

ANÁLISE DE METAIS TÓXICOS EM ÁGUA DE ABASTECIMENTO HUMANO EM COMUNIDADE RIBEIRINHA ATINGIDA PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO: UM ESTUDO DE CASO DA COMUNIDADE DE BIBOCA, SÃO JOSÉ DO GOIABAL - MG

Robson Batista dos Santos^{1*}

Vanessa Nunes Alves^{2*}

Resumo: Este trabalho analisou dados de monitoramento (2018–2025) para metais, coliformes totais e *Escherichia coli* em água de poços destinados ao consumo humano na Biboca, comunidade ribeirinha pertencente ao município de São José do Goiabal e atingida pelo rompimento da barragem de Fundão. Para isso, foram utilizados laudos emitidos por laboratórios acreditados, os quais utilizaram como técnica a espectrometria de emissão óptica com fonte de plasma indutivamente acoplada (ICP OES) - POP-FQ-081, bem como o Método 9223 B (Método do Número Mais Provável - NMP) para as variáveis microbiológicas. Considerada uma ferramenta robusta e eficiente devido a características como análise multielementar e alta sensibilidade, essa técnica utiliza um plasma de argônio de alta energia para excitar os átomos e íons de uma amostra. Quando esses átomos e íons excitados retornam a seus estados de energia mais baixos, eles emitem luz em comprimentos de onda característicos e únicos para cada elemento, que são então medidos para identificação e quantificação. Esse estudo adquire relevância na medida em que ajuda a evidenciar os possíveis riscos da exposição prolongada de populações vulneráveis a metais e por fornecer suporte técnico-científico para ações ambientais e socioambientais mais eficazes do poder público e das empresas responsáveis pelo desastre-crime.

Palavras-chave: Metais tóxicos, Rio Doce, Barragem de Fundão.

INTRODUÇÃO

O rompimento da barragem de Fundão, ocorrido em 5 de novembro de 2015, no complexo minerário de Germano, em Mariana, Minas Gerais, desencadeou o maior desastre socioambiental da história brasileira e um dos maiores do mundo. (LACTEC, 2021) O evento liberou mais de 40 milhões de metros cúbicos de rejeito de mineração, composto majoritariamente por rejeitos de minério de ferro, silício e

^{1*} Cáritas Diocesana de Itabira - Assessoria Técnica Independente prestada às pessoas atingidas pelo rompimento da barragem de Fundão: robsonbatista.penedo@gmail.com.

^{2*} Instituto de Química – UFCAT: vanessa.nunes@ufcat.edu.br

alumínio, nos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce. A Lama percorreu mais de 600 km, de Minas Gerais até o litoral Capixaba, atingindo dezenas de municípios e desencadeando um processo prolongado de insegurança socioambiental, especialmente no que se refere ao acesso à água segura para consumo humano em centenas de comunidades localizadas próximas às margens do rio Doce (LACTEC, 2021).

Entre as dezenas de municípios impactados por essa onda de rejeitos, São José do Goiabal destaca-se pela vulnerabilidade de suas comunidades ribeirinhas, sendo a localidade da Biboca um dos pontos focais de monitoramento e análise de riscos à saúde pública no que se refere à qualidade da água para consumo humano (RENOVA, 2024). Para a comunidade da Biboca, a estreita relação socioeconômica e socioambiental com o rio Doce foi afetada, sendo substituída por um cenário de incerteza, insegurança hídrica e sanitária (FGV, 2021; LACTEC, 2021).

Em resposta ao rompimento e seus danos, foi assinado um Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (TTAC) em 2016 entre as mineradoras responsáveis (Samarco, Vale e BHP Billiton) e os entes públicos, o qual criou a Fundação Renova que ficou responsável pela implementação de 42 programas de reparação, sendo o Programa 38 (PG 38) voltado especificamente para a investigação e monitoramento da bacia (RENOVA, 2024). Dentro deste escopo, o Plano de Monitoramento da Qualidade da Água para Consumo Humano (PMQACH) surgiu como uma ferramenta para realizar análises e gerar informações que pudessem identificar riscos à saúde associados à qualidade da água para consumo humano de localidades que utilizam águas da calha do rio Doce ou de fontes indiretamente atingidas (RENOVA, 2024). Para isso, o escopo do programa consistia em realizar testes periódicos nos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) e em soluções alternativas, tanto individuais (SAI) quanto coletivas (SAC) (Portaria GM/MS nº 888/2021), localizadas nas áreas definidas pela Câmara Técnica de Saúde - instância criada em 2016 para orientar e monitorar ações relacionadas à qualidade da água na Bacia do Rio Doce após o rompimento da barragem (BRASIL, 2016).

