

## **XII-030 – SOLUÇÃO INDIVIDUAL DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA REMOÇÃO DE FERRO**

**Thays Elayne Silva Alves**<sup>(1)</sup>

Graduanda em Tecnologia em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Campus Limoeiro do Norte.

**Thais da Silva Chaves**<sup>(2)</sup>

Graduanda em Tecnologia em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Campus Limoeiro do Norte.

**Adriana Maria Silva Alves**<sup>(3)</sup>

Graduanda em Tecnologia em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Campus Limoeiro do Norte.

**Jarbas Rodrigues Chaves**<sup>(4)</sup>

Tecnólogo em Saneamento Ambiental pelo Instituto Centro de Ensino Tecnológico (CENTEC). Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental pelo IFCE, Campus Fortaleza. Técnico de Laboratório do IFCE, Campus Limoeiro do Norte.

**Heraldo Antunes Silva Filho**<sup>(5)</sup>

Tecnólogo em Gestão Ambiental pelo IFCE, Campus Fortaleza. Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Professor do IFCE, Campus Limoeiro do Norte.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Rua João Andrade Nântua, 4282 – Vazante - Morada Nova - CE - CEP: 62940-000 - Brasil - Tel: (88) 994000471 - e-mail: [thayselayne18@gmail.com](mailto:thayselayne18@gmail.com)

### **RESUMO**

A oferta de água para fins potáveis, exercida por ofício através das companhias de água de cada estado e/ou município, é um desafio que deve ter em vista a meta da universalização do saneamento, conforme os termos da Lei Federal 11.445/07. Entretanto, atingir essa meta é um problema multifacetado, decorrente especialmente da grande distribuição espacial das populações, dos elevados custos de manutenção dos sistemas de abastecimento tradicionais e da baixa renda dos usuários. Buscando contribuir com a modalidade alternativa individual, que engloba os poços de água, é proposto nesse trabalho um esquema de operação dos poços de maneira a remover a presença de ferro da água que será consumida.

O sistema individual (SI) proposto possui como concepção o fundamento da insolubilização química do Fe em ambiente externo ao poço, com base na dosagem controlada de cloro como agente oxidante. O sucesso do referido trabalho dependerá da velocidade de sedimentação das partículas precipitadas bem como do adequado ajuste da dosagem de cloro, associado à apropriada instrução dos usuários, visto que se trata de um SI e, portanto, inserido no contexto de uma tecnologia social. Após ajustado os elementos de contorno, especialmente recomendação de tempo de sedimentação e de dosagem de cloro.

**PALAVRAS-CHAVE:** Água de poço, Ferro, Tratamento Simplificado.

### **INTRODUÇÃO**

A presença de ferro é um dos problemas enfrentados pelas concessionárias de água e pelas famílias que possuem poços como fonte individual de abastecimento. Conforme AHMAD (2012), os íons de ferro e manganês em águas destinadas ao abastecimento causam depósitos, incrustações e possibilitam o aparecimento de bactérias ferruginosas nocivas nas redes de abastecimento, além de serem responsáveis pelo aparecimento de gosto e odor, manchas em roupas e aparelhos sanitários além de interferir em processos industriais.

O ferro é um elemento essencial para o funcionamento adequado do organismo, podendo em níveis baixos causar anemia, fadiga e o aumento da suscetibilidade a infecções. No entanto, em concentrações elevadas na água, o mesmo, está relacionado a problemas de saúde como diarreia, choque difásico, acidose metabólica, congestão vascular do trato gastrointestinal, cérebro, baço e timo e até a morte (YAVUZ et al., 2005). Nesse

contexto, o ferro é regulamentado na Portaria de consolidação Nº 5 de 28 de setembro de 2017, Anexo XX, que dispõem sobre a vigilância e controle da qualidade da água entre as substâncias com limite de tolerância de 0,3 mg/L para o consumo humano.

