

REMOÇÃO DE FERRO E MANGANÊS REDUZIDOS DO POÇO DA COMUNIDADE SANTA HELENA, PONTE NOVA - MG

Rondinely C Corrêa

RESUMO

O presente trabalho destaca os riscos à saúde pública do consumo de água não potável, incluindo doenças como gastroenterites, hepatite e complicações crônicas devido a metais pesados. A relevância do tratamento de água para consumo humano emergiu no século XIX, com avanços como coagulação, filtração e desinfecção. A água subterrânea surge como alternativa em regiões onde a água superficial é inviável, mas pode conter altos níveis de ferro e manganês reduzidos, exigindo tratamento específico.

O processo recomendado inclui pré-oxidação com tricloro e filtração com zeólita, que se mostra mais eficiente que carvão ativado na remoção de metais. O estudo foca no poço artesiano da comunidade rural de Santa Helena, Ponte Nova - MG, que apresenta altas concentrações de ferro e manganês. O objetivo é propor um sistema eficiente, sustentável e de fácil operação, assegurando água potável e segura. Os resultados obtidos validaram a eficácia do sistema de tratamento proposto, demonstrando sua capacidade de reduzir os níveis de ferro e manganês a concentrações adequadas aos padrões de potabilidade estabelecidos pelas normas vigentes, garantindo melhorias na qualidade de vida e infraestrutura local.

Palavras-chave: Água potável, água subterrânea, tratamento, qualidade de vida, saúde, sustentabilidade.

1 INTRODUÇÃO

O consumo de água não potável representa um risco significativo à saúde pública. A ingestão de água com contaminações microbiológicas ou químicas pode levar ao desenvolvimento de doenças como gastroenterites, hepatite e até mesmo doenças crônicas graves, como o câncer, devido à exposição contínua a metais pesados e contaminantes tóxicos (Silva et al., 2019). O tratamento de água para consumo humano começou a ganhar relevância no final do século XIX, especialmente após estudos que evidenciaram a relação entre a qualidade da água e a saúde pública, culminando na criação dos primeiros sistemas de tratamento de água em países como a Inglaterra e os Estados Unidos (Oliveira, 2015).

Entre os principais meios de tratamento de água, destacam-se a coagulação, floculação, filtração, desinfecção e o uso de adsorventes como carvão ativado para remover cheiro e gosto presentes na água, em decorrência de minerais ou dos processos utilizados para potabilidade. O tratamento é adaptado conforme a origem da água e as características locais, como clima, vegetação e geologia, que influenciam diretamente na qualidade da mesma. Em regiões de clima tropical, por exemplo, o regime de chuvas intensas pode aumentar a turbidez e a carga de matéria orgânica na água, o que exige maior atenção e adequação dos processos de tratamento (Gonçalves; Santos, 2020).

A utilização de água subterrânea se torna uma alternativa importante em regiões onde a captação de água superficial é inviável, devido à escassez de recursos hídricos ou a problemas de contaminação. Estudos mostram que águas subterrâneas, embora menos sujeitas a variações sazonais e poluentes superficiais, podem conter elevadas concentrações de minerais reduzidos, como ferro e manganês, que precisam ser tratados antes do consumo (Ferreira et al., 2021).

O tratamento de água subterrânea com alta concentração de ferro e manganês reduzidos requer um processo de pré-oxidação prévia, seguido de filtração. Durante a pré-oxidação, agentes como tricloro são adicionados para converter os metais à sua forma oxidada, facilitando a remoção por meio de filtros.

O uso de carvão ativado e zeólita em filtros é comum, mas estudos indicam que a zeólita é mais eficiente na remoção de ferro e manganês devido à sua estrutura porosa e propriedades de troca iônica, que favorecem a adsorção de cátions metálicos (Martins et al., 2022). Se a água rica em metais reduzidos passar pelo filtro sem a pré-oxidação, o cloro adicionado após a filtração pode não oxidar os metais de maneira eficaz. Isso resulta na formação de depósitos nos sistemas de distribuição e na turbidez da água (figura 7), prejudicando a eficiência do

sistema de filtração e elevando o risco de liberação de subprodutos prejudiciais à saúde (Fernandes, 2020).