As atividades do PMQACH são realizadas em parceria entre as secretarias estaduais e municipais de saúde, as quais devem acompanhar as coletas de amostras e análise dos laudos, bem como orientar a população sobre os riscos do

consumo de água das fontes que não atendam aos padrões de potabilidade e propor soluções (RENOVA, 2024).

Dezenas de variáveis de qualidade de água foram monitoradas durante as campanhas de análises de 2018 a 2025 pelo PMQACH, de modo a avaliar se a água utilizada pela população da comunidade Biboca possui os padrões de potabilidade e os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água, segundo a Portaria GM/MS nº 888/2021 e Portaria de Consolidação GM/MS nº 5/2017. Para atender a esses critérios, os laboratórios precisam adotar métodos sensíveis, confiáveis e adequados para a determinação da presença de contaminantes nas amostras de água.

Dado esse contexto, o trabalho teve o objetivo identificar e descrever os métodos analíticos utilizados para determinar a presença de metais tóxicos, contaminação microbiológica e propriedades físicas da água nas campanhas do PMQACH para a comunidade da Biboca entre 2018 e 2025. Do mesmo modo, propôs-se a sumarizar os principais resultados obtidos desse monitoramento.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Contaminação hídrica e monitoramento da qualidade da água para consumo humano

O monitoramento rigoroso da qualidade da água para consumo humano é um pilar da saúde pública. No Brasil, este controle é normatizado pela Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, que alterou o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5/2017. Esta legislação estabelece os procedimentos para o controle e a vigilância da qualidade da água, definindo os Padrões de Potabilidade e os Valores Máximos Permitidos (VMP) para parâmetros microbiológicos e físico-químicos.

O acesso a serviços de abastecimento e a garantia da qualidade da água são pilares essenciais para a saúde pública e a qualidade de vida da população. A presença de metais tóxicos na água para consumo humano representa uma ameaça séria, principalmente devido à sua toxicidade crônica e cumulativa (IBGE, 2017; LACTEC, 2019; SES/MG, 2023). Esses elementos, mesmo em concentrações

extremamente baixas, podem causar danos significativos à saúde ao longo do tempo (LACTEC, 2019; SES/MG, 2023).

Os metais são amplamente empregados em processos industriais, ligas metálicas, e em processos químicos (CETESB, 2013). A contaminação hídrica ocorre através de efluentes industriais, lixiviação de minérios, lançamento de rejeitos de atividades mineração ou até mesmo corrosão de sistemas de distribuição (CETESB, 2013). Na ocasião do rompimento da barragem de Fundão, por exemplo, foram observadas uma série de impactos ambientais, com efeitos diversos sobre a bacia do rio Doce, especialmente nos ecossistemas aquáticos, no abastecimento público e na relação das pessoas com os rios atingidos (LACTEC 2019). Consequentemente, o monitoramento contínuo de metais solúveis e outros contaminantes na água é uma exigência fundamental para o saneamento.

Os metais tóxicos são contaminantes de grande preocupação regulatória devido à sua toxicidade. Assim, a necessidade de quantificar estes elementos em concentrações muito baixas impõe desafios significativos às metodologias analíticas empregadas (PETRY, 2005; VIEIRA, 2007; PARRON, 2011; CETESB, 2013; BRASIL, 2021; SILVA, 2022).

Uso da Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Indutivamente Acoplado para análise de água

A espectroscopia pode ser classificada, de forma geral, em espectroscopia atômica e espectroscopia molecular, de acordo com a natureza das espécies analisadas e dos fenômenos de interação com a radiação eletromagnética. No âmbito da espectroscopia atômica, as técnicas são tradicionalmente subdivididas em espectrometria de absorção atômica, espectrometria de fluorescência atômica, espectrometria de emissão atômica e espectrometria de massa atômica, cada uma fundamentada em princípios físicos distintos e aplicada conforme os objetivos analíticos e as características da matriz em estudo (SKOOG, 1998; SKOOG, 2002; PARRON, 2011; HARRIS e LUCY, 2016).

A Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) é uma técnica analítica poderosa e robusta para a determinação de

elementos químicos em uma vasta gama de amostras, sendo particularmente adequada para a análise da presença de metais tóxicos em amostras de água, mesmo em concentrações muito baixas, como partes por bilhão ou até menos (SKOOG, 1998; PETRY, 2005; ASENDORF, 2007; PEREIRA, 2010; HARRIS e LUCY, 2016). A sua popularidade deriva da alta sensibilidade, capacidade multielementar e relativamente baixo efeito de matriz, características que a tornam a técnica de eleição para o monitoramento ambiental, controle de qualidade da água e várias outras determinações químicas (SKOOG, 1998; SILVA, 2022; VIEIRA, 2007; PETRY, 2005; ASENDORF, 2007; PEREIRA, 2010).

A técnica de ICP-OES apresenta um conjunto de características que a tornam amplamente empregada em análises elementares, especialmente em variáveis ambientais (ASENDORF, 2007; HARRIS e LUCY, 2016; VIEIRA, 2007). Uma de suas principais vantagens está associada às altas temperaturas do plasma, que promovem elevada eficiência de atomização e excitação dos analitos, resultando em boa sensibilidade analítica. Além disso, o plasma apresenta temperatura relativamente uniforme e atomização em um ambiente quimicamente inerte, o que reduz a ocorrência de reações indesejadas durante o processo analítico. Outro aspecto relevante é a concentração de elétrons constante no plasma, que torna as interferências de ionização praticamente desprezíveis. Soma-se a isso o caminho óptico estreito do plasma, que minimiza efeitos de auto absorção, bem como o fato de as curvas de calibração serem, em geral, lineares, facilitando a quantificação dos elementos de interesse. Do ponto de vista operacional, o ICP-OES também se destaca por exigir pouca manutenção quando comparado a outras técnicas espectrométricas de emissão (SKOOG, 1998; PARRON, 2011; HARRIS e LUCY, 2016; SILVA, 2022).

Por outro lado, a técnica apresenta limitações que devem ser consideradas na escolha metodológica. Uma das principais desvantagens do ICP-OES é a baixa tolerância a solventes orgânicos e depósitos de carbono no tubo de quartzo, o que pode afetar o desempenho do equipamento e demandar intervenções corretivas (SKOOG, 1998; HARRIS e LUCY, 2016).

Técnicas de análise dos parâmetros microbiológicos da água para consumo humano

A quantificação de bactérias do grupo coliforme e de *Escherichia coli* constitui um dos principais critérios para a avaliação do nível de contaminação e das condições sanitárias da água, sendo esses microrganismos adotados como indicadores oficiais da qualidade bacteriológica (CETESB, 2013, RENOVA 2024). No contexto da legislação brasileira, tais parâmetros estão previstos na Portaria nº 888/2021, que define os padrões de potabilidade da água para consumo humano. Assim, a escolha e a aplicação de metodologias analíticas adequadas para a detecção e quantificação de bactérias do grupo coliforme em amostras de água são fundamentais, exigindo elevado rigor técnico e confiabilidade dos resultados.

A Portaria 888/2021 serve como o principal arcabouço legal para os Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) e Soluções Alternativas Coletivas (SAC). Para os indicadores primários de contaminação fecal, o padrão regulatório é a ausência em 100 mL.

O monitoramento microbiológico de *Escherichia coli* é obrigatório em todas as amostras coletadas no sistema de distribuição e nos pontos de consumo, enquanto a análise de Coliformes Totais é requerida na saída do tratamento. A presença de qualquer um destes indicadores é considerada uma não-conformidade (RENOVA, 2024; BRASIL, 2021).

MATERIAIS E MÉTODOS

A comunidade da Biboca, em São José do Goiabal - MG, possui cerca de 76 casas e está localizada a cerca de 1 km do rio Doce (MORAES, 2018). A maioria dos moradores utilizam água do Sistema de Abastecimento de Água (SAA), embora existam algumas iniciativas individuais (SAI).

Os dados utilizados neste relatório foram obtidos a partir de laudos laboratoriais consolidados para a comunidade da Biboca, abrangendo o período de 2018 a 2025. Ao todo, foram observados 32 laudos de qualidade da água emitidos por cinco laboratórios diferentes, sendo as coletas feitas na água tratada oriunda do SAA. Os laudos correspondem aos primeiros 4 meses de cada ano, período que concentra o maior volume de chuvas e preocupação da comunidade com relação a possíveis contaminações da água.