A origem do ferro em águas superficiais e subterrâneas decorre naturalmente ou por fontes antropogênicas, incluindo efluentes industriais, vazamento de aterros sanitários e drenagem ácida de minas. As carcaças dos poços, os componentes da bomba, os tubos e os tanques de armazenamento também podem contribuir para a contaminação das águas subterrâneas por íons de ferro (Fe) e manganês (Mn) (RAMOS, 2010). No entanto, a ocorrência em águas subterrâneas deve-se principalmente a lixiviação de rochas e minerais que tem ferro na sua composição. As espécies de minerais de óxido e sulfetos são as principais fontes que originam o ferro dissolvido na água subterrânea. O íon ferroso  $\text{Fe}^{2+}$  é a forma mais comum de ferro em solução presente na água subterrânea. Esse íon é instável em presença do oxigênio e o ferro dissolvido passa então para o íon férrico  $\text{Fe}^{3+}$ , quando a água entra em contato com o ar, na forma de óxido ou hidróxido férrico (MENEZES, 1992).

No estado do Ceará é histórico a prática de prospecção de água subterrânea para abastecimento humano, ocorrido de forma mais intensa nos últimos 5 anos. A construção de poços nesse período está associada principalmente ao longo período de seca na região nordeste, culminando com a escassez de água superficial e a procura por fontes alternativas. Ressalta-se que historicamente uma grande quantidade desses poços perfurados no estado tem como finalidade o abastecimento individual em zonas rurais, dos quais, muitos estão instalados em regiões hidrogeológicas desfavoráveis. Destaca-se a região aluvionar do rio Jaguaribe, onde se encontra diversos sistemas de abastecimento de água por poços tubulares, que apresentam problemas associados à presença de ferro, como a corrosão, incrustação e obstrução em componentes do sistema e o inconveniente aos usuários, que reclamam do sabor, odor e da cor da água.

Convencionalmente a remoção de ferro na água passa por uma etapa de insolubilização e uma etapa seguinte de remoção física do precipitado formado, podendo esta última ser realizada via sedimentação ou filtração simples. A oxidação química do ferro é condição necessária para o tratamento, uma vez que diminui a concentração solúvel do metal proporcionando sua remoção em processos que empregam separação sólido/líquido. Os principais oxidantes utilizados são: oxigênio, cloro e permanganato de potássio. O dióxido de cloro também pode ser utilizado como oxidante, porém, o melhor oxidante deve ser adotado em função das concentrações envolvidas, da disponibilidade e dos custos dos produtos químicos. (MORUZZI, 2012).

Dessa forma, este estudo se propõe avaliar uma forma mais simplificada de remover ferro na água subterrânea, através de processos oxidativos, visando adequação da água para consumo humano em relação a concentração de ferro para atender comunidades rurais que tem como fonte de abastecimento poços tubulares.

## **OBJETIVOS**

Espera-se com essa proposta minimizar os efeitos negativos do uso inadequado de águas inapropriadas ou mesmo viabilizar o uso de poços ora fechados em função da alta concentração de Fe. Caracterizar as condições satisfatórias, operacionais e estruturais, para uma adequada remoção de Fe de poços através de sistemas simplificados em bateladas sequenciais por aeração artificial e oxidação química utilizando cloro.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

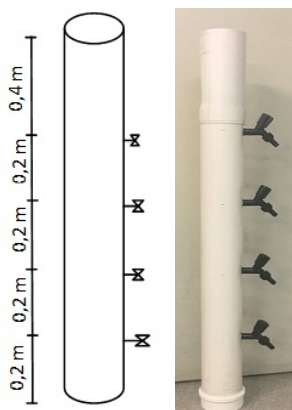
### **Proposta do sistema individual alternativo**

É proposto nesse trabalho um esquema de operação simples dos poços de maneira a remover a presença de ferro da água que será consumida. O sistema alternativo individual (SAI) proposto possui como concepção o fundamento da insolubilização química do Fe em ambiente externo ao poço, com base na dosagem controlada de cloro como agente oxidante.

### Concepção do sistema de decantação

Para avaliar a velocidade de sedimentação do ferro foram confeccionadas colunas de decantação em material PVC de 100 mm com uma altura de 100 cm e torneiras acopladas em diferentes alturas, sendo os espaços entre ela de 20 cm, exceto a torneira 1 em relação ao topo da coluna que tem 40 cm, contendo um volume útil de 7,5 L, (ver Figura 1). Tomou-se o cuidado de garantir o volume extra no topo da coluna para que fosse possível realizar coletas na primeira torneira.

