



Avaliação da Qualidade da Água no Reservatório Billings: Análise dos Impactos da Poluição e Mortandade de Peixes

Assessment of Water Quality in Billings Reservoir: Analysis of Pollution Impacts and Fish Mortality

Evaluación de la Calidad del Agua en el Reservorio Billings: Análisis de los Impactos de la Contaminación y la Mortalidad de Peces

Marta Angela Marcondes

Professora Mestre, UNIMARCO, Brasil
marta.marcondes@online.uscs.edu.br

Camila Menezes de Souza

Estudante de graduação, USCS, Brasil
camila.souza@uscsonline.com.br

Renata Borges Franchi

Graduada em Biomedicina, USCS, Brasil
renata.franchi@uscsonline.com.br



RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar a qualidade da água em corpos hídricos da região do Braço do Rio Grande, com foco na identificação de parâmetros que influenciam sua saúde ambiental. A metodologia empregada incluiu a coleta de amostras em três pontos estratégicos, utilizando tubos Falcon esterilizados, e a realização de análises microbiológicas e físico-químicas conforme os protocolos do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Este estudo aborda uma lacuna teórica resultante da escassez de dados sobre a qualidade da água em reservatórios urbanos, ressaltando a importância acadêmica do tema para a gestão ambiental. Os resultados indicaram a presença de bactérias termotolerantes e outros indicadores de poluição, evidenciando a necessidade de intervenções para a preservação da qualidade da água nessa região. As contribuições teóricas incluem a ampliação do conhecimento sobre a saúde dos corpos hídricos urbanos, enquanto as implicações metodológicas envolvem a aplicação de técnicas de coleta e análise que podem ser replicadas em outros estudos. Socialmente, o trabalho promove a conscientização da comunidade sobre a importância da preservação dos recursos hídricos, e ambientalmente, ressalta a urgência de ações para mitigar a contaminação, proteger a biodiversidade aquática local e também a saúde pública.

PALAVRAS-CHAVE: Análise. Contaminação. Qualidade da Água.

SUMMARY

The objective of this study is to analyze water quality in hydric bodies in the Braço do Rio Grande region, focusing on identifying parameters that influence their environmental health. The methodology included sampling at three strategic points using sterilized Falcon tubes and conducting microbiological and physicochemical analyses according to the Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater protocols. This study addresses a theoretical gap resulting from the scarcity of data on water quality in urban reservoirs, highlighting the academic importance of this topic for environmental management. The results indicated the presence of thermotolerant bacteria and other pollution indicators, underscoring the need for interventions to preserve water quality in this region. Theoretical contributions include expanding knowledge about the health of urban hydric bodies, while methodological implications involve the use of sampling and analysis techniques that can be replicated in other studies. Socially, the study raises community awareness of the importance of preserving water resources, and environmentally, it emphasizes the urgency of actions to mitigate contamination, protect local aquatic biodiversity, and safeguard public health.

KEYWORDS: Analysis. Contamination. Water Quality.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo analizar la calidad del agua en cuerpos hídricos de la región del Braço do Rio Grande, con un enfoque en la identificación de parámetros que influyen en su salud ambiental. La metodología empleada incluyó la recolección de muestras en tres puntos estratégicos, utilizando tubos Falcon esterilizados y la realización de análisis microbiológicos y físicoquímicos de acuerdo con los protocolos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Este estudio aborda una laguna teórica debido a la escasez de datos sobre la calidad del agua en embalses urbanos, destacando la importancia académica del tema para la gestión ambiental. Los resultados indicaron la presencia de bacterias termotolerantes y otros indicadores de contaminación, lo que pone de manifiesto la necesidad de intervenciones para preservar la calidad del agua en esta región. Las contribuciones teóricas incluyen la ampliación del conocimiento sobre la salud de los cuerpos de agua urbanos, mientras que las implicaciones metodológicas implican el uso de técnicas de recolección y análisis que pueden ser replicadas en otros estudios. Socialmente, el trabajo promueve la conciencia de la comunidad sobre la importancia de preservar los recursos hídricos, y ambientalmente, resalta la urgencia de acciones para mitigar la contaminación, proteger la biodiversidad acuática local y la salud pública.

PALABRAS CLAVE: Análisis. Contaminación. Calidad del agua.



1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a vida, sendo vital não apenas para o desenvolvimento econômico e a produção, mas também para a manutenção dos ciclos naturais que sustentam os ecossistemas. A sua conservação, em termos de quantidade e qualidade, é fundamental, especialmente nas bacias hidrográficas que a abastecem. A poluição dos corpos d'água compromete significativamente a saúde dos ecossistemas aquáticos e, por consequência, das populações que dependem desses recursos. O aumento da contaminação de reservatórios é uma preocupação crescente, com consequências graves tanto para a biodiversidade quanto para a saúde humana. Fontes de poluição incluem resíduos industriais, esgotos domésticos e a drenagem superficial de áreas urbanas e agrícolas, que introduz em uma variedade de poluentes nos sistemas hídricos.

O Reservatório Billings, localizado na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), desempenha um papel crucial no abastecimento de milhões de pessoas, abrangendo uma área de aproximadamente 127 km². Composto por oito compartimentos – conhecidos como braços: Rio Grande, Rio Pequeno, Capivari, Pedra Branca, Taquacetuba, Bororé, Cocaia e Alvarenga/Grota Funda –, além de dois corpos centrais, o reservatório totaliza 463 km de margens. No entanto, este importante recurso enfrenta uma série de desafios ambientais, em especial a contaminação por resíduos industriais, agrícolas e domésticos, que compromete sua capacidade de fornecer água potável e sustentar a vida aquática.

A relevância do reservatório Billings vai além do abastecimento de água. Ele também desempenha funções críticas na geração de energia hidrelétrica, irrigação e controle de enchentes. Contudo, desde a década de 1940, a urbanização descontrolada e a transferência de águas poluídas do Rio Tietê para o reservatório têm intensificado o processo de eutrofização, resultando em proliferação de algas e deterioração da qualidade da água.

Recentemente, o Laboratório de Análise Ambiental do Projeto IPH – Índice de Poluentes Hídricos da Universidade Municipal de São Caetano do Sul (USCS) foi acionado para analisar amostras de água coletadas na área da Vila Conde, em Rio Grande da Serra, após a observação de uma mortandade de peixes e a presença de materiais suspeitos, como pellets. Esse episódio sublinha a gravidade da contaminação e a necessidade urgente de monitoramento constante para avaliar os impactos na saúde dos ecossistemas e na qualidade da água. Mesmo com a promulgação da Lei nº 13.579 de 2009, que visa à proteção e recuperação dos mananciais da bacia, os riscos de contaminação permanecem elevados, demonstrando a complexidade da gestão desse recurso.