Os parâmetros escolhidos para avaliação foram coliformes totais, *Escherichia coli* e alguns metais. Esses parâmetros foram selecionados devido à sua importância como indicadores básicos da qualidade microbiológica da água para consumo humano, bem como seu potencial toxicológico.

Métodos utilizados para os parâmetros microbiológicos: Os parâmetros microbiológicos avaliados foram coliformes totais e *Escherichia coli*, determinados pela técnica de presença/ausência por substrato enzimático, conforme o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW), 24ª edição, método 9223 B. A interpretação dos resultados seguiu os critérios estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021, que exigia ausência desses indicadores em 100 mL de amostra para água destinada ao consumo humano.

O Método 9223 B da SMWW, 24ª edição (2017), refere-se à determinação quantitativa de coliformes totais e *Escherichia coli* por meio da técnica de contagem em cartela (Método do Número Mais Provável - NMP). Este método é amplamente utilizado em análises de qualidade da água, especialmente para avaliar a presença de contaminação fecal.

O procedimento envolve o uso de meios de cultura específicos e incubação em condições controladas, permitindo estimativas precisas desses indicadores microbiológicos. Esse método é baseado na inoculação de múltiplas diluições da amostra em meios de cultura e na estimativa do número de organismos por meio de tabelas estatísticas. Assim, alíquotas da amostra, previamente submetidas a diluições, foram inoculadas em tubos contendo os meios de cultura e incubadas em condições controladas. Após o período de incubação, os tubos foram avaliados quanto à presença ou ausência de crescimento característico, sendo classificados como positivos ou negativos. A estimativa do número de microrganismos foi obtida a partir das combinações de resultados nas diferentes diluições, utilizando tabelas padronizadas do NMP, com os valores expressos em NMP/100 mL (BRANDÃO et al., 2012).

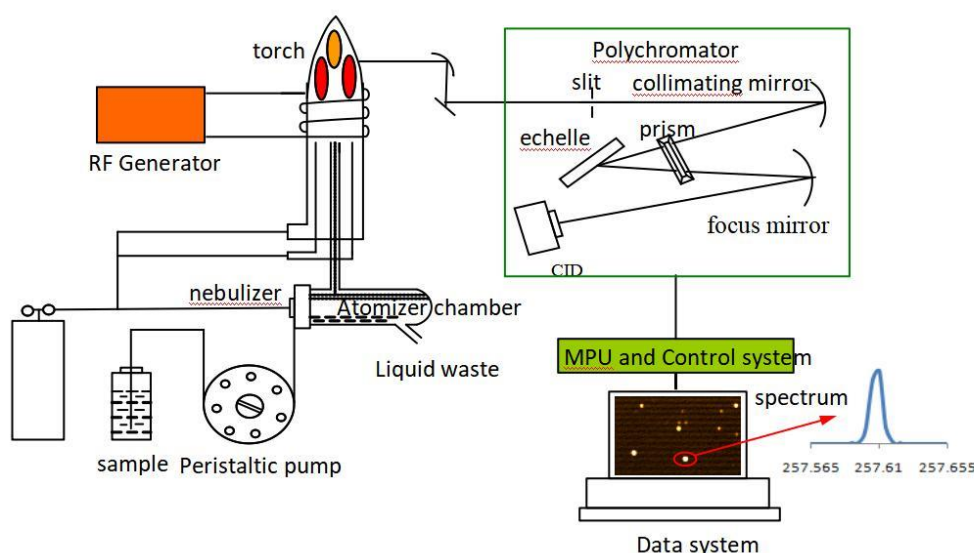
Método utilizado para as análises de metais na água de abastecimento da comunidade da Biboca: Foram observados os seguintes elementos: antimônio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel, selênio, alumínio, ferro, manganês, zinco.

As determinações foram realizadas por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES), após filtração, conforme procedimentos analíticos internos dos laboratórios (POP-FQ-081). Os resultados foram comparados aos Valores Máximos Permitidos (VMP) estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021 para água potável.

