realidade brasileira (BASTOS et al., 2009; BRASIL, 2012). Posteriormente, foi elaborado um Roteiro de Orientação para a implantação de PSA, já no ano de 2010. Entretanto, o termo foi incorporado à legislação brasileira em 2011, na Portaria do Ministério da Saúde, passando a ser competência do responsável pelo SAA a adoção dos princípios recomendados pela OMS (BRASIL, 2017). Em 2012, com base no trabalho de Vieira e Morais (2005), Bartram et al. (2009) e Bastos et al. (2010), o MS elaborou um documento-base com diretrizes gerais para orientar a elaboração, desenvolvimento e implantação do PSA, que se apoiara na metodologia WHO/IWA, reconhecida internacionalmente como boa prática para a implementação do PSA (BRASIL, 2012).

O MS apresenta o PSA como uma ferramenta de gestão para auxiliar nos procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seus padrões de potabilidade (BRASIL, 2011). Após implantação do PSA, torna-se mais fácil identificar os riscos existentes, definindo barreiras e boas práticas com formas efetivas de gerenciamento de riscos, conforme consta na Portaria nº 888 de 2021 do MS, sobre potabilidade da água para consumo humano.

Art. 5º Para os fins deste Anexo são adotadas as seguintes definições: I - água para consumo humano: água potável destinada à ingestão, preparação de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem; II - água potável: água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido neste Anexo e que não ofereça riscos à saúde; III - padrão de potabilidade: conjunto de valores permitidos para os parâmetros da qualidade da água para consumo humano, conforme definido neste Anexo; V - sistema de abastecimento de água para consumo humano (SAA): instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição, conforme Portaria nº 888 (2021);

A preocupação com a segurança da água é evidenciada em muitos locais, onde o acesso a esse recurso ainda não é adequado o que torna evidente a importância de estudos técnicos e científicos no SAA para prevenir os riscos de contaminação e proteger a saúde da população. Essas ferramentas tratam do desenvolvimento e da adaptação de instrumentos metodológicos de avaliação e gerenciamento de riscos à saúde, associada ao SAA, desde manancial até o consumidor, promovendo a

implementação de boas práticas de gerenciamento dos riscos (BRASIL, 2011). Compete ao responsável por SAA ou SAC, conforme Seção V - artigo 14º Portaria GM/MS nº 888 / 2021:

V - realizar o monitoramento da qualidade da água, conforme plano de amostragem definido para cada sistema e solução alternativa coletiva de abastecimento de água; VI - promover capacitação e atualização técnica dos profissionais que atuam na produção, distribuição, armazenamento, transporte e controle da qualidade da água para consumo humano; [...] X - manter avaliação sistemática do SAA ou SAC, sob a perspectiva dos riscos à saúde, com base nos seguintes critérios: 1 - ocupação da bacia contribuinte ao manancial; 2 - histórico das características das águas; 3 - características físicas do sistema; 5 - condições de operação e manutenção; e 6 - qualidade da água distribuída;

Para compreender a situação do abastecimento da água para consumo no âmbito nacional, as autoridades nacionais de saúde pública devem elaborar informes periódicos. Os mesmos devem descrever a qualidade da água no país, destacando as preocupações e prioridades em matéria de saúde pública no contexto das suas prioridades gerais. Para isso, é preciso um intercâmbio eficaz de informação entre os organismos locais, regionais e nacionais (WHO, 2005). Por exemplo, no Brasil, o Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água (SISAGUA), fornece relatórios mensais com este propósito.

3.8 Etapas de Elaboração do PSA

De acordo com Souza (2008), a elaboração de um PSA refere-se ao desenvolvimento de um planejamento com medidas preventivas e corretivas, abordando o objeto que demanda maior segurança, conduzido sempre que existem riscos associados ao local ou atividades. O PSA é considerado um instrumento de planejamento, pois orienta as ações dos gestores públicos e da sociedade civil na tomada de decisão para minimizar a chance de incidentes no SAA.

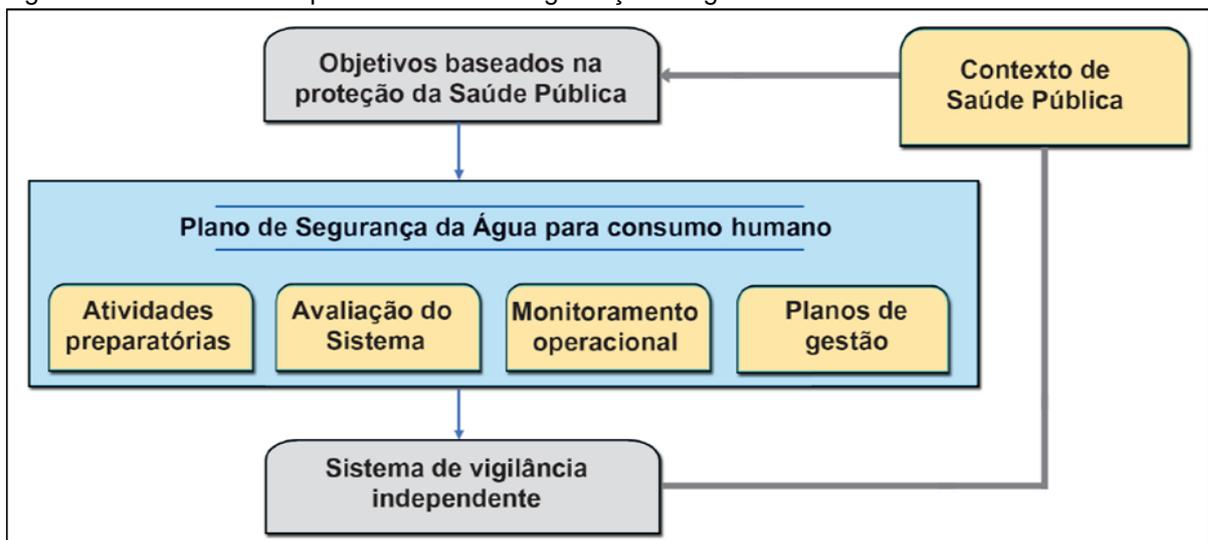
Desta forma, privilegia-se uma abordagem de segurança preventiva em detrimento da metodologia clássica de monitorização de conformidade de “fim-de-linha”, através de uma efetiva gestão e operação da origem da água, da estação de tratamento e do sistema de distribuição (NOKES & TAYLOR, 2003; DAVISON et al., 2004).

Conforme Ventura et al., (2019), para se implantar um PSA em um SAA, é necessário conhecer todas as práticas operacionais do sistema, especialmente a etapa de tratamento, para que as variáveis de controle, de identificação de perigos e de caracterização de riscos sejam eficazes.

A OMS propôs uma estrutura sistematizada em ciclo iterativo, no contexto de análise de risco para garantir a segurança da água para o consumo humano, que também é empregada pelo MS (BRASIL, 2012). Essa abordagem é composta por cinco componentes (figura 6), sendo que três deles compõem o PSA: 1) uma etapa preliminar preparatória de planejamento, constituição de equipe de trabalho e busca por informações; 2) a avaliação do sistema, que compreende sua descrição e a avaliação dos riscos associados a perigos identificados; 3) a definição do monitoramento operacional; 4) a determinação dos procedimentos de gestão operacional e emergencial; 5) uma etapa de revisão e validação periódica do plano (WHO, 2011).

Esses componentes foram estruturados de forma a propor uma melhora na sistematização das ações a serem realizadas pelos prestadores de serviço de abastecimento de água para consumo (controle) e as autoridades de saúde (vigilância). Essa estrutura tem a finalidade de garantir que a água para abastecer a população seja isenta de riscos à saúde. Para isso, cabe aos prestadores de serviços a implementação do PSA e, ao setor saúde (vigilância), a avaliação do plano em conformidade com a definição das metas de saúde.

Figura 6 – Resume as etapas do Plano de Segurança da Água



Fonte: BRASIL (2013).

Dentre as etapas descritas, o presente trabalho focou na busca por informações, descrição do SAA, bem como na avaliação dos riscos associados (etapas 1 e 2).

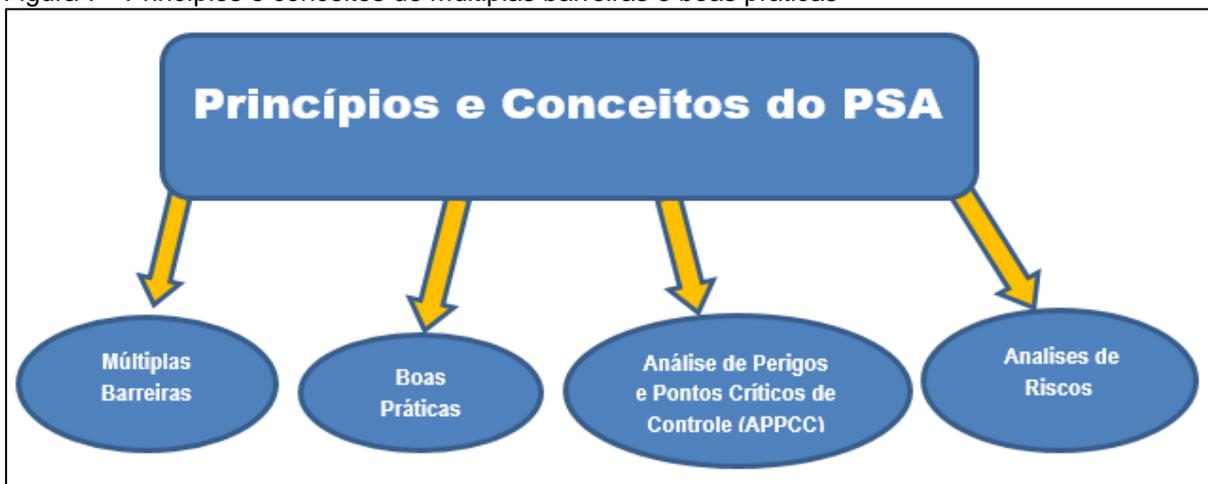
Na etapa 1, denominada de **atividade preparatória**, foi realizado o planejamento das atividades e o levantamento das informações necessárias. Na etapa 2, **avaliação do sistema**, fez-se a descrição do SAA, a construção e validação do diagrama de fluxo; a identificação e análise de perigos potenciais, caracterização de riscos e o estabelecimento de medidas de controle dos pontos críticos.

3.8.1. Múltiplas Barreiras e Boas Práticas

O PSA baseia-se em muitos dos princípios e conceitos de outras abordagens de gerenciamento de risco, em especial nos Princípios de Múltiplas Barreiras; nas Boas Práticas; na Análise de Perigo e Pontos Críticos de Controle (APPCC); e na Análise de Risco (figura 7) (O'CONNOR, 2002; CCME, 2002; AS/NZS, 2004; BASTOS et al., 2006; BRASIL, 2012; WSA, 2015).

O princípio de barreiras múltiplas constitui-se de etapas do sistema em que se estabelecem procedimentos para prevenir ou minimizar a probabilidade de contaminação das fontes de água e eliminar ou reduzir os contaminantes já presentes na água bruta. Se houver uma falha em uma etapa, as outras barreiras continuam a fornecer proteção (WHO, 2005). Cada barreira proporciona uma redução incremental do risco da água se tornar insegura.

Figura 7 - Princípios e conceitos de múltiplas barreiras e boas práticas



Fonte: adaptada de Silva (2011).

A legislação brasileira recomenda esse princípio ao responsável pela operação do sistema, sob a perspectiva dos riscos à saúde por meio da avaliação sistemática do SAA. Nesse contexto, são avaliados a) a ocupação da bacia, b) os contribuintes ao manancial de captação, c) o histórico das características de suas águas, d) as características físicas do sistema, e) as práticas operacionais e a qualidade da água distribuída (BRASIL, 2011), com os diferentes setores afins, em conformidade com a Diretriz Nacional do Plano de Segurança da Água.

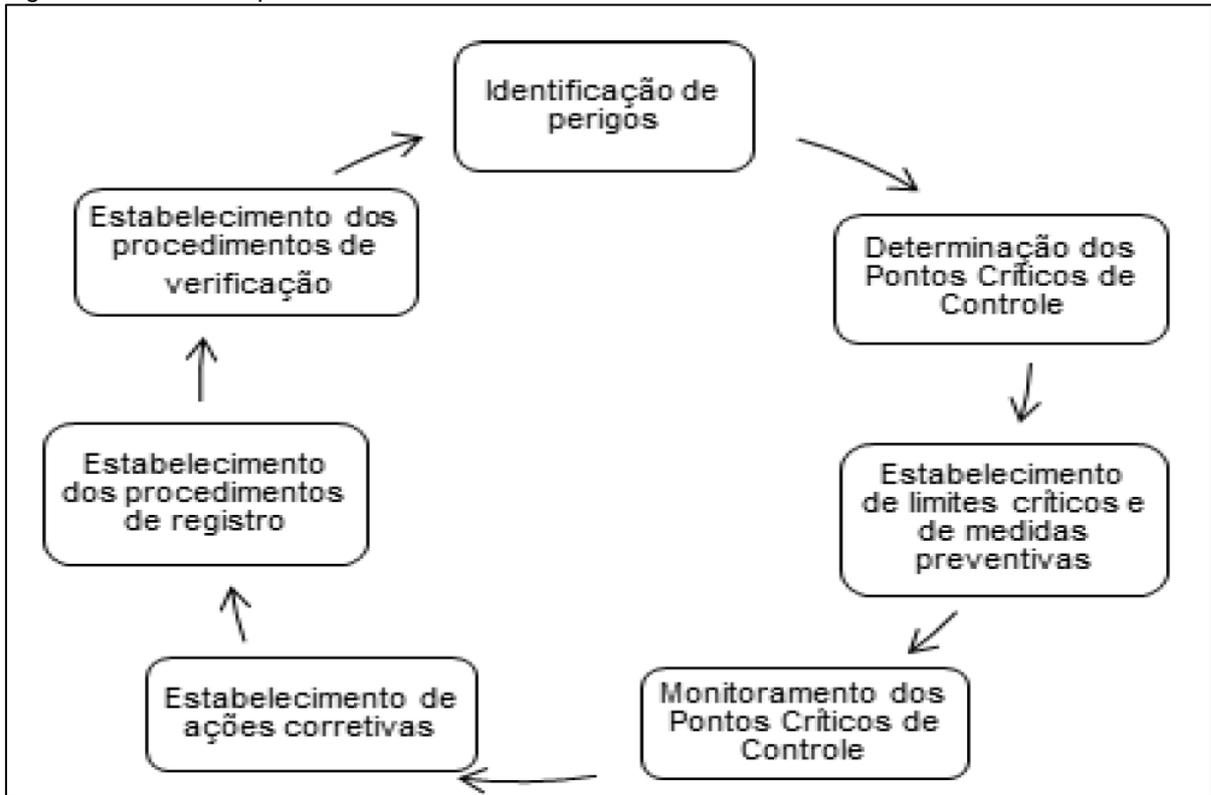
Entende-se por boas práticas as medidas de controle que possibilitem a eficácia de cada uma das barreiras, com o objetivo de garantir a qualidade da água para consumo humano através da prevenção de risco no sistema de abastecimento. São adotadas nas fases de concepção, projeto, construção e, sobretudo, na operação e manutenção de um SAA (BASTOS et al., 2006). Como exemplos, citam-se: 1) minimização da contaminação nas origens de água, 2) remoção ou redução da contaminação durante o processo de tratamento, 3) a prevenção de pós-contaminação durante o armazenamento, 4) na distribuição e no manuseamento da água distribuída (BRASIL, 2012).

3.8.2. Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle - APPCC

APPCC é o mecanismo adotado para identificar eventos perigosos e estimar riscos que comprometem a potabilidade da água para consumo humano, com o intuito de indicar as medidas de controle, caso eles ocorram. A metodologia APPCC, originalmente utilizada na indústria química e, posteriormente, incorporada à indústria alimentícia, é uma ferramenta que possibilita a identificação de perigos associados às diversas etapas de produção.

Ele é definido como um procedimento sistemático para identificar perigos e estimar os Pontos Críticos de Controle (PCC) que podem afetar a inocuidade dos alimentos – o que inclui a água –, a fim de estabelecer as medidas para controlá-los (WHO, 1998). Esse sistema foi estruturado em sete princípios, conforme demonstrado na figura 8 (ALMEIDA, 1998; WHO, 1998).

Figura 8 - Os 7 Princípios do APPCC.



Fonte: adaptada da WHO (1998).

Segundo WHO (1998), o sistema APPCC baseia-se em um sistema de engenharia conhecido como Análise de Modos de Falhas e Efeitos (*Failure Mode and Effect Analysis – FMEA*). Neste sistema se observam, em cada etapa do processo, as falhas que podem ocorrer, suas causas prováveis e seus efeitos, para então estabelecer mecanismos de controle.

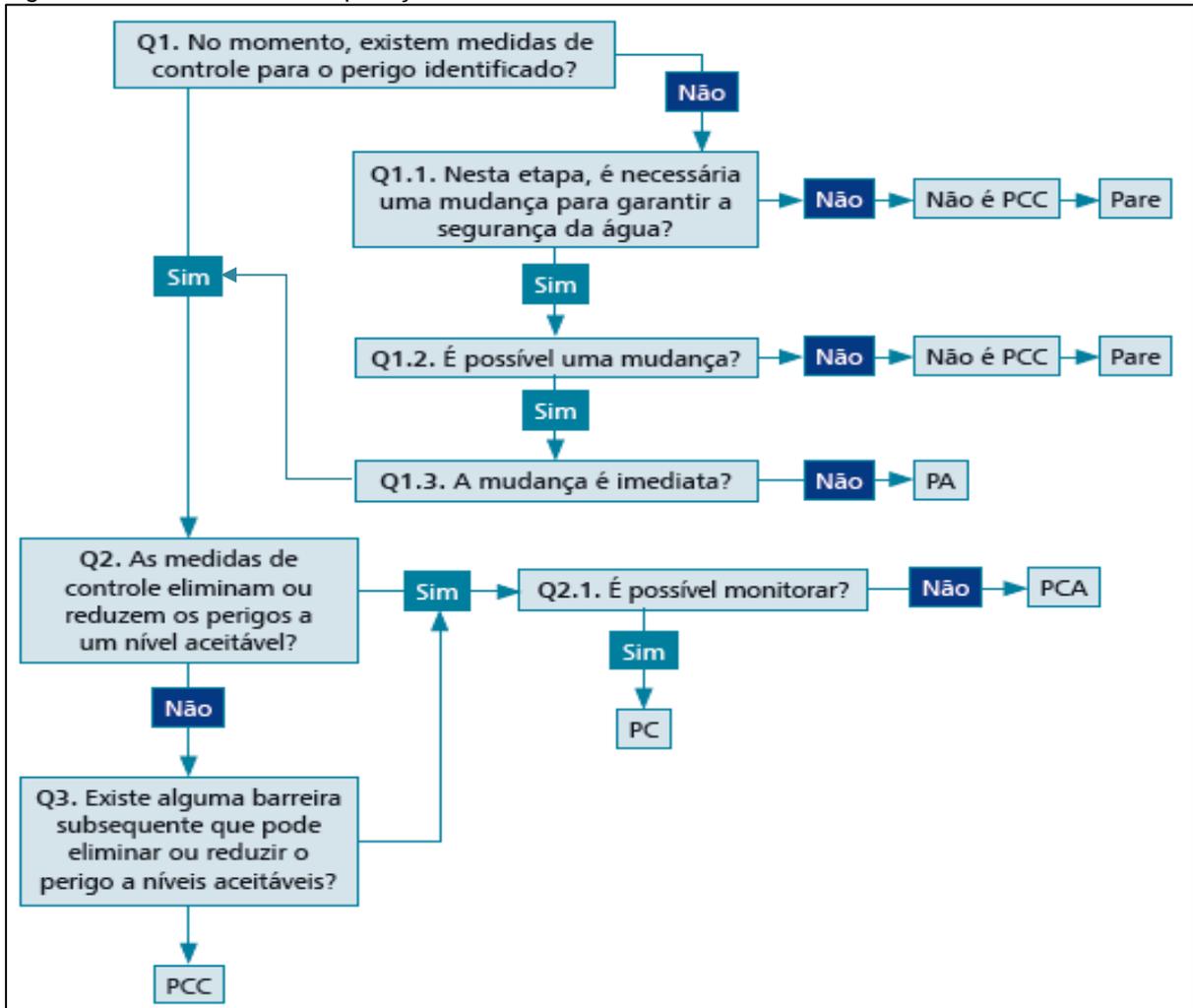
O sistema APPCC vem ganhando atenção por sua aplicação à produção de água para consumo humano, com as devidas adaptações e assim sua concepção serviu de base para a proposição das etapas preconizadas no PSA (GUNNARSDÓTTIR; GISSURARSON, 2008; HAVELAAR, 1994; VIDAL; MARROQUÍN; LOZADA, 2012). Com um enfoque sistemático para identificar perigos e estimar os riscos que podem acarretar problema na qualidade da água para consumo, tem a finalidade de estabelecer as medidas para que a mesma seja segura para consumo (WHO, 1998).

O principal uso dessa metodologia é para a identificação, monitoramento e ações de intervenção, nos Pontos de Controle (PC) e Pontos Críticos de Controle (PCC), assim como a identificação dos Pontos de Atenção (PA) e dos Pontos Críticos de Atenção (PCA).

- **Os Pontos de Controle (PC)** são pontos, ao longo do sistema de abastecimento de água, onde há um ou mais perigos que podem ser monitorados, de forma sistemática e contínua, sendo possível estabelecer limites críticos, de modo a prevenir, eliminar ou reduzir o perigo a um nível tolerável (AS/NZS, 2004).
- **Os Pontos Críticos de Controle (PCC)** são pontos, onde há um ou mais perigos que ofereçam risco à saúde. Podem ser monitorados de forma sistemática e contínua, com estabelecimento de limites críticos e respectivas medidas de controle, mas não existem barreiras que previnam, eliminem ou reduzam o perigo a um risco de nível tolerável (AS/NZS, 2004).
- **Os Pontos Críticos de Atenção (PCA)** são pontos, onde há um ou mais perigos que ofereçam risco à saúde, que não são passíveis de monitoramento por meio de limites críticos, mas é possível estabelecer intervenções físicas e medidas de controle direcionadas a prevenir, reduzir ou eliminar o perigo a um nível tolerável (AS/NZS, 2004).
- **Os Pontos de Atenção (PA)** são pontos, onde há um ou mais perigos que ofereçam risco à saúde, em que as medidas de controle não podem ser realizadas de imediato ou são de difícil implementação como, por exemplo, a ampliação de estações de tratamento de esgoto ou o controle de fontes difusas de contaminação (AS/NZS, 2004).

A determinação dos PCC é realizada de forma estruturada e sistemática, com auxílio de uma árvore de decisão, que representa uma sequência de questões como a que se apresenta na figura 9. Pressupõe-se o conhecimento prévio das medidas de controle implementadas no sistema. Esta metodologia baseia-se em um processo iterativo de respostas a um conjunto de questões que devem ser colocadas a cada evento perigoso, de modo a concluir se uma determinada fase do processo constitui, ou não, um PCC.

Figura 9 - Procedimento de aplicação da árvore de decisão.



Fonte: BRASIL, (2012).

Deve salientar-se que da aplicação da árvore de decisão pode concluir-se que:

- 1) uma fase subsequente do processo pode ser mais eficiente no controle de um perigo e, como tal, identificar-se aí o PCC;
- 2) mais do que um perigo pode ser controlado por uma medida de controle;
- 3) mais do que uma fase do processo pode estar envolvida no controle de um determinado perigo.

A sequência de respostas SIM ou NÃO (por ex.: S, N, S, N) deve ser referida nas fichas de avaliação do sistema, de modo a facilitar a percepção do caminho percorrido na árvore de decisão, conforme quadro 4.

Quadro 4 - Identificação de Pontos Críticos de Controle

Questões	Perguntas	Procedimentos de uso
Q. 1:	Existem medidas de controle para o perigo identificado?	Para responder a esta questão, deve-se analisar se ao longo do processo de produção se existem medidas que auxiliam a remoção ou redução do perigo e principalmente se há barreira

Questões	Perguntas	Procedimentos de uso
		(s) efetiva (s) que garantam a produção de água segura. Assim, se a resposta for SIM, deve-se passar à questão 2. Se a resposta for NÃO, passa-se à questão suplementar 1.1
Q. 1.1.	Nesta etapa é necessária uma mudança para garantir a segurança da água?	Essa questão verifica a necessidade de uma mudança ou controle para garantir a segurança da água. Se NÃO for necessário um controle dessa etapa, então não é um PCC, PARE. Se SIM, passa-se à questão suplementar 1.2
Q. 1.2.	A mudança pode ser realizada de imediato?	Essa etapa verifica a existência e, ou possibilidade de mudança nessa etapa. Se NÃO, então não é um PCC. Se houver possibilidade (SIM) é um PA que deve ser providenciado todo o planejamento e o tempo e recursos necessários para mudança. Após a modificação, deve-se proceder à avaliação dessa etapa e passa-se à questão 2 para verifica
Q. 2.	As medidas de controle eliminam ou reduzem o perigo a um nível aceitável?	Na questão 2, a pergunta é feita para verificar se as medidas de controle eliminam ou reduzem o perigo a um nível aceitável. Se a resposta for SIM, então é PCC. Se a resposta for NÃO, passa-se à questão 3.
Q. 3.	Existe alguma barreira que pode eliminar ou reduzir o perigo a níveis aceitáveis?	Esta questão permite avaliar se, apesar da existência de um perigo nessa fase do processo, ele consegue ser eliminado em outra barreira seguinte. Se a resposta for SIM, então Não é PCC, PARE. Se a resposta for NÃO, então é um PCC.

Fonte: adaptado da WHO (2004).

Para cada Ponto Crítico de Controle encontrado, segue-se a identificação dos locais onde é absolutamente essencial prevenir, eliminar ou reduzir um perigo dentro de limites aceitáveis, a partir da sua definição. Ele tem como objetivo a determinação dos respectivos limites críticos operacionais por meio de protocolos de monitoramento, a fim de apontar medidas preventivas e, ou corretivas que eliminem ou minimizem riscos à saúde pública (WHO, 1998).

3.8.3. Análise de Riscos

Para Bastos, Bevilacqua e Mierzwa (2009, p. 328) Análise de Riscos é um *“processo sistemático e integrado que permite a compreensão da origem e natureza do risco e a análise da probabilidade de ocorrência do risco e de suas consequências”*.

Segundo esses autores, a avaliação do risco é entendida como *“a caracterização e a estimativa, quantitativa ou qualitativa, de efeitos potencialmente adversos à saúde de indivíduos ou populações, em determinado prazo e cenário de exposição a um dado perigo”*. Ainda considerando a abordagem conceitual da análise do risco, os conceitos de risco, perigo e evento perigoso devem ser compreendidos e

diferenciados em consonância com a norma ISO 31000:2009, como apresentado por Oliveira (2010, p. 6):

Risco: é a probabilidade da ocorrência e a magnitude de efeito adverso à saúde de um indivíduo ou uma população em determinado prazo e cenário de exposição a um dado perigo.

Perigo (ou agente perigoso): agente biológico, químico, físico ou radiológico com capacidade de provocar danos à saúde.

Evento perigoso: situação que possa levar à presença de perigos.

3.8.4. Identificação de perigos e avaliação de riscos

A partir da descrição do sistema e a construção do diagrama de fluxo, realiza-se a identificação, em cada etapa do diagrama, dos eventos perigosos e/ou os perigos no sistema de abastecimento de água (físicos, químicos e biológicos). Desta forma, é possível correlacioná-los com possíveis problemas à saúde.

Os perigos físicos estão associados às características estéticas da água, tais como cor, turbidez, gosto e odor. Os perigos químicos estão associados à presença de substâncias químicas em concentrações tóxicas, nocivas à saúde. Os perigos biológicos são relacionados à presença de algas tóxicas e microrganismos na água (bactérias, vírus e protozoários), com ameaças à saúde (VIEIRA & MORAIS, 2005). Por fim, os perigos radiológicos são correlacionados à contaminação da água a partir de fontes de radiação.

Na qualidade da água, todos os agentes físicos, químicos, biológicos e radiológicos são considerados em todas as etapas do sistema. É destacada a sua probabilidade de ocorrência e o grau de severidade à saúde humana, bem como a priorização dos eventos perigosos e/ou perigos que trarão um impacto mais severo, em detrimento a eventos que são insignificantes e de ocorrência improvável.

Os perigos ou eventos perigosos com consequências mais severas devem ser priorizados em relação àqueles cujos impactos são insignificantes ou cuja ocorrência é improvável (DEWETTINCK et al., 2001; BARTRAM et al., 2009; NOKES; TAYLOR, 2003; VIERA & MORAIS, 2005).

Quando os eventos perigosos e os perigos forem identificados, eles devem ser analisados em função do seu grau de risco, caracterizando-os e priorizando-os com o emprego das técnicas Matriz de Priorização de Risco (AS/NZS, 2004) e Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) (WHO, 1998).

3.8.5. Priorização dos Riscos

Embora existam numerosos contaminantes que podem comprometer a qualidade da água para consumo humano, nem todos os perigos têm o mesmo grau de consequências (VIEIRA, 2009).

Os riscos devem ser priorizados em termos dos seus prováveis impactos na capacidade de o sistema continuar a fornecer água potável. Riscos com prioridade baixa podem ser minimizados com boas práticas rotineiras. Quando os dados são insuficientes para classificar um risco como sendo baixo ou alto, estes riscos devem ser considerados significantes até que as investigações provem o contrário. A avaliação de risco deve ser específica para cada sistema uma vez que cada sistema de abastecimento de água é único (WHO, 2009). Por isso, no início do processo de avaliação de riscos, o (s) membro (s) da equipe deve (m) definir o que consideram **insignificante, pequena, moderado, grande e catastrófica**.

Existem várias formas de classificar a probabilidade de ocorrência e a severidade de consequências. A avaliação dos perigos identificados, usando uma metodologia de priorização de riscos, abarca genericamente, uma apreciação baseada em bom senso e no conhecimento aprofundado das características do sistema em apreciação, podendo definir-se para tal uma matriz de classificação de riscos quantitativa.

Assim, para avaliar o risco associado a cada perigo, estabelece-se a probabilidade de ele ocorrer, através de uma **Escala de Probabilidade de Ocorrência**, e as consequências para a saúde da população abastecida, através de uma **Escala de Severidade das Consequências**.

Aplicando-se esta metodologia, a probabilidade de ocorrência é definida através de um julgamento sobre a estimativa de frequência com que o acontecimento pode ocorrer; a severidade das consequências é caracterizada em três classes de eventos: **letal** (mortalidade significativa para uma determinada população), **nociva** (morbilidade afetando uma parte de uma população) e de impacto **negligenciável** ou **nulo**. As pontuações a aplicar podem usar uma escala de pesos de 1 a 5, de acordo com a gravidade crescente do perigo. Um exemplo de aplicação desta abordagem apresenta-se no quadro 5.

Quadro 5 - Exemplo de Escala de Severidade de Consequências.

Severidade das Consequências	Descrição do Impacto	Peso
Muito Alta	Letal para uma parte significativa da população ($\geq 10\%$)	5
Alta	Letal para uma pequena parte da população ($< 10\%$)	4
Média	Nocivo para uma parte significativa da população ($\geq 10\%$)	3
Pequena	Nocivo para uma pequena parte da população ($< 10\%$)	2
Baixa	Nulo sem qualquer impacto detectável	1

Fonte: adaptado da WHO (2004).

3.8.6. Caracterização dos Riscos

A caracterização dos riscos pode ser realizada com vários graus de detalhamento, dependendo do risco, da finalidade da análise, das informações, dos dados e dos recursos disponíveis. Ela pode ser realizada utilizando técnicas qualitativas, quantitativas, semi-qualitativas e/ou semi-quantitativas do risco ou da combinação delas, dependendo das circunstâncias de exposição dos indivíduos e da população aos perigos (AS/NZS, 2004).

Para avaliar o risco associado a um perigo, determina-se a possibilidade de acontecimentos, por meio da **Escala de Probabilidade de Ocorrência**, (quadro 6) que classifica o risco em “**Muito provável**”, “**Provável**”, “**Possível**”, “**Pouco provável**” e “**Improvável**”, e as consequências para a saúde da população abastecida, estruturada por meio de uma **Escala de Severidade das Consequências**, (quadro 7) que classifica as consequências dos riscos como “**Extremo**”, “**Grave**”, “**Moderado**”, “**Leve**” e “**Insignificante**”, (DEWETTINCK et al., 2001; BARTRAM et al.; 2001; NOKES & TAYLOR, 2003; AS/NZS, 2004; VIEIRA & MORAIS, 2005).

Quadro 6 - Escala de Probabilidade de Ocorrência

Probabilidade de Ocorrência	Descrição da Frequência	Peso
Muito provável	Espera-se que ocorra 1 vez por dia	5
Provável	Provavelmente que ocorra 1 vez por semana	4
Possível	Provavelmente que ocorra 1 vez por mês	3
Pouco provável	Pode ocorrer 1 vez por ano	2
Improvável	Pode ocorrer excepcionalmente (1 vez cada 5 ou 10 anos)	1

Fonte: adaptado da WHO (2004).

Quadro 7 - Escala de Severidade da Consequência

Severidade da Consequência	Descrição do Impacto	Peso
Extremo	Potencial de mortalidade. Elevado risco à saúde, que não pode ser minimizado em etapa seguinte do sistema.	16
Grave	Efeitos de morbidade em função do uso da água. Potencial impacto à saúde, que não pode ser minimizado em etapa seguinte do sistema.	8
Moderada	Elevado impacto estético, moderados com risco potencial à saúde, que pode ser minimizado em etapa seguinte do sistema.	4
Leve	Pequeno impacto sobre a qualidade estética da água. Baixo risco à saúde, que pode ser minimizado em etapa seguinte do sistema.	2
Insignificante	Sem ou Nenhum impacto detectado.	1

Fonte: adaptado da WHO (2005) & Brasil (2012).