**Figura 1- Esquema da coluna de decantação (a) e imagem real da coluna (b)**



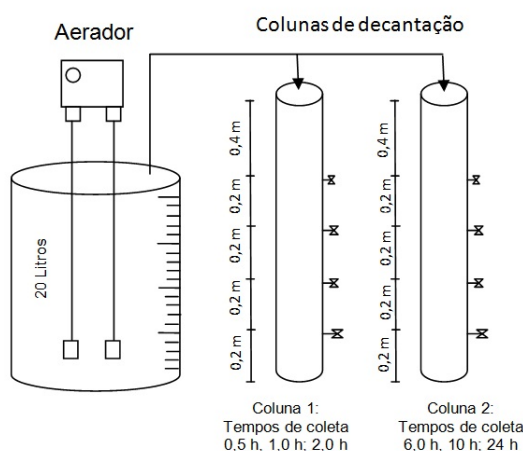
Fonte: próprio autor

### Ensaio de decantação por oxidação com oxigênio

Para a realização dos ensaios foi preparado uma solução estoque de ferro de 1200 mg/L preparada pela solubilização de sulfato ferroso amoniacal hexahidratado  $[\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ . Esta solução estoque teve como base a solução usada no preparo de padrões na análise de ferro, conforme descrita no Standard Methods (APHA, 2012).

Como apresentado na Figura 2, para a realização dos ensaios de sedimentação preencheu-se um recipiente com volume de 20 L de água, sendo dispostas alíquotas para obtenção das concentrações de 0,2 - 0,6 - 1,0 - 2,0 - 3,0 - 5,0 e 10 mg  $\text{Fe.L}^{-1}$  em cada recipiente, configurando-se uma campanha composta por sete lotes de amostras submetido cada lote a dois ensaios de sedimentação. Para isso, as amostras foram submetidas a aeração artificial por aproximadamente 12 h, no final do período reacional o volume de 7,5 L foi disposto em duas jaras (coluna de decantação) e realizado coletas de 100 mL de amostras em diferentes intervalos de tempo, sendo uma jarra para o tempo de 0,5 hora, 1 hora e 2 horas e a outra jarra nos tempos de 6 horas 10 horas e 24 horas, cada sistema foi avaliado quanto ao deslocamento (sedimentabilidade) das partículas precipitadas, possibilitando assim inferir o tempo médio necessário para polimento da massa líquida de superfície.

**Figura 2 – Oxidação do ferro por difusão de ar e sedimentação em diferente intervalo de tempo e concentração inicial de ferro**



Fonte: próprio autor

### Ensaio de decantação por oxidação com cloro

Nos ensaios por oxidação química será usado para oxidação do ferro uma solução de cloro preparada a partir de dicloroisocianurato de sódio 96%. O cloro será dosado de acordo com as concentrações de ferro total considerando a estequiometria das reações.

### Procedimentos analíticos

Para avaliar a remoção de ferro as amostras foram submetidas aos seguintes métodos analíticos, realizados de acordo com os procedimentos descrito no Standard Methods (APHA, 2012), conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1: - Parâmetros analisados durante a fase de operação dos sistemas.**

PARÂMETRO	MÉTODOS	REFERÊNCIA
pH	Potenciométrico	4500B/APHA et al. (2012)
Turbidez	Nefelométrico	2130B/APHA et al. (2012)
Condutividade Elétrica	Instrumental	2510B/APHA et al. (2012)
Ferro	Fenantrolina	3500B/ APHA et al. (2012)

### Testes de tratabilidade em batelada com diferentes sais de ferro

Devido à dificuldade inicial na simulação do tratamento com amostra sintética, além dos resultados indicarem valores negativos presumiu-se que o ferro se apresenta em diferentes formas na natureza, e dessa forma foram realizados ensaios em batelada. Para isso foi necessário preparar um teste com diferentes sais de ferro onde se tem o objetivo de encontrar o substrato que melhor represente a fórmula exposta no ambiente natural para o preparo da amostra sintética.

Para a realização do teste foi preparado quatro amostras sintéticas com concentração de 10 mg.L<sup>-1</sup> a partir dos sais de sulfato de ferro II e amônio Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O e o sulfato de ferro III (Ico) Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.H<sub>2</sub>O, com o volume de 4 L cada, onde foi feito o despejo em quatro Becker de 1000 ml para cada solução. Em seguida foi submetida a quatro tipos de tratamentos comparativos, como mostra a Figura 3.