A poluição, seja de fontes externas ou internas, representa uma ameaça não apenas para os peixes e outros organismos aquáticos, mas também para a saúde das comunidades humanas que dependem dessa água. A morte de peixes, frequentemente associada à presença de metais pesados, pesticidas e outros poluentes, não é apenas um indicativo de degradação ambiental, mas um alerta sobre a qualidade da água destinada ao consumo. Neste artigo, abordaremos a relação entre a contaminação do Reservatório Billings, a mortandade de peixes e as implicações para a saúde pública, ressaltando a urgência de estratégias eficazes de gestão e conservação.



2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade da água no Reservatório Billings, com foco na área de Rio Grande da Serra, devido ao aumento de eventos críticos como a mortandade de peixes e a presença de materiais suspeitos. O estudo busca identificar as principais fontes de poluição e compreender a presença de contaminantes químicos, físicos e microbiológicos, além de seus efeitos na natureza e na saúde das pessoas que dependem do reservatório. A análise visa fornecer informações que auxiliem no desenvolvimento de ações de proteção e recuperação da água, ressaltando a importância do reservatório como fonte de abastecimento e recurso vital para o equilíbrio ambiental e a qualidade de vida das comunidades locais.

3 METODOLOGIA

Este estudo apresenta os resultados das campanhas de coleta realizadas nas áreas citadas abaixo em julho e setembro de 2024. As análises foram conduzidas com base em parâmetros microbiológicos e físico-químicos, utilizando as técnicas estabelecidas em campo e em laboratório conforme os protocolos do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition.

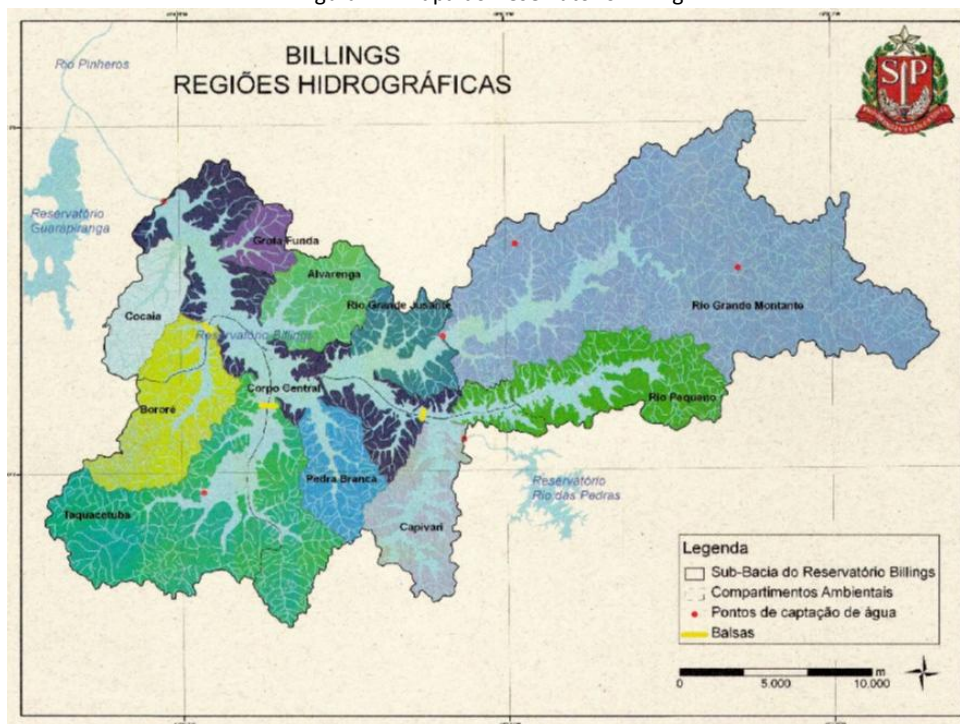
Após a realização das análises, seguindo critérios e metodologias internacionais, os dados foram organizados em planilhas, culminando na elaboração de um laudo técnico que apresenta de forma clara e concisa os resultados obtidos, esses laudos são disponibilizados para a população.

3.1 Localização da Área de Estudo

O Braço do Rio Grande (BRG), parte do Sistema Rio Grande, é um importante reservatório isolado da Represa Billings pelo dique da Via Anchieta. Este reservatório é crucial para a captação de água que abastece São Bernardo do Campo, Santo André e Diadema, através da Estação de Tratamento de Água Rio Grande. Além disso, ele recebe volumes ocasionais do Braço do Rio Pequeno, facilitados pela Estação Elevatória do Rio Pequeno, e permite a transposição de vazões suplementares para o reservatório de Taiaçupeba, que integra o Sistema Produtor Alto Tietê (SPAT).

Localizada a 23°46'S e 46°38'W, a Represa do Rio Grande (ou Represa do Riacho Grande) está situada a uma altitude de 746,5 m em uma região de clima tropical úmido. Durante cinquenta anos, a Represa Billings recebe esgotos domésticos e industriais da Grande São Paulo, afetando sua qualidade hídrica. Em 12 de dezembro de 1981, a Represa do Rio Grande foi isolada do corpo principal, iniciando uma nova fase de monitoramento e preservação.

Figura 1 – Mapa do Reservatório Billings



Fonte: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo

3.2 Coletas

A metodologia utilizada para a obtenção dos resultados é baseada nos critérios do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos, elaborado por Brandão, Carlos Jesus; Botelho, Márcia Janete Coelho; Sato, Maria Inês Zanoli; ANA; e CETESB em 2011.

As amostras foram coletadas em tubos Falcon esterilizados de 50ml, identificados de acordo com cada ponto de coleta e acondicionadas em caixa de transporte refrigerada. Para cada ponto de coleta foram coletados 05 tubos Falcon, para os pontos que foram coletados superfície e fundo totalizaram-se 10 tubos falcon, suficiente para que as análises pudessem ser realizadas. As coletas foram realizadas em 3 pontos no Braço do Rio Grande: Rio Grande da Serra, Parque Águas da Billings e Parque Estoril.

3.3 Parâmetros Analisados

Os parâmetros de análise são fundamentais para entender as condições de um corpo de água, pois ajudam a caracterizar diversas variáveis que influenciam sua qualidade. Esses parâmetros incluem aspectos físicos, químicos, microbiológicos, biológicos, toxicológicos e radiológicos. É importante que esses indicadores sejam escolhidos com cuidado, levando em conta seu significado, alcance, limitações, confiabilidade e também os custos associados à sua medição.