A ingestão de ferro e manganês em concentrações elevadas podem trazer efeitos negativos à saúde, especialmente no sistema nervoso e no fígado, podendo também comprometer a função renal e afetar a absorção de outros nutrientes essenciais, como cálcio e zinco (Costa et al., 2021). Por essas razões, os parâmetros para a concentração desses metais são rigidamente controlados em padrões de potabilidade.

A motivação deste trabalho surge da importância de garantir água potável e segura para a comunidade rural de Santa Helena, minimizando os riscos de contaminação e melhorando a qualidade do abastecimento. Além disso, as práticas de tratamento desenvolvidas no trabalho têm como premissa a sustentabilidade.

O presente estudo apresenta os resultados obtidos com utilização de tricloro na pré-oxidação e substituição do carvão ativado pela zeólita no processo de filtração da água, na comunidade rural de Santa Helena, zona rural de Ponte Nova – MG. O poço artesiano que fornece água para comunidade, apresenta altas concentrações de ferro e manganês reduzidos, o que pode resultar em graves problemas de saúde e impactos negativos na infraestrutura local.

2 OBJETIVO GERAL

2.1 Objetivo geral

Apresentar solução viável para reduzir as concentrações de ferro e manganês reduzidos presentes em água subterrânea.

2.2 Objetivos específicos

- Desenvolver e apresentar uma metodologia eficiente e sustentável para a redução dos níveis de ferro e manganês na água extraída do poço artesiano que abastece a comunidade rural de Santa Helena, situada em Ponte Nova - MG.
- Propor um modelo de tratamento que seja de fácil operação e manutenção.

3 REVISÃO DA LITERATURA

A qualidade da água extraída de poços artesianos varia conforme a geologia e o tipo de aquífero. A água fornecida pelo poço da comunidade de Santa Helena, necessita de um tratamento adicional para remover contaminantes naturais, como ferro e manganês, que se

apresentam em concentrações elevadas. Esse tratamento visa garantir a potabilidade da água, protegendo a saúde dos consumidores (Silva et al., 2022).

A análise da qualidade da água deve ser feita periodicamente, considerando parâmetros microbiológicos e físico-químicos. Isso é fundamental para assegurar que a água esteja dentro dos padrões de potabilidade definidos pela legislação. Em regiões como a zona rural, onde o acesso ao tratamento é limitado, o controle de qualidade e a manutenção do poço tornam-se ainda mais críticos (Gomes & Castro, 2021).

3.1 Metais em sua forma reduzida

Metais em sua forma reduzida, como o ferro (Fe) e o manganês (Mn), são elementos comuns em águas subterrâneas, especialmente em áreas onde há condições ambientais que favorecem a sua dissolução e solubilização. Em sua forma reduzida, esses metais encontram-se em estados de baixa valência, permitindo que se dissolvam mais facilmente na água, o que influencia diretamente a qualidade da água para consumo humano e requer tratamentos específicos para garantir a potabilidade.

3.2 Metais em forma reduzida: estrutura e solubilidade

O ferro e o manganês dissolvidos em água subterrânea geralmente se encontram em estados de oxidação mais baixos, sendo Fe^{2+} (ferro ferroso) e Mn^{2+} (manganês manganoso) os mais comuns. Em condições reduzidas, caracterizadas pela ausência de oxigênio e pela presença de matéria orgânica que consome oxigênio disponível, esses metais permanecem em solução, pois não se oxidam para formas insolúveis como Fe^{3+} e Mn^{4+} (Silva & Ribeiro, 2021). Essa condição química é favorecida pela ausência de oxigênio, pelo pH baixo e pela presença de matéria orgânica que ativa processos biológicos que facilitam a redução dos metais (Souza et al., 2020).