**Figura 3: - Tipos de tratamento para cada substrato.**

Substratos	Tratamento	Substratos	Tratamento
$\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Oxidação por cloro	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Oxidação por cloro
$\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Cloro + alcalinidade	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Cloro + alcalinidade
$\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Oxigênio + alcalinidade	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Oxigênio + alcalinidade
$\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Oxigênio	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Oxigênio

Fonte: próprio autor

Foi preparado duas soluções estoque para realização do teste, uma de cloro preparada a partir de dicloroisocianurato de sódio 96%, com concentração de 1400 mg.L de cloro e outra de carbonato de sódio com concentração de 40000 mgCaCO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>. Para o ensaio com cloro foi determinado a dosagem de acordo com a estequiometria da reação entre ferro e o cloro. A esse valor foi acrescido um percentual de 10%.

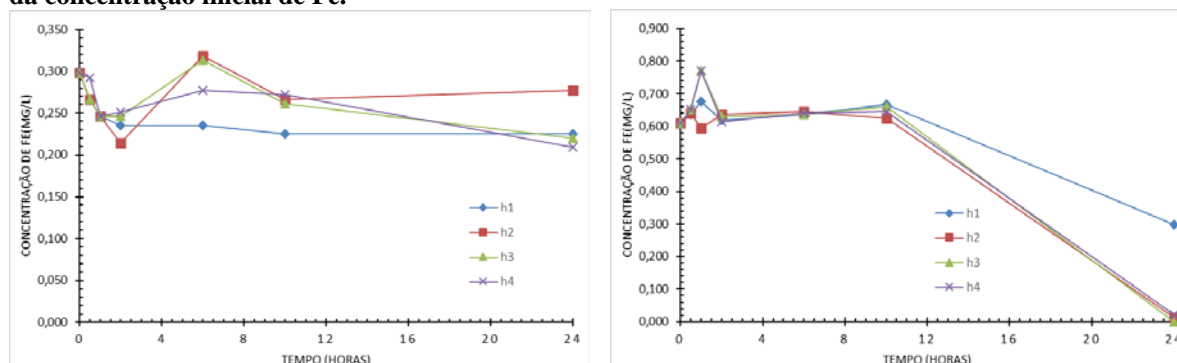
No teste preliminar foi preparada duas amostras com dois compostos de sais de ferro diferentes, com concentração de 10 mg.L. Amostra foi disposta em quatro Becker de 1000 mL para cada sal de ferro, sendo do mesmo coletado 200 mL para o controle das análises. Do volume restante (800 mL), no primeiro Becker adicionou umas alíquotas de 5,7 ml da solução de cloro de 1400mg L, para obtenção de 10 mg.L<sup>-1</sup> de cloro, no segundo adicionou a mesma dosagem de cloro do Becker anterior mais 2 mL da solução carbonato de sódio de 40000 mg.L<sup>-1</sup>, para obtenção de 100 mg.L<sup>-1</sup> de alcalinidade total, no terceiro manteve a mesma alcalinidade do segundo Becker, substituindo o cloro pela aeração artificial e no quarto somente aeração. A reação de oxidação durou aproximadamente 30 min para todos os Becker, no final deste período coletou-se 200 mL de cada amostra, posteriormente filtrou 100 mL em membrana, porosidade de 0,45 µm, realizou análises conforme os parâmetros da (Tabela 1), em todas amostras, filtradas e não filtradas, com objetivo de avaliar o efeito de insolubilização de cada reagente. Para avaliar o efeito da sedimentação do composto, conservou a mesma amostra em repouso por um tempo de 24h, após esse tempo coletou o sobrenadante e repetiu o mesmo procedimento de filtração descrito acima.

## RESULTADOS OBTIDOS

### Remoção de ferro nas colunas de decantação por oxidação com oxigênio

Os testes de insolubilização e sedimentação de ferro nas colunas de ensaio utilizando o oxigênio dissolvido como oxidante indicam uma tendência negativa (Figura 4), relacionando que o efeito de sedimentação do composto final de ferro precipitado tem relação com a concentração inicial desse ferro, visto que ao aumentar a concentração de ferro (antes 0,3 mg/L) para 0,6 mg/L, foi possível observar reduções desse composto após um longo período, aproximando de zero nas alturas 2, 3 e 4 quando o tempo de repouso foi de 24 horas. Para a concentração inicial de Fe de 0,3 mg/L tem-se que a redução de Fe foi nula.