Conforme a RESOLUÇÃO CONAMA 357/2005, os parâmetros analisados são adequados para corpos de água de Classe 2. No caso do estudo sobre o Reservatório Billings, ele foi classificado como tal. Além disso, a seleção desses parâmetros é crucial, já que eles fazem parte do Índice de Qualidade da Água (IQA), uma ferramenta que nos ajuda a avaliar a saúde do ambiente aquático.

Quadro 1: Parâmetros adequados para corpos de água classe 2.

Constituintes	Limite CONAMA 357/2005 Classe 2
Cor	Ausente
Odor	Ausente
Turbidez	Até 100 UNT
Nitrogênio/Amoniacal	3,7 mg/L N, para pH ≤ 7,5 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 0,5 mg/L N, para pH > 8,5 Até 0,030 mg/L
Fósforo Total	Até 0,030 mg/L
Oxigênio Dissolvido	Não inferior a 5 mg/L O ₂
pH	6,0 a 9,0
Coliformes Fecais	Até 1000 UFC
DBO	5 dias a 20°C até 5 mg/L O ₂

Fonte: Resolução CONAMA Nº 357/2005

Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), para determinar a frequência das amostras, é essencial definir se o estudo tem como objetivo obter uma média, identificar valores extremos ou fazer uma avaliação pontual. Embora exista variabilidade nos dados, é importante ressaltar que quanto mais amostras forem analisadas, mais precisas serão as nossas estimativas sobre o impacto ambiental. Essa abordagem nos ajuda a entender melhor a saúde dos nossos corpos d'água e a importância de protegê-los.

Quadro 2: Parâmetros analisados – Compõem o IQA

FÍSICOS	QUÍMICOS	MICROBIOLÓGICOS	CLIMÁTICOS
Temperatura da água e ambiente	pH	Coliformes fecais e totais	Sol Nublado Chuvoso
Turbidez	Oxigênio dissolvido Amônia Fosfato Fósforo Nitrito Nitrato	Grupos específicos: <i>Echerichia coli</i> <i>Shigella sp.</i> <i>Salmonella spp.</i> <i>Klebsiella spp.</i> <i>Pseudomonas spp.</i>	

Fonte: CETESB (2011)

3.4 Análises em Laboratório

As amostras coletadas na área de Rio Grande da Serra (RGS), Parque Águas da Billings (PEAB) e Parque Estoril (PES) foram direcionadas ao Laboratório de Análise Ambiental do Projeto IPH – Índice de Poluentes Hídricos da Universidade Municipal de São Caetano do Sul – USCS para a realização das análises. Vale ressaltar que não foram feitas análises de campo, pois as amostras foram coletadas por integrantes do MDV – Movimento em Defesa da Vida do Grande ABC, juntamente com moradores de Rio Grande da Serra, que não dispunham dos equipamentos necessários para as medições adequadas. Após a coleta, as amostras foram identificadas como PEAB 1 a 4, PES 1 e 2, RGS 1 e 2, BRG Superfície do 1 a 6 e BRG Fundo de 1 a 5, foram transportadas e submetidas a análises microbiológicas no laboratório, com o objetivo de realizar o isolamento e a identificação de bactérias termotolerantes.

Para as análises físico-químicas, utilizou-se o Espectrofotômetro Pastel UVline, da marca Aqualabo, equipado com display gráfico. O procedimento seguiu rigorosamente as instruções dos reagentes, conforme descritas nas respectivas bulas, para determinar a



concentração de substâncias químicas nas amostras. As substâncias químicas testadas nas amostras recebidas foram; amônia, cobre, cromo hexavalente, ferro, fosfato, nitrato, nitrito, sulfato e sulfeto. A turbidez foi medida com o Turbidímetro Portátil H198703, utilizando 10 mL de cada amostra para as leituras. O pH foi medido com o aparelho mPA-201, garantindo a precisão dos valores obtidos.

Para as análises microbiológicas, os meios de cultura utilizados já estavam previamente preparados e armazenados no laboratório, prontos para as inoculações. Todas as etapas, desde a preparação dos meios até as inoculações, foram realizadas sob condições assépticas no Fluxo Laminar, garantindo a integridade das amostras. As amostras foram diluídas e inoculadas no prazo de 24 horas após a coleta. Em cada etapa de passagem, a amostra foi homogeneizada utilizando um Agitador de Tubos Vortex, assegurando a uniformidade das suspensões.

No início da análise microbiológica, emprega-se a técnica de diluição seriada. Um mililitro da amostra é transferido para o recipiente de Água de Diluição -1. Em seguida, retira-se 1 mL dessa diluição e transfere-se para o recipiente de Água de Diluição -2. Esse procedimento é repetido, transferindo 1 mL da Água de Diluição -2 para o recipiente de Água de Diluição -3. Essa abordagem permite a obtenção de concentrações decrescentes da amostra, facilitando a contagem e identificação dos microrganismos presentes.

Após a realização da diluição seriada, os meios de cultura Plate Count Agar (PCA) e Tryptic Soy Broth (TSB) foram inoculados em triplicata, resultando em três placas e três tubos para cada diluição: 10^{-1} , 10^{-2} e 10^{-3} . Os tubos contendo o caldo TSB continham previamente 10 mL do meio preparado, com um tubo de Duran invertido em seu interior para a criação de um ambiente anaeróbico. Após as inoculações nos meios PCA e TSB, ambos foram incubados na estufa por 48 horas a 37 °C, permitindo o crescimento adequado dos microrganismos.

Posteriormente, nas placas de PCA positivas para o crescimento bacteriano, foi realizada a contagem de Unidades Formadoras de Colônias (UFC), realizada com o auxílio de um contador de colônias manual, contador analógico e caneta permanente para marcação na própria placa. As colônias foram fixadas em lâminas de microscopia para sua posterior coloração e identificação de Gram (positivo ou negativo) e a diferenciação entre cocos e bacilos com o auxílio de microscópio óptico.

Nos tubos de TSB onde foram observadas turbidez e/ou formação de bolhas no tubo de Duran invertido, as amostras foram separadas. Com o auxílio de uma alça calibrada, uma alíquota do TSB positivado e homogeneizado foi inoculada nas placas de Petri com divisórias, utilizando a técnica de estriamento nos meios Eosin Methylene Blue Agar (EMB) e Brilliant Green Agar (VB). As placas foram, então, incubadas na estufa a 37 °C por 48 horas.