O fabricante de equipamento de espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES), semelhante ao utilizado nos laboratórios que produziram os laudos de qualidade de água utilizados neste trabalho, descreve e ilustra (Figura 1 e Figura 2) seu princípio de funcionamento da seguinte forma:

O gerador de radiofrequência (RF) aplica a energia de alta frequência na tocha de quartzo tri-concêntrica por meio de uma bobina de indução para gerar um campo eletromagnético oscilante de alta frequência; o argônio é purgado da camada externa do tubo de quartzo e carregado pela descarga de alta tensão, essas partículas carregadas reciprocam no campo eletromagnético de alta frequência e colidem com outros átomos de argônio para produzir mais partículas carregadas, finalmente gerando plasma de argônio (6000K ~ 8000K) com um aumento de temperatura. (Drawell International Technology Limited)

Figura 1 - Princípio de funcionamento para ICP-OES - Etapa inicial.

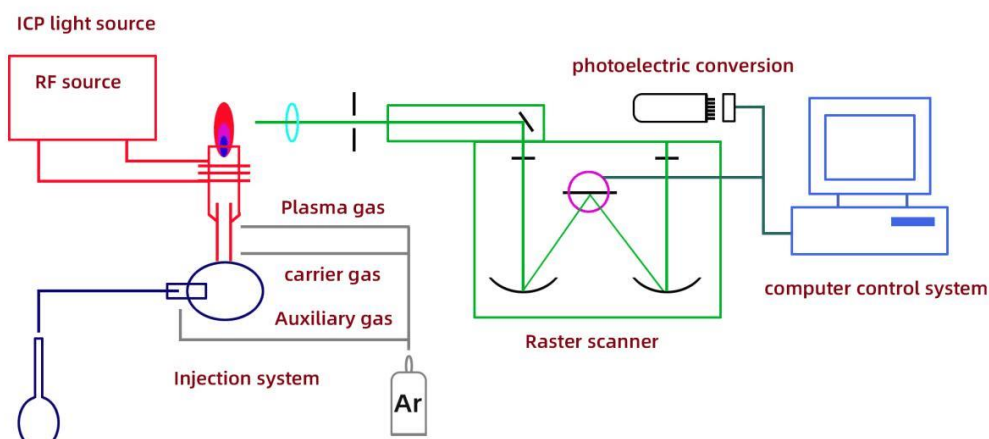


Fonte: Drawell International Technology Limited.

A fase final do processo de análise e visualização e interpretação dos resultados obtidos pelo método (ICP OES) se dá da seguinte forma:

O aerossol gerado pela amostra aquosa que passa pelo nebulizador excita as linhas características dos elementos sob alta temperatura ao entrar no canal central da tocha de quartzo, que é corretamente posicionado em relação aos pixels do detector CID usando uma fonte de plasma e um policromador para imagens espectroscópicas e transforma a intensidade espectral em sinal, transmite ao computador para processamento de dados e, finalmente, imprime o resultado. (Drawell International Technology Limited)

Figura 2 - Princípio de funcionamento para ICP-OES - Etapa final.



Fonte: Drawell International Technology Limited.

RESULTADOS

Os resultados presentes nos laudos demonstram que a maioria das variáveis analisadas nas amostras, especialmente os metais, está em conformidade com a legislação (Portaria GM/MS nº 888/2021), mas uma parcela significativa apresenta não conformidade, principalmente devido a indicadores de desinfecção (Quadro 1). Dos 34 laudos observados, 20 deles apresentaram não conformidades relacionadas à contaminação devido a presença de Coliformes Totais ou *Escherichia coli*.

Os principais motivos de não conformidade apontam para falhas recorrentes no sistema de tratamento ou distribuição. Isto sugere que a desinfecção (medida

pelo Cloro Residual) pode estar inadequada ou ineficiente, permitindo o crescimento ou a presença de bactérias (Coliformes Totais) e de contaminação fecal (*Escherichia coli*).

Quadro 1 - Sistematização dos resultados de não conformidade dos laudos de análise de água do SAA na comunidade da Biboca.

Ano	Resultados	Variáveis
2018	Não Conformidade	Coliformes Totais, <i>Escherichia coli</i>
2019	Não Conformidade	Coliformes Totais, <i>Escherichia coli</i>
2020	Não Conformidade	Cor Aparente, Ferro Total, Coliformes Totais
2021	Não Conformidade	Coliformes Totais
2022	Não Conformidade	Ferro Total, Manganês Total,
2023	Não Conformidade	Coliformes Totais, Cor Aparente, <i>Escherichia coli</i> , Ferro Total, Manganês Total
2024	Não Conformidade	Ferro Total, Manganês Total, Turbidez, Coliformes Totais, <i>Escherichia coli</i>
2025	Não Conformidade	Coliformes Totais, <i>Escherichia coli</i> , Ferro Total, Manganês total.