Esses íons em suas formas reduzidas (Fe^{2+} e Mn^{2+}) formam complexos aquosos ao se ligarem com moléculas de água (H_2O) ou de íons de cloro (Cl^-), hidroxila (OH^-) e outros ânions presentes no ambiente subterrâneo. Essas interações químicas mantêm os metais em solução, tornando-os estáveis e, portanto, transportáveis na água subterrânea (Gomes & Castro, 2022).

3.3 Processos de dissolução de ferro e manganês na água subterrânea

Os processos de dissolução de ferro e manganês ocorrem principalmente devido a reações redox (redução-oxidação) em ambientes anaeróbicos, comuns em aquíferos profundos e sedimentos ricos em matéria orgânica. Quando o solo ou a rocha porosa contém minerais ricos

em ferro e manganês, como pirita (FeS_2) ou dolomita, esses metais podem ser liberados na água por meio de reações de dissolução. Essa liberação é intensificada em áreas de alta acidez ou baixo oxigênio, pois essas condições impedem que os metais sejam oxidados e precipitem como óxidos insolúveis (Almeida, 2023).

A reação de dissolução do ferro, por exemplo, pode ser expressa como: $\text{Fe}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+$. Esse processo libera íons hidrogênio (H^+), que reduzem o pH da água, aumentando a solubilidade de outros metais. De forma similar, o manganês pode dissolver-se na água na forma de Mn^{2+} , com reações influenciadas por características químicas locais e condições de pH. De acordo com Cunha et al. (2021), a atividade bacteriana é uma das principais causas de altas concentrações de ferro e manganês em ambientes aquáticos subterrâneos.

3.4 Níveis aceitáveis de ferro e manganês para consumo humano

A ingestão de água com altas concentrações de ferro e manganês pode ter efeitos adversos à saúde e alterar as características organolépticas da água, como cor, odor e sabor. O Ministério da Saúde brasileiro, por meio da Portaria de Consolidação nº 5, de 2017, estabelece valores máximos para a concentração de ferro e manganês em água potável. De acordo com essa normativa, o limite para o ferro dissolvido é de 0,3 mg/L e para o manganês, 0,1 mg/L (Brasil, 2017). Esses limites visam garantir a segurança da água para consumo e evitar problemas como o acúmulo de resíduos metálicos nos sistemas de distribuição.

Os níveis aceitáveis para consumo humano são baseados em estudos toxicológicos que indicam que concentrações superiores podem causar problemas de saúde, como efeitos neurológicos no caso do manganês e distúrbios gastrointestinais com o ferro (Gomes et al., 2020). Além disso, concentrações elevadas desses metais promovem a formação de depósitos nos encanamentos e podem reduzir a eficiência de equipamentos de tratamento.

3.5 Pré-oxidação

O processo de pré-oxidação é uma etapa fundamental no tratamento de águas subterrâneas ricas em ferro e manganês, com o objetivo de transformar esses metais dissolvidos em formas insolúveis, facilitando sua remoção. Esse processo é necessário porque o ferro e o manganês geralmente estão presentes na água subterrânea em estados de oxidação mais baixos (Fe^{2+} e Mn^{2+}), formas solúveis em água e, portanto, difíceis de remover por métodos convencionais de filtração. A oxidação converte esses íons metálicos em Fe^{3+} e Mn^{4+} , estados nos quais eles formam precipitados insolúveis, permitindo sua separação da água.

3.5.1 *Princípio da pré-oxidação*

A pré-oxidação é baseada na introdução de um agente oxidante, que reage com os íons de ferro e manganês, alterando seu estado de oxidação e promovendo sua precipitação. Segundo Mendes e Silva (2021), os agentes oxidantes mais comuns incluem cloro, permanganato de potássio, ozônio e oxigênio. A escolha do agente oxidante depende de vários fatores, como a concentração de ferro e manganês, o pH da água, a presença de matéria orgânica e o custo operacional.

3.6 **Filtração da água**

A utilização de zeólita como material filtrante em sistemas de tratamento de água é essencial para a remoção de impurezas, especialmente quando se trata de ferro e manganês em sua forma reduzida (Fe^{2+} e Mn^{2+}). Esses metais, comuns em águas subterrâneas, precisam ser removidos para adequação aos padrões de potabilidade e para evitar problemas de coloração, gosto e eventuais riscos à saúde humana (Almeida et al., 2021).