3.8.7. Matriz de Priorização de Risco

A priorização de riscos é determinada após a classificação de cada perigo com base nas escalas, e com a técnica **semi-quantitativas**, que atribui valores numéricos às **probabilidades** e **severidades**, de forma que de seu cruzamento resulte em um valor numérico construindo, portanto, uma **Matriz de Classificação de Riscos**. As pontuações dessa matriz, que constam no quadro 8, são obtidas através do cruzamento da escala de **probabilidade de ocorrência (linhas)** com a escala de **severidade das consequências (colunas)**.



Quadro 8 - Exemplo de Matriz de Classificação quantitativa de Riscos

Probabilidade Ocorrência	Severidade da Consequência				
	Efeito Nulo Insignificante Peso 1	Risco Leve Peso 2	Risco Moderado Peso 4	Risco Grave Peso 8	Risco Extremo Peso 16
Uma vez ao dia Muito provável Peso 5	5	10	20	40	80
Uma vez por semana Provável Peso 4	4	8	16	32	64
Uma vez ao mês Possível Peso 3	3	6	12	24	48

Probabilidade Ocorrência	Severidade da Consequência				
	Efeito Nulo Insignificante Peso 1	Risco Leve Peso 2	Risco Moderado Peso 4	Risco Grave Peso 8	Risco Extremo Peso 16
Uma vez ao ano Pouco provável Peso 2	2	4	8	16	32
Uma vez a cada 10 anos Improvável Peso 1	1	2	4	8	16

Fonte: Bartram et al. (2009).

Ou a Matriz de Classificação qualitativa de Riscos, que classifica os riscos.

Quadro 9 - Exemplo de Matriz de Classificação qualitativa de Riscos

Probabilidade Ocorrência	Severidade da Consequência				
	Efeito Nulo Insignificante Peso 1	Risco Leve Peso 2	Risco Moderado Peso 4	Risco Grave Peso 8	Risco Extremo Peso 16
Uma vez ao dia Muito provável Peso 5	L	M	G	E	E
Uma vez por semana Provável Peso 4	L	M	G	E	E
Uma vez ao mês Possível Peso 3	L	M	M	G	E
Uma vez ao ano Pouco provável Peso 2	L	L	M	G	E
Uma vez a cada 10 anos Improvável Peso 1	L	L	L	M	G

Fonte: Bartram et al. (2009).

E	≥ 32	Risco Extremo	Não tolerável ; necessidade de ação imediata.
G	16 a 24	Risco Grave	Não tolerável ; necessidade de gestão e especial atenção.
M	6 a 12	Risco Moderado	Necessidade de gerenciamento e atenção.
L	< 6	Risco Leve	Tolerável , controlável por meio de procedimento de rotina.

Impõe-se referir que a aplicação desta metodologia deve incorporar bom senso, de modo a poderem distinguir-se situações que, embora apresentem pontuações semelhantes, representam situações de perigo distintas. Assim, eventos perigosos

que ocorrem muito raramente com consequências catastróficas devem ter maior prioridade para controle do que outros que, embora ocorrendo com maior frequência, apresentam impactos limitados na saúde pública. Na elaboração de um PSA podem considerar-se Pontos de Controle (PC) os elementos do sistema, em que se verificam perigos classificados com pontuações de risco com valor igual ou superior a 6 (Moderado).

Em estudo de caso realizado na estação de tratamento de água de responsabilidade da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), Carvalho, Jacob e Durães (2015) consideram o perigo crítico como impacto na saúde pública que pode gerar grandes danos ambientais, excedendo os limites legais de forma sistêmica. No entanto, os autores não ponderam a severidade dos perigos como risco elevado à saúde com a interrupção do fornecimento de água.

Alguns dos principais riscos que são considerados em um SAA incluem a presença de contaminantes químicos e biológicos, a ocorrência de eventos climáticos extremos, a falha de equipamentos no sistema de tratamento, entre outros. Segundo a OMS, as soluções de abastecimento para pequenas cidades estão mais vulneráveis aos riscos de falhas e à contaminação, podendo provocar epidemias de veiculação hídrica e má qualidade nos serviços de abastecimento público.

Tanto no Brasil como no mundo, percebe-se a deficiência em que um sistema de saneamento básico possa atender a regiões menos populosas, em função muitas vezes de que essas regiões estão afastadas dos grandes centros, e do descaso público com essas áreas que não possuem um grande número de habitantes. Estas áreas são as mais afetadas, seja por questão de falta de água, ou em relação a sua potabilidade, o que gera diversas doenças para a população local, uma má qualidade de vida, e que em conjunto com outros municípios que vivem a mesma realidade, geram um grande número de pessoas prejudicadas pela falta de um sistema de abastecimento que os atende (FARIAS et al., 2014).

O conceito da garantia de qualidade da água, sob a ótica do saneamento e da saúde ambiental, o controle laboratorial feito através da comparação de valores paramétricos, como previsto na legislação em vigor, torna-se insuficiente para garantir a segurança da água para consumo humano, evidenciando assim a necessidade da adoção de medidas que vão além dessa análise de conformidade. Tal abordagem busca, entre outros, mitigar os efeitos danosos da carga de poluentes presentes em corpos hídricos, sobretudo àqueles destinados a produção de água para consumo

humano (SILVA & FIGUEIREDO, 2015). Os benefícios promovidos na gestão hídrica dependeram do planejamento preventivo para o sistema de abastecimento de água, da criação de banco de dados com informações relevantes ao sistema, bem como a possibilidade de melhoria no monitoramento da qualidade do manancial, do tratamento e da água distribuída.

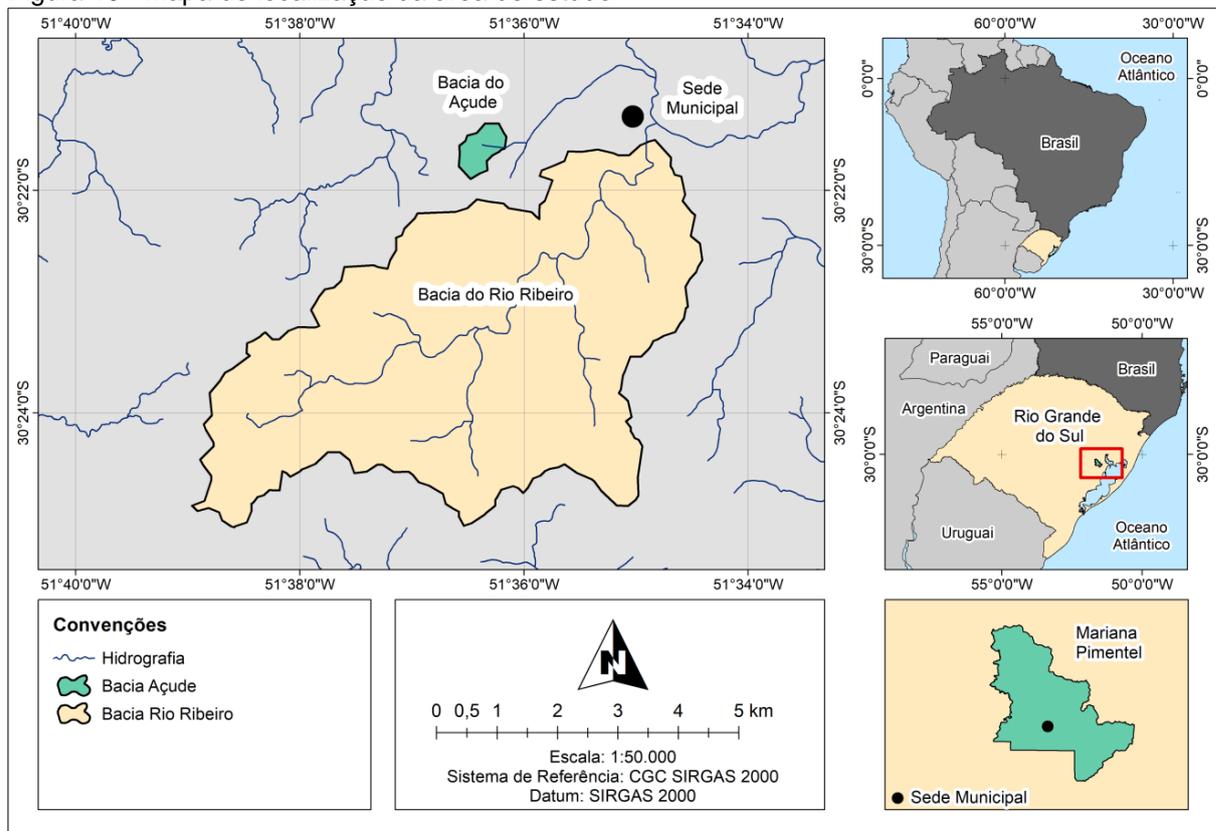
4 MATERIAIS E MÉTODOS

A descrição dos materiais e métodos do presente trabalho será separada em duas partes: a primeira será referente à avaliação de riscos do SAA do município de Mariana Pimentel/RS e, a segunda, descreverá os procedimentos utilizados para avaliação de ponto do Rio Ribeiro, possível manancial alternativo de captação.

4.1 Localização e Caracterização Fisiografia da Área de Estudo

O estudo de caso foi realizado na cidade de Mariana Pimentel, que está localizada no estado do Rio Grande do Sul, com uma área territorial de 338,450 km² e uma área urbanizada de 0,95 km² em 2019 (IBGE, 2022). O município limita-se com os municípios de Eldorado do Sul, ao norte; Guaíba e Barra do Ribeiro, a leste; Sertão Santana ao sul; Arroio dos Ratos e Barão do Triunfo, a oeste, distante a 77 km da capital Porto Alegre (figura 10).

Figura 10 - Mapa de localização da área de estudo



Fonte: MEDEIROS (2022).

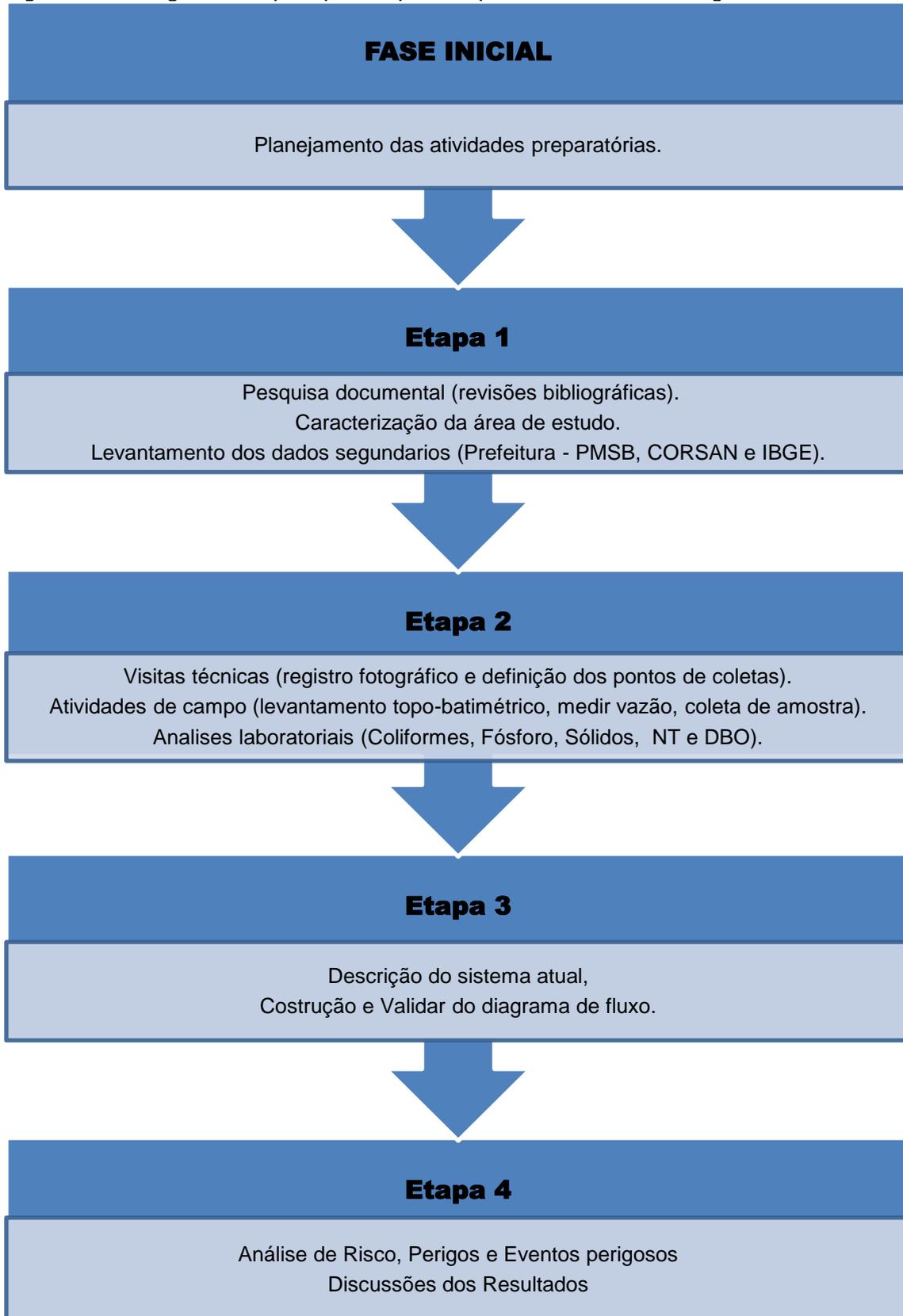
4.2 Avaliação de Risco do SAA

Para alcançar os objetivos desse estudo, foram selecionadas as metodologias mais utilizadas na implantação de PSA, descritas pelos autores: Amjad et al. (2016); Bezerra (2011, 2018); Braga (2015); Brasil (2012); Chagas & Teixeira (2016); Corrêa & Ventura (2021); Souza et al. (2022); Hilaco (2012); Nijhawan et al. (2014); Oliveira (2010); Ventura, Vaz e Nascimento (2019); Vieira & Morais (2005); WHO (2012).

Inicialmente, a pesquisa bibliográfica reuniu as informações necessárias para a compreensão da Análise de Risco, parte integrante do Plano de Segurança da Água, bem como a definição dos itens que compõem o termo de referência para a sua elaboração. Igualmente, foi elaborada uma revisão sobre os principais aspectos da legislação brasileira relacionadas às normas e aos parâmetros de qualidade da água.

A figura 11 apresenta as 4 etapas realizadas no presente trabalho. Destaca-se a importância da fase inicial, momento em que foi realizado o planejamento das atividades a serem desenvolvidas.

Figura 11 - Fluxograma das principais etapas dos procedimentos metodológicos



Fonte: adaptada de Medeiros (2023).

4.3 Fase Inicial

A metodologia usada para a avaliação de riscos e conduzida de acordo com as publicações científica relevante ao desenvolvimento deste trabalho. Para cumprir o planejamento das atividades descritas na ilustração da figura 11, o estudo foi dividido em 4 etapas, além da Fase Inicial.

4.4 Etapa 1 – Pesquisa Documental

Na primeira etapa foi realizada uma pesquisa bibliográfica com levantamento dos dados secundários através de documentos e informações dos órgãos competentes: CORSAN, IBGE e PMSB, bem como a caracterização da área de estudo.

4.4.1 Levantamento de dados secundários

Com uma área territorial total de 338.450 km², Mariana Pimentel tem uma densidade demográfica que corresponde a 11,57 hab.km². A maioria da população, 83,07%, reside na região rural e apenas 16,93% da população estão inseridas no perímetro urbano (IBGE, 2021) do município, conforme quadro 10.

Quadro 10 - População de Mariana Pimentel, segundo dados do IBGE

População em 2021			Habitantes	Percentual
Situação domiciliar	Urbana	Total Parcial	659	16,93%
	Rural	Total Parcial	3.233	83,07%
	TOTAL		3.892	100%

Fonte: Instituto Água e Saneamento, (Censo Demográfico, 2021).

4.4.2 Panorama Geral do SAA de Mariana Pimentel

Os dados oficiais disponibilizados pelo Censo Demográfico do IBGE (2021) abrangem as diferentes formas de abastecimento de água existentes em Mariana Pimentel. Essas informações permitem avaliar a forma de atendimento de desse serviço, bem como a situação domiciliar no município, conforme mostrado no quadro 11 (PMSB - MARIANA PIMENTEL; 2021).

Quadro 11 - Formas de abastecimento verificadas em Mariana Pimentel

Forma de abastecimento de água	Situação domiciliar		
	Urbano	Rural	Total
Rede geral	222	168	390
Poço ou nascente	23	972	995
Poço ou nascente na propriedade	10	683	693
Poço ou nascente fora da propriedade	13	289	302
Água da chuva armazenada em cisterna	-	1	1
Outra forma	-	3	3
TOTAL	245	1.140	1.389

Fonte: PMSB-Mariana Pimentel, (2021).

Boa parte dos habitantes do município está distribuída, predominantemente, na zona rural, com mais de 80% do número total de residências indicadas no quadro 10. Em função disso, o número de moradias atendidas por rede geral de distribuição de água é proporcionalmente menor, contribuindo com apenas 28,1% dos casos, sendo a classe de domicílios urbanos o maior contribuinte (56,9%) da amostra levantada neste caso (PMSB MARIANA PIMENTEL, 2021).

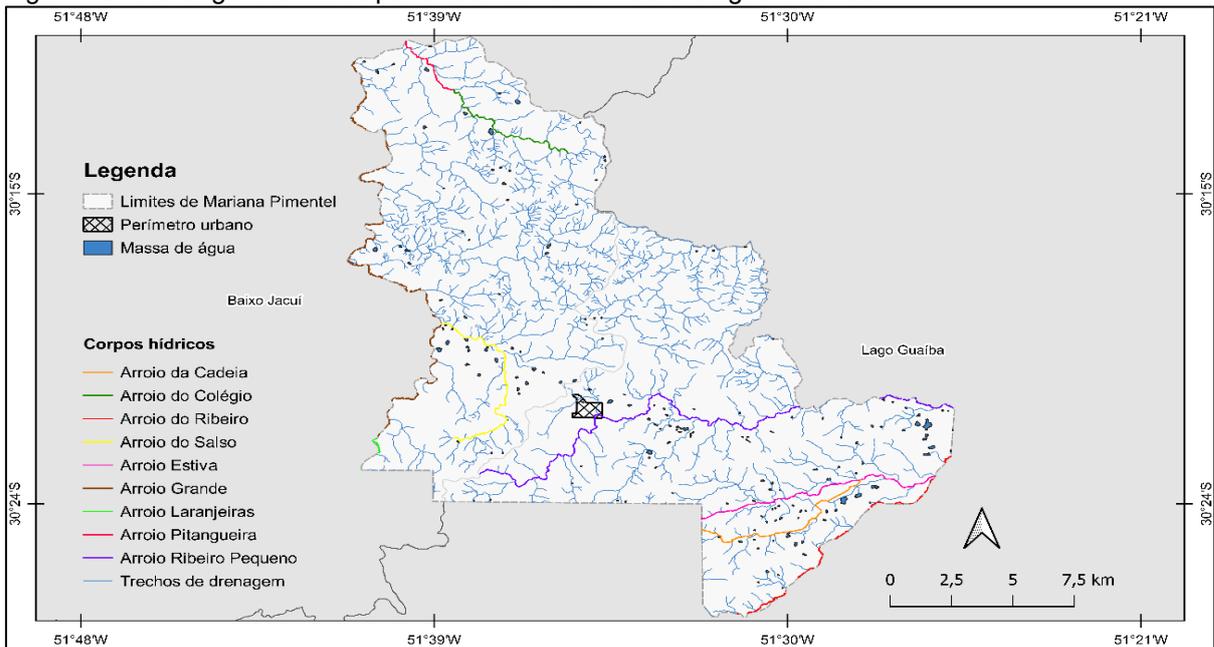
Em geral, a concepção do sistema de abastecimento de água em Mariana Pimentel no contexto urbano é bastante simplificada. É realizada a captação em manancial superficial, tratamento convencional e distribuição residencial de água operada por gravidade em todo território (PMSB Mariana Pimentel; 2021).

4.4.3 Informações e indicadores de referência

Como critérios de avaliação do padrão quantitativo de dimensionamento e qualitativo relacionado às condições do SAA do município, são considerados como satisfatórios ao bom atendimento à população os seguintes parâmetros e diretrizes:

- Consumo médio per capita: 150L/hab. dia;
- Pressões mínimas e máximas: 10 mca e 40 mca (parâmetro recomendado pela CORSAN);
- Reservação: 1/3 volume do dia de maior consumo;
- Micromedição obrigatória, com prazo de renovação de acordo com as instruções normativas do INMETRO, para os hidrômetros instalados;
- Meta para a perda máxima admissível no SAA $\leq 25\%$, conforme Nota Técnica nº 01/2013-DA/AGERGS;
- Cobertura do atendimento: 100% para água (urbano);

Figura 12 - Abrangência municipal e estimativa de massa d'água inserida.



Fonte: PMSB de Mariana Pimentel (2021).

4.4.4 Acesso ao Saneamento

Em termos gerais, o poder público de Mariana Pimentel é atuante em dois eixos do saneamento básico, sendo eles o abastecimento de água, de responsabilidade da CORSAN, e o recolhimento de resíduos sólidos, por meio de uma empresa contratada. Entretanto, mesmo esses sistemas são incompletos: apenas cerca de um terço da população tem acesso ao sistema público de abastecimento de água. Os poços artesianos, que abastecem a maior parte da população rural, não possuem sistema de monitoramento da qualidade da água (PMSB MARIANA PIMENTEL, 2021).

Não há rede de esgotamento sanitário não tem estação de tratamento de esgoto, o tratamento é alternativo com soluções individuais, frequentemente precárias (e.g., fossa rudimentar, vala). Além disso, algumas regiões estão sujeitas problemas relacionados a alagamentos em períodos de chuvas mais intensas (PMSB MARIANA PIMENTEL, 2021).

4.4.5 Informações do SAA da Zona Urbana

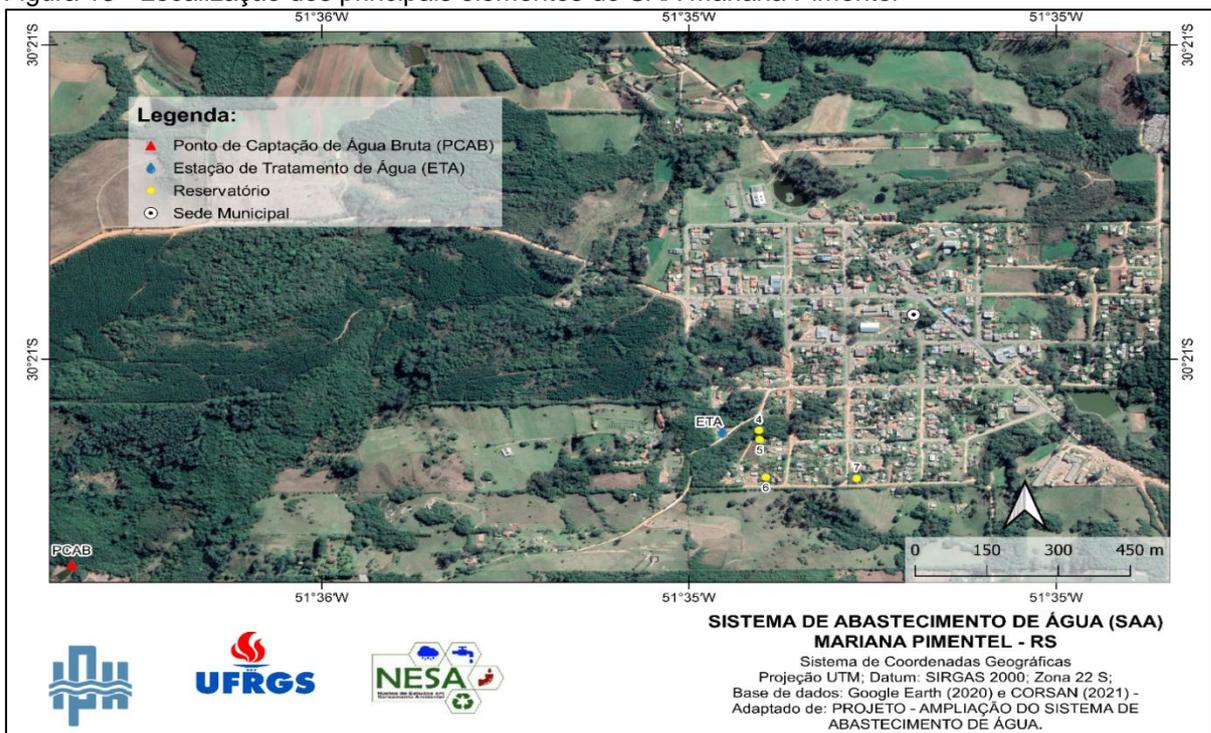
Desde a emancipação do Município, em 1992, até o final do ano de 1994, os serviços de abastecimento de água prestados ao núcleo urbano de Mariana Pimentel

foram administrados pelo Poder Público Municipal. Contudo, a partir de dezembro de 1994, o SAA passou a ser conduzido pela CORSAN, mediante a celebração de contrato de concessão durante o período de vinte anos (PMSB MARIANA PIMENTEL, 2021).

A concessionária dispõe, atualmente, de um conjunto de infraestrutura e instalações operacionais que contemplam uma unidade de captação superficial e de adução de água bruta operada por gravidade, uma Estação de Tratamento de Água (ETA) convencional e sete reservatórios de armazenamento de água potável, tal como representado no mapa da figura 13.

Além dos quatro reservatórios indicados no mapa, existem outros três localizados nas dependências da própria ETA.

Figura 13 - Localização dos principais elementos do SAA Mariana Pimentel



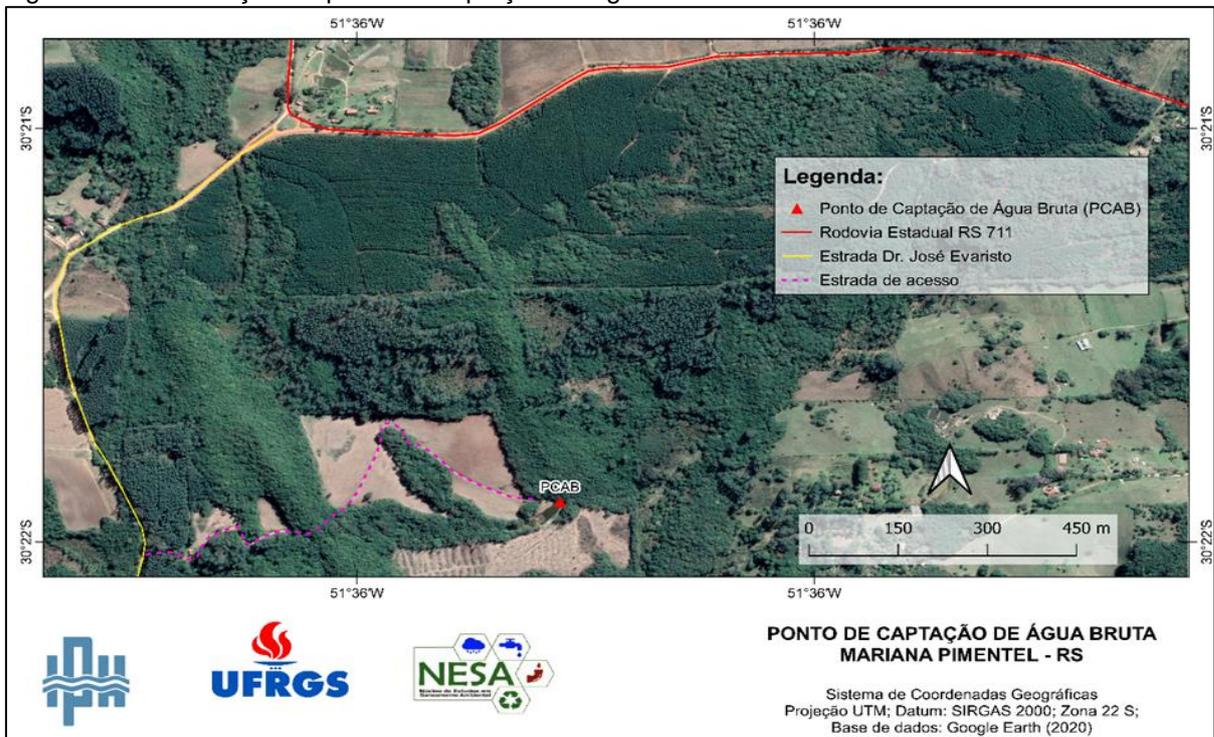
Fonte: PMSB de Mariana Pimentel (2021).

4.4.6 Sistema de Captação e Adução de Água Bruta

Atualmente, o sistema de captação de água bruta do município é feito em manancial superficial com a denominação Açude Linha Preta, situado em propriedade particular localizada a sudoeste do perímetro urbano do município. A rota para acesso se dá pela conjunção da Rodovia Estadual ERS-711 com a estrada municipal Dr. José

Evaristo, em direção ao acesso secundário localizado as margens da via (figura 14) (PMSB MARIANA PIMENTEL, 2021).

Figura 14 - Localização do ponto de captação de água bruta



Fonte: PMSB de Mariana Pimentel, (2021).

De acordo com a Secretaria Municipal de Agricultura, além de resguardar o ponto de captação de água, a área também se destina à atividade de silvicultura pelo plantio de acácia nas imediações do manancial de abastecimento. Ainda, em conversa com técnicos da respectiva Secretaria, culturas de fumo e de batata-doce eram práticas recorrentes no local (PMSB MARIANA PIMENTEL, 2021).

Conforme observado *in loco*, a prestadora possui acesso permanente a unidade de captação, permitindo assim a manutenção e o monitoramento do sistema de forma regular. Por outro lado, na área não foi identificado nenhum tipo de sistema de iluminação dedicado a eventuais inspeções noturnas, tampouco que estabeleça um perímetro mínimo de segurança do local (isolamento da área, seja por meio de cerca, muro ou afins). Esse último item seria um importante mecanismo na preservação e proteção do manancial, restringindo o acesso não só de pessoas sem autorização, mas também de animais.

Para garantir o volume mínimo de água de projeto, a unidade de captação do município conta com dispositivo de barramento de nível, constituído em maciço de terra,

responsável pela elevação da profundidade natural do corpo hídrico, gerando assim um volume médio de acúmulo de cerca de 290 m³ de água na represa (figura 15a).

No quadro 12 são apresentadas demais informações acerca do sistema de barramento de nível existente no ponto de captação de água bruta, conforme dados contidos no cadastro de uso da água, disponibilizado no Sistema de Outorga de Água do Rio Grande do Sul (SIOUT-RS, 2021).

Quadro 12 - Aspectos gerais do manancial captação em Mariana Pimentel

Particularidades do manancial superficial	Unidades	Dados
Volume normal de armazenamento	m ³	289,00
Comprimento da taipa	m	19,00
Altura máxima da taipa	m	2,10
Altura máxima do nível d'água	m	1,20
Altura normal do nível d'água	m	0,85
Cota do terreno em relação ao nível do mar	m	154,00
Vazão de captação	L/s	6,60
Vazão em 95% do tempo (Q95)	L/s	1,23
Vazão de captação de outorga	L/s	6,60
Localização Latitude:		-30,3605
Localização Longitude:		-51,6028

Fonte: PMSB de Mariana Pimentel (2021).

Por estar localizado a, aproximadamente, 19 m de altitude em relação à ETA, o sistema de captação e transposição de água atual, dispensa o uso de Elevatórias de Recalque de Água Bruta (ERAB), favorecendo, assim, o transporte por simples gravidade até a unidade de tratamento. Este sistema, por sua vez, é responsável pela adução de cerca de 6 L/s (23,76 m³/h) de água bruta do manancial através de uma única canalização constituída em material plástico de policloreto de vinila (PVC), com Diâmetro Nominal (DN) de 100 mm, por cerca de 1.700 m (CORSAN, 2021a).

Cabe destacar também a existência de outra instalação a jusante da represa, construída em alvenaria, por onde a água bruta captada percorre antes de ser efetivamente conduzida até a ETA (figura 15b).

Figura 15 - Componentes do sistema de captação, (a) barramento de nível, (b) estrutura para retenção de sólidos e (c) régua para nível d'água.

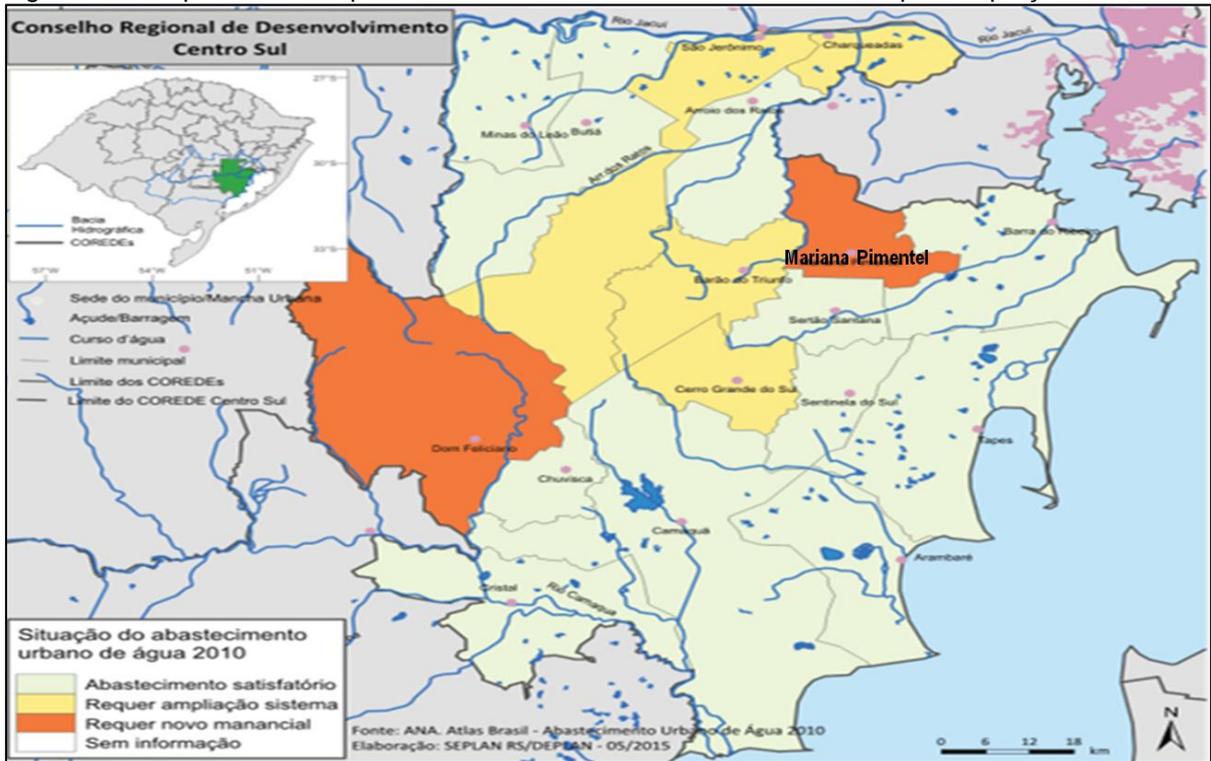


Fonte: PMSB de Mariana Pimentel (2021).

