

## I-1027 - SISTEMA DE FILTRAÇÃO COM QUARTZO MODIFICADO PARA REMOÇÃO DE MANGANÊS: UM ESTUDO DE CASO

### Júlia Rodrigues Neves<sup>(1)</sup>

Assistente de Saneamento e Gestão (Técnica em Saneamento) da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). Bacharela em Ciências Biológicas/Ambientais e Mestra em Oceanografia (UFPE).

### Romero Correia Freire

Mestrando em Gestão Ambiental (IFPE), Químico (UFPE), Biólogo (UPE) e Tecnólogo em Tecnologia em Gestão Ambiental (IFPE). Especialista em Saúde Pública (UPE), no Ensino de Ciências (UPE), em Vigilância e Saúde Ambiental (UFRJ), em Elaboração e Gerenciamento de Projetos para a Gestão Municipal de Recursos Hídricos (IFCE/ANA).

### Valderice Pereira Alves Baydum

Doutora em Engenharia Química (UFPE). Professora Assistente pela Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP). Analista de Saneamento em Química na Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Cruz Cabugá, 1387, Santo Amaro – Recife/PE - CEP: 50040-905 - Brasil - Tel: (81) 3412-9753 - e-mail: [julianeves@compesa.com.br](mailto:julianeves@compesa.com.br)

## RESUMO

A presença do manganês nas águas brutas que serão tratadas para consumo humano pode representar dificuldades para a manutenção da qualidade da água. A remoção do elemento pode ser difícil e quando não ocorre de forma satisfatória, pode conferir cor, odor e sabor à água, dificultando a aceitabilidade e prejudicando a confiança da população sobre os serviços de saneamento prestados. Águas subterrâneas que costumam apresentar valores baixos de oxigênio dissolvido costumam apresentar manganês na forma dissolvida, sendo uma dificuldade ainda maior para o tratamento que pode exigir métodos envolvendo oxidação para formação do precipitado, seguido de sedimentação e/ou filtração, sendo meios filtrantes com poder de adsorção valorizados nos processos de remoção. Diante disso, o presente trabalho buscou avaliar, através de um estudo de caso, a eficiência de uma Estação de Tratamento de Água Piloto (ETA Piloto), com oxidação, sedimentação e filtro de quartzo modificado quimicamente, para o tratamento de águas subterrâneas de bateria de poços com histórico de manganês e cor elevados. Os principais parâmetros analisados foram manganês e ferro totais, cor aparente e turbidez. As principais remoções no tratamento piloto ocorreram para cor e manganês que foram enquadrados ao VMP na saída da ETA Piloto. São oferecidas recomendações para adaptar a ETA Piloto às realidades operacionais de modo a otimizar os processos de tratamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Águas Subterrâneas, Cor Elevada, Poço, Manganês Solúvel.

## INTRODUÇÃO

O manganês é um metal que ocorre naturalmente nos mananciais de água e pode se apresentar em excesso principalmente em condições de ausência de oxigênio dissolvido, como em águas subterrâneas (Brasil, 2014) que têm uso amplamente disseminado no Brasil, em atividades diversas como agricultura, pecuária e abastecimento para uso doméstico e industrial (Hirata et al., 2019).

O Valor Máximo Permitido (VMP) do manganês na água potável é baseado no padrão organoléptico. Quando acima de 0,1 mg/L (VMP), o manganês pode provocar coloração na água e afetar a aceitação para consumo humano, fazendo com que o elemento seja de grande importância na definição de prioridades para confiabilidade pública (WHO, 2017). Os principais inconvenientes do excesso de manganês envolvem questões sensoriais e estéticas como sabor desagradável, manchas em roupas e vasos sanitários (Brasil, 2014; WHO, 2017). Em relação à saúde, a concentração de manganês na água com potencial de causar efeitos adversos à saúde humana é bem superior ao padrão organoléptico (VMP), portanto a presença do metal não é preocupante nos níveis de aceitabilidade (WHO, 2017).

Quando o manganês se apresenta acima do VPM, importante atentar ao método de tratamento da água para adequada remoção do elemento. Quando o tratamento não é satisfatório, o metal pode passar pela estação de tratamento de água na forma quimicamente reduzida (solúvel) e precipitar-se, através de oxidação química, na rede de distribuição (Brasil, 2014), onde existem menos barreiras para minimizar os efeitos indesejáveis decorrentes do excesso de manganês.