3.6.1 *Zeólita*

A zeólita é um mineral aluminossilicato natural ou sintético, altamente valorizado no tratamento de água devido à sua capacidade de troca iônica. Esse material tem uma estrutura cristalina altamente porosa, o que permite a adsorção seletiva de íons metálicos, incluindo ferro e manganês em suas formas reduzidas (Fe^{2+} e Mn^{2+}) (Cunha & Oliveira, 2022). Em baixas concentrações de ferro e manganês, a zeólita permite a remoção destes metais sem a necessidade de pré-oxidação.

A zeólita age trocando seus cátions de sódio, cálcio ou potássio com os íons metálicos presentes na água, retendo o ferro e o manganês em sua estrutura e permitindo a saída de água purificada (figura 8). Além disso, sua alta capacidade de adsorção permite que ela seja altamente eficaz na remoção desses metais, alcançando concentrações residuais muito baixas. A vida útil da zeólita em sistemas de tratamento de água pode variar, mas é estimada em até 5 anos, dependendo do volume de água tratada e das concentrações de ferro e manganês. Quando sua capacidade de troca é esgotada, a zeólita pode ser regenerada com o uso de uma solução salina, o que a torna um meio filtrante econômico a longo prazo (Santos & Ferreira, 2023).

Ao contrário da areia e do carvão ativado, que precisam ser substituídos regularmente, a zeólita pode ser regenerada com soluções de sal, estendendo sua vida útil e reduzindo o custo de reposição (Cunha & Oliveira, 2022).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Instalação de um dosador de cloro automático para pré-oxidação

Para realizar a pré-oxidação dos íons de ferro (Fe^{2+}) e manganês (Mn^{2+}) presentes na água bruta, foi instalado um dosador de cloro automático (figura 1) entre o poço artesiano e o filtro (figura 3). Esse dosador utiliza pastilhas de tricloro (tricloroisocianurato de sódio), conforme figura 2, devido à sua alta concentração de cloro ativo, que garante uma rápida oxidação dos metais dissolvidos. O objetivo dessa etapa é transformar os íons Fe^{2+} e Mn^{2+} em suas formas insolúveis, facilitando a remoção no processo de filtração subsequente.

O dosador automático permite o ajuste preciso da dosagem de tricloro de acordo com as necessidades da água captada, considerando variações nas concentrações de ferro e manganês. Essa dosagem é monitorada e ajustada conforme as análises diárias de eficiência da oxidação, garantindo que a quantidade de cloro residual esteja dentro dos limites apropriados para uma oxidação completa dos metais, sem gerar excesso de cloro.

Figura 1 – Dosador de cloro utilizado na pré-oxidação da água do poço artesiano da comunidade Santa Helena



Fonte – O autor (2024)

Figura 2 - Pastilhas de tricloro utilizadas na pré-oxidação da água do poço artesiano da comunidade Santa Helena



Fonte – O autor (2024)

4.2 Substituição do carvão ativado por zeólita como elemento filtrante

Dado que o carvão ativado (figura 5) se mostrou ineficaz na retenção de ferro e manganês dissolvidos em sua forma reduzida, ele foi substituído por zeólita (figura 4) como meio filtrante principal. A zeólita (figura 6) foi escolhida por sua alta capacidade de troca iônica, permitindo a adsorção direta de íons de ferro e manganês, mesmo sem oxidação prévia. No entanto, a etapa de pré-oxidação com tricloro foi mantida para garantir uma remoção mais eficiente e ampliar a capacidade de tratamento.

A zeólita oferece uma vantagem importante: sua estrutura porosa e elevada capacidade de troca permitem uma filtração mais eficaz e duradoura. Com o uso da zeólita, o sistema passou a necessitar de uma retrolavagem diária para evitar o acúmulo de partículas oxidadas de ferro e manganês, prolongando a vida útil do material filtrante e mantendo a eficiência do sistema.