4.4.7 A Escassez de Água no Município

O estudo do Perfil Socioeconômico (COREDE Centro Sul) realizado em 2015 pela Secretaria de Planejamento Desenvolvimento Regional, e Departamento Planejamento Governamental, já havia diagnosticado escassez de água em alguns municípios do Centro Sul do Rio Grande do Sul. Essa escassez crescente de água é uma tendência e pode inviabilizar atividades econômicas e sociais, prejudicando desenvolvimento local.

Figura 16 – Mapa dos municípios com necessidade de um novo manancial para captação



Fonte: ANA Atlas Brasil, (2010)

No mesmo estudo realizado em 2015, o Departamento Planejamento Governamental havia detectado também a necessidade de um novo manancial para abastecimento urbano do município de Mariana Pimentel, conforme mostra a figura 16.

4.5 Etapa 2 – Visita Exploratória (in loco) e Definição dos Pontos de Coletas

As atividades de campo foram realizadas no atual ponto de captação da CORSAN, o açude Linha Preta, e no Rio Ribeiro. Este último foi avaliado como uma possível alternativa para novo ponto de captação para abastecimento da zona urbana no município. Destaca-se que a população do município sofre com a falta d'água na época de estiagem, que ocorre frequentemente no verão. Por isso, foram realizadas avaliações tanto de quantidade, mas também da qualidade de ambos os mananciais.

As vistorias iniciaram no dia 21/12/2022 e terminaram no dia 17/05/2023, totalizando 10 visitas técnicas. Esse período foi escolhido devido o verão ser a época de menor vazão dos mananciais.

Nas atividades de campo, realizaram-se os registros fotográficos, verificação da atual situação da barragem de acumulação açude Linha Preta, através de levantamento

topográfico e batimetria. Este ponto foi monitorado quinzenalmente, e amostras foram coletadas a fim de verificar o Índice de Qualidade da Água bruta (IQA).

Figura 17 – Barragem de acumulação d'água (açude Linha Preta)



Fonte: Autor (2023).

Após algumas visitas, foram observadas obras de melhorias no entorno do açude, que consistiram na colocação de placa de sinalização e no levantamento da taipa da paragem para aumentar a capacidade de armazenamento de água bruta.

Além do açude Linha Preta (figura 17), o rio Ribeiro foi avaliado durante o mesmo período descrito anteriormente. O local escolhido para o monitoramento do rio Ribeiro considerou o seu ponto de maior proximidade com a ETA do município, pois uma possível captação nesse representaria o menor percurso que adutora de água bruta. Nesse ponto, foram realizadas coletas de 10 amostras para avaliação do IQA, bem como 10 medições de descarga líquida para avaliar a vazão média durante o monitoramento (verão).

A figura 18 mostra, a partir de imagens de satélite, a ETA e os locais de coletas das amostras no açude Linha Preta e no rio Ribeiro.

Figura 18 - Imagens de satélite mostra a ETA os locais de coletas das amostras d'água



Fonte: adaptada do Google Earth (2023).

Os critérios utilizados nessa pesquisa para seleção das áreas prioritárias dos pontos de coletas das amostras foram selecionados considerando as recomendações do Manual Técnico de Coleta, Acondicionamento, Preservação e Análises Laboratoriais de Amostras de Água (EMBRAPA, 2004).

As técnicas utilizadas para a coleta das amostras devem considerar os parâmetros determinados (CETESB, 1998). Em águas superficiais (rios, córregos, represas), deve-se procurar selecionar pontos espacialmente representativos do corpo d'água a ser analisado. A NBR 9898 (ABNT, 1987) recomenda que seja evitada a coleta de amostras em áreas estagnadas ou em locais muito próximos às margens. O quadro 13 apresenta os dados do levantamento topográfico, de altitude e coordenadas do ponto de coleta na captação, na ETA e na ponte do rio Ribeiro.

Quadro 13 - Descrição das coordenadas dos pontos de coletas e da ETA

Ponto	Altitude	Coordenadas em UTM
Captação (Açude Linha Preta) - RN	160,30 m	E=442084,350 m
		N=6641136,75 m
CORSAN (ETA) – Chegada Água Bruta	137,69 m	E=443444,960 m
		N=6641542,81 m
Ponte (Rio Ribeiro)	85,24 m	E=444143,774 m
		N=6641517,347 m

Fonte: Autor (2023).

4.5.1 Atividades *in loco*

As atividades de campo contemplaram, além do levantamento fotográfico, o levantamento topográfico no entorno da barragem de acumulação d'água bruta, o açude Linha Preta, utilizando uma Estação Total e um GPS-RTK (figura 19). Também foi realizada a batimetria açude com o uso do GPS-RTK acoplado ao ADCP (M9), conforme apresentado na figura 20.

Figura 19 – Levantamento topográfico, do açude Linha Preta utilizando GPS-RTK



Fonte: Autor (2023).

Figura 20 – Batimetria do açude Linha Preta utilizando RTK acoplado ao ADCP (M9).



Fonte: Autor (2023).

Para avaliar o Índice da Qualidade da Água (IQA) bruta, tanto do açude Linha Preta (figura 21a) quanto do rio Ribeiro (figura 21c), foram coletadas amostras de água para análise laboratorial dos parâmetros físicos, químicos e biológicos (DBO₅; coliformes totais e *Escherichia coli*; sólidos totais; nitrogênio total; fósforo total). Foram coletadas 20 amostras d'água bruta para análise laboratorial: 10 amostras do açude Linha Preta (figura 21a) e 10 amostras do rio Ribeiro (figura 21b). As coletas foram realizadas seguindo o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da ANA (2011), tanto no açude quanto no rio.

4.5.2 Coletas das amostras

As amostras para análises físicas e químicas foram coletadas em frascos plásticos com capacidade de 1000 mL. As garrafas foram lavadas com água e detergente para limpeza de vidrarias em abundância antes de serem utilizadas, a fim de evitar a contaminação e erros nos resultados.

Para a coleta de amostras para análises de indicadores microbiológicos, foram utilizados frascos Schott de 100 mL com tampas rosqueadas. Os mesmos eram lavados com água e detergente para limpeza de vidrarias, enxaguados com água destilada, e envoltos em papel alumínio na tampa e esterilizados na autoclave a 121°C por 20 minutos.

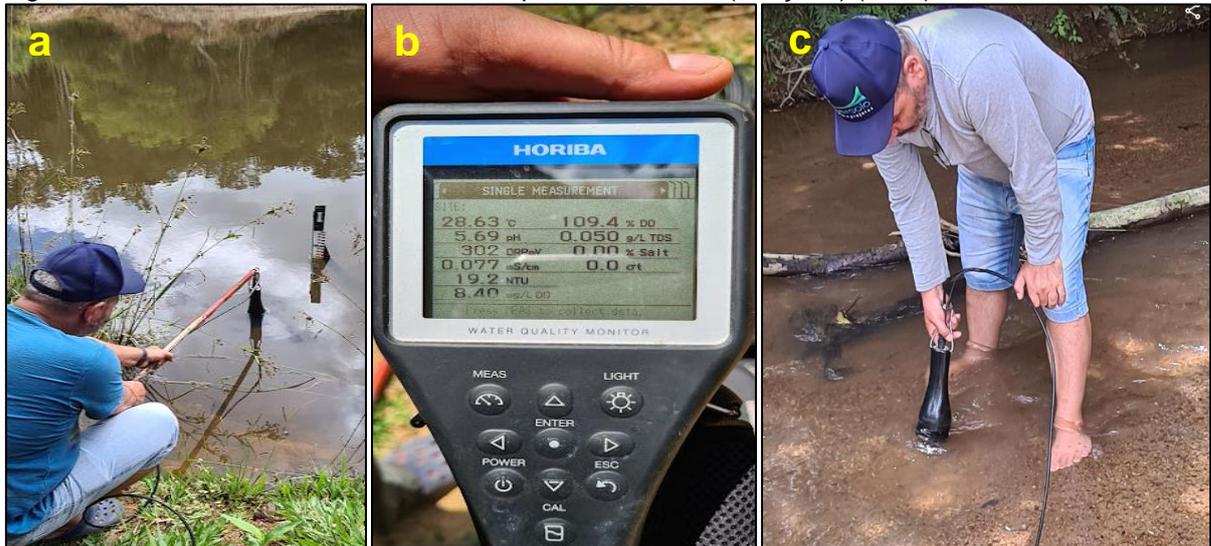
Quadro 14 - Descrição das coordenadas e altitude dos pontos de coletas com data e hora

Açude		Rio	
Altitude = 160,30 m		Altitude = 85,24 m	
Coordenadas em UTM		Coordenadas em UTM	
N=6641136,75 m E=442084,35 m		N=6641517,34 m E=444143,77 m	
Data	Hora	Data	Hora
20/12/22	14h 43min	20/12/22	15h 35min
11/01/23	14h 07min	11/01/23	14h 45min
26/01/23	13h 25min	26/01/23	13h 58min
07/02/23	12h 05min	07/02/23	10h 57min
22/02/23	13h 21min	22/02/23	14h 11min
07/03/23	14h 33min	07/03/23	11h 33min
21/03/23	12h 17min	21/03/23	10h 31min
11/04/23	11h 01min	11/04/23	12h 18min
26/04/23	11h 26min	26/04/23	10h 35min
17/05/23	15h 10min	17/05/23	14h 01min

Fonte: Autor (2023).

Localmente, foram medidos os parâmetros de avaliação imediata (oxigênio dissolvido; taxa de saturação em oxigênio; condutividade elétrica; potencial hidrogeniônico; temperatura; turbidez), com a sonda Horiba U-52 Multiparameter Meter (figura 21).

Figura 21 – Sonda marca Horiba U-52 Multiparameter Meter (a=açude) (c=rio)



Fonte: Autor (2023).

Para o levantamento topo-batimétrico do perfil transversal do rio Ribeiro, utilizou-se um nível topográfico e mira (figura 22a), e um micro molinete (figura 22b) para medir a descarga líquida (vazão).

Figura 22 – Levantamento do perfil topo-batimétrico (a) e medição da descarga líquida (b)



Fonte: Autor (2023).

Esses ensaios são importantes para monitorar e comparar as vantagens e desvantagens deste ponto durante o estudo, a fim de avaliar a capacidade do rio Ribeiro em ofertar maior vazão do que o açude Linha Preta. Como já comentado anteriormente, os resultados podem subsidiar a recomendação de implantação de um novo ponto de captação para o abastecimento urbano do município. Deste modo, seria possível contornar os efeitos da falta de água na época de estiagem, que ocorre frequentemente no verão.

4.5.3 Análises físicas, químicas e biológicas

Para avaliar o IQA, as análises físicas, químicas e biológicas dos dois pontos de coleta seguiram as metodologias descritas pelo *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (2017). Foram realizadas análises de coliformes totais e *Escherichia coli*; demanda bioquímica de oxigênio (DBO); nitrogênio total (NT); fósforo total (PT) e resíduo total/sólidos totais. Os procedimentos foram realizados no Laboratório de Saneamento (LADETEC) do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

As análises realizadas para cada coleta, abreviação e método estão mostradas no quadro 15.

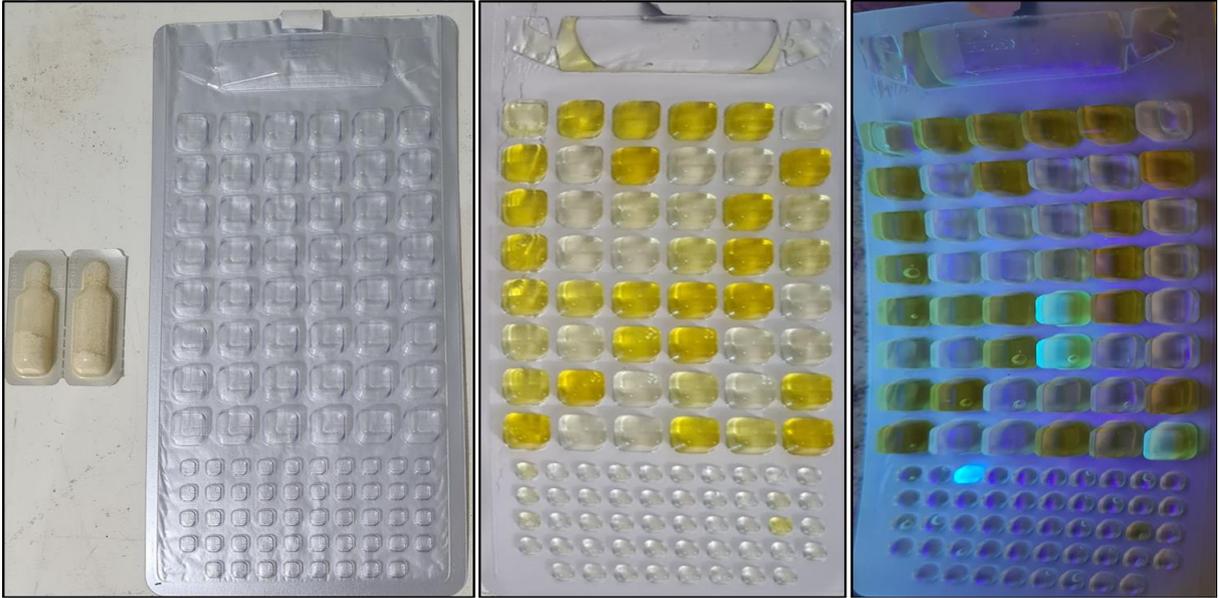
Quadro 15 - Análises realizadas para cada ponto em todas as 10 coletas

Parâmetro/Análise	Abreviação	Método/Modelo	Ponto de coleta	
			Açude	Rio
Oxigênio Dissolvido	OD	Horiba U-51	X	X
Temperatura da água	C°	Horiba U-52	X	X
Potencial Hidrogeniônico	pH	Horiba U-53	X	X
Condutividade elétrica	CE	Horiba U-54	X	X
Turbidez	Turbidez	Horiba U-55	X	X
Sólidos Totais	ST	SM 2540 B	X	X
Demanda Bioquímica de Oxigênio	DBO _{5,20}	SM 5210 D	X	X
Nitrogênio Total	NTK	TOC-V/TN.	X	X
Fósforo total	PT	SM 4500-P	X	X
Coliformes totais	CoT	Colilert®	X	X
<i>Escherichia coli</i>	<i>E. Coli</i>	Colilert®	X	X
Legenda: SM - <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition</i>				

Para as análises microbiológicas, foi utilizado o teste quantitativo com substrato cromogênico Colilert®, que identifica e quantifica as bactérias coliformes totais e *Escherichia coli* em amostras. As análises de coliformes totais e *E. coli* foram realizadas de acordo com as orientações dos fabricantes do kit teste marca Colilert® modelo IDEXX e de APHA (2017).

O método utiliza dois nutrientes indicadores, o substrato cromogênio X-GAL e o substrato fluorogênico MUG. A cor muda de amarelo claro para azul esverdeado na presença de coliformes totais (figura-23). Na presença de *E. coli* forma-se uma fluorescência azul sob a luz ultravioleta (365nm).

Figura 23 - Cartela da marca Colilert para análise (meio de cultura) de coliformes totais e fecais



Fonte: Autor (2023).

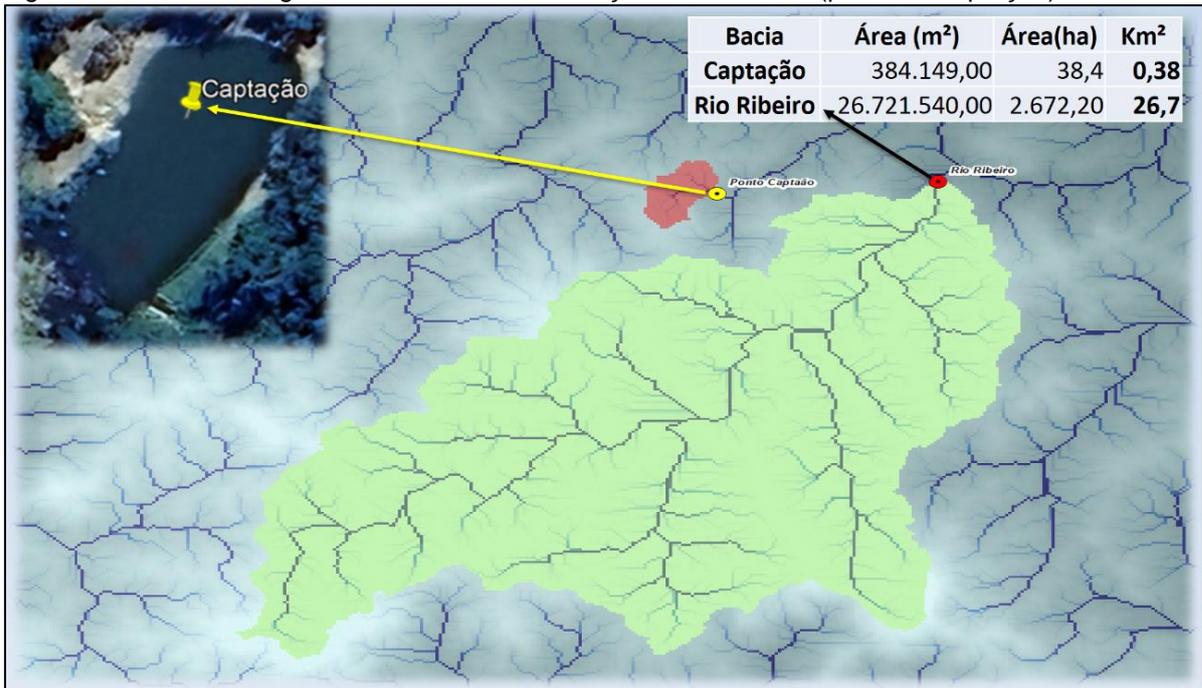
Para quantificar os microrganismos presentes, depois de dissolvido o meio de cultura em 100 mL de amostra (diluída) em um recipiente estéril, a mistura foi colocada em uma cartela, denominada Quanti-Tray/2000, e selada com a seladora IDEXX Quanti-Tray. A seguir, a cartela foi posta em uma estufa a temperatura de $35 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 24 h (IDEXX, 2019). Depois, realizou-se a contagem dos quadrados que alteraram de cor e fluorescência da cartela plástica, sendo os resultados introduzidos no Software IDEXX Water MPN Generator junto com a diluição da amostra para encontrar o número mais provável (NMP) de microrganismos. A unidade utilizada para quantificação de coliformes totais e *Escherichia coli* é NMP/100 mL.

4.6 Etapa 3 – Descrição do Sistema de Abastecimento de Água

A descrição detalhada do sistema de abastecimento de água do município foi realizada a partir das visitas de campo, com a avaliação visual da bacia hidrográfica, da barragem de acumulação de água bruta, da zona de captação, da ETA, e do sistema de distribuição (reservatórios e redes). Essa descrição, recomendada por Bastos (2010), incluiu: a) o uso e a ocupação do solo, b) medidas de proteção da bacia hidrográficas, além de informações sobre a quantidade e qualidade da água do manancial de captação (água bruta), c) dos processos de tratamento aplicados na ETA, d) dos reservatórios do sistema e) da rede de distribuição (água tratada), por meio de levantamento de dados primários e secundários.

A área de estudo compreendeu a região a montante (sentido oeste da cidade), aproximadamente 2 km da zona urbana do município. A bacia hidrográfica do manancial de abastecimento de água bruta, o açude Linha Preta (figura 24), abrange uma área de aproximadamente 0,38 km². Também foi realizado o monitoramento da vazão e a qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Ribeiro, que possui área de 26,7 km².

Figura 24 – Bacia hidrográfica do rio Ribeiro e do açude Linha Preta (ponto de captação).



Fonte: adaptada de Risso (2023).

O uso e ocupação do solo nessa região foi avaliado por registros fotográficos e atividades de campo. Foram identificadas atividades agropecuárias, com criação de animais (cavalos, gados), desenvolvidas por pequenos produtores rurais, e, mais recentemente, plantação de acácia e eucalipto.

Figura 25 – Uso e ocupação do solo na bacia de captação do açude Linha Preta, com criação de animais.



Fonte: Autor (2022).

É possível observar as imagens do Google Earth, apresentadas na figura 26, em que foi comparado o entorno do açude Linha Preta (barragem de acumulação de água bruta) em agosto de 2020 (a) e agosto de 2023 (b). No ano de 2020 (a), grande parte do solo no entorno do estava descoberto (sem vegetação). Já na imagem mais recente (b), verifica-se que toda a área está coberta por vegetação (plantação de acácia e eucalipto).

Figura 26 - a) Imagem de 08/2020 - solo sem vegetação, b) Imagem de 08/2023 - solo com vegetação.

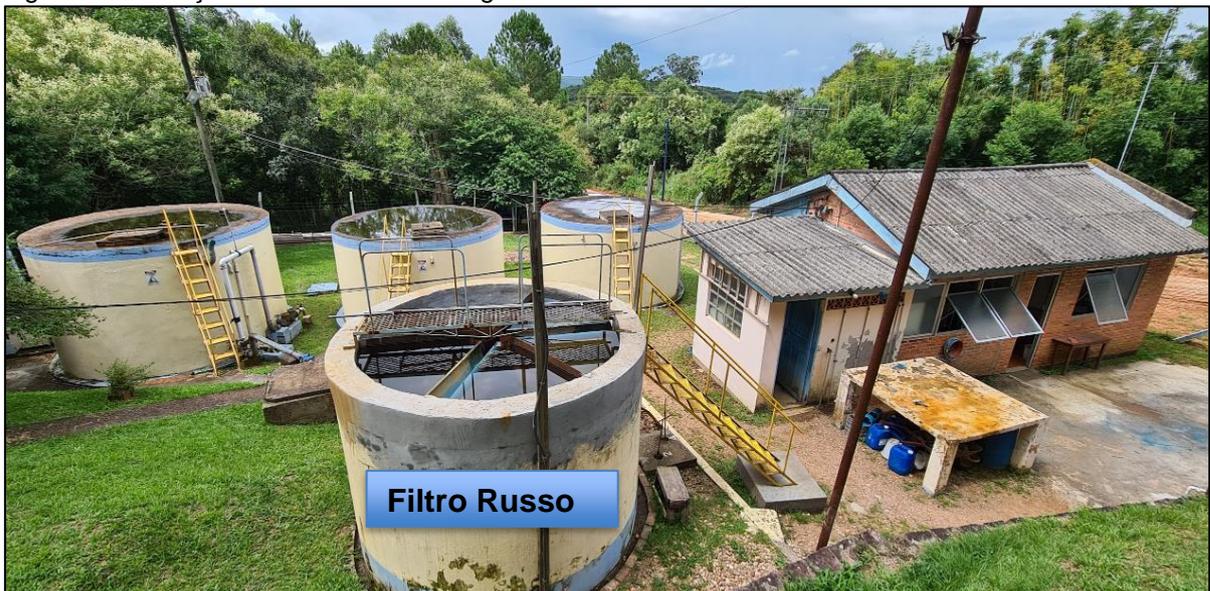


Fonte: Google Earth (2023).

A área urbana do município de Mariana Pimentel-RS é abastecida por uma ETA, sob a administração CORSAN, com capacidade de produzir 5 L/s de água tratada. O perímetro do açude Linha Preta (figura 17) tem aproximadamente 400 m, e profundidade máxima de 1,5 m. Desta forma, possui capacidade de armazenar 1.144 m³ na cota máxima (1,5 m na régua).

O açude está a aproximadamente 22 m de altura acima da cota da ETA. Por isso, o sistema de captação e transposição de água dispensa o uso de Elevatórias de Recalque de Água Bruta (ERAB), favorecendo o transporte por simples gravidade até ETA. Segundo a CORSAN, este sistema tem capacidade de adução de cerca de 6,6 L/s (23,7 m³/h) de água bruta do manancial através de uma única canalização constituída em material plástico de policloreto de vinila (PVC), com Diâmetro Nominal (DN) de 100mm, com cerca de 1.600 m da captação até a ETA.

Figura 27 - Estação de Tratamento de Água de Mariana Pimentel



Fonte: Autor, (2022).

A ETA dispõe de um sistema de filtração denominado de Filtro Russo (tanque circular) construído em alvenaria apoiado (figura 27), dividido em três partes iguais: os filtros 1 e 2, com filtração rápida de fluxo ascendente, cada um com área de 2,4 m² e taxa de filtração média de 30 m³/(m².dia), para uma vazão de 3 L/s a 5 L/s. O filtro 3 também possui área de 2,4 m² e opera com filtração rápida, mas com fluxo descendente. A água filtrada é submetida à desinfecção, com hipoclorito de sódio, e à fluoretação, com fluossilicato de sódio, e ajuste de pH, com carbonato de sódio.

A operação de limpeza do meio filtrante é feita por lavagem no mesmo sentido da filtração (ascendente) nos filtros 1 e 2 e de sentido contrário (descendente) no filtro 3. Para o procedimento de limpeza, faz-se uso de água tratada e desinfetada do reservatório 03 da própria ETA (figura 29). A água de lavagem de filtros é descartada na rede pluvial.

Figura 28 - Filtro Russo (circular) construído em alvenaria (ETA)



Fonte: Autor, (2022).

A ETA opera em tratamento incluindo as etapas de mistura rápida (sulfato de alumínio dosado direto na adutora antes do filtro), floculação (acontece dentro do sistema de filtração) e filtração. A desinfecção e a fluoretação são realizadas após a filtração, antes da entrada no reservatório (03). A unidade alterna vazões de 3 L/s a 5 L/s, sob o ciclo operacional de 12 horas por dia (diurno). O filtro Russo possui volume total de 17,28 m³, com tempo de detenção teórico de 96 minutos, quando operado com vazão de 3 L/s, e de 57,6 minutos, com vazão de 5 L/s.

Figura 29 – Os reservatórios 01, 02 e 03 de alvenaria apoiado e o 08 de inox elevado



Fonte: Autor (2022).

Os reservatórios 01, 02 e 03 de alvenaria apoiado têm capacidade de armazenamento de 34 m³ cada, e o reservatório 08 de inox elevado tem volume de 100 m³ (figura 29), sendo todos localizados ao lado da ETA (figura 27). Já os reservatórios 04 e 05 de alvenaria apoiado possuem capacidade de armazenamento de 65 m³ cada, e estão localizados cerca de 100 m abaixo da ETA (figura 30). Por fim, os reservatórios 06 e 07, que estão localizados mais distantes da ETA, foram desativados.

Figura 30 – Reservatórios 04 e 05 de alvenaria apoiado



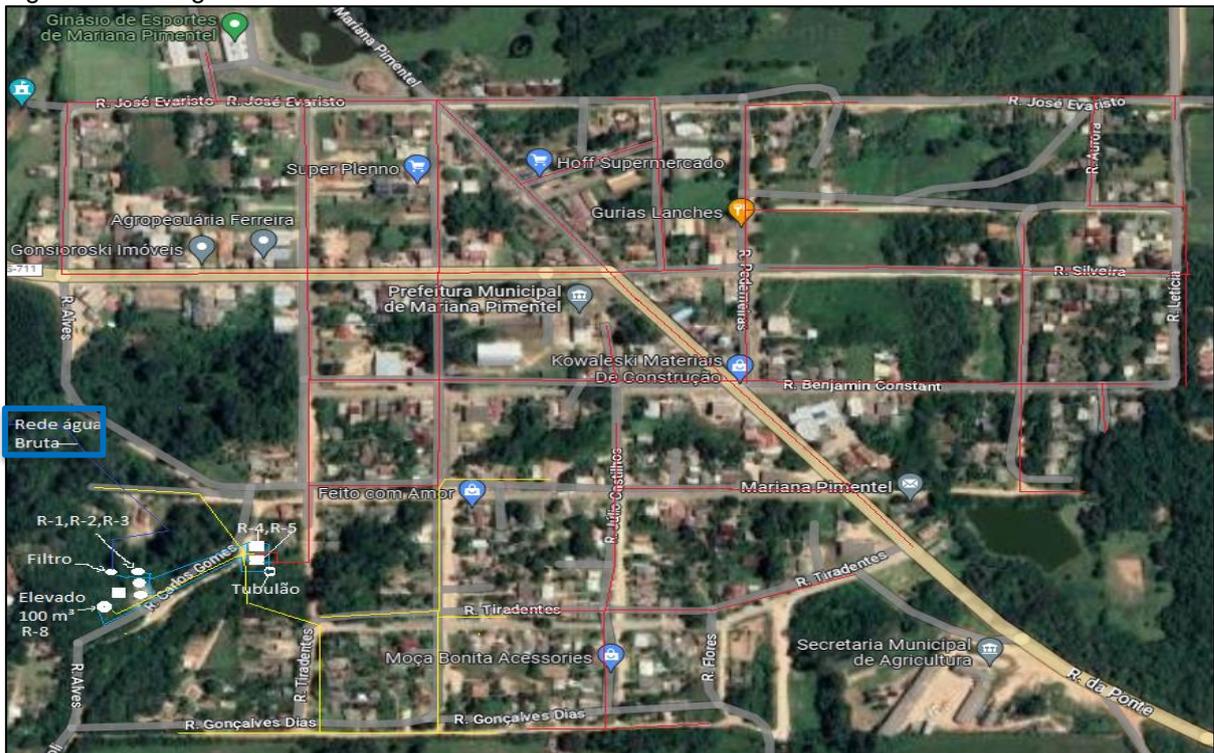
Fonte: Autor (2022).

Na área urbana do município, a rede de distribuição tem aproximadamente, 10 km de extensão e o sistema é responsável pelo abastecimento de 99% da população urbana. O sistema de distribuição conta atualmente com seis reservatórios: os reservatórios 01, 02 e 03 (figura 29), que recebem a água da ETA e abastecem os reservatórios 04 e 05 (figura 30), que distribuem a água na rede por gravidade. Foram constatadas, no presente estudo, zonas de vulnerabilidade da rede de distribuição (zonas de baixa pressão, áreas com intermitência, pontas de rede) nas áreas mais altas da cidade.

Em 2023, foi instalado um novo reservatório (08) de inox elevado (figura 29), que é abastecido por bombeamento pelos reservatórios 04 e 05, para contornar a falta de pressão na rede nos locais mais altos da cidade. Entretanto, conforme relatado pela equipe da CORSAN, ocorreu evento de alta pressão na rede das zonas mais

baixas da cidade. Esse fato ocasionou ruptura das tubulações e, desde então, o reservatório 08 foi desativado da rede de distribuição dos locais mais baixos do município. Ainda não foi possível contornar os problemas de zonas de baixa pressão nas áreas com intermitência, que são as pontas de rede das áreas mais altas da cidade.

Figura 31 – Imagem do SAA de Mariana Pimentel.



Fonte: CORSAN (2022).

A figura 31 mostra a rede de adução de água bruta na cor azul escuro, localizado no canto inferior esquerdo. A rede distribuição de água, tratada na cor vermelha, é abastecida pelos reservatórios apoiados (04 e 05). Já a nova rede, em amarelo, é abastecida pelo reservatório de inox elevado (08), para contornar a falta de pressão na rede nos locais mais altos da cidade.

4.6.1 Validação do Diagrama de Fluxo

O diagrama de fluxo deve ser validado através de verificação em campo no local e utilizado no processo de avaliação de risco. Segundo WHO (2005) e WHO (2009), a caracterização de SAA para consumo humano é realizado através de um diagrama de fluxo, onde se apresentam os principais componentes dos sistemas. Para

sistemas simples, a apresentação da ordem de cada etapa é suficiente para indicar a direção do fluxo de água. Todavia, para os sistemas mais complexos, pode ser necessário indicar a direção da água com a utilização de setas. Seguidamente descrevem-se as zonas de recarga, captações e ETA, com base nas observações e elementos recolhidos junto da entidade gestora. A infraestrutura do diagrama fluxo que se apresenta a seguir foi obtida pelo autor nas visitas técnicas realizadas *in loco*. Ele foi elaborado considerando as ligações físicas atuais do sistema de abastecimento de água.