O processo de tratamento para águas subterrâneas pode envolver apenas adição de desinfetante, porém, a depender da concentração de manganês, exige métodos envolvendo oxidação e remoção do precipitado formado (Di Bernardo et al. 2003; Brasil, 2017). Para filtração, pode-se utilizar meio filtrante constituído de zeólita devido à alta capacidade de adsorção do manganês, alta seletividade dos íons de manganês, facilidade de retrolavagem devido à baixa densidade e menor perda de carga devido à alta porosidade (Brasil, 2017). Para definir a melhor configuração de tratamento, importante estudos que busquem avaliar a melhor tecnologia em função da concentração de manganês (Moruzzi e Reali, 2012).

## OBJETIVO

O estudo de caso buscou avaliar a eficiência de uma Estação de Tratamento de Água Piloto (ETA Piloto) para o tratamento de águas subterrâneas de bateria de poços com valores elevados de manganês. A ETA Piloto foi projetada para tratar 1 L/s, sendo composta por etapas de oxidação, sedimentação e filtro pressurizado com material filtrante composto por quartzo modificado quimicamente com benefícios semelhantes à zeólita. Foram observados também os parâmetros cor, turbidez e ferro a fim de verificar remoção dos parâmetros entrada x saída do piloto e enquadramento ao Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017 (alterada pela Portaria GM/MS nº 888/2021).

O desenvolvimento desse trabalho é fruto de cooperação técnica entre a COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento) e a Nordestehidro (BRASILHIDRO Saneamento Ambiental LTDA).

## MATERIAIS E MÉTODOS

A ETA Piloto foi projetada para ser testada em Estação Elevatória de Água Tratada (EEAT) localizada em Goiana – PE. A EEAT recebe água subterrânea de quatro poços localizados nas proximidades, que se reúnem em poço de sucção onde ocorre cloração através da adição de cloro gás. Os poços são denominados de 1 a 4, e possuem vazões entre 15 e 24 L/s; a EEAT possui vazão de saída de aproximadamente 70 L/s.

A água distribuída pela EEAT recebia reclamações sobre coloração amarelada. O histórico individual dos poços (2016-2020) para manganês (total), ferro (total), cor aparente e turbidez evidenciava que o principal parâmetro acima do Valor Máximo Permitido (VMP) era o manganês, com valores até 0,2 mg/L (VMP = 0,1 mg/L).

Diante do problema de qualidade observado, uma parceria técnica entre empresa de soluções para tratamento de água (Nordestehidro – BRASILHIDRO Saneamento Ambiental LTDA) e companhia estadual de saneamento (COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento) foi firmada para avaliar uma ETA Piloto para vazão de 1 L/s, com finalidade de corrigir os parâmetros: ferro, manganês, pH, cloro residual e turbidez. A ETA Piloto foi estruturada da seguinte forma:

- 1 tanque de oxidação com aplicação de dicloro e aeração; nesse tanque também ocorre aplicação de soda cáustica para correção de pH;
- 1 tanque para sedimentação; e
- 1 filtro pressurizado com meio filtrante de quartzo modificado quimicamente.

A avaliação da ETA Piloto ocorreu entre maio e novembro de 2021. As principais análises para avaliar a eficiência da ETA Piloto foram manganês (total), ferro (total), cor aparente e turbidez. As coletas foram realizadas nos seguintes pontos:

- Entrada da ETA Piloto (água clorada, equivale ao poço de sucção, saída da EEAT);
- Tanque de sedimentação da ETA Piloto;
- Saída da ETA Piloto (água tratada pós-filtro).

As análises e os equipamentos utilizados para acompanhamento da qualidade são apresentados na Tabela 1. Para verificar a eficiência da ETA Piloto foram plotados gráficos e tabelas com os resultados de acompanhamento da qualidade, buscando-se verificar o percentual de remoção (entrada x saída piloto) e atendimento aos VMPs da água potável para manganês (0,1 mg/L), ferro (0,3 mg/L), cor (15 uH) e turbidez (0,5 uT pós-filtração).

**Tabela 1: Análises e equipamentos utilizados para acompanhamento da qualidade da água.**

Análise	Equipamento
Manganês e Ferro (totais)	ICP – Espectro de emissão de plasma e Kits colorimétricos
Manganês solúvel	Amostra filtrada (0,45 µm) + Kit colorimétrico
Cor aparente	Espectrofotômetro; Colorímetro digital
Turbidez	Turbidímetro
Coliformes totais e <i>Escherichia coli</i>	Substrato enzimático
Cloro residual	Kit colorimétrico
pH	Kit colorimétrico

## RESULTADOS OBTIDOS

A ETA Piloto apresentou redução de todos os parâmetros analisados: manganês total, ferro total, cor aparente e turbidez. O percentual de remoção de manganês e ferro na ETA Piloto não pode ser verificado devido à leitura das análises em faixas de valores.