Figura 3 – Filtro utilizado no tratamento da água fornecida à comunidade Santa Helena



Fonte – O autor (2024)

Figura 4 – Colaboradores do DMAES realizando a substituição do carvão ativado por zeólita



Fonte: Departamento municipal de água, esgoto e saneamento – DMAES

Figura 5 – Amostra de carvão ativado retirado do filtro da comunidade Santa Helena



Fonte – Autor (2024)

Figura 6 - Zeólita utilizada para filtrar a água fornecida à comunidade Santa Helena



Fonte – O autor (2024)

Figura 7 – Desprendimento de ferro e manganês acumulado no interior da rede de abastecimento após restabelecimento do fornecimento de água antes da substituição do carvão ativado por zeólita



Fonte - O autor (2024)

Figura 8 - Água tratada após a substituição do carvão ativado por zeólita



Fonte - O autor (2024)

4.3 Retrolavagem diária no filtro de zeólita

Para manter a eficiência do filtro e evitar o acúmulo de precipitados de ferro e manganês, foi estabelecida a prática de retrolavagem diária no filtro de zeólita. O processo de retrolavagem envolve a inversão do fluxo de água através do leito de zeólita, liberando e removendo as partículas e sedimentos acumulados (figura 9). Durante a operação normal do filtro, a água flui de cima para baixo, onde as impurezas ficam retidas na superfície e nos poros da zeólita, na retrolavagem o fluxo é revertido, fazendo com que a água passe de baixo para cima, expandindo o leito de zeólita e soltando as partículas presas. Este fluxo inverso arrasta as partículas e as transporta para fora do sistema através de uma linha de drenagem. A retrolavagem previne o entupimento e assegura que a capacidade de troca iônica do material seja preservada. Este procedimento é essencial para prolongar a vida útil do leito filtrante e assegurar a consistência no tratamento da água. A frequência da retrolavagem é ajustada conforme a demanda e a concentração de impurezas, mantendo-se uma rotina diária como padrão mínimo.

Figura 9 – Água com impurezas resultantes do processo de retrolavagem



Fonte - O autor (2024)

4.4 Monitoramento diário dos níveis de tricloro

É coletada uma amostra de água para avaliar os níveis de cloro presentes. A primeira análise é realizada no local (figura 10), adicionando uma pastilha DPD (Diethyl-p-Phenylenediamine) em um tubo de ensaio com água coletada do sistema. O DPD reage com o cloro presente na água fazendo com que a mesma fique vermelha. Através de comparativos é possível avaliar, de forma visual, a concentração de cloro na água. Adicionalmente, amostras são enviadas para testes laboratoriais periódicos, que confirmam os dados coletados no local e possibilitam ajustes precisos na dosagem de tricloro, conforme necessário.

Figura 10 - Equipamento utilizado para analisar o teor de cloro



Fonte - O autor (2024)