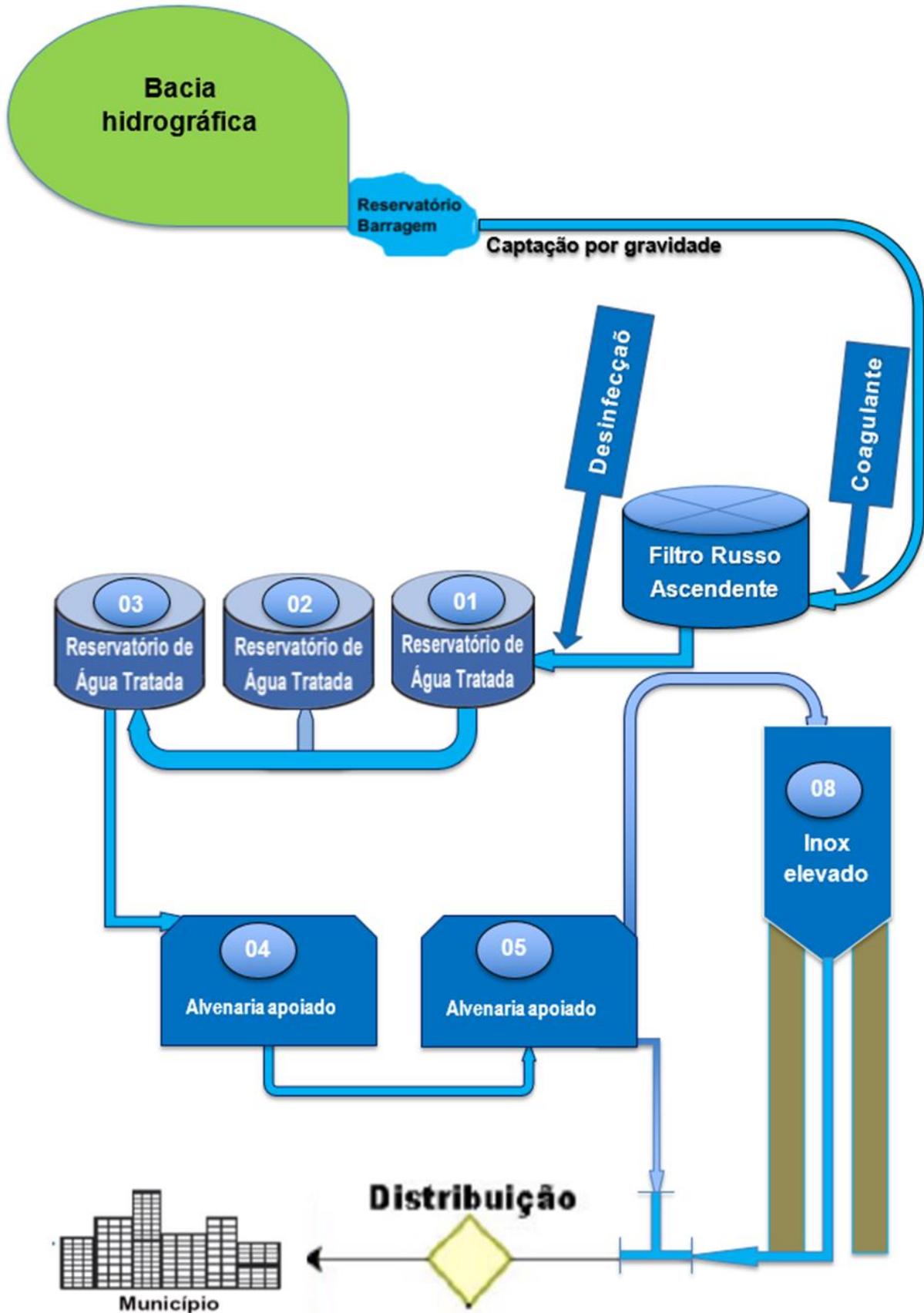
Este trabalho enfatiza a etapa de avaliação de risco da bacia hidrográfica, da captação, das características físicas do sistema de tratamento e das práticas operacionais usadas na ETA, pois essas informações são fundamentais para um diagnóstico preciso. O mapeamento do sistema de abastecimento de água teve como objetivo direcionar o trabalho a ser desenvolvido, considerando cada uma dessas etapas que compõem o sistema analisada como potenciais barreiras à contenção dos perigos existentes. Essa avaliação tem por finalidade realizar uma análise sistemática do sistema de abastecimento e das características da água sob a perspectiva dos riscos à saúde humana.

Quadro 16 - Descrição do SAA da cidade de Mariana Pimentel.

ETAPA	DESCRIÇÃO
Manancial	O sistema é composto por um manancial com água superficial (Açude Linha Preta).
Captação	A água bruta é captada direta na barragem e conduzida por gravidade até chegar à unidade de tratamento através de tubulação de 100mm de diâmetro, a qual desemboca na parte inferior do filtro (Russo) circular com 7,2 m ² de área. A vazão média da ETA é 5 L/s.
Coagulação	O dosador adiciona o coagulante direto na tubulação próximo ao filtro Russo (dividido em três compartimentos) onde ocorrem todos os processos (coagulação, floculação, sedimentação). Após a água sege no sentido ascendente dividido em 2 camada de filtro e no sentido descendente na terceira camada do filtro.
Floculação	
Sedimentação	
Filtração	
Desinfecção	Após a filtração água recebe a desinfecção (cloro) na tubulação na saída do filtro.
Fluoretação	A água recebe flúor antes de chegar aos reservatórios 01, 02 e 03 que está próximo a ETA e depois segue por gravidade até os reservatórios 04 e 05, que abastece por bombeamento o reservatório 08, elevado para abastecer as partes mais altas da cidade.

Fonte: adaptado de NASCIMENTO, (2022).

Figura 32 - Diagrama de fluxo SAA de Mariana Pimentel



Fonte: Autor (2023).

4.7 Etapa 4 – Análise de Perigo/Eventos Perigosos e Avaliação de Risco

Nesta etapa será apresentada a avaliação de risco, classificação dos perigos e eventos perigosos do sistema de abastecimento de água, a árvore de decisão para definição dos pontos crítico de controle, e a definição de medidas de controle dos pontos críticos de todo o sistema (bacia hidrográfica, manancial de captação, ETA, reservação e distribuição). Segundo a OMS, a análise de risco reflete as informações que estão disponíveis para a sua elaboração (BATRAN, 2009). Isto é, quanto mais dados disponíveis para dar subsídio às análises, mais confiável será.

Com a descrição do SAA são identificados, em cada etapa do diagrama de fluxo, os possíveis perigos e os eventos perigosos. Com a determinação do seu grau de risco, é possível correlacionar os perigos aos possíveis efeitos adversos à saúde humana, caracterizando-os e priorizando-os com o emprego das técnicas Matriz de Priorização de Risco e Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) (WHO, 1998). Os perigos e/ou eventos perigosos com consequências mais severas devem ser priorizados em relação àqueles cujos impactos são insignificantes ou cuja ocorrência é improvável (BARTRAM et al., 2009; VIERA; MORAIS, 2005).

Segundo Vieira e Moraes (2005), o método para caracterização dos riscos deve ser pautado no conhecimento aprofundado das características do sistema em estudo. Dessa forma, sugere-se utilizar os dados históricos, as experiências de operadores e técnicos, as publicações pertinentes, os estudos e as pesquisas realizados, além de opiniões de especialistas. A definição de medidas de controle deve basear-se na priorização de riscos associados a um perigo ou a um evento perigoso.

4.7.1 Identificação, Caracterização e Priorização de Risco.

As informações sobre perigos, eventos perigosos e identificação dos riscos foram avaliadas utilizando o método de *checklist*, adaptado de Bezerra (2011), em que foram acrescentadas mais quatro colunas: o **quadro 6** (WHO, 2004) escala de probabilidade de ocorrência, o **quadro 7** (WHO, 2005) escala severidade da consequência, conforme apresentado no “Referencial Teórico” deste trabalho no **item 3.7.6, Caracterização dos Riscos**, assim como o **quadro 8** (BARTRAM et al. 2009) matriz de classificação semi-quantitativas de riscos e o **quadro 9** matriz de classificação qualitativa de riscos do **item 3.8.7, matriz de priorização de risco**.

Foi sugerida, pelo autor deste trabalho, uma modificação no **quadro 7, item 3.7.6**, no referencial teórico, relacionada à escala de **Severidade da Consequência**. O potencial impacto à saúde, em função do uso ou falta de água (seca / estiagem prolongada) à população **foi considerada consequência “Grave”, indicando que o fato assim avaliado não pode ser minimizado em etapa seguinte do sistema.**

Com base no conjunto de informações reunidas durante as visitas técnicas (atividades de campo) e com o diagrama de fluxo, foi possível avaliar os problemas recorrentes bem como as potenciais fontes de poluição em todo o sistema (bacia hidrográfica, barragem de acumulação d'água bruta, adutora de água bruta, estação de tratamento, sistema reservação e distribuição de água tratada).

Foi realizada a caracterização e a determinação da probabilidade de ocorrência e da severidade inerente a cada risco e/ou evento perigoso constatado, considerando o seu impacto na saúde pública. Os riscos ou eventos com maior probabilidade de ocorrência e maior severidade de consequências receberam a maior pontuação. Já aqueles cujos impactos são insignificantes e com menor probabilidade de ocorrência receberam a menor pontuação. Desta forma, foi construída uma Matriz de Priorização de Risco em conjunto com a Caracterização de Risco, pois o cruzamento da Escala de Probabilidade de Ocorrência com a Escala de Severidade da Consequência, adaptada ao *Checklist* proposto por Bezerra (2011), resultou na **Matriz de Classificação Quali-quantitativa de Riscos**, mostrada no quadro 17.

O preenchimento do *checklist* foi realizado a partir da descrição da composição e do nome do evento perigoso identificado, grupo ao qual ele pertence, avaliação da possibilidade de gerar desabastecimento, avaliação e classificação do risco de acordo com o cruzamento Probabilidade e da Severidade na Matriz de Risco. Esse preenchimento foi realizado na presença do operador do sistema (ETA), considerando as particularidades do SAA o seu conhecimento prático adquirido durante o tempo (anos) de trabalho na ETA de Mariana Pimentel. O operador contribuiu no apontamento e na identificação dos perigos e eventos perigosos, a caracterização foi realizada empregando uma metodologia de priorização de riscos baseada no bom senso. Para avaliar o risco associado a cada evento perigoso, foi definida a probabilidade de ocorrência do mesmo e a severidade das consequências para a saúde da população e/ou funcionamento do sistema, e assim ter a possibilidade de reduzir ou eliminar o impacto que esse risco possa vir a causar a população.

Depois de identificados os eventos, investigou-se a possibilidade de ocorrência, a severidade que eles representavam e a probabilidade de haver ou não o risco de contaminação ou desabastecimento. A determinação de um evento perigoso, através das consequências apontadas no *checklist* (quadro 17), a escala de frequência da ocorrência e a severidade da consequência foi baseada em matrizes de criticidade.

Quadro 17 - Lista de Verificação (*checklist*) pra identificação dos perigos e classificação dos riscos.

Risco / Perigo ou Eventos Perigosos	Não se Aplica	Não	Sim	Frequência		Consequência		Classificação de Risco	
Perigo ou Eventos Perigosos na Bacia Hidrográfica	N.A	N	S	F	C	CR			
Ausência de medidas de proteção das nascentes			X	5	2	10	M		
Chuvas intensas alteram a qualidade da água bruta, elevando a turbidez.			X	3	2	6	L		
Declividade da bacia encontra-se acima de 20%			X	2	2	4	L		
Predominância do uso e ocupação do solo por agriculturas diversas			X	1	4	4	L		
Predominância do uso e ocupação do solo por formação florestal			X	1	2	2	L		
Presença de animais domésticos no em torno da área (APP)			X	2	2	4	L		
Presença de animais silvestres no em torno da área (APP)			X	2	2	4	L		
Falta de controle e/ou manutenção inadequado na captação	N.A	N	S	F	C	CR			
Assoreamento próximo à captação dificulta adução de água bruta			X	2	4	12	M		
Ausência de plano de emergência na captação			X	1	4	4	L		
Chuvas intensas elevam a turbidez da água bruta			X	2	4	8	M		
Contaminação fecal através de lixiviação de resíduos de animais			X	2	4	8	M		
Densidade de <i>Escherichia coli</i> acima do permitido em lei			X	1	4	4	L		
Escoamento de resíduos agrícolas na área de captação			X	1	4	4	L		
Falta de proteção (cerca), permitindo acesso de animais e pessoas.			X	3	4	12	M		
Falta manutenção preventiva ou inadequada do dispositivo da captação			X	2	4	8	M		
Floração de algas na barragem de acumulação / captação			X	2	4	8	M		
Ocorrência de secas prolongadas, inviabilizando a captação.			X	3	4	12	M		
Presença de animais no em torno da captação (até 10 metros)			X	3	4	12	M		
Utilização de agrotóxicos e fertilizantes em torno da barragem / captação			X	2	4	8	M		
Falta de controle ou manutenção inadequada na adutora de água bruta	N.A	N	S	F	C	CR			
Ausência de proteção a sólidos (grade ou rede) na entrada da tubulação			X	2	8	16	G		
Ausência de desinfecção após a realização de obras na adutora			X	1	2	2	L		
Ausência de manutenção preventiva da adutora			X	2	2	4	L		
Presença de sedimento na tubulação inviabiliza a captação			X	4	4	16	G		
Falha ou controle operacional inadequado na filtração rápida	N.A	N	S	F	C	CR			
Ausência de monitoramento da qualidade da água de lavagem.			X	4	1	4	L		

Risco / Perigo ou Eventos Perigosos	Não se Aplica	Não	Sim	Frequência	Consequência	Classificação de Risco	
						8	M
Ausência de tratamento da água de lavagem			X	4	2	8	M
Exposição a céu aberto dos filtros ascendentes			X	5	1	5	L
Exposição do leito filtrante			X	5	1	5	L
Falha ou controle operacional inadequado na desinfecção	N.A	N	S	F	C	CR	
Ausência de desinfetante alternativo			X	1	2	2	L
Falha ou controle operacional inadequado nos reservatórios	N.A	N	S	F	C	CR	
Perda de água			X	1	2	2	L
Falha ou controle operacional inadequado na rede de distribuição	N.A	N	S	F	C	CR	
Contaminação durante manutenção das unidades de distribuição			X	2	2	4	L
Presença de perigo por turbidez na rede			X	2	2	4	L
Pressões excessivas			X	2	2	4	L
Pressões reduzidas			X	5	2	10	M
Recontaminação da rede			X	2	2	4	L
Ruptura da tubulação			X	1	2	2	L
Tubulações ficam vazias ou despressurizadas em algumas situações			X	2	2	4	L
Vazamentos			X	1	2	2	L

Fonte: Autor adaptado de BEZERRA, (2011).

E	≥ 32	Risco Extremo	Não tolerável ; necessidade de ação imediata.
G	16 a 24	Risco Grave	Não tolerável ; necessidade de gestão e especial atenção.
M	6 a 12	Risco Moderado	Necessidade de gerenciamento e atenção.
L	< 6	Risco Leve	Tolerável , controlável por meio de procedimento de rotina.

A partir do quadro 17, verificam-se dois eventos classificados como risco grave: 1) “Ausência de proteção a sólidos (grade ou rede) na entrada da tubulação” e 2) “Presença de sedimento na tubulação inviabiliza a captação”, ambos relacionados à adutora de água bruta. Esses dois fatos foram constatados durante as visitas técnicas, e ressaltados pelo operador da ETA, pois apresentam grande potencial de desabastecimento da população. Inclusive, o fato 2), caso ocorra, necessitaria de realização de escavação, ao longo da vegetação e por toda a extensão da adutora de água bruta (mais de 500 metros), até a determinação do ponto exato de sua interrupção. Nesse ínterim, a população ficaria desabastecida até que o problema fosse sanado. Por isso, sugere-se que esses dois eventos sejam as primeiras ações de melhorias a serem realizadas no local.

Avaliar a estrutura e o funcionamento do SAA contribui com o manejo e a melhoria desse serviço, em especial quando são considerados parâmetros de fácil entendimento e de utilização simplificada. Essa avaliação consiste em uma inspeção visual do ambiente, que substitui ou que agrega indicadores aos resultados das tradicionais análises físicas, químicas e bacteriológicas de qualidade da água. (CALLISTO et al. 2002, VARGAS e JÚNIOR 2012).

4.7.2 Árvore de decisão para definir os Pontos Crítico de Controle (PCC)

Segundo Oliveira (2010) e Bezerra (2011), a matriz tem a finalidade de priorizar os riscos de baixo a alto, com a orientação de que, quando for detectado risco moderado acima de 6 pontos, será obrigatório o uso da Árvore de Decisão para identificar se aquele perigo, é ou não, um PCC. Para isso, foi adaptado o modelo de árvore proposto por Vieira e Morais (2005), em que o principal uso dessa metodologia é para a identificação, monitoramento e ações de intervenção, Pontos de Controle (**PC**) e Pontos Críticos de Controle (**PCC**). Do mesmo modo, foram identificados os Pontos de Atenção (**PA**) e os Pontos Críticos de Atenção (**PCA**), já descritos no item 3.8.2 do Referencial Teórico. Essa avaliação está apresentada no quadro 18.

Quadro 18 - Árvore de decisão para a identificação do Ponto Crítico de Controle (PCC).

A sequência de respostas SIM ou NÃO (por ex.: N, S, S, S, N, N, - ou S, -, -, -, N, -, N = PCC) deve ser referida nas fichas de avaliação do sistema, de modo a facilitar a percepção do caminho percorrido na árvore de decisão.									
Etapa do Processo	Perigo	Q1: Nesta etapa existem medidas de controle para o perigo identificado?	Q1.1: Nesta etapa é necessária uma mudança para garantir a segurança da água?	Q1.2: Nesta etapa é possível uma mudança?	Q1.3: Nesta etapa a mudança pode ser realizada de imediato?	Q2: Esta etapa eliminar ou reduzir perigo até o nível aceitável?	Q2.1: Nesta etapa é possível monitorar?	Q3: Existe uma etapa posterior que possa eliminar ou reduzir o perigo para níveis aceitáveis?	Conclusão
Bacia Hidrográfica	Ausência de medidas de proteção da nascente	Não	Não	-	-	-	-	-	Não é PCC
Barragem de acumulação de água bruta / Captação	Chuvas intensas elevam a turbidez da água bruta	Sim	-	-	-	Sim	Sim	-	PC
	Contaminação fecal através de lixiviação de resíduos de animais	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	-	PC
	Falta de proteção (cerca), permitindo acesso de animais e pessoas.	Não	Sim	Sim	Não	-	-	-	PA
	Falta manutenção preventiva ou inadequada do dispositivo da captação	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	-	PC
	Floração de algas na barragem de acumulação	Não	Não	-	-	-	-	-	Não é PCC
	Ocorrência de secas prolongadas inviabiliza a captação de água	Não	Sim	Sim	Não	-	-	-	PA

A sequência de respostas **SIM** ou **NÃO** (por ex.: **N, S, S, S, N, N, -** ou **S, -, -, -, N, -, N = PCC**) deve ser referida nas fichas de avaliação do sistema, de modo a facilitar a percepção do caminho percorrido na árvore de decisão.

Etapa do Processo	Perigo	Q1: Nesta etapa existem medidas de controle para o perigo identificado?	Q1.1: Nesta etapa é necessária uma mudança para garantir a segurança da água?	Q1.2: Nesta etapa é possível uma mudança?	Q1.3: Nesta etapa a mudança pode ser realizada de imediato?	Q2: Esta etapa eliminar ou reduzir perigo até o nível aceitável?	Q2.1: Nesta etapa é possível monitorar?	Q3: Existe uma etapa posterior que possa eliminar ou reduzir o perigo para níveis aceitáveis?	Conclusão
	Presença de animais no em torno da barragem captação (até 10 metros)	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	-	PC
	Utilização de agrotóxicos e fertilizantes em torno da barragem	Não	Sim	Sim	Não	-	-	-	PA
Adutora de água bruta	Assoreamento próximo a captação dificulta adução de água bruta	Não	Não	-	-	-	-	-	Não é PCC
	Ausência de proteção (grade ou rede) na entrada da adutora	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	-	PCA
	Presença de sedimento na tubulação (adutora) inviabiliza a captação	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	-	PC
Filtração rápida	Ausência de tratamento da água de lavagem	Não	Não	-	-	-	-	-	Não é PCC
Rede de distribuição	Pressões reduzidas	Sim	-	-	-	Sim	Sim	-	PC

Fonte: adaptada pelo autor da árvore de decisão Brasil, (2012).

No **PC** os perigos devem ser monitorados de forma sistemática e contínua, estabelecendo limites críticos de modo a prevenir, eliminar ou reduzir o perigo a um nível tolerável (AS/NZS, 2004). Igualmente o **PCC** pode ser monitorado de forma sistemática e contínua, mas não existem barreiras que previnam, eliminem ou reduzam o perigo a um risco de nível tolerável (AS/NZS, 2004).

Já no **PCA** os riscos não são passíveis de monitoramento por meio de limites críticos, mas é possível estabelecer intervenções físicas e medidas de controle direcionadas a prevenir, eliminar ou reduzir o perigo a um nível tolerável (AS/NZS, 2004). Do mesmo modo o **PA** as medidas de controle não podem ser realizadas de imediato ou são de difícil implementação exemplo, o controle de fontes difusas de contaminação (AS/NZS, 2004).

4.7.3 Definição de Medidas dos Pontos de Controle

Na avaliação e classificação do risco de acordo com a matriz, qual a medida de controle existente ou a ser aplicada, se é um risco operacional ou de gestão, e considera se é um ponto de controle crítico. A utilização de um *checklist* associado à Matriz de Priorização de Risco com a Matriz de Classificação de Riscos, adaptada à realidade do SAA de Mariana Pimentel foi favorável para padronizar o ranqueamento de eventos perigosos e riscos associados à saúde da população. Assim, conseguiu-se determinar o nível de perigo e análise de risco, para que fosse possível determinar as medidas de controle que são prioritárias.

A identificação e aplicação das medidas de controle devem ser baseadas no princípio de múltiplas barreiras em todo o processo de produção de água para consumo humano (BASTOS, HELLER e FORMAGGIA, 2005). Uma única medida de controle pode ser utilizada para o controle de vários eventos perigosos, assim como, um único evento perigoso, pode vir a demandar a necessidade de mais de uma medida de controle. Essas medidas de controle devem ter um regime de monitoramento bem definido, validando a eficácia e monitorando o desempenho em relação aos limites estabelecidos.

O regime de monitoramento do sistema de abastecimento deve incluir uma revisão em intervalos pré-determinados, em especial quando ocorrer mudanças, sejam elas planejadas ou não. E quando ocorrer uma emergência ou incidente, o risco deve ser reavaliado e pode precisar ser inserido no plano de melhoria (BARTRAM et

al., 2009). Uma vez que o PSA não é considerado um documento estático, deve ser regularmente analisado e revisto para assegurar seu funcionamento correto, bem como sua atualização à luz das mudanças nos sistemas de abastecimento de água ou de novos projetos (WHO, 2017). Em alguns casos, será necessária a revisão, da documentação e a formalização dessas práticas, abordando quais as áreas em que as melhorias são necessárias; em outros casos, mudanças de infraestrutura podem ser necessárias para à implementação de um PSA (BORGES, 2021).

Com as medidas de controle e as ações práticas que fazem parte da rotina de operação do sistema de monitoramento constante, é possível prevenir ou eliminar possíveis falhas no sistema. As ações corretivas são necessárias para eliminar uma causa ou problema detectado durante o processo operacional. Devem ser definidos também os parâmetros, limite crítico operacional, e uma ação corretiva para cada medida de controle. Para cada perigo ou evento perigoso detectado deverá ter uma medida de controle necessária para prevenir, eliminar ou reduzir o perigo a um nível aceitável.

Quadro 19 – Medidas de Controle para o SAA

Etapa do SAA	Medida de Controle	Justificativa
Manancial / Captação	Monitoramento e controle do nível do manancial, comunicar a área comercial e operacional para suprimento do abastecimento através de fornecimento de caminhão - pipa.	Ocorrência de secas prolongadas inviabiliza a captação de água.
	Monitorar a intensidade das chuvas e identificar quais intensidades geram considerável turbidez para o tratamento. Monitorar a captação com mais frequência para observar e avaliar a qualidade da água bruta.	Dias com chuvas intensas elevam a turbidez da água bruta no manancial alterando os padrões.
	Monitorar a nascente (localizar os principais pontos de degradação) e desenvolver programas de conscientização e educação ambiental sobre a preservação de nascentes.	Ausência de medidas de proteção da nascente
	Limpar e instalação obstáculo (grade ou rede) de proteção na entrada da adutora de água bruta.	Para impedir a entrada de sólidos grosseiros e assim evitando a obstrução da tubulação que leva a água a ETA
	Estudo para delimitação da área de cercamento do entorno do manancial de captação.	Para proteger o manancial de captação da contaminação fecal através de lixiviação de resíduos de animais/humano.
	Criar cronograma de monitoramento do manancial, através de visitas in loco.	Para inibir o acesso de pessoas entranhas e a averiguar se a animais no entorno do manancial.
	Criar cronograma de manutenção e limpeza preventiva da adutora	Para evitar o seu assoreamento e obstrução da passagem da água
	Monitoramento frequente do parâmetro de turbidez da água na saída do filtro.	Minimizando o potencial de colmatação e assim a deterioração da qualidade da água filtrada.

Etapa do SAA	Medida de Controle	Justificativa
Mistura Rápida (Coagulação / Floculação / Filtração)	Monitorar a perda de carga para avaliação do meio filtrante.	Assegurar que o filtro opere em condições adequadas.
	Avaliar as camadas de filtração e otimização programações de lavagens.	Minimizando o arraste de sólidos suspenso para a próxima etapa.
	Realização de ensaios de Jar-Teste para verificação da coagulação, gradientes de velocidades e dosagem ótima de produto químico.	Manutenção do desempenho dos processos relacionados à neutralização de cargas e das partículas em suspensão.
Desinfecção	Monitoramento frequente da concentração de cloro residual livre após o ponto de dosagem, e na entrada do reservatório.	Garantir que a água tratada tenha concentração de cloro residual livre dentro da faixa limite para assegurar a sua qualidade (barreira sanitária).
Fluoretação	Controle diário da concentração de fluoretos após o ponto de dosagem, reservatório.	Garantir que a água tratada tenha concentração de fluoretos dentro da faixa limite para assegurar o controle de cáries a população atendida.
Reservatórios	Monitoramento dos parâmetros de controle de Qualidade para água potável. Realização de análises para controle, conforme Portaria 888/21.	Avaliar os padrões de qualidade para água potável.
	Controle de nível do Reservatório. Manutenção e avaliação de lavagem e higienização.	Assegurar o armazenamento da água de forma a não comprometer o abastecimento da população.
Rede de Distribuição	Monitoramento e manutenção de pressão positiva na rede	Assegurar que a pressão na rede de distribuição não atinja valores que possam danificar ou ocasionar vazamentos na tubulação, podendo gerar contaminação na água em decorrência de pressões elevadas ou negativas.

Fonte: adaptada de Borges (2023).

Quadro 20 – Medidas de Controle para os Riscos Existente no SAA

Intervalo de Tempo	DESCRIÇÃO
Curto Prazo	Limpeza e instalação de rede de proteção na entrada da adutora (captação). Criar cronograma de monitoramento do manancial, através de visitas in loco.
Médio Prazo	Localizar os principais pontos de degradação e desenvolver programas de conscientização dos moradores do entorno do manancial. Criar cronograma de manutenção preventiva dos equipamentos e na captação.
Longo prazo	Estudo para delimitação da área de cercamento do entorno da captação. Estudo para implantação de uma nova captação em outro manancial (rio Ribeiro) para resolver a escassez de água no período do verão, caso viável.

Fonte: Autor adaptado de Nascimento (2022).

Todas essas informações que foram levantadas sobre perigos e eventos perigosos, classificação dos riscos e medidas de controle devem ser documentadas para verificar a eficácia das medidas de controle do PSA (sistema). Também devem ser revisadas após desastres, emergências ou incidentes, para garantir que, sempre que possível, os incidentes não se repitam e, quando isso não for possível, como no caso das inundações, para reduzir seus impactos (WHO, 2017).

4.7.4 Elaboração dos documentos de gestão aplicados no SAA

Na elaboração dos documentos de gestão, deverão ser utilizados dados sobre o sistema, bem como a participação efetiva de toda a gestão da unidade gestora do sistema de abastecimento. A elaboração dos documentos de gestão tem como objetivo a validação das informações de campo para caracterizar o SAA e consolidar as informações. Além disso, deverão conter documentos de gestão adicionais para controle do processo como: a) Manual de operação do sistema de tratamento, b) Plano de Comunicação de Emergência e Contingência, c) Plano de Amostragem de Água do SAA e d) A implementação do PSA. Esse manual tem a finalidade de nortear e padronizar as atividades da área operacional na rotina diária. Reforçar a necessidade do uso de equipamento de segurança (EPI) para toda e qualquer atividade realizada na operação e manutenção, seguindo as diretrizes da área de segurança do trabalho. (BORGES, 2022)

Essas orientações devem ser de conhecimento do gestor juntamente com o operador. É necessário e fundamental manter um histórico de registros e documentos que possam ser utilizados para futuras correções e adequações do sistema, além de resguardar a CORSAN perante os órgãos de fiscalização. Do mesmo modo, situações excepcionais deverão ser registradas e investigadas, bem como quais as causas e as medidas a serem adotadas para que não haja reincidência ou que, pelo menos, o impacto seja atenuado. Tudo deve estar documentado e padronizado, para que todos possam seguir a mesma forma de agir diante de uma adversidade (BORGES, 2022).

Igualmente deve haver um Plano de Emergência e Contingência (PEC), a sua elaboração tem a mesma linha de entendimento da fase anterior, diferenciando-se por se tratar de eventos imprevistos de se prever e com consequências muito impactantes. No âmbito do processo de controle e manutenção, todo o Sistema de Abastecimento de Água é considerado objeto de monitoramento constante desde o ponto de captação até o consumidor final. Entretanto, ainda podem ocorrer situações consideradas excepcionais, como desastres naturais, ações humanas entre outros incidentes não mapeados, que coloquem em risco a segurança da água e a saúde pública.

A finalidade da PEC é apresentar os procedimentos operacionais, que garanta um controle eficiente para o sistema, assim como o atendimento a legislação vigente para orientar a operação da ETA de Mariana Pimentel, através de fluxos de comunicações, agilizando as tomadas de ações, com intuito de reduzir o tempo de

resposta para um eventual risco e perigo para o sistema. De acordo com essa possibilidade, faz-se necessário a elaboração de um Plano de Ação para cada um dos eventos identificados no SAA, conforme o quadro 21.

Na identificação cada um dos prováveis eventos, específicos do SAA de Mariana Pimentel, no plano de ação, mostrado no quadro 21, foram definidas as responsabilidades de atuação de cada colaborador. Conforme se eleva o nível de criticidade da situação, faz-se necessário informar diferentes níveis hierárquicos internos e/ou órgãos externos.

Quadro 21 - Pontos identificados para o Plano de Emergência e Contingência

Situação	Bacia Hidrográfica – Manancial de Captação	Responsável
Ação 01	Identificar no Manancial / Captação contaminação (cargas perigosas, dejetos, entre outros)	Operador ETA
Ação 02	Parar a captação fechar a entrada de água na ETA e dos reservatórios de distribuição	Operador ETA
Ação 03	Informar a população através dos meios de comunicação sobre o incidente e medidas preventivas	Chefia Regional
Ação 04	Informar a Direção da CORSAN	Superintendência Regional
Ação 05	Notificar autoridade ambiental e/ou formalizar denúncia	Superintendência Regional
Ação 05	Averiguar extensão da contaminação, através de análises, iniciando pelos reservatórios e ETA .	Operador / Laboratório
Ação 06	Caso os reservatórios estejam contaminados, realizar manobras para descarte da água contaminada.	Operador ETA
Ação 07	Fazer acompanhamento através de análises para reestabelecimento da adutora e do fornecimento	Operador / Laboratório
Situação	Em caso de chuvas intensas	Responsável
Ação 01	Verificar com maior frequência a Turbidez da água bruta	Operador ETA
Situação	Nível da Captação abaixo de 60%	Responsável
Ação 01	Monitorar nível duas vezes ao dia (manhã e tarde)	Operador ETA
Ação 02	Informar a situação a chefia regional	Operador ETA
Ação 03	Solicitar, através dos meios de comunicação, para que a população economize água.	Chefia Regional
Ação 04	Definir plano de racionamento	Superintendência Regional
Situação	Retorno à normalidade	Responsável
Ação 01	Retomar padrão de operação	Operador ETA
Ação 02	Informar a Chefia Regional	Operador ETA

Ação 03	Comunicar a população	Chefia Regional
Situação	Falta d'água (falta de energia) – ETA	Responsável
Ação 01	Checar com a operadora de energia se existe alguma previsão de retorno da energia	Operador ETA
Ação 02	Caso se estenda por mais de 6h, informar a chefia imediata e/ou direção.	Operador ETA
Ação 03	Informar a população sobre a falta d'água através dos meios de comunicação	Chefia Regional
Ação 04	Caso se estenda por mais de 12h, providenciar gerador de energia para a ETA.	Superintendência Regional
Situação	Monitoramento operacional – Distribuição	Responsável
Ação 01	Monitorar pressão na adutora e na rede	Operador ETA
Ação 02	Caso haja rompimento, paralisar a distribuição no local afetado.	Operador ETA
Ação 03	Comunicar a Gerência / Chefia Regional	Operador ETA
Ação 04	Informar a população afetada através dos meios de comunicação	Chefia Regional
Ação 05	Verificar a possibilidade de conserto	Equipe de manutenção
Ação 06	Realizar os reparos necessários (reservatório e ou rede)	Equipe de manutenção
Ação 07	Realizar o descarte de água (rede)	Equipe de manutenção
Ação 08	Normalizar o fornecimento	Equipe de manutenção

Fonte: Adaptada de Borges (2023).

4.7.5 Indicador de avaliação da eficiência das medidas de controle

A verificação da análise de risco deve fornecer a evidência de que o projeto e a operação geral do sistema são capazes de fornecer água de forma consistente e com qualidade para atender as metas baseadas na saúde. Se isso não acontecer, o plano de melhoria deve ser revisado e implementado (BARTRAM et al., 2009).

Para a caracterização física, utilizam-se os parâmetros cor e turbidez para o controle da água bruta e da tratada. Esses parâmetros fornecem indicações preliminares de ajuste de processo, como também de níveis de sólidos suspensos (turbidez) e as concentrações de sólidos dissolvidos (associados a cor). Os sólidos orgânicos e os sólidos dissolvidos são associados ao odor (PIVELI, KATO, 2006). Suas aplicações nos processos de tratamento de água ocorrem para controle e conhecimento dos ecossistemas aquáticos e de caracterização e controle de qualidade de água para abastecimento público, indispensáveis para qualidade do

processo. A cor e a turbidez são parâmetros de fácil medição, e são usados nos testes de Jarros (PIVELI, KATO, 2006).

Para avaliação da eficiência do sistema, será necessidade ter um indicador para o monitoramento, verificação e validação das ações aplicadas. Uma referência que pode ser escolhida para composição desse indicador é o Guia Prático da ERSAR de nº 22/2021, que trabalha com o indicador de água segura (AA04 – Água segura, %). Este indicador destina-se a avaliar o nível de adequação da interface com o usuário, em termos de qualidade do serviço prestado no que se refere à qualidade da água fornecida pela companhia (CORSAN).