Após a retirada das placas da estufa, cada colônia que cresceu é identificada com base nas descrições fornecidas nas bulas dos meios de cultura utilizados. Em seguida, essas colônias são inoculadas nos meios de cultura Salmonella Shigella Agar (SS Agar) e MacConkey Agar (MC), que são novamente incubados na estufa a 37 °C por 48 horas. Após a identificação das bactérias nos meios SS e MC, a última inoculação é feita nos meios Triple Sugar Iron Agar (TSI) e Rugai, que permanecem na estufa por um período de 12 a 18 horas antes de serem lidos.



4 RESULTADOS

4.1 Físicos e Químicos

4.1.1 Turbidez e pH:

A turbidez é uma propriedade física da água que reduz sua transparência devido a partículas em suspensão, dificultando a passagem da luz. De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, a turbidez em corpos d'água de classe 2, como a Represa Billings, não deve ultrapassar 100 NTU. Assim, os resultados de cada ponto analisado devem ser comparados a esse limite.

O pH é uma escala que mede a acidez de uma solução aquosa com base na concentração de íons hidrônio (H_3O^+). Segundo a Resolução CONAMA 357/2005, o pH em corpos d'água de classe 2 deve estar entre 6 e 8. Portanto, as águas das amostras analisadas devem ser avaliadas conforme esse parâmetro.

Quadro 3: Resultados obtidos nas análises físico-químicas de pH e Turbidez. Amostras que possuem resultados “sem leitura” são amostras com quantidades insuficientes para análise.

Amostra	pH	Turbidez
PEAB 1	6,01	Sem Leitura
PEAB 2	6,42	Sem Leitura
PEAB 3	7,06	Sem Leitura
PEAB 4	7,04	Sem Leitura
PES 1	7,36	Sem Leitura
PES 2	6,53	Sem Leitura
RGS 1	6,83	10,94
RGS 2	6,45	12,1
BRG 1S	9,36	1,19
BRG 2S	8,81	1,75
BRG 3S	8,94	1,75
BRG 4S	6,82	1,05
BRG 5S	7,36	6,32
BRG 6S	6,16	1,75
BRG 1F	6,64	25,20
BRG 2F	5,73	1,65
BRG 3F	5,76	Sem Leitura
BRG 4F	5,87	84,9
BRG 5F	5,36	3,29

Fonte: Autoral.

As amostras analisadas apresentaram turbidez dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, uma vez que nenhuma delas excedeu o máximo permitido de 100 NTU. Em relação ao pH, a maioria das amostras também se encontrava dentro dos padrões permitidos. No entanto, as amostras BRG 2S e BRG 3S mostraram resultados que ultrapassaram os limites estabelecidos, indicando a necessidade de um monitoramento mais rigoroso dessas amostras para assegurar a qualidade da água.

4.2.2 Amônia

Esse parâmetro é analisado para que se verifique a presença/ausência de contaminação por esgoto doméstico, pois amônia é um indicador de despejo desse esgoto sem tratamento. De acordo com a RESOLUÇÃO CONAMA 357/2005, a amônia não pode ultrapassar



de 3,7 mg/L quando pH for $\leq 7,5$.

Segundo Reis e Mendonça (2009)

A amônia está presente naturalmente nos corpos d'água como produto da degradação de compostos orgânicos e inorgânicos do solo e da água, resultado da excreção da biota, redução do nitrogênio gasoso da água por micro-organismos ou por trocas gasosas com a atmosfera. A amônia é, também, constituinte comum no esgoto sanitário, resultado direto de descargas de efluentes domésticos e industriais, da hidrólise da ureia e da degradação biológica de aminoácidos e outros compostos orgânicos nitrogenados. (Reis e Mendonça, 2009, p. 353).

4.2.3 Nitrito e Nitrato

Nitrito e nitrato são compostos naturalmente presentes no ambiente, com suas aplicações ampliadas por atividades humanas. O nitrato é amplamente usado na fabricação de fertilizantes, explosivos, vidro e na preservação de alimentos. No corpo humano, ele é convertido em nitrito na saliva. Nos corpos hídricos, o nitrato pode advir de práticas agrícolas, sistemas de esgoto ou oxidação de resíduos nitrogenados. O nitrito, presente na água devido à decomposição biológica, é um indicativo de contaminação recente e é derivado de compostos industriais.

Segundo a Resolução CONAMA 357/2005, que permite um máximo de 1,0 mg/L de nitrito (N) para corpos d'água. Contudo, é necessário considerar outros parâmetros para uma análise abrangente da qualidade da água.

4.2.4 Cobre e Cromo Hexavalente

O cobre e o cromo hexavalente (Cr VI) são substâncias químicas frequentemente encontradas em ambientes aquáticos, sendo essenciais para a avaliação da qualidade da água. O cobre, embora necessário em pequenas quantidades para os organismos, pode se tornar tóxico em concentrações elevadas. Segundo a Resolução CONAMA 357/2005, o limite permitido de cobre para corpos d'água de classe 2 é de 0,05 mg/L. Sua presença pode ser decorrente de atividades industriais, mineração ou uso agrícola.

O cromo hexavalente, por sua vez, é uma forma de cromo que pode resultar de processos industriais, como a galvanoplastia, e é conhecido por sua toxicidade, podendo causar sérios danos ao ecossistema aquático e à saúde humana. A Resolução CONAMA também estabelece que o limite de cromo hexavalente para corpos d'água da classe 2 é de 0,05 mg/L. A monitorização regular dessas substâncias é fundamental para garantir a proteção dos ecossistemas e a saúde pública, prevenindo contaminações que podem impactar a vida aquática e a qualidade da água que consumimos.

4.2.5 Ferro e Fostato

O ferro e o fosfato também são parâmetros importantes na avaliação da qualidade da água. O ferro, embora essencial em pequenas quantidades, pode se tornar prejudicial em concentrações elevadas, especialmente na forma de ferro dissolvido. A Resolução CONAMA 357/2005 não estabelece um limite específico para o ferro em corpos d'água de classe 2, mas é importante monitorar sua presença devido ao potencial de formação de sedimentos e sua



influência na qualidade da água potável.

O fosfato, por sua vez, é frequentemente associado à poluição por nutrientes, principalmente devido ao uso excessivo de fertilizantes. A Resolução CONAMA 357/2005 determina um limite máximo de 0,1 mg/L para fosfato em corpos d'água de classe 2. Exceder esse limite pode resultar em eutrofização, levando ao crescimento excessivo de algas e à deterioração da qualidade da água. A monitorização e controle dessas substâncias são essenciais para garantir a saúde dos ecossistemas aquáticos e a segurança da água consumida pela população.