Para manganês (Tabela 2), a Entrada da ETA Piloto apresentou valores acima do VMP apenas nos dias 19/05/21 e 21/07/21; a Saída da ETA Piloto esteve sempre abaixo do VMP, sendo o maior valor registrado <0,1 mg/L, em 21/10/21. Como a análise de manganês avaliava o elemento total e era o parâmetro de maior preocupação histórica, foram realizadas algumas análises de manganês solúvel, sendo identificado que na Entrada da ETA Piloto a maior parte do manganês era solúvel; no Tanque de Sedimentação, após oxidação e correção do pH, a maior parte do manganês era insolúvel (precipitado). A análise de pH evidenciou que na Entrada da ETA Piloto (poço de sucção/saída EEAT), o pH era de 7,5; no Tanque de Sedimentação 8,4.

Para ferro (Tabela 3), tanto Entrada quanto Saída da ETA Piloto apresentaram valores abaixo do VMP, sendo 0,2 mg/L o máximo registrado na Entrada da ETA Piloto.

**Tabela 2: Manganês total (mg/L) da ETA Piloto – Entrada, Tanque de Sedimentação e Saída. NA = Não analisado. VPM = 0,1 mg/L.**

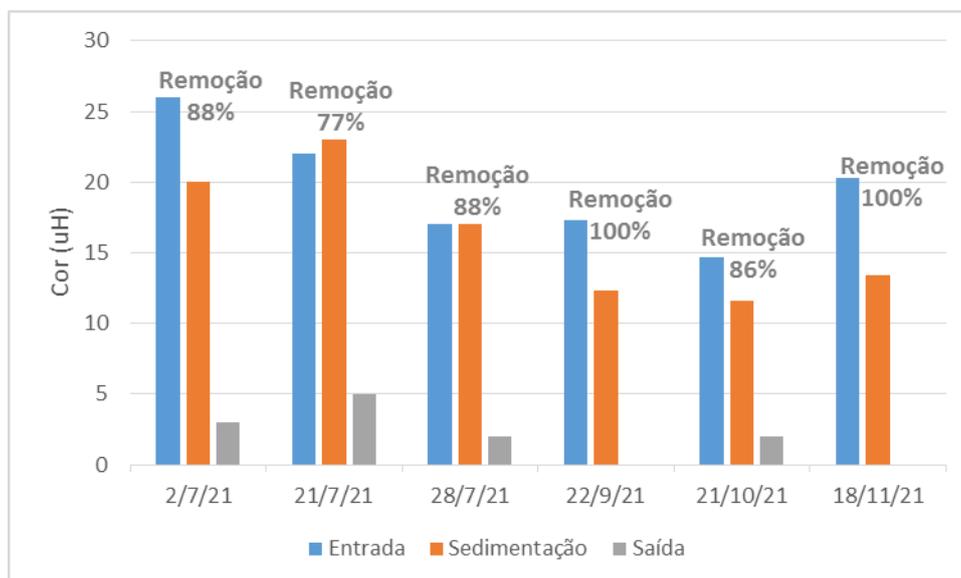
Manganês	Entrada	Sediment.	Saída
07/05/2021	0,1	NA	<0,03
19/05/2021	0,15	0,15	<0,03
26/05/2021	0,06	0,06	<0,03
02/07/2021	0,08	0,06	<0,02
07/07/2021	0,06	0,2	<0,03
21/07/2021	0,15	0,06	<0,03
28/07/2021	0,03	0,06	<0,03
22/09/2021	0,09	0,09	<0,02
21/10/2021	<0,1	<0,1	<0,1
18/11/2021	0,09	0,09	<0,02