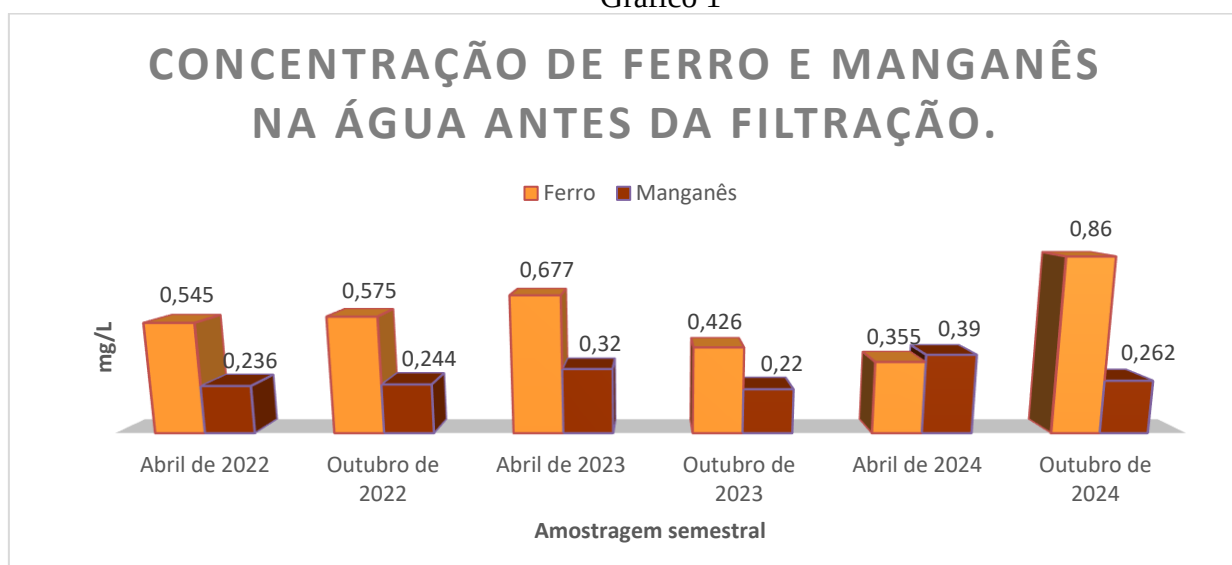
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização da zeólita no tratamento de água tem se mostrado altamente eficaz, especialmente em sistemas com presença elevada de metais como ferro e manganês. Segundo Miranda et al. (2020), a zeólita supera o desempenho de outros materiais, como carvão ativado, por sua maior seletividade e capacidade regenerativa, o que torna o processo mais sustentável e econômico. Estudos de Santos e Almeida (2018) destacam a eficiência da zeólita na remoção de ferro e manganês de águas subterrâneas em sistemas de abastecimento rural. Os resultados indicaram uma redução de até 95% de ferro e 88% de manganês, tornando a água potável e adequada aos padrões da legislação brasileira.

Além disso, Segundo Metcalf & Eddy (2014), a zeólita é capaz de ser regenerada com soluções salinas, aumentando sua durabilidade e sustentabilidade. Isso a torna ideal para comunidades rurais, onde a manutenção e os custos operacionais precisam ser minimizados.

O gráfico 1, apresenta as concentrações de ferro e manganês na água extraída do poço artesiano antes do processo de filtração:

Gráfico 1

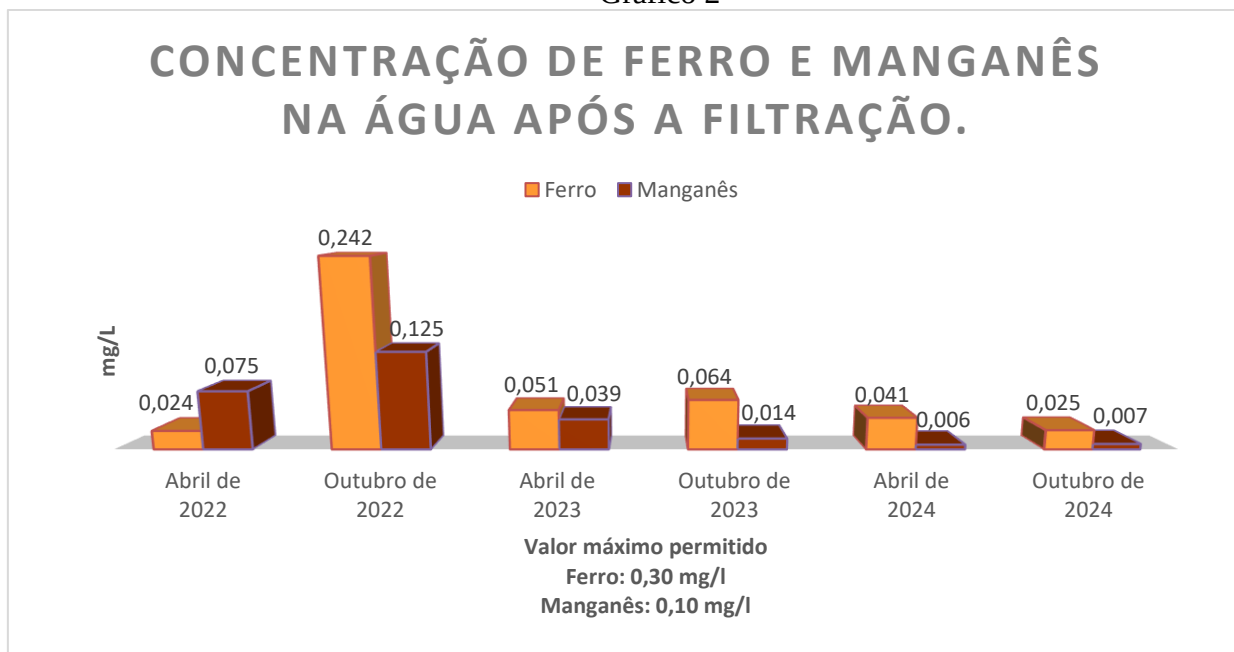


Fonte: Departamento municipal de água, esgoto e saneamento – DMAES

O gráfico 2, apresenta as concentrações de ferro e manganês na água extraída do poço artesiano após o processo de filtração. Santos et al. (2019) relatam que, após a remoção de metais pesados como ferro e manganês, a zeólita pode ficar saturada com esses íons, o que pode levar a uma diminuição de sua eficiência adsorvente. Também previne o crescimento de microrganismos, como bactérias e fungos, etc. Sendo assim, a retrolavagem diária no filtro é

indispensável. Nos dois primeiros períodos da amostra, era utilizado Carvão ativado, em seguida foi realizada a substituição por Zeólita:

Gráfico 2



Fonte: Departamento municipal de água, esgoto e saneamento – DMAES

6 CONCLUSÃO

A elevada concentração de ferro e manganês presentes na água do poço artesiano que abastece a comunidade Santa Helena, localizada na zona rural de Ponte Nova MG, representou um desafio para garantir a potabilidade e segurança para o consumo humano.

Os resultados obtidos validaram a eficácia do sistema de tratamento proposto, demonstrando sua capacidade de reduzir os níveis de ferro e manganês a concentrações adequadas aos padrões de potabilidade estabelecidos pelas normas vigentes. Dessa forma, conclui-se que o objetivo principal foi alcançado de maneira satisfatória, proporcionando à comunidade de Santa Helena uma solução prática, eficiente e sustentável para o abastecimento com água de qualidade. Assim, o estudo contribui não apenas para a melhoria da qualidade de vida local, mas também serve como modelo replicável para outras localidades que enfrentam problemas similares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, R. (2023). Reações químicas e solubilidade de metais em águas subterrâneas: Estudo de casos e parâmetros. *Ciência Ambiental*, 14(1), 80-91.

Almeida, R., Mendes, F., & Silva, P. (2021). Materiais filtrantes em sistemas de tratamento de águas subterrâneas. *Revista de Engenharia Ambiental*, 10(1), 45-58.

Almeida, R., Mendes, F., & Silva, P. (2023). Tecnologias de pré-oxidação para o tratamento de metais em águas subterrâneas. *Engenharia de Tratamento de Água*, 12(1), 45-58.

Brasil, Ministério da Saúde. (2017). Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde.

Carvalho, A. P., & Lima, J. V. (2017). Desinfecção e tratamentos oxidativos para águas de abastecimento. Editora XYZ.

Costa, M. S., Almeida, L. R., & Souza, H. A. (2021). Impacto da ingestão de metais pesados no organismo humano. *Revista Brasileira de Saúde Pública*, 30(2), 150-159.

Cunha, A., Santos, L., & Oliveira, J. (2021). Microbiologia ambiental e suas interações com metais em águas subterrâneas. *Engenharia Ambiental*, 9(2), 140-151.

Cunha, A. & Oliveira, J. S. (2021). Práticas e desafios na pré-oxidação e filtração de ferro e manganês em água subterrânea. *Revista Brasileira de Engenharia Ambiental*, 8(3), 90-105.