4.2.6 Sulfeto e Sulfato

O sulfeto é um composto que pode ser produzido por processos naturais e atividades humanas. Embora a Resolução CONAMA 357/2005 não defina um limite específico para o sulfeto em corpos d'água de classe 2, sua presença deve ser monitorada, uma vez que concentrações elevadas podem indicar contaminação e impactar negativamente a qualidade da água.

O sulfato é um composto natural no meio ambiente, mas suas concentrações podem aumentar com atividades como mineração e agricultura. A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece um limite de 250 mg/L para sulfato em corpos d'água de classe 2. Concentrações elevadas podem causar eutrofização e impactar a saúde dos organismos aquáticos.

Quadro 4: Resultados obtidos nas análises físico-químicas de amônia, cobre, cromo hexavalente, ferro, fosfato, nitrato, nitrito, sulfato e sulfeto nas amostras: PEAB 1 a 4, PES 1 e 2, RGS 1 e 2. "ABS" = Absorbância da substância

Amostra	Amônia (mg/L) / ABS	Cobre (mg/L) / ABS	Cromo Hexa (mg/L) / ABS	Ferro (mg/L) / ABS	Fosfato (mg/L) / ABS	Nitrato (mg/L) / ABS	Nitrito (mg/L) / ABS	Sulfato (mg/L) / ABS	Sulfeto (mg/L) / ABS
PEAB 1	1,26 / 0,176	0,08 / 0,014	0,06 / 0,049	0,17 / 0,094	10,01 / 0,149	0,76 / 0,143	0,054 / 0,096	0,76 / 0,011	0,05 / 0,015
PEAB 2	>3,50 / 0,849	- / <0,004	0,00 / <0,006	1,24 / 0,691	4,25 / 0,061	0,70 / 0,133	- / 0,022	16,42 / 0,178	- / 0,002
PEAB 3	0,36 / 0,051	0,08 / 0,014	0,00 / 0,005	- / -0,014	2,18 / 0,029	0,56 / 0,104	0,002 / 0,031	2,58 / 0,030	0,03 / 0,010
PEAB 4	0,46 / 0,065	0,14 / 0,025	0,03 / 0,024	0,18 / 0,097	4,53 / 0,065	1,22 / 0,232	0,005 / 0,034	1,71 / 0,021	0,07 / 0,021
PES 1	2,41 / 0,336	0 / 0,011	0,06 / 0,054	0,71 / 0,393	3,46 / 0,048	0,035 / 0,073	0,36 / 0,066	6,36 / 0,070	0,09 / 0,029
PES 2	3,50 / 0,489	0 / 0,013	0,04 / 0,035	>1,90 / 1,80	6,32 / 0,092	0,034 / 0,071	0,21 / 0,038	13,56 / 0,147	0,16 / 0,050
RGS 1	1,5 / 0,210	0,15 / 0,027	0,06 / 0,054	>1,90 / 1,506	- / -	- / -	0,005 / 0,035	- / -	- / -
RGS 2	1,01 / 0,140	0,1 / 0,019	0,06 / 0,051	0,68 / 0,376	- / -	- / -	0,16 / 0,049	- / -	- / -

Fonte: Autoral

Quadro 5: Resultados obtidos nas análises físico-químicas de amônia, cobre, cromo hexavalente, ferro, fosfato, nitrato, nitrito, sulfato e sulfeto nas amostras BRG Superfície 1 ao 6 e BRG Fundo 1 ao 5.

"ABS" = Absorbância da substância



Amostra	Amônia (mg/L) / ABS	Cobre (mg/L) / ABS	Cromo Hexa (mg/L) / ABS	Ferro (mg/L) / ABS	Fosfato (mg/L) / ABS	Nitrato (mg/L) / ABS	Nitrito (mg/L) / ABS	Sulfato (mg/L) / ABS	Sulfeto (mg/L) / ABS
BRG 1S	1,26 / 0,177	0,08 / 0,014	0,02 / 0,018	0,08 / 0,045	2,96 / 0,041	0,82 / 0,155	- / 0,016	5,75 / 0,064	- / <0,010
BRG 2S	1,23 / 0,172	0,10 / 0,019	0,03 / 0,023	0,06 / 0,032	4,27 / 0,061	0,24 / 0,043	- / 0,026	6,60 / 0,073	- / <0,014
BRG 3S	1,18 / 0,166	0,20 / 0,037	0,01 / 0,012	0,09 / 0,052	5,89 / 0,085	0,47 / 0,086	- / 0,029	3,98 / 0,045	- / <0,011
BRG 4S	1,12 / 0,157	0,12 / 0,022	0,01 / 0,014	0,10 / 0,058	2,11 / 0,030	0,37 / 0,067	- / 0,024	6,14 / 0,068	- / <0,011
BRG 5S	1,05 / 0,148	0,13 / 0,024	0,04 / 0,035	0,14 / 0,081	3,10 / 0,043	0,56 / 0,101	- / 0,032	6,47 / 0,072	- / <0,012
BRG 6S	1,00 / 0,140	0,15 / 0,027	0,05 / 0,042	0,15 / 0,090	2,77 / 0,038	0,63 / 0,113	- / 0,036	6,95 / 0,078	- / <0,013
BRG 1F	0,94 / 0,132	0,18 / 0,032	0,03 / 0,027	0,12 / 0,069	2,88 / 0,039	0,41 / 0,074	- / 0,021	7,34 / 0,082	- / <0,014
BRG 2F	0,92 / 0,129	0,10 / 0,018	0,04 / 0,037	0,10 / 0,057	4,51 / 0,064	0,55 / 0,098	- / 0,030	8,00 / 0,089	- / <0,013
BRG 3F	0,89 / 0,125	0,13 / 0,023	0,05 / 0,043	0,08 / 0,045	2,36 / 0,033	0,61 / 0,109	- / 0,034	7,52 / 0,084	- / <0,010
BRG 4F	0,85 / 0,119	0,14 / 0,025	0,02 / 0,016	0,14 / 0,080	3,05 / 0,043	0,47 / 0,086	- / 0,027	8,13 / 0,090	- / <0,013
BRG 5F	0,83 / 0,116	0,15 / 0,027	0,05 / 0,044	0,09 / 0,051	4,11 / 0,058	0,50 / 0,091	- / 0,029	7,82 / 0,087	- / <0,011

Fonte: Autoral

As amostras analisadas revelaram diferentes concentrações de substâncias químicas, com algumas dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 e outras acima desses limites. A Amostra PEAB 1 apresentou concentrações de cobre (0,03 mg/L), cromo hexavalente (0,01 mg/L), ferro (0,2 mg/L), nitrito (0,5 mg/L) e sulfato (100 mg/L), todos em conformidade com a legislação. Em contraste, a Amostra PEAB 2 apresentou 0,07 mg/L de cobre e 0,5 mg/L de ferro, ambas acima dos limites permitidos, além de 300 mg/L de sulfato, que excedeu o limite de 250 mg/L.