Por outro lado, os parâmetros microbiológicos, revelaram maior variabilidade temporal e maior relevância do ponto de vista sanitário para o caso estudado. Foram registradas não conformidades mais recorrentes para coliformes totais do que para *Escherichia coli*. Contudo, a presença dessas bactérias indica falhas no processo de desinfecção ou na integridade do sistema de abastecimento (CETESB, 2013). Esses resultados caracterizam um período de insegurança sanitária para a população local.

Esses resultados evidenciam que, embora o sistema não apresente contaminação microbiológica crônica, ele permanece vulnerável, o que é particularmente crítico em comunidades atingidas por desastres socioambientais, nas quais a confiança na qualidade da água já se encontra fragilizada (MORAES, 2018; CETESB, 2013; LACTEC, 2021).

Os resultados relativos aos metais, determinados por espectrometria de

emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES), indicaram que, ao longo de toda a série histórica, os elementos de maior relevância toxicológica — como arsênio, chumbo, cádmio, mercúrio, cromo, níquel, selênio, antimônio, bário e urânio, permaneceram abaixo dos Valores Máximos Permitidos (VMP) estabelecidos pela legislação brasileira para água destinada ao consumo humano (BRASIL, 2021).

Em algumas campanhas, especialmente nos laudos de algumas análises dos anos de 2020, 2022, 2023, 2024 e 2025, observaram-se concentrações elevadas de ferro e manganês (Quadro 1), ultrapassando os limites estabelecidos pela legislação, que corresponde a $0,3 \text{ mgL}^{-1}$ e $0,1 \text{ mgL}^{-1}$, respectivamente (BRASIL, 2021). Esses elementos são frequentemente encontrados em águas subterrâneas, especialmente em poços, em função da dissolução de minerais presentes nas formações geológicas, como carbonatos e óxidos metálicos. O ferro, geralmente presente nas formas ferrosa (Fe^{2+}) e férrica (Fe^{3+}), apesar de não ser considerado tóxico nas concentrações normalmente observadas em águas naturais, pode ocasionar diversos problemas no abastecimento público. Sua presença confere coloração amarelada a avermelhada, sabor metálico e odor desagradável à água, além de provocar manchas em roupas, louças e equipamentos sanitários (CETESB, 2013).

De forma semelhante, o manganês, quando presente em concentrações elevadas, também compromete a qualidade estética da água, causando coloração escura, sabor indesejável e manchas em tecidos e superfícies. É facilmente encontrado na natureza, embora as atividades antrópicas possam ser responsáveis por sua presença nas águas superficiais e subterrâneas (CETESB, 2013).

Embora ambos os elementos não sejam, em geral, associados a efeitos tóxicos agudos nas concentrações usualmente encontradas, sua presença acima dos limites recomendados representa um fator de rejeição da água pelo consumidor e pode implicar riscos à saúde em exposições prolongadas (CETESB, 2013).

CONCLUSÕES

As técnicas e métodos utilizados para análise de água para consumo humano demonstraram eficiência e compatibilidade com as exigências técnicas necessárias

para comparar os resultados obtidos com as diretrizes estabelecidas pela Portaria GM/MS nº 888/2021.

A análise integrada dos dados de monitoramento da qualidade da água subterrânea para consumo humano na comunidade da Biboca, no período de 2018 a 2025, permite concluir que não há evidências de contaminação crônica por metais pesados na água distribuída à população.

Entretanto, os registros de não conformidades microbiológicas revelam a existência de fragilidades operacionais no sistema de abastecimento de água. Tais fragilidades assumem maior relevância em um contexto do rompimento da barragem de Fundão, no qual a população atingida apresenta percepção ampliada de risco e insegurança hídrica.