Sua definição é expressa em porcentagem da água em conformidade com a legislação vigente para os parâmetros básicos selecionados. Os parâmetros básicos de controle são: pH, cor aparente, turbidez, cloro residual livre e fluoretos, e devem ser na saída do tratamento, assim como na rede de distribuição. Para a composição do indicador e cruzamento de dados para avaliação desses parâmetros mencionados, bem como a classificação, e avaliação da eficiência em porcentagem deve ser utilizada a escala, estabelecida pela IWA (Associação Internacional da Água), no quadro 22 (ERSAR, 2021).

Quadro 22 - Valores de referência para avaliação da eficiência do Sistema.

Valores de referência IWA (%)	
Classificação	Faixa (%)
Qualidade de água como boa	98,5 à 100,0
Qualidade de água como média	94,5 à 98,5
Qualidade de água como insatisfatória	0 à 94,5

Fonte: ERSAR, (2021).

4.8 Comparação dos Mananciais Avaliados

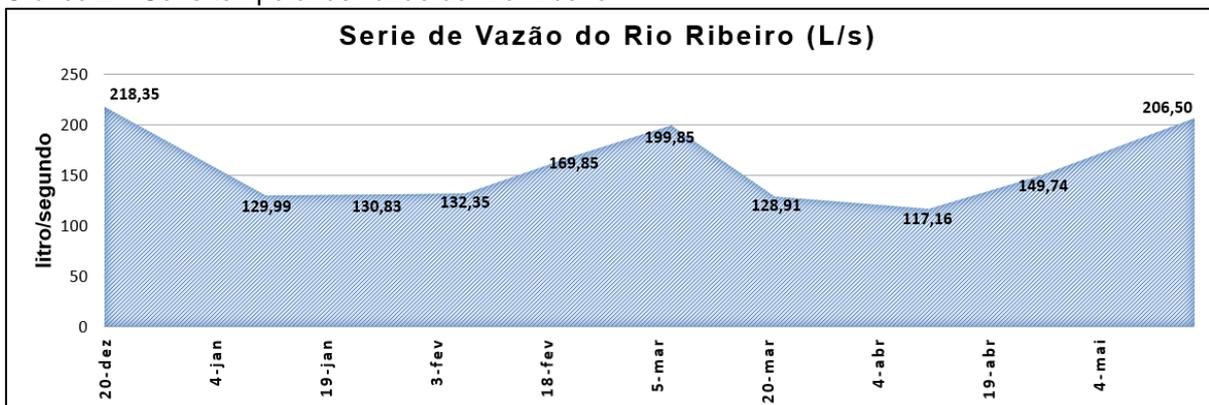
Este trabalho, além de monitorar a qualidade da água na captação do abastecimento publica no município de Mariana Pimentel, também monitorou a qualidade e a vazão da água no rio Ribeiro, com o objetivo de subsidiar uma futura captação para abastecer a área urbana do município. Conforme é possível observar no gráfico 2, a serie temporal de vazões medidas no rio Ribeiro apresentou valores sempre acima do 100 L/s (entre 117,16 e 218,35 L/s). Verificou-se que a época em que geralmente ocorrem as menores vazões é no período do verão. Com esses

dados, constata-se que a vazão média do rio Ribeiro no verão é 20 vezes maior comparada à vazão do açude Linha Preta. Assim, é possível sugerir que esse manancial (rio Ribeiro) pode ser usado como um ponto de captação para abastecer Mariana Pimentel, pois a partir do monitoramento da qualidade da água realizado, verificou-se que o IQA indicou água de boa qualidade (gráfico 18).

4.8.1 Gráficos com a série temporal de vazão do rio Ribeiro

A medição de vazão em um rio é de suma importância no dimensionamento das instalações de captação e tratamento de água. Isso ajuda a evitar subcaptação ou supercaptação, garantindo um abastecimento adequado e eficiente, sendo crucial para garantir que haja água suficiente para atender às necessidades de abastecimento de uma área, especialmente em tempos de escassez ou seca. A medição contínua da vazão pode ajudar a identificar mudanças nas condições climáticas, como secas prolongadas ou chuvas intensas, que podem afetar o fornecimento de água.

Gráfico 2 – Série temporal de vazão do Rio Ribeiro



Fonte: Autor, (2023).

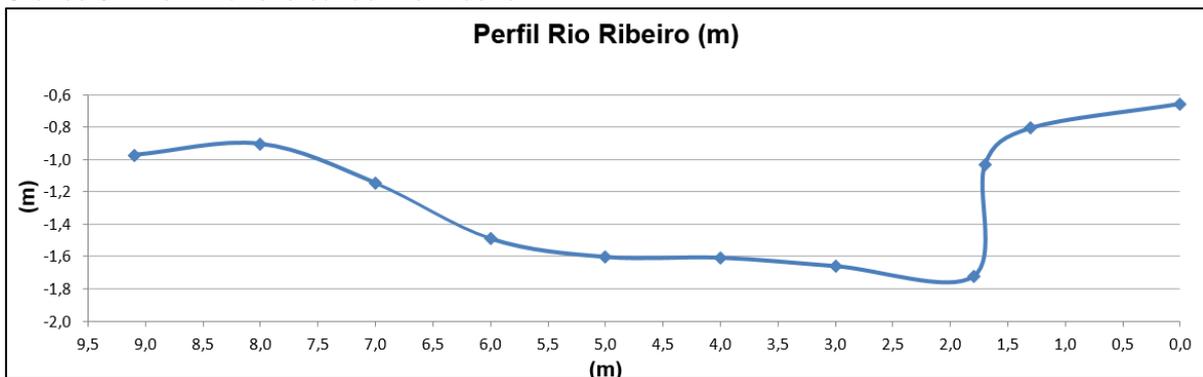
O conhecimento da vazão permite às autoridades e empresas de abastecimento antecipar variações na demanda de água ao longo do ano, sendo essencial para garantir que a capacidade de captação e tratamento seja suficiente. Uma gestão eficaz da vazão ajuda a otimizar o uso dos recursos hídricos, minimizando perdas e reduzindo os custos associados à captação e tratamento de água. Em situações de emergência, como secas extremas ou desastres naturais, a medição de

vazão fornece informações críticas para tomar decisões e implementar medidas de contingência.

4.8.2 Gráficos do perfil transversais do rio Ribeiro

O levantamento transversal fornece informações sobre a geometria do leito do rio, incluindo profundidade, largura e forma. Esses dados são essenciais para identificar os pontos ideais de captação de água que ofereçam condições hidráulicas adequadas. Ao realizar levantamentos transversais em diferentes momentos do ano, é possível obter dados sobre a alteração sazonalmente do seu leito, contribui para a compreensão da dinâmica da água no rio, incluindo padrões de fluxo e distribuição de velocidades.

Gráfico 3 – Perfil transversal do Rio Ribeiro



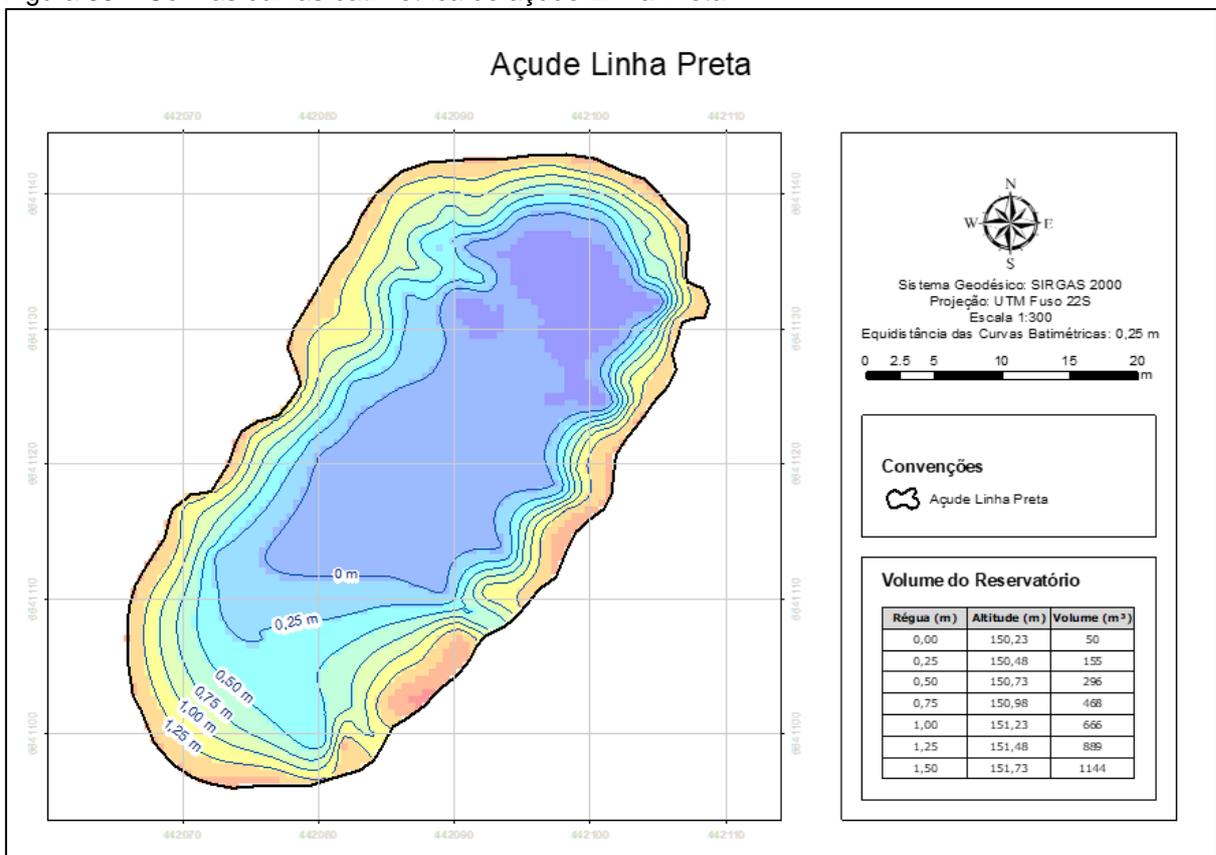
Fonte: Autor, (2023).

Os dados do levantamento transversal podem ser usados para identificar locais estratégicos para a instalação de estações de monitoramento, onde parâmetros como vazão, qualidade da água e níveis podem ser continuamente registrados. Em resumo, o levantamento transversal em um rio é uma etapa fundamental no processo de avaliação e planejamento do uso sustentável dos recursos hídricos. Ele fornece dados cruciais para a seleção do ponto para as medições de descarga líquida ou sólida. Assim como as informações para tomada de decisões, sobre escolha do local de captação e ou construções de estruturas para a gestão da água.

4.8.3 Mapa com as curvas batimétricas do Açude Linha Preta

A batimetria em um açude destinado ao abastecimento público é o processo importante para mapear o leito do reservatório, com a finalidade de determinar a topografia subaquática, ou seja, as variações de profundidade em diferentes áreas do açude. Esse levantamento batimétrico é essencial para o reservatório, pois fornece informações detalhadas sobre a configuração do fundo do açude, permitindo uma gestão mais eficaz do recurso hídrico armazenado.

Figura 33 – Com as curvas batimétrica do açude Linha Preta



Fonte: MEDEIROS (2023).

Na figura 33 visualizam-se as curvas de nível, para definição de áreas com diferentes profundidades, sendo possível calcular com precisão o volume de água do açude para cada cota verificação na régua liminimétrica, assim como a capacidade total de água armazenamento do açude Linha Preta. O mapeamento das características subaquáticas é essencial para identificar o acúmulo de sedimentos em diferentes partes do açude fornecendo dados essenciais para a tomada de decisões, o que é crucial para o planejamento de operações de desassoreamento.

4.8.4 Comparação das Análises dos Mananciais

Nesta seção serão apresentados os resultados das análises realizadas no açude Linha Preta e no rio Ribeiro. O presente estudo teve como objetivo avaliar o grau de impacto ambiental sofrido pelos mananciais, com as análises físicas, químicas e biológicas, além da avaliação rápida por meio da aplicação de um *checklist* no SAA.

Verificou-se que, em ambos, os resultados foram satisfatórios, seguindo a caracterização geral do conjunto de dados para cada parâmetro avaliado através do cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA). As análises realizadas em cada campanha para cada ponto são mostradas nos quadros 23 e 24.

Depois, visando facilitar a compreensão dos resultados das análises para comparar a qualidade da água dos mananciais monitorados, são mostrados os gráficos com os valores de comparação da série temporal para cada parâmetro ao longo do período de amostragem. Deste modo, foi possível analisar individualmente as concentrações dos parâmetros avaliados, e verificar se atende o que é estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Em seguida, também são mostrados os gráficos da batimetria do Açude Linha Preta, e o gráfico da série temporal das vazões medidas durante as campanhas de amostragem e perfil do rio Ribeiro no ponto de coleta. A partir dos resultados obtidos foi possível estabelecer a discussão e sugestões de melhorias ou alternativas para o SAA.

4.8.5 Quadros com os Resultados das Análises

Quadro 23 - Os resultados das análises e parâmetros do açude Linha Preta

Açude	Data	Hora	RT (mg/L)	FT (mg/L)	NT (mg/L)	Turb. (NTU)	pH	Temp. Água	OD (mg/L)	OD (%)	Cond. (μ S/cm)	ORP (mV)	DBO (mg/L)	<i>E coli</i> (NMP/100 mL)	IQA
C1	20/12/22	14:43	0,09	0,39	0,66	9,54	6,82	28,00	7,95	96,10	58,00	152,70	17	100,00	73,75 (BOA)
C2	11/01/23	14:07	0,17	0,29	0,38	19,10	7,09	28,59	8,40	109,30	56,60	304,00	21	0,00	66,44 (BOA)
C3	26/01/23	13:25	0,13	0,09	0,70	5,88	6,89	31,40	7,51	87,62	61,40	212,00	19	0,00	66,33 (BOA)
C4	07/02/23	12:05	0,10	0,22	0,64	9,80	6,70	26,93	6,33	67,60	79,00	254,00	2	0,00	70,05 (BOA)
C5	22/02/23	13:21	0,09	0,35	0,54	7,20	5,65	25,84	5,30	66,20	87,00	246,00	22	0,00	56,88 (BOA)
C6	07/03/23	14:33	0,14	0,23	0,35	2,40	6,47	27,18	6,03	76,90	91,20	227,00	12	0,00	65,20 (BOA)
C7	21/03/23	12:17	0,14	0,16	0,36	11,50	6,48	27,17	9,19	117,20	91,20	230,00	6	0,00	68,44 (BOA)
C8	11/04/23	11:01	0,10	0,17	0,37	4,50	7,88	24,56	6,30	77,00	73,00	107,00	2	0,00	72,43 (BOA)
C9	26/04/23	11:26	0,10	0,08	0,33	4,00	7,26	20,36	8,84	100,60	83,00	126,00	1	0,00	75,92 (BOA)
C10	17/05/23	15:10	0,15	0,21	0,33	6,20	7,62	19,74	6,43	72,40	86,00	160,00	0	0,00	73,28 (BOA)

Fonte: Autor, (2023).

Legenda: RT = resíduo total/sólidos totais; FT = fósforo total; NT = nitrogênio total; Turbidez; Temperatura Água; OD = oxigênio dissolvido; Condutividade Elétrica; ORP = Potencial Oxidação-Redução; DBO = demanda biológica oxigênio; Coliforme; IQA = índice qualidade água.

Categorias IQA: **IQA \leq 19: péssima;** **19 < IQA \leq 36: ruim;** **36 < IQA \leq 51: razoável;** **51 < IQA \leq 80: boa;** **80 < IQA \leq 100: ótimo**

Quadro 24 - Os resultados das análises e parâmetros do rio Ribeiro

Rio	Data	Hora	RT (mg/L)	FT (mg/L)	NT (mg/L)	Turb. (NTU)	pH	Temp. Água	OD (mg/L)	OD (%)	Cond. (μ S/cm)	ORP (mV)	DBO (mg/L)	<i>E coli</i> (NMP/100 mL)	IQA	Vazão (L/s)
P1	20/12/22	15:35	0,14	0,45	0,75	6,59	6,69	21,40	8,17	94,50	67,40	166,90	26	200,00	66,49 (BOA)	218,35
P2	11/01/23	14:45	0,13	0,25	0,69	8,65	6,59	23,87	8,77	106,20	92,20	256,00	48	870,00	66,66 (BOA)	129,99
P3	26/01/23	13:58	0,05	0,23	0,67	4,65	6,34	26,30	7,55	85,70	73,20	185,70	20	0,00	64,47 (BOA)	130,83
P4	07/02/23	10:57	0,08	0,15	0,65	4,98	6,56	22,56	8,50	100,60	85,60	187,00	2	0,00	74,50 (BOA)	132,35
P5	22/02/23	14:11	0,13	0,19	0,68	6,67	5,74	22,96	8,47	101,00	92,90	244,00	22	0,00	62,26 (BOA)	169,85
P6	07/03/23	11:33	0,11	0,18	0,61	3,80	5,82	22,88	9,13	108,60	101,30	142,00	6	0,00	67,48 (BOA)	199,85
P7	21/03/23	10:31	0,15	0,03	0,73	5,84	6,04	22,85	8,94	106,40	102,90	151,00	0	410,00	73,12 (BOA)	128,91
P8	11/04/23	12:18	0,35	0,18	0,60	4,38	7,35	22,09	8,21	96,40	90,60	83,00	1	100,00	77,73 (BOA)	117,16
P9	26/04/23	10:35	0,26	0,12	0,59	4,10	6,84	18,39	8,26	90,60	95,00	100,00	0	187,00	76,21 (BOA)	149,74
P10	17/05/23	14:01	0,16	0,13	0,71	3,00	7,85	15,74	8,22	85,60	90,00	127,00	0	200,00	75,77 (BOA)	206,50

Fonte: Autor, (2023).

Legenda: RT = resíduo total/sólidos totais; FT = fósforo total; NT = nitrogênio total; Turbidez; Temperatura Água; OD = oxigênio dissolvido; Condutividade Elétrica; ORP = Potencial Oxidação-Redução; DBO = demanda biológica oxigênio; Coliforme; IQA = índice qualidade água.

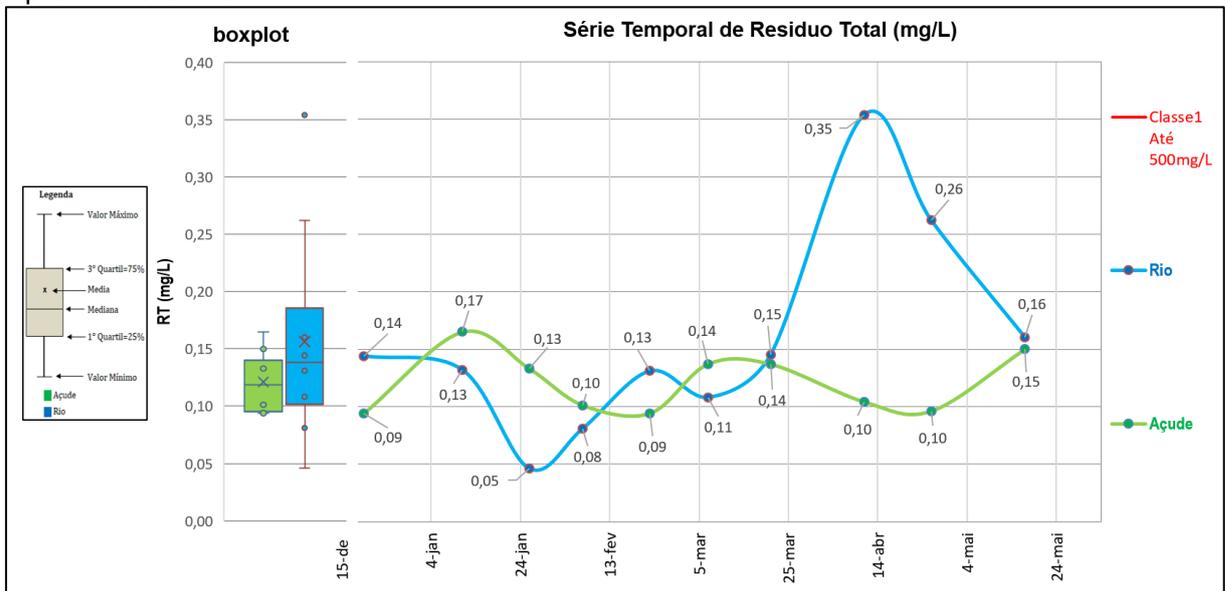
Categorias IQA: **IQA \leq 19: péssima;** **19 < IQA \leq 36: ruim;** **36 < IQA \leq 51: razoável;** **51 < IQA \leq 80: boa;** **80 < IQA \leq 100: ótimo**

No quadro 23 são apresentados os resultados das análises dos parâmetros utilizados para o cálculo do IQA do reservatório de água bruta, o açude Linha Preta. Cada parâmetro possui um valor de qualidade (q), obtido do respectivo gráfico de qualidade em função de sua concentração medida, conforme mostrado no Referencial Teórico deste trabalho (**item 3.2, gráfico 1** - Curvas médias de variação dos parâmetros de qualidade da água).

No quadro 24 são apresentados os resultados das análises dos parâmetros utilizados para o cálculo do IQA do rio Ribeiro. Os valores médios apresentados nos quadros 23 e 24 indicam que a qualidade da água bruta, tanto no açude quanto no rio, é satisfatória para captação de abastecimento público após tratamento. Conforme é possível observar no gráfico 14 e nos gráficos 15 e 16, os resultados de todas as amostras analisadas apresentaram parâmetros de água “boa”, com o IQA na faixa próxima de “ótima”.

4.8.6 Gráficos com os Resultados das Análises

Gráfico 4 – Comparativo das análises de Resíduo Total do Açude Linha Preta e no Rio Ribeiro, durante o período avaliado.



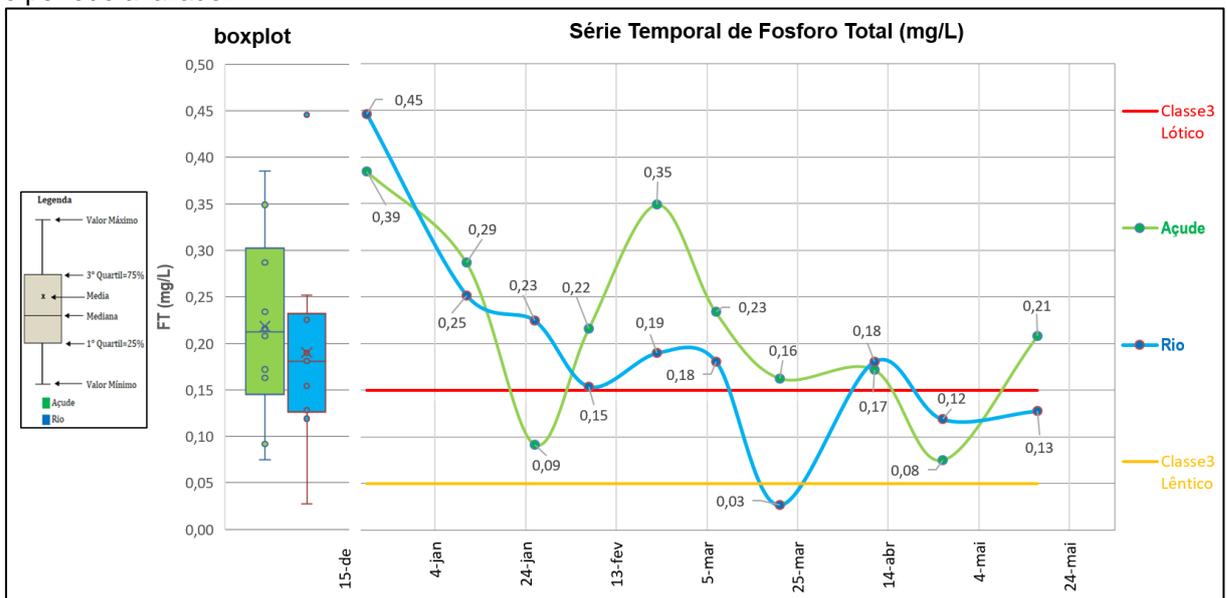
Fonte: Autor, (2023).

O Resíduo Total (RT) é um parâmetro importante para a avaliação da qualidade da água. A presença de RT em níveis elevados pode ter diversas origens, como escoamento de solo, erosão e atividades agrícolas, e esses sólidos em totais (ST) podem afetar a qualidade da água de várias maneiras. Quanto maior a concentração

de sólido, menor a incidência de luz, prejudicando a sobrevivência de organismos fotossintetizantes (PARRON, 2011). Portanto, o monitoramento dos ST é essencial para compreender a qualidade da água, identificar fontes de poluição e implementar medidas de gestão adequadas para proteger a saúde dos ecossistemas aquáticos e a segurança da água para abastecimento humano.

No gráfico 4 observa-se que os valores de concentração de Resíduos Totais (mg/L) são relativamente baixos (<0,18 mg/L), principalmente no açude Linha Preta (linha verde no gráfico). Esse valor indica concentração de sólidos dentro do aceitável em uma captação de água bruta, considerando o valor máximo de sólidos dissolvidos totais de 500mg/L, para enquadramento em classe 1, conforme o Art. 14º da Resolução CONAMA nº 357/2005. Igualmente no rio Ribeiro (linha azul no gráfico), com exceção das coletas das campanhas 8 e 9, os valores de concentração de RT encontram-se relativamente baixos, entre 0,05 a 0,16mg/L. Cabe destacar que o açude é classificado como manancial lântico e o rio como lótico.

Gráfico 5 – Comparativo das análises de Fósforo Total do Açude Linha Preta e no Rio Ribeiro, durante o período avaliado.



Fonte: Autor, (2023).

O Fósforo Total (FT) é um parâmetro determinante para avaliar a qualidade da água. É um elemento essencial para o crescimento das algas e plantas aquáticas. No entanto, o excesso de FT na água pode elevar o problema de poluição em ambientes aquáticos, pois o crescimento excessivo de algas causa a eutrofização. O controle dos níveis de FT é crucial para prevenir a eutrofização e manter a saúde dos

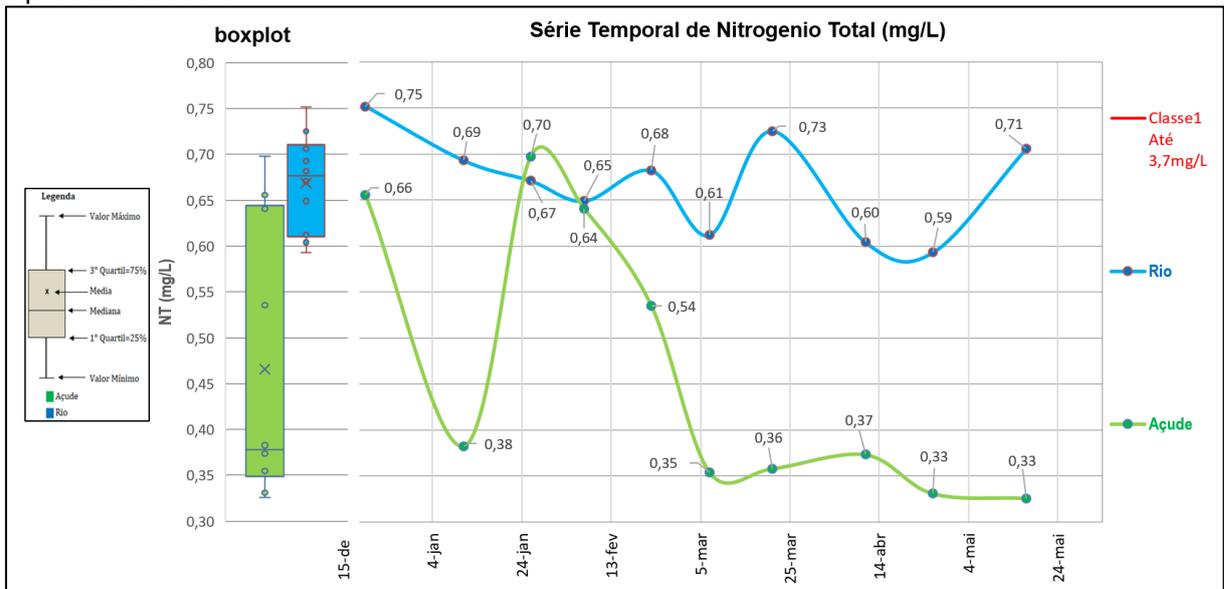
ecossistemas aquáticos. Em resumo, o Fósforo Total desempenha um papel fundamental na regulação dos ecossistemas aquáticos, e por isso, o seu monitoramento e o seu controle são essenciais para preservar a qualidade e proteger os corpos d'água.

A partir da análise de fósforo total, pode-se observar que do gráfico 3, 100% das amostras coletadas no açude (linha verde do gráfico) e 60% das amostras coletadas no rio (linha azul do gráfico) encontraram-se com concentração acima dos valores para enquadramento em classe 3, pela Resolução CONAMA nº 357/05, que é 0,05 mg/L em ambiente lântico e de 0,15 mg/L em ambiente lótico.

Destaca-se a primeira coleta, que ocorreu no início do verão (22/12/2022), em que os valores de concentrações foram de 0,39 mg/L no açude e 0,45 mg/L para o rio. O gráfico de caixa mostra que de 25% a 75% das amostras coletadas no açude Linha Preta apresentaram concentração de FT entre 0,18 e 0,29 mg/L, considerada muito elevada para um ambiente lântico.

Entre alguns dos principais efeitos negativos da eutrofização do corpo d'água pode-se destacar o encarecimento no custo do seu tratamento, além da restrição dos múltiplos usos, com o crescimento de algas e cianobactérias (KUDO, RIVELINO & BUENO, 2017).

Gráfico 6 – Comparativo das análises de Nitrogênio Total do açude Linha Preta e no rio Ribeiro, durante o período avaliado.



Fonte: Autor (2023).

Nas análises da qualidade da água, o Nitrogênio Total (NT) é um parâmetro crucial. Ele engloba várias formas de nitrogênio presentes na água, incluindo compostos orgânicos nitrogenados, amônia, nitrito e nitrato. Os nitratos são tóxicos aos seres humanos, e em altas concentrações podem causando uma doença chamada metahemoglobinemia infantil, que é letal para bebês (o nitrato reduz-se a nitrito na corrente sanguínea, competindo com o oxigênio livre, tornando o sangue azul) (NETO, 2018)

Na natureza, o nitrogênio está presente nas proteínas e pode advir também da composição celular de microrganismos. Quanto à origem antropogênica, o nitrogênio pode ser proveniente também de despejos domésticos e industriais assim como de excrementos animais e fertilizantes químicos, indicando o seu grau de contaminação (VON SPERLING, 2005). Pelo fato de os compostos de nitrogênio serem nutrientes nos processos biológicos, altas concentrações de NT, em conjunto com outros nutrientes, tais como o fósforo, podem contribuir para o processo conhecido como eutrofização. Esse fenômeno é caracterizado pelo crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas, devido ao aumento de nutrientes.

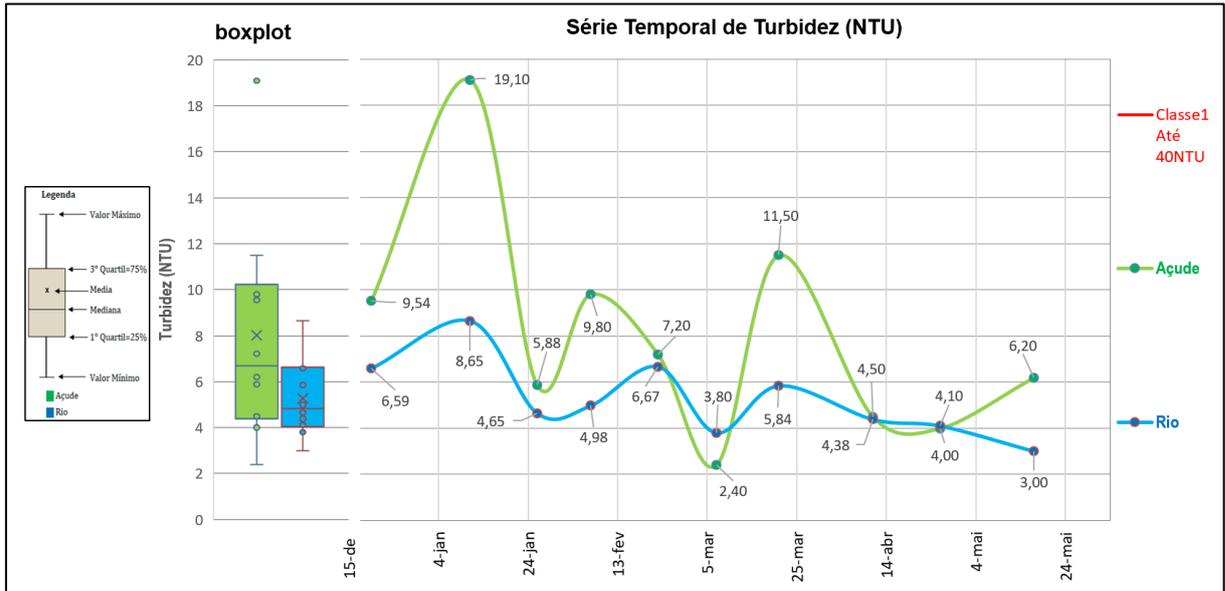
A concentração de nitrogênio é um importante parâmetro de classificação das águas naturais e é normalmente utilizado na constituição de índices de qualidade das águas. Portanto, a monitorização do NT é fundamental para entender os padrões de poluição da água, e tomar medidas para mitigar a eutrofização, e proteger a qualidade dos recursos hídricos.