A Amostra PES 1 também se manteve dentro dos limites, apresentando 0,02 mg/L de cobre, 0,04 mg/L de cromo hexavalente, 0,1 mg/L de ferro, 0,2 mg/L de nitrito e 150 mg/L de sulfato. Por outro lado, a Amostra PES 2 mostrou 0,06 mg/L de cobre e 0,4 mg/L de ferro, ambos acima dos limites, enquanto o sulfato (200 mg/L) estava dentro do limite estabelecido. As Amostras RGS 1 e RGS 2 estavam em conformidade com os padrões da Resolução, com todas as substâncias analisadas apresentando concentrações permitidas.

Essas análises indicaram que a maioria das amostras se encontra em conformidade com a Resolução CONAMA 357/2005. Contudo, as amostras PEAB 2 e PES 2 apresentaram concentrações de cobre e ferro acima dos limites permitidos, o que destaca a necessidade de monitoramento contínuo e possíveis ações corretivas para garantir a qualidade da água.

As amostras BRG 1S, BRG 2S, BRG 3S, BRG 4S, BRG 5S e BRG 6S foram analisadas e apresentaram concentrações de substâncias químicas em conformidade com os limites da Resolução CONAMA 357/2005, com níveis de cobre, cromo hexavalente, ferro, nitrito e sulfato todos dentro dos valores permitidos. Em contraste, as amostras BRG 1F, BRG 2F, BRG 3F, BRG 4F e BRG 5F mostraram resultados variados, com as amostras BRG 1F e BRG 3F apresentando níveis de ferro (0,25 mg/L) e sulfato (300 mg/L) acima dos limites estabelecidos. Essas análises sublinham a importância de um monitoramento regular da qualidade da água nas amostras BRG, especialmente nas que ultrapassaram os limites permitidos, para assegurar a segurança e a qualidade dos recursos hídricos na região



4.3 Microbiologia

O estudo microbiológico é um aspecto fundamental na avaliação da qualidade da água, uma vez que, embora outros parâmetros possam estar em conformidade com os limites estabelecidos pela legislação, a inclusão de dados microbiológicos revela a verdadeira extensão da contaminação. Conforme estabelece a Resolução CONAMA nº 357/2005, para corpos d'água classificados como de classe 2, como o manancial analisado, o limite máximo permitido de Unidades Formadoras de Colônia (UFC) em 100 mL de amostra é de 1000 UFCs. A detecção de valores superiores a esse limite sugere uma contaminação microbiológica significativa, não detectada por análises físico-químicas isoladas.

4.3.1 Estudo Quantitativo de Unidades Formadoras de Colônias e Qualitativo para Identificação de Microrganismos

Quadro 6: Resultados obtidos nas análises microbiológica dos meios de cultura PCA, TSB, BEM, VB, MC, SS, RUGAI e TSI dos pontos PEAB 1 ao 4, PES 1 e 2 e RGS 1 e 2.

Amostra	Unidades Formadoras de Colônia - Média	EMB	VB	MC	SS	RUGAI	TSI
PEAB 1	30	<i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella</i> sp. <i>Shigella</i> spp. <i>Pseudomonas</i> spp. <i>Enterobacter</i> spp.	<i>Salmonella</i> sp. <i>Enterobacter</i> spp.	<i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella</i> sp. <i>Klebsiella</i> spp. <i>Enterobacter</i> spp.	<i>Escherichia coli</i> <i>Shigella</i> spp.	<i>Klebsiella</i> spp. <i>Enterobacter</i> spp.	SEM CRESCIMENTO
PEAB 2	1	<i>Enterobacter</i>	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO
PEAB 3	15	<i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella</i> <i>Shigella</i> <i>Pseudomonas</i> <i>Enterobacter</i>	<i>Escherichia coli</i> <i>Klebsiella</i> spp. <i>Enterobacter</i> spp.	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO	<i>Salmonella</i> sp.	SEM CRESCIMENTO
PEAB 4	55	<i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella</i> <i>Shigella</i> <i>Pseudomonas</i> <i>Enterobacter</i>	<i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella</i> sp. <i>Klebsiella</i> spp. <i>Enterobacter</i> spp.	<i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella</i> sp. <i>Klebsiella</i> spp. <i>Enterobacter</i> spp.	<i>Salmonella</i> sp. <i>Shigella</i> spp.	<i>Enterobacter</i> spp. <i>Klebsiella</i> spp. <i>Escherichia coli</i>	<i>Shigella</i> spp. <i>Escherichia coli</i>
PES 1	20	<i>Proteus</i> spp.	<i>Enterococcus</i> spp. Fungo	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO
PES 2	1083	<i>Escherichia coli</i> <i>Shigella</i> spp. <i>Klebsiella</i> spp. <i>Proteus</i> spp. <i>Enterococcus</i> spp.	<i>Escherichia coli</i> Fungo <i>Salmonella</i> sp.	<i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella</i> sp. <i>Shigella</i> spp. <i>Pseudomonas</i> spp.	<i>Salmonella</i> sp. <i>Shigella</i> spp. <i>Pseudomonas</i> spp.	<i>Klebsiella</i> spp. <i>Escherichia coli</i>	SEM CRESCIMENTO
RGS 1	210	<i>Salmonella</i> sp. <i>Pseudomonas</i> spp.	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO
RGS 2	1	<i>Escherichia coli</i> <i>Klebsiella</i> spp. <i>Pseudomonas</i> spp. <i>Enterobacter</i> spp. <i>Salmonella</i> sp. <i>Shigella</i> spp.	<i>Escherichia coli</i> <i>Klebsiella</i> spp. <i>Enterobacter</i> spp.	<i>Escherichia coli</i>	<i>Shigella</i> spp. Fungos	<i>Enterobacter</i> sp. <i>Escherichia coli</i> <i>Klebsiella</i> spp. <i>Serratia</i> spp.	SEM CRESCIMENTO

Fonte: Autoral

A análise microbiológica das amostras de água revelou a presença de várias espécies



bacterianas nocivas à saúde humana, incluindo *Escherichia coli*, *Salmonella* sp., *Shigella* spp., *Pseudomonas* spp., *Klebsiella* spp. e *Enterobacter* spp. A contagem de Unidades Formadoras de Colônia (UFC) apresentou variações significativas, com a amostra PES 2 apresentando alarmantes 1.083 UFC e a amostra PEAB 4 com 55 UFC.