**Tabela 3: Ferro total (mg/L) da ETA Piloto – Entrada, Tanque de Sedimentação e Saída. VMP = 0,3 mg/L.**

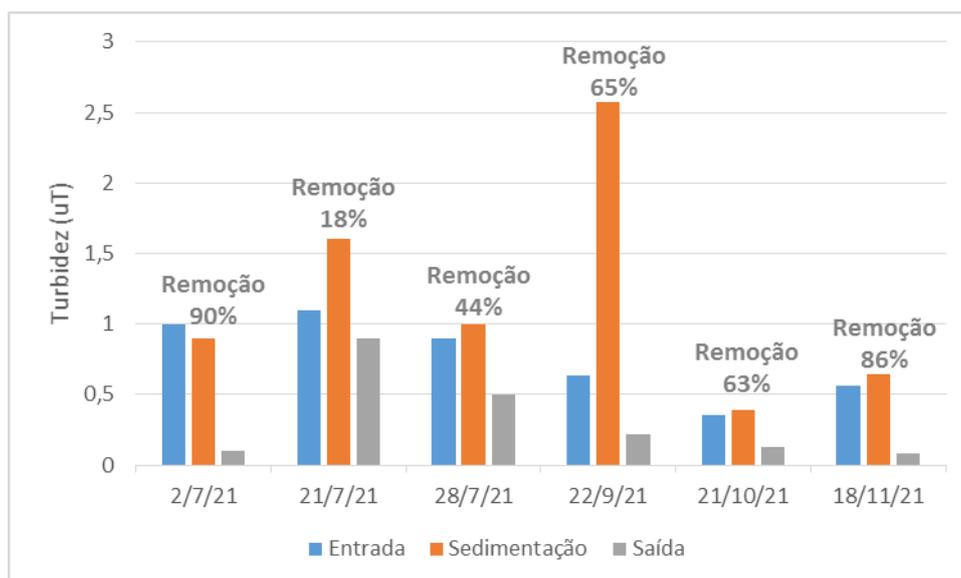
Ferro	Entrada	Sediment.	Saída
02/07/2021	<0,1	<0,1	<0,1
07/07/2021	0,2	0,2	<0,2
21/07/2021	<0,2	<0,2	<0,2
28/07/2021	0,2	0,2	<0,2
22/09/2021	<0,1	<0,1	<0,1
21/10/2021	<0,1	<0,1	<0,1
18/11/2021	<0,1	<0,1	<0,1

A remoção de cor variou entre 77% e 100% (Figura 1); nos dias 22/09 e 18/11/21, os valores não aparecem no gráfico por representarem 0,0 uH, ou seja, 100% de remoção. A cor na Entrada da ETA Piloto se manteve quase sempre acima do VMP. Já na Saída, houve sempre o enquadramento pós-filtro, com valores de cor abaixo de 5 uH.

O percentual de remoção de turbidez variou entre 18% e 90% (Figura 2). A Entrada da ETA oscilou entre 0,35 e 1,1 uT, estando acima do VMP apenas dia 21/07/21, quando acima de 1,0 uT (VMP para águas subterrâneas pós-desinfecção = 1,0 uT). Já a Saída da ETA Piloto, apresentou turbidez entre 0,08 e 0,9 uT, estando acima do VMP (VMP pós filtração rápida = 0,5 uT) dia 21/07/21, mesmo dia que apresentou o menor percentual de remoção.



**Figura 1: Cor da ETA Piloto – Entrada, Tanque de Sedimentação e Saída, e percentual de remoção. VMP = 15 uH.**



**Figura 2: Turbidez da ETA Piloto – Entrada, Tanque de Sedimentação e Saída, e percentual de remoção. VMP = 0,5 uT pós-filtração rápida.**

Como complemento ao estudo, foram realizadas análises para bacteriologia no dia 02/07/21 na Saída da ETA Piloto, e nas saídas da EEAT. Em todos os pontos analisados, o resultado foi ausência para Coliformes Totais e *Escherichia coli*. Também foram realizadas algumas análises para verificar o cloro residual na saída da ETA Piloto, sendo registrados valores satisfatórios entre 2,2 e 3,5 mg/L. O cloro residual da EEAT é monitorado na rede de distribuição e quando necessário ocorrem ajustes na dosagem.

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A remoção de manganês em valores de pH em torno do neutro é um processo ineficiente e lento, sendo necessário alcalinizar a água para formação do precipitado e remoção em processos de separação sólido/líquido (Moruzzi e Reali, 2012). Os valores de pH para precipitação do manganês são comumente

descritos como acima de 8,0 (Di Bernardo et al. 2003); Moruzzi e Reali (2012) especificam para oxidação com cloro, pH acima de 8,5-9,0. Na ETA Piloto, a oxidação juntamente com aumento do pH, possibilitou a conversão do manganês solúvel para insolúvel (precipitado) e, conseqüentemente, a remoção do metal no tanque de sedimentação e no filtro.

O manganês na Entrada da ETA Piloto teve máximo de 0,15 mg/L e esteve acima do VMP (0,10 mg/L) em 20% das amostras. O VMP do metal pode divergir entre os países uma vez que não se baseia no risco à saúde, mas sim ao aspecto estético e aceitabilidade da população. É possível que valores abaixo, mas próximos ao VMP, provoquem cor na água. Libânio (2010) descreve que concentrações superiores a 0,05 mg/L podem favorecer o aparecimento de manchas em roupas e vaso sanitário, e apesar do padrão brasileiro estabelecer VMP de 0,1 mg/L, Estados Unidos e Canadá têm limite de 0,05 mg/L.