O gráfico 6 mostra o comparativo dos resultados das análises de Nitrogênio Total do açude e do rio. Observa-se que, no açude, das dez amostras, seis delas estão abaixo de 0,4 mg/L. No rio, foram verificados resultados entre 0,59 e 0,75 mg/L de NT. Mesmo com esses valores de NT, tanto o açude quanto o rio pode ser considerado Classe 1. Conforme o Art. 10º da Resolução CONAMA nº 357/2005, os valores máximos estabelecidos para os parâmetros relacionados em cada uma das classes de enquadramento deverão ser obedecidos nas condições de vazão de referência:

§ 3º Para águas doces de classes 1 e 2, quando o nitrogênio for fator limitante para eutrofização, nas condições

estabelecidas pelo órgão ambiental competente, o valor de nitrogênio total (após oxidação) não deverá ultrapassar 1,27 mg/L para ambientes lênticos e 2,18 mg/L para ambientes lóticos, na vazão de referência. (Resolução CONAMA nº 357/2005)

Gráfico 7 – Valores de Turbidez medidos no açude Linha Preta e no rio Ribeiro, durante o período avaliado.



Fonte: Autor (2023).

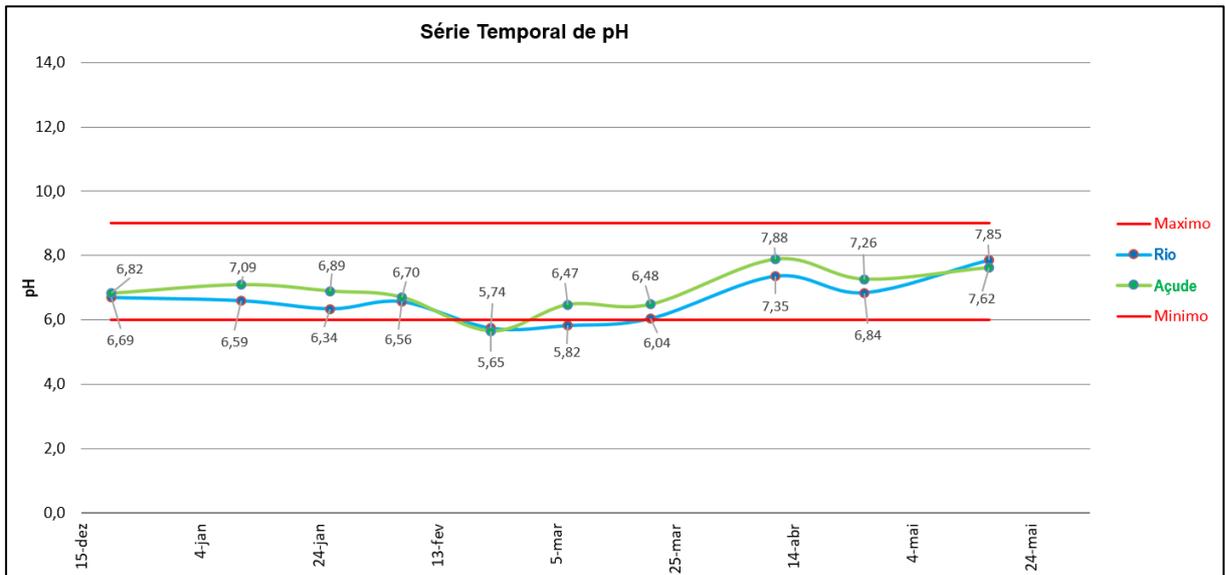
A turbidez expressa de forma simplificada a transparência da água. Ela deve-se à presença de matéria particulada em suspensão, tal como matéria orgânica e inorgânica, fitoplâncton e outros organismos microscópicos planctônicos (FERREIRA E PÁDUA, 2010). Estas partículas podem servir de abrigo para microrganismos patogênicos e reduzir a penetração à luz, prejudicando a fotossíntese. Altos níveis de turbidez podem resultar de várias atividades humanas, como agricultura, desmatamento e escoamento urbano. A erosão do solo é uma das principais causas de aumento da turbidez dos corpos d'água, e tem implicações importantes para a qualidade da mesma.

A turbidez na água é causada por partículas em suspensão, como por exemplo, argila, silte, matéria orgânica e inorgânica, que podem abrigar microrganismos patogênicos e dificultar o processo de tratamento da água, afetando a qualidade da água para consumo humano. O aumento da turbidez requer uma quantidade maior de produtos químicos (ex.: coagulantes) utilizados na ETA, aumentando os custos de tratamento.

A presença destas partículas provoca a dispersão e absorção da luz, deixando a água com aparência turva (HELLER, 2006). Portanto, a monitorização da turbidez é essencial para avaliar a qualidade da água, identificar fontes de poluição e implementar medidas de gestão apropriadas para garantir a segurança da água e preservar o abastecimento público.

O gráfico 7 mostra os resultados da série temporal de turbidez em todo o período do monitoramento. A turbidez encontrada no açude, com a exceção de dois pontos (a segunda e sétima coleta, com valores de 11,5 e 19,1 NTU, respectivamente), foi entre 2,5 e 9,8 NTU. Já no rio, os valores se mantiveram mais conexos entre 3 e 8,65 NTU. A distribuição da série temporal dos dados de turbidez da água bruta pode ser mais bem compreendida no gráfico de caixa, onde se observa que entre 25% a 75% dos valores encontrados permaneceu entre 4,5 e 9,8 NTU no açude em quanto que no rio ficou entre 4 e 6,6 NTU.

Gráfico 8 – Comparativo das medições de pH do açude Linha Preta e do rio Ribeiro, no período avaliado.



Fonte: Autor (2023).

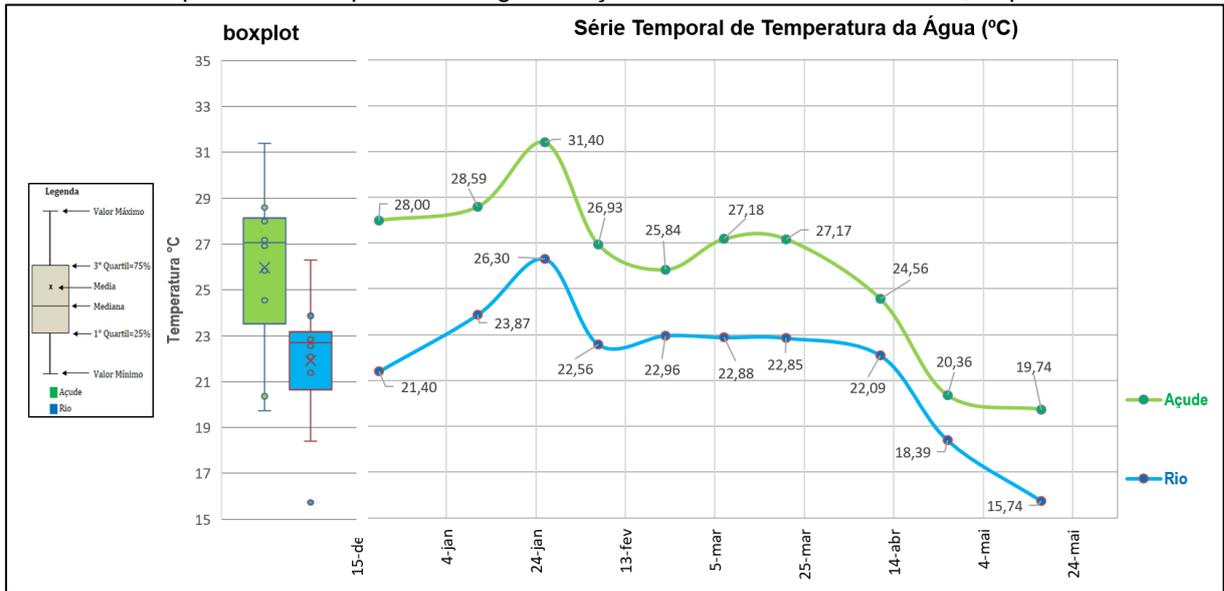
O potencial hidrogeniônico (pH) da água é a medida da atividade dos íons hidrogênio, a escala de pH varia de 0 a 14, sendo 7 considerado neutro. Valores abaixo de 7 indicam pH ácido, enquanto valores acima de 7 indicam pH alcalino. O pH da água é influenciado pela presença de substâncias químicas dissolvidas nela, como ácidos e bases. Porém, as características do solo podem contribuir para a elevação ou redução natural do pH (FERREIRA E PÁDUA, 2010).

A medida do pH é análise para a caracterização físico-química da água e essa avaliação é utilizada praticamente em todas as fases do tratamento. Conhecer esse valor é importante para a escolha correta do tratamento químico, pois o pH influencia a eficácia dos processos. São dependentes do pH alguns mecanismos como coagulação, precipitação de minerais indesejados, desinfecção, neutralização e corrosão entre outros (MENDONÇA, 2016).

Segundo Paterniani & Pinto (2001), as águas com pH inferior a 7 tornam-se corrosivas, enquanto valores acima de 7 favorecem a incrustação de materiais nas tubulações e equipamentos. Assim, segundo os mesmos autores, nesses casos, a fim de melhor verificar os efeitos corrosivos e incrustantes da água, outros fatores, além do pH devem ser considerados, tais como oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos, dureza total, entre outros.

O gráfico 8 mostra que os valores de pH, com a exceção da coleta da quinta campanha no açude e as campanhas 5 e 6 no rio, estão abaixo de 8 e acima de 6. Esse comportamento pode estar relacionado a estiagem que ocorreu nos períodos das coletas em que pode ter ocorrido uma concentração de poluentes e, por consequência, ocasionando a diminuição do pH. Ou seja, estiveram dentro dos valores definidos na Resolução CONAMA nº 357/2005 (no gráfico 8 as linhas vermelhas, máximo 9 e mínimo 6), com exceção de dois pontos no rio (linha azul do gráfico) e um no açude (linha verde do gráfico), abaixo de 6. No gráfico 8, de caixa pode-se observar que 25% a 75% dos valores de pH no açude ficaram entre 6,47 e 7,26. No rio, os valores de pH ficaram entre 6,04 e 6,84.

Gráfico 9 – Comparativo da temperatura da água do Açude Linha Preto e do Rio Ribeiro, no período avaliado.

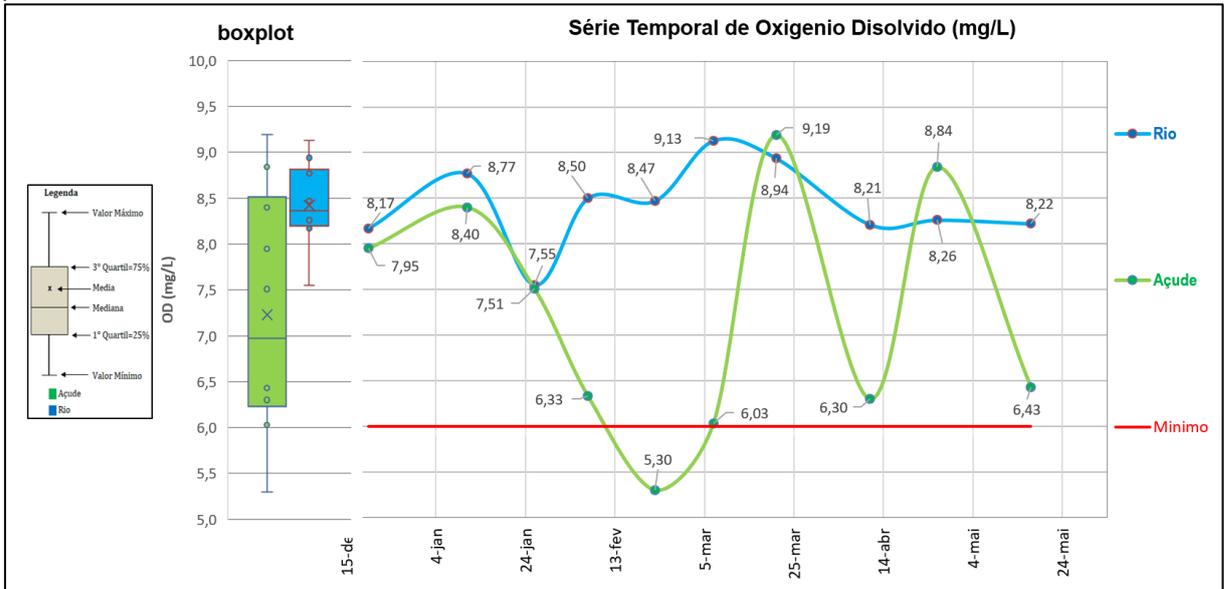


Fonte: Autor (2023).

Nos corpos d'água naturais, a temperatura da água pode variar ao longo do ano devido a fatores climáticos. O gráfico 9 mostra as medições da temperatura da água que foram variando ao longo do tempo. Nos meses de dezembro e janeiro, a temperatura era mais alta, enquanto nos meses de abril e maio verificou-se a sua diminuição.

A temperatura influencia no crescimento de microrganismos, como bactérias e algas, uma vez que água mais quente podem promover o crescimento desses organismos, o que pode afetar a qualidade da água. A temperatura afeta a capacidade da água de dissolver substâncias e com isso pode afetar a eficiência dos processos de tratamento. Por exemplo, a eficácia de desinfetantes, como o cloro, pode ser influenciada pela temperatura da água. Em altas temperaturas, aumenta-se a taxa de reações químicas e biológicas e de transferência de gases, bem como diminui a solubilidade gases (ex: oxigênio dissolvido) (VON SPERLING, 1996). Portanto, monitorar a temperatura da água é importante para garantir que os processos de tratamento sejam eficazes.

Gráfico 10 – Comparativo da série temporal de OD (mg/L) do açude Linha Preta e do rio Ribeiro, no período avaliado.



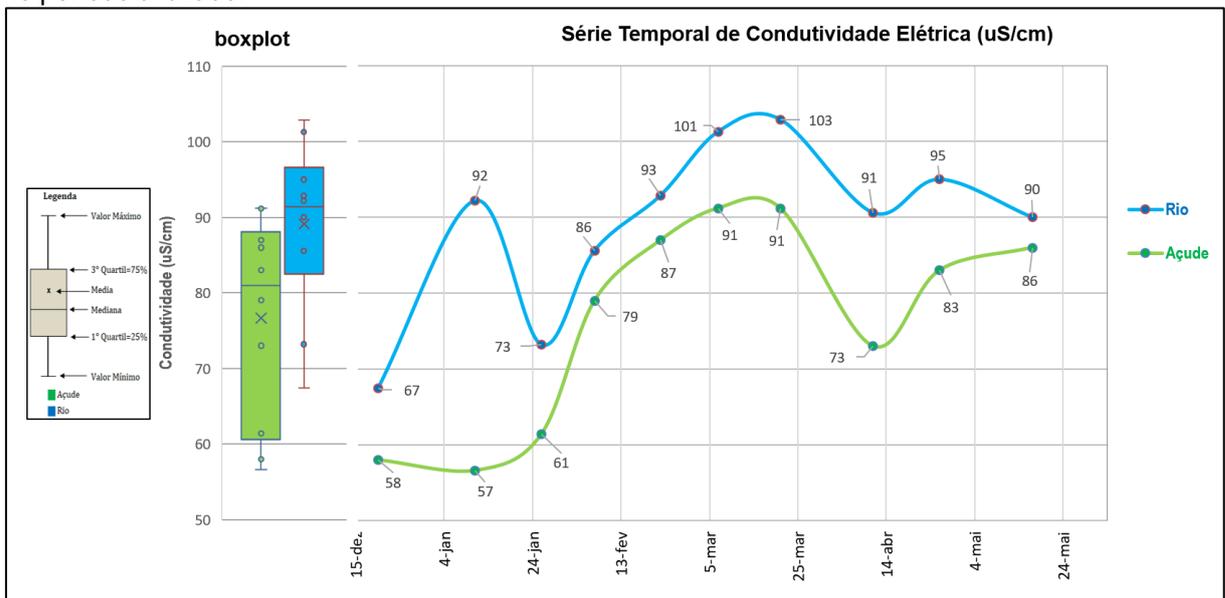
Fonte: Autor (2023).

O Oxigênio Dissolvido (OD) é o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição da água por despejos orgânicos (VON SPERLING, 1996). O seu monitoramento em corpos d'água naturais é de grande importância, pois o OD afeta a qualidade da água para consumo humano. Para Ferreira e Pádua (2010), o conteúdo de oxigênio das águas naturais varia com a temperatura, a turbulência, a atividade fotossintética das algas e das plantas, e com a pressão atmosférica. Os autores supracitados ainda acrescentam que a solubilidade do oxigênio diminui conforme a temperatura aumenta, portanto, a quantidade de oxigênio que se dissolve a 0°C é mais que o dobro da que se dissolve a 35°C. O oxigênio dissolvido pode ser expresso em mg/L ou em termos de percentual de saturação.

Dessa forma, monitorar o oxigênio dissolvido na água é uma forma de garantir a saúde dos ecossistemas aquáticos, contribuindo para a preservação do meio ambiente, a segurança da água para consumo humano, melhorando a eficiência dos processos de tratamento. Entretanto, o OD varia naturalmente de acordo com fatores sazonais e condições climáticas. Monitorar essas variações é essencial para compreender os padrões naturais, pois baixos níveis de OD podem levar à decomposição anaeróbica de matéria orgânica. Essa condição pode resultar na produção de gases, como metano e sulfeto de hidrogênio, que podem ser tóxicos e causar odores desagradáveis na água.

No gráfico 10 estão apresentados os resultados da série temporal das medições de oxigênio dissolvido no período do monitoramento. Os valores de OD (mg/L) encontrados em todo período monitorado, com exceção da medição na quinta campanha no açude, em que o valor foi de 5,3 mg/L O₂. Tanto no rio quanto no açude, esteve entre 6,03 e 9,19 mg/L O₂. Desta forma, verifica-se que, a partir da análise desse parâmetro, ambos os mananciais são considerados Classe 1, conforme Resolução CONAMA nº 357/2005, sendo satisfatório para captações de água bruta. Destacam-se os valores encontrados no rio, já que 25% a 75% das medições ficaram entre 8,2 e 8,7 mg O₂/L.

Gráfico 11 – Comparativo das análises de condutividade elétrica do açude Linha Preta e do rio Ribeiro, no período avaliado.



Fonte: Autor (2023).

A condutividade elétrica na água refere-se à capacidade do líquido em conduzir eletricidade, em influenciada pela presença de íons dissolvidos, como sais minerais, ácidos e bases presentes na água. Quanto maior a concentração de íons, maior será a condutividade elétrica da água. É um parâmetro importante para avaliar a qualidade da água bruta, e pode ser usada como um indicador preliminar da presença de contaminantes na água. Águas com condutividade elevada podem indicar a presença de íons ou sais provenientes de atividades humanas, como a agricultura ou descargas de produtos químicos industriais.

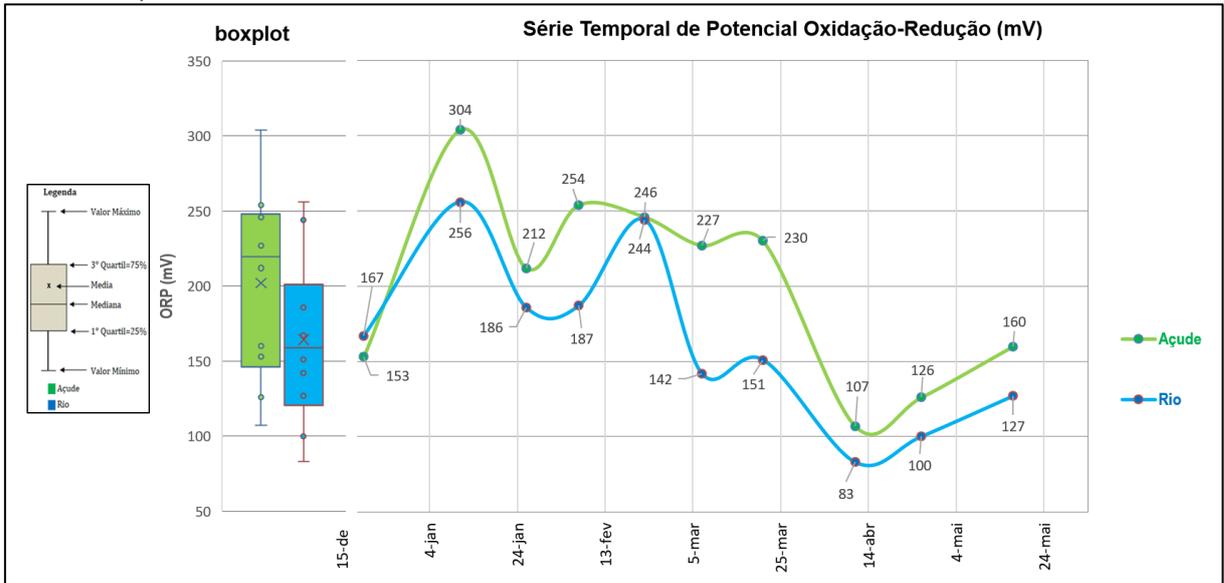
A condutividade também pode ser usada para monitorar o impacto das práticas agrícolas no escoamento da água e na qualidade da água devido à lixiviação de

fertilizantes e sais. A condutividade da água é um dos parâmetros que devem ser monitorados na estação de tratamento de água, para avaliar a qualidade da água bruta e o desempenho dos processos de tratamento, pois afeta diretamente a eficácia do processo. Em corpos d'água naturais, a condutividade pode variar naturalmente de acordo com a geologia e as características da bacia hidrográfica, e devido a fatores sazonais e atividades humanas (ABNT-NBR 14340/1999).

A Resolução CONAMA nº 357/2005 não estabelece valores para condutividade elétrica. Adotou-se o valor estabelecido pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, e que ambientes com condutividade elétrica acima desse valor são considerados impactados. Os valores de condutividade elétrica encontrados em as campanhas de coleta no açude estão entre 57 e 91 $\mu\text{S}/\text{cm}$, já no rio com exceção a sexta e sétima coleta os valores ficaram entre 67 e 95 $\mu\text{S}/\text{cm}$ estão dentro dos padrões estabelecidos pela legislação. A sexta e sétima campanhas de coleta apresentaram valores um pouco acima do padrão estabelecido, entre 101 e 103 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente, pressupondo o recebimento de maior aporte de nutrientes do solo, ocasionando o aumento dos valores de condutividade elétrica, nestas datas. Brigante e Espínola (2003) afirmam que, em geral, pode-se considerar que as águas mais poluídas apresentam maior condutividade elétrica devido ao aumento de conteúdo mineral.

Analisando o gráfico 11 de comparação das medições da condutividade elétrica, pode-se observar que no rio apresentou valores de concentração superiores aos apresentados pelo açude todo o tempo de monitoramento. Observa-se, também, que o valor de concentração de condutividade elétrica do rio em nenhuma coleta foi inferior aos encontrados no açude, o que pode indicar a presença de atividades humanas a montante do ponto monitorado.

Gráfico 12 – Comparativa das análises de Potencial Oxidação-Redox do açude Linha Preta e do rio Ribeiro, no período avaliado.

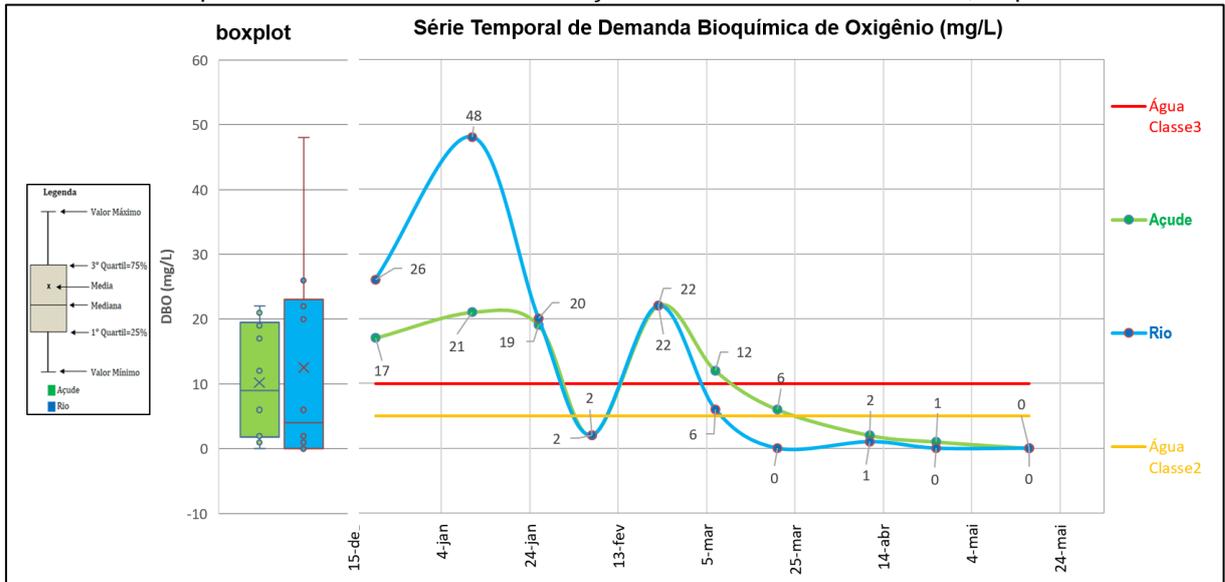


Fonte: Autor (2023).

A medida de Potencial de Oxidação-Redução (ORP, do inglês *Oxidation-Reduction Potential*) é uma indicação da capacidade de um sistema aquático para oxidar ou reduzir substâncias químicas. Reflete a atividade de elétrons em uma solução e é expressa em milivolts (mV). O ORP é uma medida da atividade química em uma solução aquosa. Ele fornece informações sobre os processos de oxidação e redução que estão ocorrendo na água. É um valor que representa a tendência de uma substância de receber elétrons. Pode ser utilizada na determinação do caráter redutor ou oxidante do corpo d'água. A biodisponibilidade de uma série de metais está associada ao seu estado de oxidação, o conhecimento do ORP pode ajudar a definir quais formas dos metais estão presentes em maior concentração no corpo d'água.

Alterações significativas no ORP podem indicar mudanças na qualidade da água, como a presença de poluentes ou variações nos níveis de oxigênio dissolvido. Ele pode variar com fatores como pH, temperatura e concentração de íons na água. A Resolução CONAMA nº 357/2005 não estabelece valores mínimos ou máximos para ORP.

Gráfico 13 – Comparativo das análises de DBO do Açude Linha Preto e do Rio Ribeiro, no período avaliado.



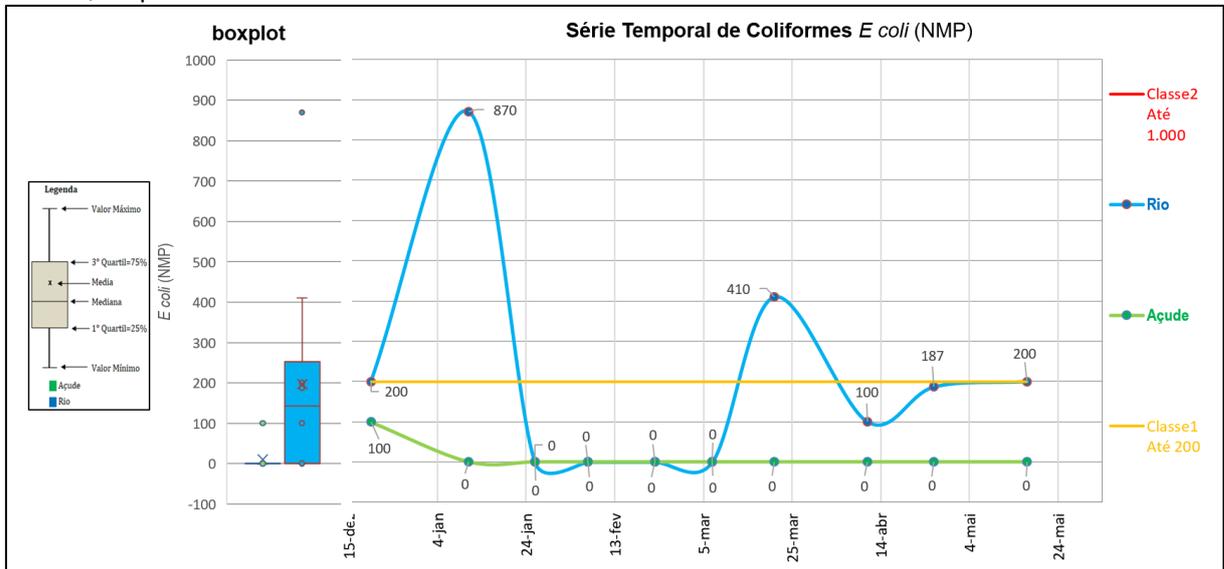
Fonte: Autor (2023).

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é um importante parâmetro utilizado na avaliação da qualidade da água. Ela quantifica a quantidade de oxigênio dissolvido necessário para que microrganismos aeróbicos decomponham a matéria orgânica presente em uma amostra de água, ao longo de um determinado período de tempo. A DBO é medida ao longo de um período de cinco dias para simular as condições naturais de decomposição da matéria orgânica na água. Ela é amplamente utilizada para avaliar a qualidade dos corpos d'água naturais, fornecendo informações sobre a carga de matéria orgânica presente na água. A DBO pode variar ao longo do tempo devido a fatores sazonais e eventos de chuva, e o seu monitoramento contínuo é necessário para entender as flutuações na qualidade da água. Um elevado valor da DBO pode indicar um incremento da microflora, que pode interferir no equilíbrio da vida aquática, e produzir sabores e odores desagradáveis e, ainda, pode obstruir os filtros de areia utilizados nas estações de tratamento de água (PEREIRA, 2016).

Conforme se observa no Gráfico 13, as análises de DBO realizadas no início do monitoramento, nos meses de dezembro a fevereiro, apresentaram valores bem altos em relação a todas as outras amostras, em especial, a segunda coleta do rio Ribeiro. Essa variação pode ser decorrente de fatores sazonais, eventos de chuva assim como atividades humanas, pois a montante do ponto de coleta das amostras, há um balneário disponível ao público. Além disso, durante a realização do trabalho, foi realizado no açude o levantamento da taipa do barramento, a fim de aumentar a capacidade de armazenamento de água bruta de melhorias em seu entorno nesse

período. Ressalta-se, também, que pode ter havido algum problema no equipamento (OXITOP®) durante as análises.

Gráfico 14 – Comparativa das análises de coliforme *Escherichia coli* do açude Linha Preta e do rio Ribeiro, no período avaliado.



Fonte: Autor (2023).

Dentre os principais indicadores de contaminação microbiana, estão os coliformes. Eles são um grupo de bactérias comuns encontradas no intestino de humanos e animais de sangue quente, e sua presença na água pode indicar contaminação fecal. A presença de coliformes, particularmente a *Escherichia coli* (*E. coli*), é um indicador-chave de possível contaminação fecal na água. A sua presença sugere que a água pode estar contaminada com patógenos prejudiciais à saúde humana.

As análises de coliformes, incluindo a *E. coli*, deve ser realizada rotineiramente em sistemas de abastecimento de água para garantir a segurança da água. Os testes para detecção de *E. coli* na água envolvem métodos laboratoriais específicos que identificam e contam colônias de bactérias presentes na amostra de água. A detecção de *E. coli* na água ajuda a identificar possíveis fontes de contaminação, como vazamentos de esgoto, infiltrações de água pluvial ou práticas agrícolas inadequadas.

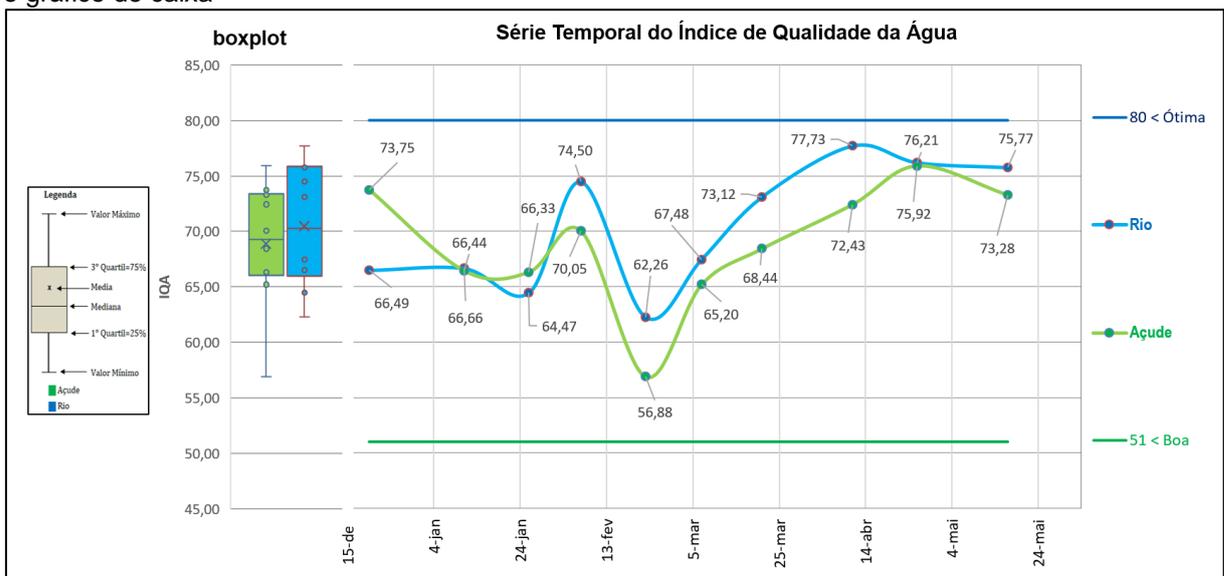
O Gráfico 14, com as análises comparativas, mostra os valores encontrados nas amostras coletadas no açude. Com exceção da primeira coleta, em que o valor encontrado foi de 100 NMP/100 mL, as outras amostras apresentaram valor abaixo do limite de detecção (valores abaixo de zero) para *E. coli*. Já no rio Ribeiro, as análises das amostras coletadas nas campanhas 2 e 7 mostraram valores de *E. coli* de

870 e 410 NMP/100 mL, respectivamente. Quatro amostras apresentaram valor zero e o restante ficaram entre 100 e 200 NMP/100 mL. Destaca-se que a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece, para água de Classe 1, concentração máxima de 200 NMP/100mL, e para Classe 2, valor máximo de 1.000 NMP/100 mL.