A diversidade de patógenos nas amostras PEAB 1 e PEAB 3 sugere múltiplas fontes de contaminação, aumentando o risco à saúde pública. A alta contagem na amostra PES 2 indica contaminação fecal, levantando preocupações sobre a eficácia do tratamento de água. Além disso, a presença de *Pseudomonas* spp. e outras bactérias associadas a doenças gastrointestinais destaca a vulnerabilidade de certas populações a infecções graves.

Os resultados evidenciam a contaminação da água por patógenos bacterianos em níveis preocupantes, ressaltando a urgência de ações corretivas para garantir a potabilidade da água e proteger a saúde da população.

Quadro 7: Resultados obtidos nas análises microbiológica dos meios de cultura PCA, TSB, EMB, VB, MC, SS, RUGAI e TSI dos pontos BRG Superfície 1 ao 6 e BRG Fundo do 1 ao 5.

Amostra	Unidades Formadoras de Colônia - Média	EMB	VB	MC	SS	RUGAI	TSI
BRG 1S	2, Presença de Fungos	<i>Salmonella</i> sp. <i>Shigella</i> spp. <i>Enterobacter</i> pp.	<i>Salmonell</i> sp. Fungo	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO
BRG 2S	1, Presença de Fungos	<i>Escherichia coli</i> <i>Enterobacter</i> spp. <i>Salmonella</i> sp. <i>Shigella</i> spp.	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO	<i>Enterobacter</i> spp.	SEM CRESCIMENTO
BRG 3S	3, Presença de Fungos	<i>Salmonella</i> sp. <i>Shigella</i> spp. <i>Enterobacter</i> spp.	<i>Salmonella</i> sp. Fungo	<i>Salmonella</i> sp.	<i>Salmonella</i> sp. <i>Shigella</i> spp.	<i>Escherichia coli</i>	SEM CRESCIMENTO
BRG 4S	69, Presença de Fungos	SEM CRESCIMENTO	<i>Escherichia coli</i> Fungo	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO
BRG 5S	3	SEM CRESCIMENTO	Fungo	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO
BRG 6S	11	<i>Enterobacter</i> spp.	<i>Escherichia coli</i> <i>Shigella</i> spp. <i>Enterobacter</i> spp. Fungos	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO
BRG 1F	29, Presença de Fungos	<i>Enterobacter</i> spp. <i>Salmonella</i> sp. <i>Pseudomonas</i> spp.	<i>Escherichia coli</i> <i>Klebsiella</i> spp. <i>Enterobacter</i> spp. <i>Salmonella</i> sp.	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO
BRG 2F	27, Presença de Fungos	<i>Enterobacter</i> spp.	<i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella</i> sp. <i>Klebsiella</i> spp. <i>Pseudomonas</i> spp. <i>Enterococcus</i> spp.	<i>Salmonella</i> sp. <i>Shigella</i> spp.	<i>Salmonella</i> sp. <i>Shigella</i> spp.	<i>Klebsiella</i> spp. <i>Enterobacter</i> spp.	SEM CRESCIMENTO
BRG 3F	28, Presença de Fungos	<i>Salmonella</i> sp. <i>Pseudomonas</i> spp. <i>Enterococcus</i> spp.	<i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella</i> sp. <i>Klebsiella</i> spp. <i>Enterococcus</i> spp.	<i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella</i> sp. <i>Shigella</i> spp.	<i>Shigella</i> spp.	SEM CRESCIMENTO	SEM CRESCIMENTO
BRG 4F	26, Presença de Fungos	<i>Pseudomonas</i> spp. <i>Staphylococcus</i> spp. <i>Enterobacter</i> spp.	<i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella</i> sp. Fungo	<i>Shigella</i> sp.	<i>Shigella</i> spp.	<i>Klebsiella</i> spp. <i>Enterobacter</i> spp.	SEM CRESCIMENTO
BRG 5F	46, Presença de Fungos	<i>Escherichia coli</i> <i>Enterococcus</i> spp.	<i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella</i> sp. <i>Shigella</i> spp. <i>Enterococcus</i> spp.	<i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella</i> sp. <i>Shigella</i> spp.	<i>Salmonella</i> sp. <i>Shigella</i> spp.	<i>Proteus</i> spp. <i>Klebsiella</i> spp. <i>Enterobacter</i> spp.	SEM CRESCIMENTO

Fonte: Autoral

A análise microbiológica das amostras de água identificou a presença de diversas espécies bacterianas e fungos potencialmente nocivos à saúde humana. As contagens de Unidades Formadoras de Colônia (UFC) variaram entre as amostras, destacando-se a amostra BRG 4S, com 69 UFC, e a amostra BRG 5F, com 46 UFC, ambas com a presença de fungos.

As amostras BRG 1S e BRG 2S mostraram a presença de *Salmonella* sp., *Shigella* spp. e *Enterobacter* spp., enquanto a amostra BRG 3S também revelou *Escherichia coli*, evidenciando a diversidade de patógenos. Em contrapartida, as amostras BRG 1F e BRG 2F contiveram

Pseudomonas spp., *Enterococcus* spp., além de outras bactérias, reforçando a preocupação com a contaminação.

A alta contagem de UFC em amostras como a BRG 4S e a presença constante de *Escherichia coli* e *Salmonella* sp. em várias amostras indicam um risco significativo à saúde pública, especialmente em relação a surtos de doenças transmitidas pela água. As amostras com "sem crescimento" indicam a possível eficácia de certos tratamentos, mas não diminuem a necessidade de monitoramento contínuo.

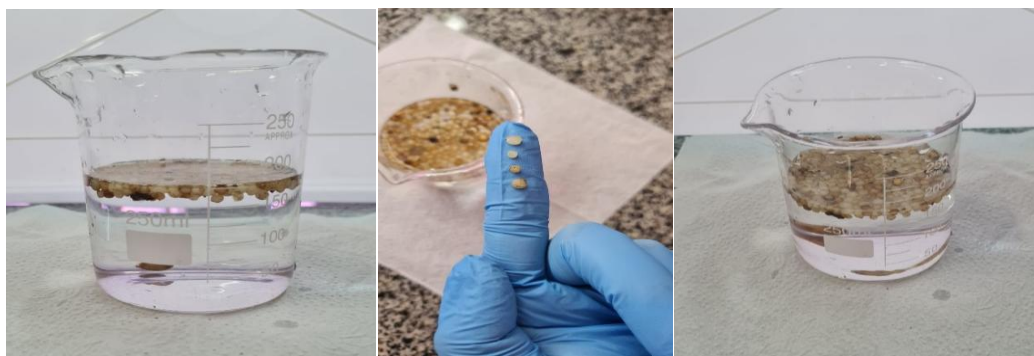
Em suma, os resultados demonstram a contaminação da água por patógenos bacterianos e fungos em níveis preocupantes, destacando a urgência de medidas corretivas para garantir a potabilidade da água e a saúde da população.