Cunha, A. & Oliveira, J. S. (2022). Aplicações da zeólita no tratamento de metais dissolvidos em águas subterrâneas. *Revista Brasileira de Engenharia e Ciências Ambientais*, 12(2), 90-105.

Fernandes, R. (2020). Tratamento de água subterrânea com alta concentração de ferro e manganês: desafios e soluções. Universidade Estadual de Campinas.

Ferreira, T., Nascimento, R. A., & Oliveira, J. (2021). Águas subterrâneas como alternativa de abastecimento: vantagens e desafios no contexto brasileiro. *Revista de Geociências*, 45(4), 234-241.

Gomes, M., Silva, A. & Santos, E. (2020). Impacto dos metais dissolvidos em águas subterrâneas e saúde humana: Revisão e análise normativa. *Saúde Ambiental*, 12(3), 200-215.

Martins, L. C., da Silva, M. A., & Moura, E. (2022). Comparativo entre carvão ativado e zeólita no tratamento de águas subterrâneas com ferro e manganês. *Revista Brasileira de Engenharia Ambiental*, 15(1), 45-55.

Mendes, F. & Silva, A. R. (2021). A eficiência dos processos de oxidação no tratamento de águas com altas concentrações de ferro e manganês. *Revista de Ciências Hidrobiológicas*, 10(2), 60-72.

Oliveira, L. & Santos, F. (2020). Filtração de ferro e manganês em águas subterrâneas: Um estudo comparativo dos meios filtrantes. *Revista de Hidráulica e Qualidade da Água*, 8(4), 50-72.

Ribeiro, C. R. (2018). Estudos comparativos entre diferentes agentes oxidantes para tratamento de águas contaminadas. *Ciência e Tecnologia em Água*, 20(2), 95-104.

Santos, J. & Ferreira, G. (2023). Eficiência da zeólita na remoção de metais em águas subterrâneas e sua regeneração. *Revista de Tecnologia e Meio Ambiente*, 14(2), 58-68.

Silva, A. & Almeida, P. (2023). Uso de carvão ativado no tratamento de águas: Benefícios e desafios. *Engenharia Ambiental*, 18(1), 120-132.

Silva, A. & Ribeiro, J. (2021). Condicionantes geoquímicos na qualidade da água subterrânea: Uma abordagem sobre metais dissolvidos. *Engenharia Hídrica*, 15(2), 120-132.

Silva, A. & Ribeiro, J. (2022). Condicionantes geoquímicos e tratamento de metais dissolvidos em águas subterrâneas. *Engenharia Hídrica*, 15(2), 120-132.

Silva, A., Souza, J., & Almeida, R. (2022). Impactos e técnicas de tratamento de ferro e manganês em águas subterrâneas. *Engenharia Ambiental*, 15(3), 180-195.

Silva, M. E., Campos, J. L., & Araújo, S. H. (2019). Impactos do consumo de água não potável e suas implicações para a saúde pública. *Revista de Saúde Coletiva*, 10(4), 512-520.

Souza, R. T., Lima, P., & Almeida, R. (2020). A presença de metais em condições reduzidas em aquíferos subterrâneos. *Revista Brasileira de Hidrologia*, 10(1), 60-72

Miranda, R. S., Silva, L. P., & Oliveira, T. C. (2020). "Uso de zeólitas no tratamento de águas subterrâneas contendo ferro e manganês." *Revista Brasileira de Engenharia Ambiental*, 24(3), 56-72.

Santos, A. F., & Almeida, G. H. (2018). "Eficiência de zeólitas na remoção de metais pesados em águas subterrâneas." *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 23(2), 115-123.

Metcalf & Eddy (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 5ª ed. New York: McGraw-Hill.

Santos, F., Almeida, G., & Oliveira, C. (2019). "Avaliação da eficácia da zeólita clinoptilolita na remoção de ferro e manganês." *Revista de Engenharia e Gestão Ambiental*, 25(4), 142-153.