O IQA é uma ferramenta valiosa para agências ambientais, pesquisadores e gestores de recursos hídricos no monitoramento de corpos d'água ao longo do tempo e no planejamento de medidas de gestão. Ele também pode ser usado para comunicar informações sobre a qualidade da água ao público em geral de maneira compreensível. Variações no IQA podem indicar mudanças na qualidade da água devido a fatores naturais, atividades humanas ou eventos de poluição.

O IQA é frequentemente associado a classificações de qualidade da água, que podem variar de "excelente" a "péssima". Essas classificações fornecem uma maneira rápida de entender a condição geral da água. O gráfico 15 mostra que todas as amostras coletadas no presente estudo são caracterizadas como água "boa", próximo de "ótima". O Gráfico 15 mostra os dados no gráfico de caixa que de 25% a 75% do IQA no açude está entre 66,33, 1º quartil e 73,28, 3º quartil e no rio encontra se um pouco melhor com o 1º quartil 66,49 e o 3º quartil 76,21.

Gráfico 15 – Comparativa das análises de IQA do açude Linha Preta e do rio Ribeiro em conjunto com o gráfico de caixa



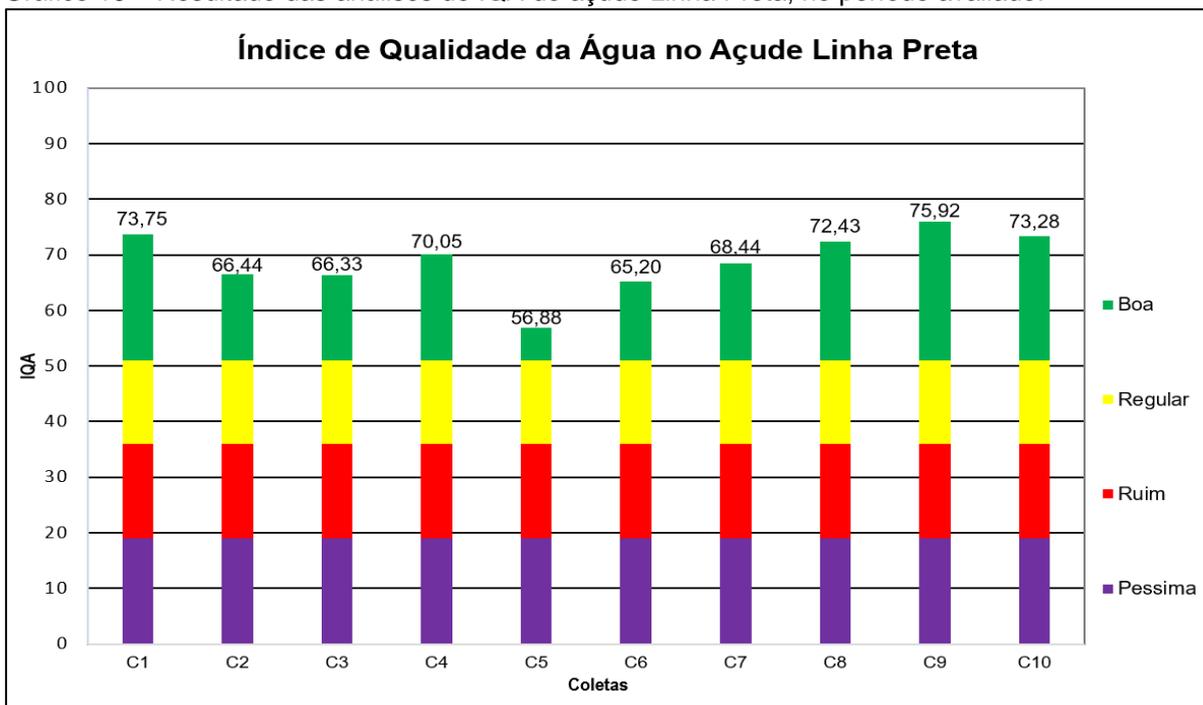
Fonte: Autor (2023).

O Índice de Qualidade da Água (IQA) é uma ferramenta importante para avaliar a qualidade global da água em um determinado local ou corpo d'água. Ele é calculado

com base em uma combinação de parâmetros físicos, químicos e biológicos, e fornece uma medida quantitativa da condição geral da água. Esses parâmetros são agrupados para fornecer uma visão abrangente da condição da água.

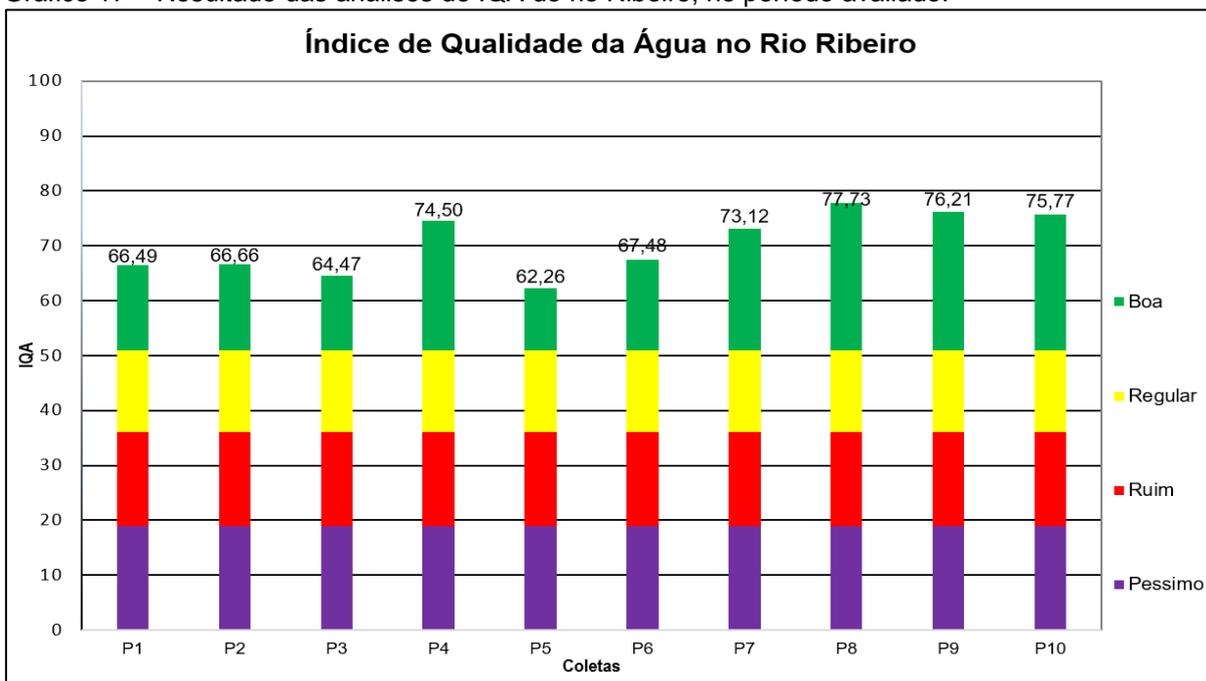
Nos gráficos 16 e 17 mostram os dados de cada manancial individualmente do açude e no rio respectivamente, assim observa-se que das dez coletas no rio seis delas estão com o IQA um pouco melhor que no açude.

Gráfico 16 – Resultado das análises de IQA do açude Linha Preta, no período avaliado.



Fonte: Autor (2023).

Gráfico 17 – Resultado das análises de IQA do rio Ribeiro, no período avaliado.



Fonte: Autor (2023).

A análise da qualidade da água de ambos os pontos monitorado (açude Linha Preta e o rio Ribeiro) se mostrou importante, pois possibilitou o entendimento dos parâmetros que incidem de qualidade de água. Entre os nove parâmetros análise, o Fósforo Total o que mais se destacou. Diversas amostras coletadas apresentaram concentrações acima dos valores para enquadramento em classe 3, estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/05, que é 0,05 mg/L em ambiente lântico e de 0,15 mg/L em ambiente lótico.

Isso pode ser explicado pela presença na bacia hidrográfica dos mananciais de atividades dos agricultores, onde é comum o uso de fertilizantes que tem fósforo em sua composição, e que é facilmente carregado pelas águas pluviais ao leito dos mananciais monitorados. Conforme a descrição do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica, identificou-se a plantação de eucalipto, que possui rápido crescimento e rápida adaptação, mas também requerem uso de insumos químicos como fertilizantes inseticidas e herbicidas (FERREIRA, OLIVEIRA e DEL PIETRO, 2009). Os mesmos são utilizados para a limpeza do terreno, com aplicação de pesticida. Para Santos & Silva (2004), o cultivo de eucalipto promove a contaminação do solo e da água, durante eventos de precipitação o escoamento superficial, carrega os insumos químicos para córregos, riachos e rios e lagos.

Os diversos usos da água necessitam de diferentes qualidades, sendo uns com maior demanda qualitativa como no caso para abastecimento público, através de parâmetros físicos, químicos e biológicos, que retratam o grau de pureza na água (MERTEN e MINELLA, 2002). A qualidade da água dos mananciais é reflexo da influência do uso e ocupação do solo. Por isso, as mudanças, principalmente em áreas de preservação permanente (APP), podem acarretar diversas consequências ambientais e econômicas, devido à redução na qualidade e disponibilidade hídrica.

Regiões hidrográficas com áreas com ausência de vegetação ciliar e manejo do solo inadequado são propícias a degradação dos recursos hídricos (SANTOS e HERNANDEZ, 2013). Segundo Vanzela et al. (2010), a alteração da qualidade da água dos mananciais advinda das áreas agrícolas é causada, muitas vezes, pela ausência de manejo e conservação do solo.

As áreas de pastagem e de cultivo sem manejo do solo ficam propícias ao carreamento de partículas sólidas para os mananciais, alterando a qualidade das águas pela deposição de sedimentos, contendo cargas orgânicas e inorgânicas (SANTOS e HERNANDEZ, 2013). A contaminação da água dos mananciais torna seu uso restrito, inviabilizando o abastecimento público, mas também outros usos, como a recreação e irrigação, podendo comprometer o desenvolvimento da região.

O monitoramento dos recursos hídricos é uma das formas de assegurar a qualidade por facilitar a identificação dos impactos ambientais que causam a degradação dos recursos hídricos (QUEIROZ, DANTAS e SILVA 2013). De acordo com Poleto (2003), o monitoramento contínuo dos recursos hídricos é uma das melhores alternativas para se identificar impactos e propuser medidas preventivas e/ou corretivas, visando diminuir os impactos e viabilizar sua utilização para as atividades agrícolas e urbanas. Assim, através do monitoramento contínuo será possível identificar os possíveis meios de degradação da bacia hidrográfica e propor uma eficiente gestão dos recursos hídricos, não comprometendo o abastecimento público, nem tão pouco a saúde pública da população.

Medidas de caráter preventivo e corretivo devem ser aplicadas em mananciais em que sua qualidade esteja comprometida, de modo a minimizar os custos do tratamento da água, entre outros aspectos. A avaliação individual dos parâmetros que compõem um determinado índice deve ser considerada, principalmente quando um ou outro parâmetro estiver em desacordo com a legislação vigente.

5 RECOMENDAÇÕES

Um dos objetivos deste estudo de caso foi avaliar os riscos do SAA para subsidiar um futuro Plano de Segurança da Água, que pode trazer benefícios para todos, principalmente os pequenos sistemas (cidade). O segundo objetivo foi a avaliação de um ponto de captação alternativo para o sistema de abastecimento de água para a cidade de Mariana Pimentel. Desta forma, esse trabalho contribui com informações que subsidiarão os tomadores de decisão, no planejamento para melhorar a oferta e a qualidade da água distribuída, mitigando os efeitos da escassez d'água registrada na época de estiagem.

No levantamento topográfico e batimétrico do açude Linha Preta, após melhorias na barragem, foi observado que o seu volume passou de 400 m³ para 1000 m³. A partir das medições de vazão no rio Ribeiro, verificou-se valores médios superiores a 100 L/s, o que representa valor superior a 20 vezes a vazão do Açude, sendo, portanto, um possível ponto de captação.

Assim, este trabalho fornece indicações dos principais aspectos relacionados à Segurança da Água de Mariana Pimentel. Entre todos os pontos observados com o desenvolvimento deste estudo, a cidade ser abastecida por um único ponto (manancial), destaca-se como prejudicial, uma vez que se traduz um risco relacionado ao desabastecimento para a população. Numa eventual contaminação do açude Linha Preta, outra solução de abastecimento deverá ser adotada, por exemplo, o abastecimento através do rio Ribeiro.

No levantamento topográfico, observou-se que a **distância** entre a **ETA** (as coordenadas em UTM; E=443444,96 m / N=6641542,80 m e altitude; 137,69 m) e o **rio Ribeiro** (as coordenadas em UTM; E=444143,77 m / N=6641517,34 m e altitude; 85,24) é de aproximadamente **900 m**. A **diferença de altitude** entre a **ETA** e o **rio** é de **52,45 m**, no ponto onde foi feito o monitoramento da vazão e da qualidade da água. Analisando esses dados, é possível avaliar as vantagens e desvantagens desse manancial em relação ao açude Linha Preta:

Desvantagem: O açude Linha Preta está localizado a, aproximadamente, **20 m** de altitude em relação à ETA, assim o sistema de captação e transposição de água bruta favorece o transporte por simples gravidade até a unidade de tratamento dispensa o uso de recalque. Já para a captação no rio Ribeiro, é necessário o uso de

Elevatórias de Recalque de Água Bruta (ERAB), pois a diferença de altitude entre a ETA e o rio é de **53 m**;

Vantagem: a vazão (volume) do rio Ribeiro é 20 vezes maior que vazão do açude Linha Preta. A distância (comprimento total adutora) entre o açude e a ETA é de **1700 m**, enquanto a distância entre a ETA e o rio Ribeiro é de aproximadamente **900 m**.

Sobre a qualidade da água bruta, **não há vantagem nem desvantagem**. Durante a pesquisa, analisou-se doze parâmetros acerca da qualidade de água superficial, em que nove deles compõem o IQA (índice qualidade água), sendo eles: resíduo total, fósforo total, nitrogênio total, turbidez, pH, temperatura da água, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, potencial oxidação-redução, demanda química oxigênio, demanda biológica oxigênio, *Escherichia coli*. Tanto no açude quanto no rio, constatou-se que há qualidade satisfatória da água, e ambos os pontos de monitoramento foram classificados como água boa, com valores entre 64 e 77 para IQA.

Para a tomada de decisão, é necessário que os gestores do município e do SAA (CORSAN) realizem um estudo de viabilidade econômica para a implantação de fonte de captação de água no rio Ribeiro. O abastecimento da cidade por este manancial poderia ser uma ação efetivada do plano de contingência, sobre as ações a serem tomadas em casos emergenciais (contaminação e/ou estiagem prolongada).

6 NOTA FINAL

A Companhia Rio-grandense de Saneamento, em 2016, divulgou uma minuta com as diretrizes para elaboração do Plano de Segurança das Águas (PSA). O principal objetivo é garantir a qualidade de água para consumo, identificando e prevenindo os riscos que possam surgir em um Sistema de Abastecimento de Água. Como objetivos específicos do PSA, cita-se: “minimizar as fontes de contaminação pontual e difusa [...], e prevenir a (ré) contaminação durante o armazenamento e no sistema de distribuição” (COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO, 2016).

No presente trabalho, foi avaliado manancial para captação, assim como análise de risco do sistema de abastecimento para subsidiar um futuro plano de segurança da água no município, adaptando e simplificando uma planilha (*checklist*) para análises de risco. Assim, a partir dos resultados dessa pesquisa, potenciais contribuições para o município podem ser previstas: 1) fornecer subsídios aos tomadores de decisão, em relação ao planejamento; 2) aprimorar a oferta de água; 3) contribuir para melhorar o índice de segurança hídrico urbano; 4) mitigar os efeitos da escassez d'água na época de estiagem; 5) garantir a qualidade da água disponibilizada a população.

Conforme Vieira (2005) é possível e desejável a adaptação de novos conceitos de avaliação e gestão de riscos em sistemas de abastecimento de água, abordagem que está em sintonia com as orientações recomendadas pela OMS. A metodologia adotada nessa pesquisa contribuiu para um melhor entendimento de todo o sistema de abastecimento, como uma cadeia de barreiras múltiplas de proteção à contaminação da água.

Essa pesquisa é de grande relevância, pois demonstra a complexidade envolvida na gestão do SAA. Espera-se que os resultados deste trabalho possam auxiliar no desenvolvimento de novas pesquisas científicas para dar maior visibilidade ao assunto, principalmente nos pequenos municípios.

Por fim, é importante evidenciar a parceria aqui firmada com os colaboradores da CORSAN. A troca de experiências e união de conhecimentos foi essencial para a realização desse estudo.

7 CONCLUSÃO

A metodologia aplicada de forma adaptada, para avaliar o SAA do município de Mariana Pimentel, foi essencial para o entendimento de um sistema de abastecimento público de pequeno porte, considerando todas as suas peculiaridades.

O atual manancial de captação trata-se de um açude com pouca capacidade de armazenamento e baixa vazão no período do verão. No seu entorno, há ocorrência de atividades agropecuárias, gerando riscos de contaminações por agrotóxicos, matérias orgânicas e nutrientes. A avaliação das potenciais fontes poluidoras (riscos) no entorno e no ponto de captação da água (açude Linha Preta) é fundamental para o planejamento do abastecimento urbano do município.

Na descrição das etapas do sistema de tratamento de água, utilizaram-se as informações disponibilizadas pela companhia de saneamento, o que proporcionou o apontamento de suas limitações e deficiências. A caracterização do sistema de abastecimento de água permite verificar como é realizada a captação, o tratamento e a distribuição de água tratada. É uma etapa fundamental para a identificação de eventos perigosos que possam inferir riscos na qualidade da água distribuída.

Na aplicação da matriz de risco, levantaram-se todos os perigos e eventos perigosos que possam trazer algum risco ao sistema. Para isso, contou-se com o auxílio dos funcionários e operadores da ETA, bem como se buscou informações em visitas de campo. Os perigos com classificação igual e superior a 6, e que se mostraram prioritários, foram: 1) a proliferação de algas no reservatório de água bruta, 2) a falta de proteção na entrada da tubulação (adutora de água bruta), 3) a pouca proteção da zona imediata a captação, com visível contaminação por atividade agropecuária no entorno da captação, 4) falta de ações de manutenção por parte de entidade gestora. Com isto, é importante que a gestora do SAA realize acompanhamento permanente em todo o sistema de abastecimento, visando detectar e corrigir a tempo as alterações que possam comprometer a qualidade da água.

Embora a importância de avaliação da poluição seja indiscutível, outros riscos devem ser observados. Os problemas tradicionais relacionados ao abastecimento público, em muitos municípios brasileiros, são relacionados à escassez (seca e/ou estiagem), podendo eventualmente reduzir o abastecimento de água, ocasionando diferença entre a sua oferta e a procura.

O resultado do monitoramento das vazões do rio Ribeiro, no período avaliado, mostrou que o rio possui um volume maior de água em relação ao açude Linha Preta. Os meses com maior vazão são dezembro e maio, com vazão superior a 200 L/s. O mês com menor vazão foi o mês de abril, em que a vazão não chegou 120 L/s, mas ainda assim foi superior à do açude. A variação das vazões depende de eventos de precipitação e do retorno do período chuvoso no ano, sendo necessária uma maior atenção nos períodos de menor precipitação, em que podem ocorrer baixas vazões.

Não foi observada alteração do uso e ocupação do solo na bacia no período do monitoramento hídrica. Assim, a qualidade da água, no ponto de captação do açude Linha Preta, e do rio Ribeiro, durante o período monitorado, foi classificada como “Boa”, indicando que ambos os mananciais podem ser utilizados para o abastecimento público, após o tratamento adequado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Águas (BRASIL). **Atlas Brasil: Abastecimento urbano de água: Resultados por estado**. ANA/Engecorps/Cobrape - Brasília. 2010 2 v.: II.

Agência Nacional de Águas (BRASIL). **Panorama da Qualidade das Águas Superficiais do BRASIL**, 2012. Disponível em:<https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/Panorama_Qualidade_Aguas_Superficiais_BR_2012.pdf>. Acesso: 23, Jan, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT/ISO. Guia 73. Gestão de riscos - Vocabulário**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT/NBR/ISO; IEC:31010. Gestão de riscos – Técnicas para o processo de avaliação de riscos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR/ISO:31000. Gestão de riscos – Princípios e diretrizes**, Rio de Janeiro, 2009.

BARTRAM et al. **Water Safety Plan Manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers**. WHO/IWA. 2009.

BASTOS R.K.X. et al. **Boas práticas no abastecimento de água: procedimentos para a minimização de riscos à saúde - Manual para os responsáveis pela vigilância e controle**. Brasília: Ministério da Saúde, 260p (Série A. Normas e Manuais Técnicos), 2006.

BASTOS, R. K. X. et al. **Roteiro de orientação para implantação de Planos de Segurança da água - PSA**, 2010.

BEZERRA, N. R. **Aplicação da técnica Delphi para validação dos métodos a serem utilizados no sistema em plataforma web para implantação de plano de segurança da água**. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA), 2018.

BORGES, L. B. **Elaboração do plano de segurança da água em sistema de tratamento de água do tipo ciclo completo através de uma metodologia multidisciplinar**, Ribeirão Preto, 2023.

BRASIL. Lei n. 14.026 de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico **Diário Oficial da União**, 2007. 8 de janeiro: 3. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 18 set. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Plano de segurança da água: garantindo a qualidade e promovendo a saúde: um olhar do SUS**. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. Brasília, 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Relatório sobre o Processo de Revisão e Elaboração da Minuta de Potabilidade da Água para Consumo Humano – de 2009 a 2010**. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Processo de revisão e Proposta de minuta de atualização da Portaria MS N. 518, de 25 de março de 2004. 2011.

CARVALHO, R. **Implantação do plano de segurança da água na Sabesp São Paulo: Sabesp**. (Monografia do curso de especialização em gestão ambiental - UFSCar/ISITEC), 2012.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). **PSA Cantareira Guaraú: Identificação de Perigos**. São Paulo: Sabesp, 2013.

DEWETTINCK, T. et al. **HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) to guarantee safe water reuse and drinking water production - A case study**. Water Science and Technology, 2001.

ERSAR - **Guias Técnicos, Guia de Avaliação da Qualidade dos Serviços Águas e Resíduos prestados aos utilizadores**, ERSAR, 2021.

FERREIRA, A. C. S.; PÁDUA, V. L. **Qualidade da água para consumo humano**. In: **HELLER, L.; PÁDUA, V. L. (Org.). Abastecimento de água para consumo humano**. 3. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. 3. ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2016.

MENDONÇA, A. M. **Confiabilidade dos parâmetros monitorados em águas por sonda multiparâmetros**. 89 f (Doctoral dissertation, Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul), Porto Alegre, 2016.

MORAIS, C. **Manual para a elaboração de planos de segurança da água para consumo humano**. Lisboa: Instituto Regulador de Águas e Resíduos. Universidade do Minho; 2005. 175p. (Série Guias Técnicos n.º 7).

MORTIMORE, S.; WALLACE, C. **APPCC enfoque prático**. 2. ed. Zaragoza, España: Edictorial Acribia S.A., 2001.

NARDOCCI, A.C. **Risco como instrumento de gestão ambiental**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Saúde Pública, São Paulo. 143 p., 1999.

NASCIMENTO, S.G. **Estudo das diretrizes do Plano de Segurança da Água no Brasil**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) /ISITEC, Pós-Graduação em Gestão Ambiental, 2016.

OLIVEIRA, D. C. **Aplicação da "análise de perigos e pontos críticos de controle" no tratamento de água para consumo humano**. 2010. 132f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

OPS. Organización Panamericana de la Salud. AIDIS. Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria Y Ambiental. **Emergencias y Desastres en Sistemas de Agua Potable y Saneamiento: guía para una respuesta eficaz.** Washington, 2004.

PEREIRA, M. R. **Uso da luminescência como ferramenta de detecção de oxigênio dissolvido para verificação da qualidade de água bruta superficial,** 2016

VIEIRA, J.M.P.; MORAIS, C. **Planos de segurança da água para consumo humano em sistemas públicos de abastecimento.** Instituto Regulador de Águas e Resíduos, Universidade do Minho, 2005.

VENTURA, K. S.; VAZ FILHO, P.; NASCIMENTO, S. G. **Plano de segurança da água implementado na estação de tratamento de água de Guaraú, em São Paulo.** Engenharia Sanitária e Ambiental, 2019.

VIEIRA, J.M.P.; MORAIS, C. **Planos de Segurança da Água para Consumo Humano em Sistemas Públicos de Abastecimento.** Lisboa: Instituto Regulador de Águas e Resíduos Sólidos e Universidade do Minho, 2005.

VIEIRA, J. M. P.; MORAIS, C. **Planos de segurança em sistemas públicos de abastecimento de água para consumo humano.** Minho: Instituto Regulador de Águas e Resíduos, Universidade do Minho: 2005. (Série Guias Técnicos, 7).

WHO. Guidelines for Drinking-water Quality: fourth edition incorporation the first addendum. Geneva, 2017.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality. [electronic resource].** 4. ed. Geneva: WHO, v. 1, 2011.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality fourth edition incorporating the first addendum.** 4. ed. Geneva: WHO, 2017.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers.** Genebra, 2009.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Water safety plans for small community water supplies: step-by-step risk management guidance for drinking-water supplies in small communities.** p. 54, 2012. ISBN 978924154842 7

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Water safety plans. Managing drinking-water quality from catchment to consumer.** Geneva: WHO, 2005.

LISTA DE ANEXOS

Nos anexos são apresentados outros dados mencionados no texto, visando acrescentar mais informação ao leitor.

Anexo 1 – Ficha de Processamento do levantamento topográfico no rio

 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)						
Sumário do Processamento do marco: Base_Ponte						
Início: AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2023/03/07 14:35:10,00					
Fim: AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2023/03/07 15:33:17,00					
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO					
Observação processada:	CÓDIGO & FASE					
Modelo da Antena:	TRMRSS NONE					
Órbitas dos satélites: ¹	RÁPIDA					
Frequência processada:	L3					
Intervalo do processamento(s):	1,00					
Sigma² da pseudodistância(m):	5,000					
Sigma da portadora(m):	0,010					
Altura da Antena³(m):	1,762					
Ângulo de Elevação(graus):	10,000					
Resíduos da pseudodistância(m):	1,95 GPS 2,60 GLONASS					
Resíduos da fase da portadora(cm):	1,17 GPS 1,41 GLONASS					
Coordenadas SIRGAS						
	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (E a que deve ser usada) ⁴	-30° 21' 25,0229"	-51° 34' 52,3970"	92,02	6641517.347	444143.774	-51
Na data do levantamento ⁵	-30° 21' 25,0139"	-51° 34' 52,3982"	92,02	6641517.624	444143.741	-51
Sigma(95%) ⁶ (m)	0,009	0,020	0,016			
Coordenada Altimétrica						
Modelo:	hgeoHNOR_IMBITUBA					
Fator para Conversão (m):	6,78	Incerteza (m): 0,08				
Altitude Normal (m):	85,24					
Precisão esperada para um levantamento estático (metros)						
Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências			
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico		
Após 1 hora	0,700	0,600	0,040	0,040		
Após 2 horas	0,330	0,330	0,017	0,018		
Após 4 horas	0,170	0,220	0,009	0,010		
Após 6 horas	0,120	0,180	0,005	0,008		
<p>¹ Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS) ou do Natural Resources of Canada (NRCAN).</p> <p>² O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão.</p> <p>³ Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).</p> <p>⁴ A coordenada oficial na data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita na data do levantamento, utilizando o modelo VEMOS em 2000.4.</p> <p>⁵ A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.</p> <p>⁶ Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.</p> <p>Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados enviados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário. Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contate: https://www.ibge.gov.br/atendimento.html ou pelo telefone 0800-7218181. Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CORS-PPP desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCAN).</p> <p>Processamento autorizado para uso do IBGE.</p>						
1	Processado em: 08/03/2023 14:31:24					

Anexo 2 – Ficha de Processamento do levantamento topográfico na ETA


Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)
Sumário do Processamento do marco: Base Corsan

Início:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2023/03/07 16:28:56,00
Fim:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2023/03/07 17:15:36,00
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO
Observação processada:	CÓDIGO & FASE
Modelo da Antena:	TRMR8S NONE
Órbitas dos satélites: ¹	RÁPIDA
Frequência processada:	L3
Intervalo do processamento(s):	1,00
Sigma ² da pseudodistância(m):	5,000
Sigma da portadora(m):	0,010
Altura da Antena ³ (m):	1,682
Ângulo de Elevação(graus):	10,000
Resíduos da pseudodistância(m):	1,07 GPS 3,49 GLONASS
Resíduos da fase da portadora(cm):	0,86 GPS 1,14 GLONASS

Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (E a que deve ser usada) ⁴	-30° 21' 24,3309"	-51° 35' 17,4404"	141,46	6641535.201	443475.122	-51
Na data do levantamento ⁵	-30° 21' 24,3219"	-51° 35' 17,4416"	141,46	6641535.477	443475.089	-51
Sigma(95%) ⁶ (m)	0,007	0,010	0,032			

Coordenada Altimétrica

Modelo:	hgeoHNOR_IMBITUBA	
Fator para Conversão (m):	6,79	Incerteza (m): 0,08
Altitude Normal (m):	134,67	

Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
Após 1 hora	0,700	0,600	0,040	0,040
Após 2 horas	0,330	0,330	0,017	0,018
Após 4 horas	0,170	0,220	0,009	0,010
Após 6 horas	0,120	0,180	0,005	0,008

¹ Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS) ou do Natural Resources of Canada (NRCAN).

² O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão.

³ Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).

⁴ A coordenada oficial na data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita na data do levantamento, utilizando o modelo VEMOS em 2000.4.

⁵ A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.

⁶ Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados enviados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário. Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contate: <https://www.ibge.gov.br/atendimento.html> ou pelo telefone 0800-7218181. Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCAN).

Processamento autorizado para uso do IBGE.