Além dos aspectos técnico-sanitários, os resultados deste estudo reforçam a importância da dimensão comunicacional e participativa no processo de monitoramento ambiental. A ausência de devolutivas qualificadas, compreensíveis e sistemáticas à comunidade contribui para a manutenção de danos socioambientais imateriais, relacionados à desconfiança, ao medo e à ruptura da relação da população com o território e com as fontes de água.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade de Catalão pela oportunidade de formação acadêmica e pelo suporte institucional ao longo do curso de Especialização em Análises Químicas Ambientais. Expresso minha sincera gratidão à minha orientadora, Vanessa Nunes Alves, pela disponibilidade, pela compreensão quanto às minhas limitações de tempo, pela orientação técnica e direcionamentos para o desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para

consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, 2021.

BRASIL. TTAC - Termo de Transação e Ajustamento de Conduta: Caso rio Doce. 2016. Disponível: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/aceso-a-informacao/institucional/cif/arquivos/ttac/cif-ttac-completo.pdf>. Acesso: 12 de jan 2026.

BRANDÃO, M.L.L.; ROSAS, C.O.; MEDEIROS, V.M.; WARNKEN, M.B.; BRICIO, S.M.L.; SILVA, A.M.L.; AZEREDO, D.R.P. Comparação das técnicas do número mais provável (NMP) e de filtração em membrana na avaliação da qualidade microbiológica de água mineral natural. **Rev Inst Adolfo Lutz**. 2012; v.71, n. 32-9, 2012.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Apêndice D Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade. 2013. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguasinteriores>. Acesso: 12 de jan. de 2026.

FGV. Avaliação dos impactos e valoração dos danos socioeconômicos causados para as comunidades atingidas pelo rompimento da barragem de Fundão. 2021. Disponível: <https://www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv>. Acesso: 12 de jan 2026.

HARRIS, D.C.; LUCY, C.A **Análise Química Quantitativa**. 9. Ed. New York: LTC, 2016.

IBGE. Pesquisa nacional de saneamento básico 2017: abastecimento de água e esgotamento sanitário / IBGE, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Rio de Janeiro, 2020.

LACTEC. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce e região costeira adjacente. Tomo

I, II, III e IV. 2021. Disponível: <https://www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/relatorios-lactec/2021>. Acesso: 12 de jan 2026.

MORAES, A.A. Do doce ao amargo: percepções de ser atingido pelo desastre da Samarco no Município de São José do Goiabal – MG. 2018. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

PARRON, L.M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. 2011: Embrapa Florestas, 2011. ISSN 1980-3958; 219).

PEREIRA, L.A. **Desenvolvimento de Metodologias Espectrométricas para Determinação de Metais em Água, Sedimento e Peixe Empregando Suspensões e Solubilização Alcalina**. 2010. 139 f. Tese (Programa de pós-graduação em Ciências - Química). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

PETRY, C.F. **Determinação de elementos de traco em amostras ambientais por ICP-OES**. Dissertação (Programa de pós-graduação em química). 2005. 90 f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

RENOVA. Plano de monitoramento da qualidade da água para consumo humano – PMQACH – segunda revisão bianual. 2024. Disponível: https://www.saude.mg.gov.br/wp-content/uploads/2020/01/PMQACH_segunda-revisao-bianual_rev02-35c.pdf. Acesso: 12 de jan 2026.

SES/MG. Boletim Informativo: Qualidade da água para consumo humano em soluções alternativas de abastecimento em municípios atingidos pelo desastre da Vale S.A. em Brumadinho, Minas Gerais (2019-2022). Belo Horizonte, 2023. Disponível: https://aedasmg.org/wp-content/uploads/2023/11/boletim-informativo-brumadinho_2019-2022-1.pdf. Acesso: 12 de jan 2016.

SILVA, A.K.G. **Otimização da metodologia para análise de selênio em água subterrânea usando espectrometria de emissão ótica com fonte de plasma indutivamente acoplado com gerador de hidretos (HG ICP OES).** 2022. 103 f. Tese (Programa de pós-graduação em química – ppgq), Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2022.

SKOOG, Douglas A, HOLLER, F James; NIEMAN, Timothy A. **Principles of Instrumental Analysis.** Orlando : Harcourt Brace & Company, pp. 796-829. Vol. Fifth Edition, 1998.

VIEIRA, E.C. **Avaliação de potencialidades e aplicações de espectrômetros com plasma acoplado indutivamente em análises químicas.** 2007. 127 f. Tese (Programa de pós-graduação em química), Universidade de São Carlos, São Carlos, 2007.