4.4 Análise Física do material encontrado na água e nos intestinos de peixes

Durante coletas realizadas em anos anteriores, foram encontrados pellets em peixes e na superfície da água, os quais são fundamentais para a análise atual. Os materiais coletados foram enviados ao Instituto de Estudo e Pesquisa (INSPER/SP) para a análise e identificação do Polietileno de Alta Densidade (PEAD ou HDPE). Este material é amplamente utilizado na indústria plástica devido à sua matéria-prima barata e abundante, além da facilidade de processamento, permitindo a produção de objetos do cotidiano, como embalagens e sacolas (Gondijo, 2021).

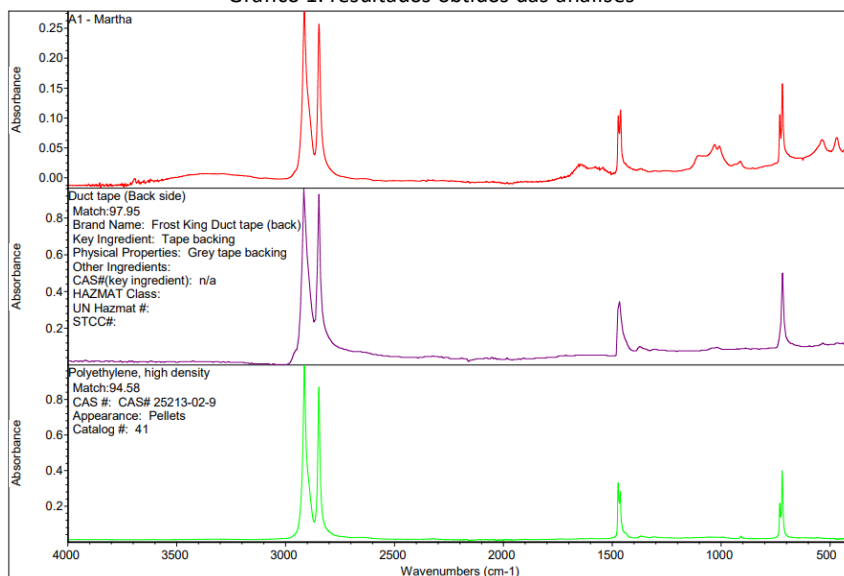
A presença persistente de PEAD no ecossistema aquático do Reservatório Billings indica a necessidade de avaliar os impactos desse contaminante na biota e nas populações humanas. É crucial também identificar suas fontes e rotas de entrada, contribuindo assim para o aprimoramento das estratégias de gestão ambiental e conservação dos recursos hídricos

Figuras 2, 3 e 4: Polietileno de alta densidade (PEAD ou HDPE)



Fonte: Autoral.

Gráfico 1: resultados obtidos das análises



Fonte: Técnico responsável pelas análises: Guilherme Corrêa Mendanha -
Técnico Jr. Laboratórios de Engenharia do Instituto de Estudo e Pesquisa – INSPER/SP

5. CONCLUSÃO

A relação entre a qualidade da água e os episódios de mortandade de peixes na região é evidente e levanta preocupações ambientais e de saúde pública. Em 2024, um estudo foi conduzido para investigar as causas desses eventos, revelando que um dos principais fatores é o excesso de amônia, indicativo da presença de esgoto doméstico. Durante as coletas realizadas em 2021 e 2023, os níveis de amônia ultrapassaram os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, sugerindo que efluentes não tratados contribuíam para a degradação da qualidade da água. No entanto, os resultados de 2024 mostraram uma melhora significativa, com os níveis de amônia dentro dos padrões permitidos, sinalizando avanços no tratamento de esgoto na região.

Além disso, a análise da água em 2024 também identificou a presença de metais pesados, como o cobre. Esses poluentes não apenas afetam a saúde dos peixes, levando à mortalidade, mas também representam riscos à saúde humana, pois podem se acumular nos organismos aquáticos e entrar na cadeia alimentar.

Outro problema crítico identificado foi a contaminação microbiológica, com a detecção de coliformes totais e fecais, que indicam a presença de esgoto. Essa contaminação cria um ambiente prejudicial à vida aquática, comprometendo a saúde dos peixes, causando estresse e, frequentemente, resultando em mortalidade.

Além disso, os pellets de plástico encontrados nos intestinos dos peixes revelaram a presença de polietileno de alta densidade (PEAD), um material amplamente utilizado na indústria de plásticos. A ingestão desses microplásticos pode causar bloqueios intestinais e liberar substâncias tóxicas, agravando ainda mais a mortalidade dos peixes.

Diante dessas evidências, é claro que a combinação de poluentes químicos,



microbiológicos e microplásticos no ambiente aquático desempenhou um papel determinante nos episódios de mortandade de peixes na área estudada. Para reverter essa situação e proteger os ecossistemas e a saúde pública, é essencial implementar um controle rigoroso da poluição das águas. Medidas de monitoramento contínuo da qualidade da água e programas de educação ambiental para a comunidade local são fundamentais para mitigar esses impactos e auxiliar na recuperação do ecossistema da Bacia Hidrográfica do Reservatório Billings.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRANDÃO, Carlos Jesus; BOTELHO, Marcia Janete Coelho; SATO, Maria Inês Zanoli; ANA; CETESB. **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos**. 2011. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-D-%C3%8Dndices-de-Qualidade-das-%C3%81guas.pdf>. Acesso em: 19 out. 2024.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002**. Publicada no DOU nº 90, de 13 de maio de 2002, Seção 1, p. 68. Disponível em: <www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/20_12_2013_14.59.14.834f63ee467e90be10cdf563383b3ade.pdf>. Acesso em: 17 out. 2024.

REIS, J. A. T.; MENDONÇA, A. S. F. Análise técnica dos novos padrões brasileiros para amônia em efluentes e corpos d'água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 353–362, 2009.

SILVA, J. C. F.; SANTOS, C. C. Problemática Ambiental dos Rios Urbanos: Vulnerabilidades e Riscos nas Margens do Riacho da Prata na Cidade de Lajedo-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, p. 488–508, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/232840/26835>. Acesso em: 21 out. 2024.