Anexo 3 – Outros pontos do levantamento topográfico na ETA

Dados do arquivo do projeto		Sistema de coordenadas	
Nome:	C:\Users\Pedro M. Medeiros\AppData Roaming\Trimble\Trimble Business Center Survey\30.0\Sirgas 2000 (UTM 22S).vct	Nome:	Brazil/SIRGAS2000
Tamanho:	40 KB	Datum:	SIRGAS2000
Modificado:	09/08/2022 10:43:20 (UTC:-3)	Zona:	UTM zone 22S
Fuso horário:	Hora oficial do Brasil	Geóide:	
Número de Referência:		Datum vertical:	
Descrição:		Local calibrado:	
Comentário 1:			
Comentário 2:			
Comentário 3:			

Lista de pontos

ID	Direção leste (Metro)	Direção norte (Metro)	Elevação (Metro)	Código de Característica
Base_Corsan	443475,12	6641535,20	134,67	
Chegada	443444,96	6641542,86	137,69	
Tanque	443449,02	6641532,27	136,99	

08/03/2023 14:40:31	C:\Users\Pedro M. Medeiros\AppData Roaming\Trimble\Trimble Business Center Survey 30.0\Sirgas 2000 (UTM 22S).vct	Trimble Business Center
---------------------	--	-------------------------

Anexo 4 – Lista de Verificação (Checklist)

Eventos Perigosos		Não se Aplica	Não	Sim	Frequência	Consequência	Classificação de Risco
Bacia Hidrográfica	Aporte de efluente de tanque sépticos / sumidouros		X				
	Aporte de efluente proveniente de cemitérios		X				
	Aporte de substâncias químicas de atividade extrativista mineral		X				
	Aporte de substâncias químicas decorrentes da construção		X				
	Aporte de substâncias químicas decorrentes de postos de combustível		X				
	Ausência de medidas de proteção das nascentes			X	3	4	12
	Chuvas intensas alteram a qualidade da água bruta, elevando a turbidez			X	2	2	4
	Conflitos relacionados com usos múltiplos da água		X				
	Conflitos relacionados com usos múltiplos e ocupação do solo		X				
	Currais próximas a área da barragem / manancial de captação		X				
	Declividade da bacia encontra-se acima de 20%			X	1	2	2
	Derramamentos acidentais de produtos químicos por qualquer eventos		X				
	Escoamento de áreas contaminadas por resíduos industriais		X				
	Escoamento superficial urbanas		X				
	Lançamento de efluentes sanitários de áreas urbanas na bacia / manancial		X				
	Poluição humana próximas a manancial / barragem de captação		X				
	Predominância de uso e ocupação por solo exposto		X				
	Predominância do uso e ocupação do solo por agriculturas diversas			X	1	4	4
	Predominância do uso e ocupação do solo por formação florestal			X	1	2	2
	Predominância do uso e ocupação do solo por indústrias		X				
	Predominância do uso e ocupação do solo por pastagem degradada		X				
	Predominância do uso e ocupação do solo por pastagem não degradada			X	1	2	2
	Predominância do uso e ocupação do solo por pecuária		X				
	Predominância do uso e ocupação por áreas urbanas (impermeabilização)		X				
	Presença de animais domésticos no em torno da área (APP) /barragem			X	3	4	12
	Presença de animais silvestres no em torno da área (APP) / barragem			X	1	4	4
Tipo de solo predominante Cambissolo Háplico			X	1	1	1	
Tratamento de esgoto a montante		X					
Eventos Perigosos		N.A	N	S	F	C	R
Captação / Barragem de Aproveitamento	Falta de controle e/ou manutenção inadequado na captação						
	Abate de animais no em torno da área (barragem) de captação		X				
	Assoreamento próximo a captação dificulta adução de água bruta			X	3	4	12
	Ausência de plano de emergência na captação			X	1	4	4
	Ausência de proteção na entrada da tubulação de captação			X	5	4	20
	Chuvas intensas elevam a turbidez da água bruta			X	2	4	8
	Contaminação da água pelo tráfego (carros, barcos, área estacionamento, etc.)		X				
Contaminação da água por atividade recreativa / atividades afins na barragem		X					

	Contaminação da água provocada por acidentes e/ou incêndios		X				
	Contaminação fecal através de lixiviação de resíduos de animais			X	2	4	8
	Contaminação fecal através de lixiviação de resíduos humanos		X				
	Contaminação por água salina / água do mar	X					
	Densidade de <i>Escherichia coli</i> acima do permitido em lei			X	1	4	4
	Elevação crítica do nível da água na barragem inviabiliza a captação		X				
	Erosão provocada por dragagem e areeiro no em torno da captação		X				
	Escoamento de resíduos agrícolas na área de captação			X	1	4	4
	Escoamento de resíduos de áreas urbanizadas na área de captação		X				
	Estrutura de captação inadequada à vazão captada		X				
	Falha mecânica e estrutural no sistema de captação		X				
	Falta de manutenção preventiva ou inadequada do dispositivo da captação			X	2	4	8
	Falta de placa de aviso sobre captação		X				
	Falta de proteção (cerca imprópria), permitindo acesso de animais e pessoas			X	3	4	12
	Floração de algas na barragem de acumulação / captação			X	2	4	8
	Lançamento águas residuárias (domesticas / industriais) em torno da captação		X				
	Lançamento de efluentes na área / barragem de captação		X				
	Lavagem de roupas e banho na área / barragem de captação		X				
	Na estiagem a cota mínima compromete a captação			X	3	4	12
	Ocorrência de cheias prolongadas, inviabilizando a captação		X				
	Ocorrência de inundação; inviabilização temporária na captação de água		X				
	Ocorrência de secas prolongadas, inviabilizando a captação			X	3	4	12
	Pesca intensiva ou piscicultura		X				
	Presença de animais no em torno da barragem de captação (até 10 metros)			X	3	4	12
	Presença de carcaças de animais ao redor da barragem de captação		X				
	Presença de depósito de resíduos no em torno da captação e/ou seus lixiviados		X				
	Presença de excrementos de animais e/ou humanos em torno da fonte (APP)			X	1	4	4
	Presença de latrina (fossa negra) até 30 metros da fonte ou a montante		X				
	Presença de necrochorume, proveniente de cemitério, na área da barragem		X				
	Presença de pessoas com comportamento inadequado e falta de higiene na barragem de captação		X				
	Presença de rejeitos de mineradora no em torno da barragem de captação		X				
	Presença de sedimento na tubulação inviabiliza a captação			X	5	4	20
	Presença elevada de peixes mortos ou outros animais na área de captação		X				
	Ruptura / transbordo de barragem de rejeitos perto na área de captação	X					
	Utilização de agrotóxicos e fertilizantes no em torno da barragem de captação			X	2	4	8
	Vandalismo ou ação terrorista (danificação de equipamentos, obstrução de operação e adição de produtos químicos)		X				
	Eventos Perigosos	N.A	N	S	F	C	R
Adução	Falta de controle operacional e manutenção inadequado da adutora						
	Ausência de obstáculos a sólidos grosseiros			X	2	4	8
	Ausência de bomba reserva	X					

	Ausência de desinfecção após a realização de obras na adutora			X	1	2	2
	Ausência de manutenção preventiva da adutora			X	2	2	4
	Ausência de mecanismo de controle (grade ou rede de proteção na entrada)			X	4	2	8
	Contaminação com água externa		X				
	Estado de conservação do sistema de adução insatisfatório		X				
	Existência de falhas mecânicas ou estruturais		X				
	Falta de esvaziamento da adutora para limpeza		X				
	Histórico de rompimentos da adutora		X				
	Ocupações humanas e construções na faixa de terreno sob as adutoras		X				
	Proteção e operação inadequada da estação elevatória	X					
	Proteção e operação inadequada do poço de sucção	X					
Eventos Perigosos		N.A	N	S	F	C	R
Coagulação / Mistura	Falha ou controle operacional inadequado na coagulação						
	Armazenamento incorreto do coagulante		X				
	Ausência de bomba reserva		X				
	Ausência de ensaios para estabelecimento de concentração, pH e dose ótimos		X				
	Ausência de jar-test		X				
	Dose incorreta do coagulante		X				
	Ponto de aplicação do coagulante inadequado		X				
	Reduzida frequência de realização do teste de jarros		X				
	Tempo excessivo de mistura do coagulante, baixa agitação (gradiente de velocidade insuficiente)		X				
Eventos Perigosos		N.A	N	S	F	C	R
Floculação	Falha ou controle operacional inadequado na floculação						
	Ausência de uma distribuição decrescente de gradientes entre as câmaras	X					
	Deposição excessiva de sedimentos no floculador	X					
	Existência excessiva de fluxos preferenciais, afetando o perfil hidráulico do floculador	X					
	Gradiente nas passagens superior ao da câmara anterior	X					
	Gradientes excessivos	X					
	Gradientes reduzidos	X					
	Intervalo de tempo excessivo entre as operações de limpeza	X					
	TDH inadequado	X					
Eventos Perigosos		N.A	N	S	F	C	R
Decantação	Falha ou controle operacional inadequado na decantação						
	Ausência de tratamento do lodo	X					
	Ausência do monitoramento da qualidade da água	X					
	Coleta inadequada da água decantada	X					
	Distribuição ineficiente da água floculada	X					
	Elevada taxa de aplicação	X					
	Existência de correntes ascensionais, ressuspensão de lodo	X					
	Intervalo de tempo excessivo entre as operações de limpeza	X					
	Má distribuição da vazão	X					
	Ocorrência de flotação	X					
	Presença de cianobactérias e cianotoxinas	X					
	Problemas estruturais	X					
	Tempo de detenção inadequado, favorecimento de zonas mortas	X					

	Vazão operacional superior à vazão de projeto	X					
	Eventos Perigosos	N.A	N	S	F	C	R
	Falha ou controle operacional inadequado na filtração rápida						
Filtração rápida	Ausência de controle da expansão do leito filtrante		X				
	Ausência de lavagem superficial do leito		X				
	Ausência de monitoramento da camada de filtração		X				
	Ausência de monitoramento da qualidade da água efluente		X				
	Ausência de monitoramento da qualidade microbiológica da água de lavagem.			X	4	1	4
	Ausência de tratamento da água de lavagem			X	4	2	8
	Deficiência do filtro		X				
	Elevada razão de recirculação		X				
	Excesso de carga hidráulica x		X				
	Exposição a céu aberto dos filtros ascendentes			X	5	1	5
	Exposição do leito filtrante			X	5	1	5
	Falha no controle da carreira de filtração		X				
	Granulometria do leito filtrante inadequada		X				
	Insatisfatória conservação dos registros e estruturas de controle de vazão de água de lavagem e de água filtrada		X				
	Leito filtrante deteriorado		X				
	Má distribuição da água de lavagem		X				
	Má distribuição dos grãos do leito (granulometria)		X				
	Perda de leito filtrante x		X				
	Taxa de filtração não recomendada (excessiva ou reduzida)		X				
	Tempo de lavagem insuficiente		X				
Velocidade de retro lavagem baixa		X					
Velocidade excessiva de retro lavagem		X					
	Eventos Perigosos	N.A	N	S	F	C	R
	Falha ou controle operacional inadequado na desinfecção						
Desinfecção	Aplicação do desinfetante em ponto inadequado		X				
	Ausência de conhecimento e controle acerca do tempo de desinfecção		X				
	Ausência de conservação e padronização dos equipamentos		X				
	Ausência de controle do residual		X				
	Ausência de desinfetante alternativo			X	1	2	2
	Ausência de monitoramento dos subprodutos		X				
	Dose incorreta do desinfetante		X				
	Existência de vazamentos		X				
	Insatisfatório pH de desinfecção		X				
	Mal estado de conservação dos equipamento de dosagem		X				
	Residual insuficiente		X				
	Suspensão do fornecimento de desinfetante		X				
	Uso de agente incompatível com a qualidade da água		X				
		Eventos Perigosos	N.A	N	S	F	C
	Falha ou controle operacional inadequado na fluoretação						
Fluoretação	Contaminação dos produtos químicos	X					
	Controle ineficiente da dosagem de flúor	X					
	Falha de projeto ou dispositivo de dosagem da fluoretação	X					
	Local inadequado de aplicação	X					
	Mal estado de conservação dos equipamento de dosagem	X					

		Eventos Perigosos					
		N.A	N	S	F	C	R
Reservatórios	Falha ou controle operacional inadequado dos reservatórios						
	Acumulo de sedimento		X				
	Ausência de monitoramento da qualidade da água na saída do reservatório		X				
	Biofilme nos reservatório		X				
	Contaminação por entrada de água externa (chuva)		X				
	Corrosão da estrutura do reservatório		X				
	Deterioração da qualidade da água reservada		X				
	Dificuldade em manter o residual de cloro		X				
	Facilidade de acesso de animais e pessoas estranhas		X				
	Insuficiência de reserva para atender as variações de consumo		X				
	Mal estado de conservação dos reservatórios		X				
	Operações de limpeza e manutenção ineficientes		X				
	Perda de água			X	1	2	2
	Possibilidade de refluxo		X				
	Reservatório aberto		X				
		N.A	N	S	F	C	R
Rede de Distribuição	Falha ou controle operacional inadequado da rede de distribuição						
	Ausência de limpeza das tubulações após realizar serviços de construção ou reparos (expurgo)		X				
	Contaminação cruzada		X				
	Contaminação durante manutenção das unidades de distribuição			X	2	2	4
	Negligência nas operações de manutenção e limpeza da rede		X				
	Presença de perigo por turbidez na rede			X	2	2	4
	Presença de perigo por bactérias heterotróficas		X				
	Presença de perigo por cloro residual livre		X				
	Presença de perigo por Coliformes Totais		X				
	Presença de perigo por <i>Escherichia coli</i>		X				
	Presença de perigo por substância organolépticas		X				
	Presença de perigo por substância químicas		X				
	Presença de perigo por substância químicas (subprodutos da desinfecção)		X				
	Pressões excessivas			X	2	2	4
	Pressões reduzidas			X	5	2	10
	Proximidade com tubulação de esgoto		X				
	Recontaminação da rede			X	2	2	4
	Rede construída com material impróprio		X				
	Ruptura da tubulação			X	1	2	2
	Tubulação com estado precário de conservação		X				
	Tubulação envelhecida			X	1	1	1
	Tubulações com corrosão		X				
	Tubulações com formação de biofilme		X				
	Tubulações com incrustações		X				
	Tubulações ficam vazias ou despressurizadas em algumas situações			X	2	2	4
	vazamentos			X	1	2	2

Fonte: adaptada, Bezerra (2011).

Anexo 5 – Planilha da 1ª medição de vazão e gráfico com perfil do rio Ribeiro

Municip-UF	Mariana Pimentel - RS		Nº Helice	1		Equação Molinete $N \times A + B = Vm (m/s)$					
Empresa	IPH		Volt / Puls	1		R/T=N	N = uo <		8,8840		N >
Posto	Ponte - P1		Tempo (s)	40		A=	0,0541		A=		0,0541
Rio	Ribeiro		Hast La (m)	0,00		B=	0,0460		B=		0,0460
Data	20/12/2022		Equipe de Campo			Larg. Super. (m)	3,70				
8520	Inicio	Fim	Ivanir			Prof. Média. (m)	0,13		Vm Seção [m/s]		0,46
Hora	15:35	15:51	Pedro			Perim. Molh. (m)	3,96		Área Seção [m2]		0,48
Cota	-0,88	-0,88	Aron			Raio Hidraulico	0,12		Q Seção [m3/s]		0,22
Margem	Dist. Marg.	Dist. Vert.	Prof. Total	Prof. Sond.	0,60	60% Superf		Vm Vertic.	Vm Setor	Área Setor	Vazão Setor
D					PP (m)	Rot.	Vel (m/s)	[m/s]	[m/s]	[m2]	[m3/s]
1	0,25	0,25	0,18	0,18	0,11	234	0,36	0,36	0,18	0,02	0,00
2	0,75	0,50	0,12	0,12	0,07	318	0,48	0,48	0,42	0,08	0,03
3	1,25	0,50	0,15	0,15	0,09	370	0,55	0,55	0,51	0,07	0,03
4	1,75	0,50	0,15	0,15	0,09	412	0,60	0,60	0,57	0,08	0,04
5	2,25	0,50	0,14	0,14	0,08	409	0,60	0,60	0,60	0,07	0,04
6	2,75	0,50	0,15	0,15	0,09	276	0,42	0,42	0,51	0,07	0,04
7	3,25	0,50	0,12	0,12	0,07	133	0,23	0,23	0,32	0,07	0,02
ME	3,70	0,45	0,00	0,00	0,00			0,00	0,11	0,03	0,00
9	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00

Anexo 6 – Planilha da 2ª medição de vazão e gráfico com perfil do rio Ribeiro

Municip-UF	Mariana Pimentel - RS		Nº Helice	3								Equação Molinete $N \times A \pm B = Vm (m/s)$			
Empresa	IPH		Volt / Puls	1								R/T=N	N = uo <	8,8840	N >
Posto	Ponte - P2		Tempo (s)	40								A=	0,2619	A=	0,2619
Rio	Ribeiro		Hast La (m)	0,00								B=	0,0070	B=	0,0070
Data	11/01/2023		Equipe de Campo									Larg. Super. (m)	3,50		
8520	Inicio	Fim	Ivanir									Prof. Média. (m)	0,08	Vm Seção [m/s]	0,45
Hora	14:45	15:03	Pedro									Perim. Molh. (m)	3,67	Área Seção [m2]	0,29
Cota	-0,90	-0,90	Aron									Raio Hidraulico	0,08	Q Seção [m3/s]	0,13
Margem	Dist. Marg.	Dist. Vert.	Prof. Total	Prof. Sond.	0,60	60% Superf		Vm Vertic.	Vm Setor	Área Setor	Vazão Setor				
D					PP (m)	Rot.	Vel (m/s)	[m/s]	[m/s]	[m2]	[m3/s]				
1	0,30	0,30	0,12	0,12	0,07	51	0,34	0,34	0,17	0,02	0,00				
2	0,60	0,30	0,13	0,13	0,08	83	0,55	0,55	0,45	0,04	0,02				
3	0,90	0,30	0,12	0,12	0,07	81	0,54	0,54	0,54	0,04	0,02				
4	1,20	0,30	0,11	0,11	0,07	86	0,57	0,57	0,55	0,03	0,02				
5	1,50	0,30	0,11	0,11	0,07	82	0,54	0,54	0,56	0,03	0,02				
6	1,80	0,30	0,09	0,09	0,05	76	0,50	0,50	0,52	0,03	0,02				
7	2,10	0,30	0,07	0,07	0,04	70	0,47	0,47	0,48	0,02	0,01				
8	2,40	0,30	0,06	0,06	0,04	59	0,39	0,39	0,43	0,02	0,01				
9	2,70	0,30	0,06	0,06	0,04	56	0,37	0,37	0,38	0,02	0,01				
10	3,00	0,30	0,07	0,07	0,04	49	0,33	0,33	0,35	0,02	0,01				
ME	3,50	0,50	0,00	0,00	0,00			0,00	0,16	0,02	0,00				
12	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00				
13	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00				
14	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00				
15	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00				

Anexo 7 – Planilha da 3ª medição de vazão e gráfico com perfil do rio Ribeiro

Municip-UF	Mariana Pimentel - RS		N° Helice	3								Equação Molinete $N \times A \pm B = Vm (m/s)$			
Empresa	IPH		Volt/ Puls	1								R/T=N	N = uo <	8,8840	N >
Posto	Ponte - P3		Tempo (s)	40								A=	0,2619	A=	0,2619
Rio	Ribeiro		Hast La (m)	0,00								B=	0,0070	B=	0,0070
Data	26/01/2023		Equipe de Campo									Larg. Super. (m)	3,98		
8520	Inicio	Fim	Ivanir									Prof. Média. (m)	0,09	Vm Seção [m/s]	0,39
Hora	14:29	14:44	Pedro									Perim. Molh. (m)	4,15	Área Seção [m2]	0,34
Cota	-0,90	-0,90	Aron									Raio Hidraulico	0,08	Q Seção [m3/s]	0,13
Margem	Dist. Marg.	Dist. Vert.	Prof. Total	Prof. Sond.	0,60	60% Superf		Vm Vertic.	Vm Setor	Área Setor	Vazão Setor				
D					PP (m)	Rot.	Vel (m/s)	[m/s]	[m/s]	[m2]	[m3/s]				
1	0,30	0,30	0,18	0,18	0,11	49	0,33	0,33	0,16	0,03	0,00				
2	0,60	0,30	0,17	0,17	0,10	63	0,42	0,42	0,37	0,05	0,02				
3	0,90	0,30	0,14	0,14	0,08	73	0,48	0,48	0,45	0,05	0,02				
4	1,20	0,30	0,13	0,13	0,08	77	0,51	0,51	0,50	0,04	0,02				
5	1,50	0,30	0,10	0,10	0,06	73	0,48	0,48	0,50	0,03	0,02				
6	1,80	0,30	0,09	0,09	0,05	76	0,50	0,50	0,49	0,03	0,01				
7	2,10	0,30	0,07	0,07	0,04	74	0,49	0,49	0,50	0,02	0,01				
8	2,40	0,30	0,06	0,06	0,04	59	0,39	0,39	0,44	0,02	0,01				
9	2,70	0,30	0,06	0,06	0,04	42	0,28	0,28	0,34	0,02	0,01				
10	3,00	0,30	0,06	0,06	0,04	32	0,22	0,22	0,25	0,02	0,00				
ME	3,98	0,98	0,00	0,00	0,00			0,00	0,11	0,03	0,00				
12	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00				
13	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00				
14	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00				
15	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00				

Distância

Profundidade

Anexo 8 – Planilha da 4ª medição de vazão e gráfico com perfil do rio Ribeiro

Municip-UF	Mariana Pimentel - RS		Nº Helice	3		<i>Equação Molinete</i> $N \times A + B = Vm$ (m/s)					
Enpresa	IPH		Volt / Puls	1		R/T=N	N = uo <		8,8840		N >
Posto	Ponte - P4		Tempo (s)	40		A=	0,2619		A=		0,2619
Rio	Ribeiro		Hast La (m)	0,00		B=	0,0070		B=		0,0070
Data	07/02/2023		Equipe de Campo			Larg. Super. (m)	3,65				
8520	Inicio	Fim	Ivanir			Prof. Média. (m)	0,09		Vm Seção [m/s]		0,40
Hora	11:14	11:39	Pedro			Perim. Molh. (m)	3,83		Área Seção [m2]		0,33
Cota	-0,92	-0,92	Aron			Raio Hidraulico	0,09		Q Seção [m3/s]		0,13
Margem	Dist. Marg.	Dist. Vert.	Prof. Total	Prof. Sond.	0,60	60% Superf		Vm Vertic.	Vm Setor	Área Setor	Vazão Setor
D					PP (m)	Rot.	Vel (m/s)	[m/s]	[m/s]	[m2]	[m3/s]
1	0,40	0,40	0,10	0,10	0,06	21	0,14	0,14	0,07	0,02	0,00
2	0,80	0,40	0,12	0,12	0,07	20	0,14	0,14	0,14	0,04	0,01
3	1,20	0,40	0,14	0,14	0,08	82	0,54	0,54	0,34	0,05	0,02
4	1,60	0,40	0,13	0,13	0,08	88	0,58	0,58	0,56	0,05	0,03
5	2,00	0,40	0,11	0,11	0,07	81	0,54	0,54	0,56	0,05	0,03
6	2,40	0,40	0,08	0,08	0,05	73	0,48	0,48	0,51	0,04	0,02
7	2,80	0,40	0,07	0,07	0,04	71	0,47	0,47	0,48	0,03	0,01
8	3,20	0,40	0,08	0,08	0,05	55	0,37	0,37	0,42	0,03	0,01
ME	3,65	0,45	0,00	0,00	0,00			0,00	0,18	0,02	0,00
10	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00

Anexo 9 – Planilha da 5ª medição de vazão e gráfico com perfil do rio Ribeiro

Municip-UF	Mariana Pimentel - RS		Nº Helice	3	Equação Molinete $N \times A + B = Vm (m/s)$							
Empresa	IPH		Volt/ Puls	1	R/T=N	N = uo <		8,8840	N >			
Posto	Ponte - P5		Tempo (s)	40	A=	0,2619		A=	0,2619			
Rio	Ribeiro		Hast La (m)	0,00	B=	0,0070		B=	0,0070			
Data	22/02/2023		Equipe de Campo		Larg. Super. (m)	2,60						
8520	Inicio	Fim	Ivanir		Prof. Média. (m)	0,13		Vm Seção [m/s]	0,51			
Hora	14:15	14:33	Pedro		Perim. Molh. (m)	2,86		Área Seção [m2]	0,33			
Cota	-0,90	-0,90	Aron		Raio Hidraulico	0,12		Q Seção [m3/s]	0,17			
Margem	Dist. Marg.	Dist. Vert.	Prof. Total	Prof. Sond.	0,60	60% Superf		Vm Vertic.	Vm Setor	Área Setor	Vazão Setor	
D	0,00	0,00	0,00	0,00	PP (m)	Rot.	Vel (m/s)	[m/s]	[m/s]	[m2]	[m3/s]	
1	0,30	0,30	0,25	0,25	0,15	51	0,34	0,34	0,17	0,04	0,01	
2	0,60	0,30	0,17	0,17	0,10	81	0,54	0,54	0,44	0,06	0,03	
3	0,90	0,30	0,16	0,16	0,10	94	0,62	0,62	0,58	0,05	0,03	
4	1,20	0,30	0,14	0,14	0,08	106	0,70	0,70	0,66	0,05	0,03	
5	1,50	0,30	0,14	0,14	0,08	95	0,63	0,63	0,66	0,04	0,03	
6	1,80	0,30	0,12	0,12	0,07	92	0,61	0,61	0,62	0,04	0,02	
7	2,10	0,30	0,10	0,10	0,06	79	0,52	0,52	0,57	0,03	0,02	
ME	2,60	0,50	0,00	0,00	0,00			0,00	0,26	0,03	0,01	
9	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	
10	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	
11	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	
12	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	
13	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	
14	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	
15	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	

Distância

Profundidade

Anexo 10 – Planilha da 6ª medição de vazão e gráfico com perfil do rio Ribeiro

Municip-UF	Mariana Pimentel - RS		Nº Helice	3	<i>Equação Molinete</i> $N \times A \pm B = Vm (m/s)$							
Empresa	IPH		Volt / Puls	1	R/T=N	N = uo <		8,8840	N >			
Posto	Ponte - P6		Tempo (s)	40	A=	0,2619		A=	0,2619			
Rio	Ribeiro		Hast La (m)	0,00	B=	0,0070		B=	0,0070			
Data	07/03/2023		Equipe de Campo		Larg. Super. (m)	3,55						
8520	Inicio	Fim	Ivanir		Prof. Média. (m)	0,12		Vm Seção [m/s]	0,46			
Hora	11:49	12:07	Pedro		Perim. Molh. (m)	3,79		Área Seção [m2]	0,43			
Cota	-0,89	-0,89	Aron		Raio Hidraulico	0,11		Q Seção [m3/s]	0,20			
Margem	Dist. Marg.	Dist. Vert.	Prof. Total	Prof. Sond.	0,60	60% Superf		Vm Vertic.	Vm Setor	Área Setor	Vazão Setor	
D	0,00		0,00	0,00	PP (m)	Rot.	Vel (m/s)	[m/s]	[m/s]	[m2]	[m3/s]	
1	0,20	0,20	0,11	0,11	0,07	16	0,11	0,11	0,06	0,01	0,00	
2	0,50	0,30	0,25	0,25	0,15	42	0,28	0,28	0,20	0,05	0,01	
3	0,80	0,30	0,20	0,20	0,12	79	0,52	0,52	0,40	0,07	0,03	
4	1,10	0,30	0,16	0,16	0,10	89	0,59	0,59	0,56	0,05	0,03	
5	1,40	0,30	0,14	0,14	0,08	83	0,55	0,55	0,57	0,05	0,03	
6	1,70	0,30	0,13	0,13	0,08	84	0,56	0,56	0,55	0,04	0,02	
7	2,00	0,30	0,11	0,11	0,07	83	0,55	0,55	0,55	0,04	0,02	
8	2,30	0,30	0,10	0,10	0,06	90	0,60	0,60	0,57	0,03	0,02	
9	2,60	0,30	0,09	0,09	0,05	85	0,56	0,56	0,58	0,03	0,02	
10	2,90	0,30	0,09	0,09	0,05	76	0,50	0,50	0,53	0,03	0,01	
11	3,20	0,30	0,08	0,08	0,05	60	0,40	0,40	0,45	0,03	0,01	
ME	3,55	0,35	0,00	0,00	0,00			0,00	0,20	0,01	0,00	
13	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	
14	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	
15	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	

Anexo 11 – Planilha da 7ª medição de vazão e gráfico com perfil do rio Ribeiro

Municip-UF	Mariana Pimentel - RS		Nº Helice	3								Equação Molinete $N \times A + B = Vm (m/s)$			
Empresa	IPH		Volt / Puls	1								R/T=N	N = uo <	8,8840	N >
Posto	Ponte - P7		Tempo (s)	40								A=	0,2619	A=	0,2619
Rio	Ribeiro		Hast La (m)	0,00								B=	0,0070	B=	0,0070
Data	21/03/2023		Equipe de Campo									Larg. Super. (m)	3,30		
8520	Inicio	Fim	Ivanir									Prof. Média. (m)	0,09	Vm Seção [m/s]	0,43
Hora	10:51	11:08	Pedro									Perim. Molh. (m)	3,48	Área Seção [m2]	0,30
Cota	-0,93	-0,93	Aron									Raio Hidraulico	0,09	Q Seção [m3/s]	0,13
Margem	Dist. Marg.	Dist. Vert.	Prof. Total	Prof. Sond.	0,60	60% Superf		Vm Vertic.	Vm Setor	Área Setor	Vazão Setor				
D	0,00	0,00	0,00	0,00	PP (m)	Rot.	Vel (m/s)	[m/s]	[m/s]	[m2]	[m3/s]				
1	0,30	0,30	0,16	0,16	0,10	51	0,34	0,34	0,17	0,02	0,00				
2	0,60	0,30	0,16	0,16	0,10	84	0,56	0,56	0,45	0,05	0,02				
3	0,90	0,30	0,14	0,14	0,08	77	0,51	0,51	0,53	0,05	0,02				
4	1,20	0,30	0,12	0,12	0,07	72	0,48	0,48	0,49	0,04	0,02				
5	1,50	0,30	0,11	0,11	0,07	86	0,57	0,57	0,52	0,03	0,02				
6	1,80	0,30	0,09	0,09	0,05	83	0,55	0,55	0,56	0,03	0,02				
7	2,10	0,30	0,07	0,07	0,04	67	0,45	0,45	0,50	0,02	0,01				
8	2,40	0,30	0,07	0,07	0,04	48	0,32	0,32	0,38	0,02	0,01				
ME	3,30	0,90	0,00	0,00	0,00			0,00	0,16	0,03	0,01				
10	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00				
11	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00				
12	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00				
13	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00				
14	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00				
15	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00				

Anexo 12 – Planilha da 8ª medição de vazão e gráfico com perfil do rio Ribeiro

Municip-UF	Mariana Pimentel - RS	Nº Helice	3									<i>Equação Molinete</i> $N \times A \pm B = Vm (m/s)$			
Enpresa	IPH	Volt / Puls	1									R/T=N	N = uo <	8,8840	N >
Posto	Ponte - P8	Tempo (s)	40									A=	0,2619	A=	0,2619
Rio	Ribeiro	Hast La (m)	0,00									B=	0,0070	B=	0,0070
Data	11/04/2023		Equipe de Campo												
8520	Inicio	Fim	Ivanir												
Hora	12:40	12:57	Pedro												
Cota	-0,92	-0,92	Aron												
Margem	Dist. Marg.	Dist. Vert.	Prof. Total	Prof. Sond.	0,60	60% Superf		Vm Vertic.	Vm Setor	Área Setor	Vazão Setor				
D	0,00	0,00	0,00	0,00	PP (m)	Rot.	Vel (m/s)	[m/s]	[m/s]	[m2]	[m3/s]				
1	0,30	0,30	0,17	0,17	0,10	36	0,24	0,24	0,12	0,03	0,00				
2	0,50	0,20	0,12	0,12	0,07	51	0,34	0,34	0,29	0,03	0,01				
3	0,70	0,20	0,12	0,12	0,07	63	0,42	0,42	0,38	0,02	0,01				
4	0,90	0,20	0,12	0,12	0,07	70	0,47	0,47	0,44	0,02	0,01				
5	1,10	0,20	0,12	0,12	0,07	87	0,58	0,58	0,52	0,02	0,01				
6	1,30	0,20	0,11	0,11	0,07	80	0,53	0,53	0,55	0,02	0,01				
7	1,50	0,20	0,11	0,11	0,07	89	0,59	0,59	0,56	0,02	0,01				
8	1,70	0,20	0,10	0,10	0,06	90	0,60	0,60	0,59	0,02	0,01				
9	1,90	0,20	0,10	0,10	0,06	81	0,54	0,54	0,57	0,02	0,01				
10	2,10	0,20	0,08	0,08	0,05	76	0,50	0,50	0,52	0,02	0,01				
11	2,30	0,20	0,07	0,07	0,04	49	0,33	0,33	0,42	0,02	0,01				
12	2,50	0,20	0,07	0,07	0,04	47	0,31	0,31	0,32	0,01	0,00				
ME	3,30	0,80	0,00	0,00	0,00			0,00	0,16	0,03	0,00				
14	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00				
15	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00				

Anexo 13 – Planilha da 9ª medição de vazão e gráfico com perfil do rio Ribeiro

Municip-UF	Mariana Pimentel - RS		Nº Helice	3	<i>Equação Molinete</i> $N \times A + B = Vm (m/s)$							
Empresa	IPH		Volt / Puls	1	R/T=N	N = uo <		8,8840		N >		
Posto	Ponte - P9		Tempo (s)	40	A=	0,2619		A=		0,2619		
Rio	Ribeiro		Hast La (m)	0,00	B=	0,0070		B=		0,0070		
Data	26/04/2023		Equipe de Campo		Larg. Super. (m)	3,35						
8520	Inicio	Fim	Ivanir		Prof. Média. (m)	0,10		Vm Seção [m/s]		0,45		
Hora	10:40	10:56	Pedro		Perim. Molh. (m)	3,55		Área Seção [m2]		0,33		
Cota	-0,91	-0,91	Aron		Raio Hidraulico	0,09		Q Seção [m3/s]		0,15		
Margem	Dist. Marg.	Dist. Vert.	Prof. Total	Prof. Sond.	0,60	60% Superf		Vm Vertic.	Vm Setor	Área Setor	Vazão Setor	
D	0,00	0,00	0,00	0,00	PP (m)	Rot.	Vel (m/s)	[m/s]	[m/s]	[m2]	[m3/s]	
1	0,25	0,25	0,19	0,19	0,11	40	0,27	0,27	0,13	0,02	0,00	
2	0,55	0,30	0,13	0,13	0,08	58	0,39	0,39	0,33	0,05	0,02	
3	0,85	0,30	0,12	0,12	0,07	78	0,52	0,52	0,45	0,04	0,02	
4	1,15	0,30	0,12	0,12	0,07	77	0,51	0,51	0,51	0,04	0,02	
5	1,45	0,30	0,12	0,12	0,07	92	0,61	0,61	0,56	0,04	0,02	
6	1,75	0,30	0,13	0,13	0,08	92	0,61	0,61	0,61	0,04	0,02	
7	2,05	0,30	0,11	0,11	0,07	80	0,53	0,53	0,57	0,04	0,02	
8	2,35	0,30	0,08	0,08	0,05	61	0,41	0,41	0,47	0,03	0,01	
9	2,65	0,30	0,07	0,07	0,04	49	0,33	0,33	0,37	0,02	0,01	
ME	3,35	0,70	0,00	0,00	0,00	76	0,50	0,50	0,42	0,02	0,01	
11	0,00		0,00		0,00			0,00		0,00	0,00	
12	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	
13	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	
14	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	
15	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	

Anexo 14 – Planilha da 10ª medição de vazão e gráfico com perfil do rio Ribeiro

Municip-UF	Mariana Pimentel - RS		Nº Helice	3		Equação Molinete $N \times A \pm B = Vm (m/s)$					
Empresa	IPH		Volt / Puls	1		R/T=N	N = uo <		8,8840		N >
Posto	Ponte - P10		Tempo (s)	40		A=	0,2619		A=		0,2619
Rio	Ribeiro		Hast La (m)	0,00		B=	0,0070		B=		0,0070
Data	17/05/2023		Equipe de Campo			Larg. Super. (m)	3,60				
8520	Inicio	Fim	Ivanir			Prof. Média. (m)	0,14		Vm Seção [m/s]		0,40
Hora	14:20	14:36	Pedro			Perim. Molh. (m)	3,89		Área Seção [m2]		0,52
Cota	-0,85	-0,85	Aron			Raio Hidraulico	0,13		Q Seção [m3/s]		0,21
Margem	Dist. Marg.	Dist. Vert.	Prof. Total	Prof. Sond.	0,60	60% Superf		Vm Vertic.	Vm Setor	Área Setor	Vazão Setor
D					PP (m)	Rot.	Vel (m/s)	[m/s]	[m/s]	[m2]	[m3/s]
1	0,20	0,20	0,48	0,48	0,29	61	0,41	0,41	0,20	0,05	0,01
2	0,50	0,30	0,24	0,24	0,14	77	0,51	0,51	0,46	0,11	0,05
3	0,80	0,30	0,20	0,20	0,12	89	0,59	0,59	0,55	0,07	0,04
4	1,10	0,30	0,18	0,18	0,11	1	0,01	0,01	0,30	0,06	0,02
5	1,40	0,30	0,14	0,14	0,08	99	0,66	0,66	0,33	0,05	0,02
6	1,70	0,30	0,12	0,12	0,07	88	0,58	0,58	0,62	0,04	0,02
7	2,00	0,30	0,09	0,09	0,05	84	0,56	0,56	0,57	0,03	0,02
8	2,30	0,30	0,09	0,09	0,05	8	0,06	0,06	0,31	0,03	0,01
9	2,60	0,30	0,10	0,10	0,06	70	0,47	0,47	0,26	0,03	0,01
10	2,90	0,30	0,10	0,10	0,06	59	0,39	0,39	0,43	0,03	0,01
ME	3,60	0,70	0,00	0,00	0,00			0,00	0,20	0,04	0,01
12	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00		0,00		0,00			0,00	0,00	0,00	0,00