A cor na Entrada da ETA Piloto, reunião dos poços no poço de sucção com adição do cloro, se manteve quase sempre acima do VMP. Como ferro esteve sempre abaixo do VMP, a cor se relaciona com a presença do manganês que pode ter se acumulado no poço de sucção; em descarga no local, foi observada coloração marrom, porém não foi analisado o efluente da descarga para verificar presença do manganês.

Para verificar se a saída da ETA Piloto atende padrão de turbidez, importante ressaltar que apesar do manancial ser subterrâneo (VMP = 1,0 uT pós-desinfecção), o tratamento por filtração rápida tem VMP = 0,5 uT em 95% das amostras e até 1 uT no restante, com frequência de monitoramento a cada 2 horas. Na data de desenquadramento da turbidez (21/07/2021), foi identificado que os tanques de oxidação e sedimentação transbordaram, sendo realizadas duas lavagens de filtro; após a segunda lavagem o transbordamento parou, sugestivo de extrapolação da perda de carga-limite e transpasse da turbidez (Di Bernardo et al. 2003). Por esse motivo a rotina de acompanhamento em estações de tratamento de água ocorre a cada 2 horas, ou em intervalos até menores, para que se detecte necessidades de ajuste operacional para manter a qualidade da água tratada.

## CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Nesse estudo de caso, a ETA Piloto se mostrou eficiente na redução de manganês e cor; a turbidez também foi reduzida na maioria das coletas analisadas, porém, houve uma coleta sem atendimento ao VMP; ferro também foi avaliado, porém como se apresentou abaixo do VMP na Entrada da ETA, não teve a mesma importância de redução que os demais parâmetros. Importante destacar que os resultados se referem às condições de qualidade de água observadas durante o estudo de caso, em que o manganês esteve acima do VMP na Entrada da ETA apenas em 20% das coletas. Por outro lado, a cor foi efetivamente enquadrada ao padrão de potabilidade, uma vez que a Entrada da ETA Piloto apresentou valores superiores ao VMP em 83% das coletas, sendo satisfatório os resultados observados no piloto. Para outras condições de qualidade de água, o comportamento da ETA Piloto pode diferir.

O monitoramento de cor, turbidez, pH e cloro residual não ocorreu de forma contínua, com frequência a cada duas horas, acompanhamento que pode ser importante para ajustes operacionais e efetividade do tratamento. Diante disso, importante considerar melhorias no projeto da ETA para que não ocorra transbordamento dos tanques, bem como a otimização da aplicação de produtos químicos e das lavagens de filtro (ex: acompanhamento da perda de carga) para evitar perda de eficiência, como em 21/07/2021 para turbidez.

O estudo não avaliou o custo do tratamento (tecnologia e dosagens de produtos químicos), sendo possível que outras configurações/tecnologias mais baratas tenham eficiência para remoção de manganês e cor, uma vez que os valores de manganês de mantiveram próximos ao VMP.

Outras recomendações incluem:

- A descarga apresentou coloração marrom, sendo interessante análise a fim de verificar tempo adequado de descarga e eficiência da lavagem no poço de sucção.
- Avaliar matéria orgânica e subprodutos da oxidação, uma vez que o manganês complexado à matéria orgânica exerce maior demanda de oxidante e favorece a formação de subprodutos (Moruzzi e Reali, 2012).
- Avaliar custos e eficiência do quartzo modificado quimicamente em comparação com areia para remoção do manganês.

- Avaliar se o material filtrante quartzo modificado quimicamente consegue, através da adsorção, reter o manganês, sem pré-tratamento por oxidação química e/ou aumento de pH.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da União, Brasília**, 2008.
2. Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAs**. Brasília: Funasa, 2014.
3. Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual da solução alternativa coletiva simplificada de tratamento de água para consumo humano em pequenas comunidades utilizando filtro e dosador desenvolvidos pela Funasa/Superintendência Estadual do Pará**. Brasília: Funasa, 2017.
4. Brasil. Ministério da Saúde. Anexo XX à Portaria de Consolidação nº 5/GM/MS, de 28 de setembro de 2017 alterado pela Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021. Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2021.
5. Di Bernardo, Luiz (coordenador). **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. 1ed. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, Projeto PROSAB, 2003.
6. Hirata, Ricardo et al. **A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil**: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2019. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002928658>
7. Libânio, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3ed. Campinas: Editora Átomo, 2010.
8. Moruzzi, R.B., Reali, M.A.P. Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial: uma abordagem geral. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v.4, n.1, p.29-43, 2012.
9. WHO. **Guidelines for drinking-water quality**: fourth edition incorporating the first addendum. Geneva: World Health Organization, 2017