**Figura 4 – Perfil da concentração de Fe em função das alturas da coluna de sedimentação, do tempo e da concentração inicial de Fe.**



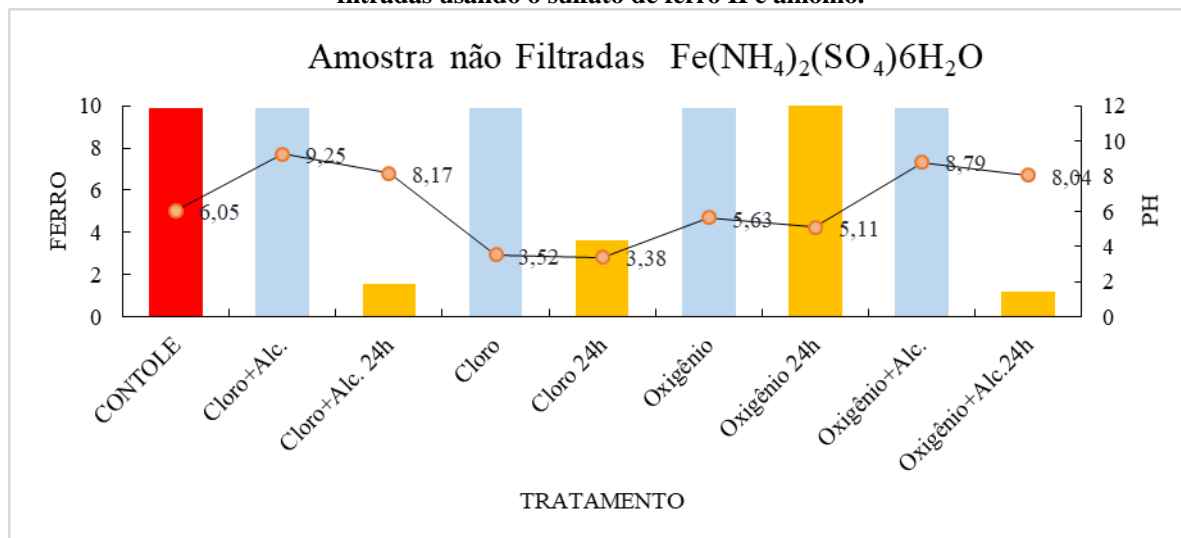
Fonte: próprio autor

Alguns parâmetros de qualidade de água, como pH, alcalinidade, matéria orgânica e temperatura podem influenciar na remoção de ferro (KHADSE et al., 2015). Considerando que nas águas naturais a sua qualidade pode diferir de uma fonte para outra não foi realizado qualquer controle dos parâmetros influenciadores. Para os primeiros ensaios em colunas de decantação verificou-se valores de pH bastante ácido nas amostras sintéticas, devido a necessidade da manutenção do ferro solúvel para os ensaios. Como mostra os dados na Figura 4, a falta de ajuste de pH e alcalinidade pode ter influenciado na baixa remoção de ferro.

#### Remoção de ferro para o ensaio em batelada para amostras não filtradas

A Figura 5 apresenta os resultados da remoção de ferro para amostras não filtradas no final do tempo reacional e no tempo de 24 horas de precipitação das partículas do composto para diferentes tratamentos. Verifica-se que ao final da reação, muito embora possa ter ocorrido a insolubilização do ferro, não houve a ocorrência da precipitação do metal, independente do tratamento realizado, com valores de ferro em torno de 10 mg.L<sup>-1</sup>. Quando as amostras com diferentes tratamentos foram submetidas ao tempo de 24 horas de decantação houve decaimento dos níveis de ferro no sobrenadante, notadamente, para as amostras tratadas com cloro+alcalinidade, Cloro e oxigênio+alcalinidade, com respectivas remoção de 84 %, 63,6 % e 88,4 %. Para o tratamento usando como oxidante o cloro, a precipitação ocorreu independente da adição de alcalinidade e alteração de pH. Quanto ao uso do oxigênio como oxidante a insolubilização do ferro é dependente da presença da alcalinidade no meio e pH adequado, não havendo a precipitação do ferro quando a amostra foi tratada apenas com aeração.

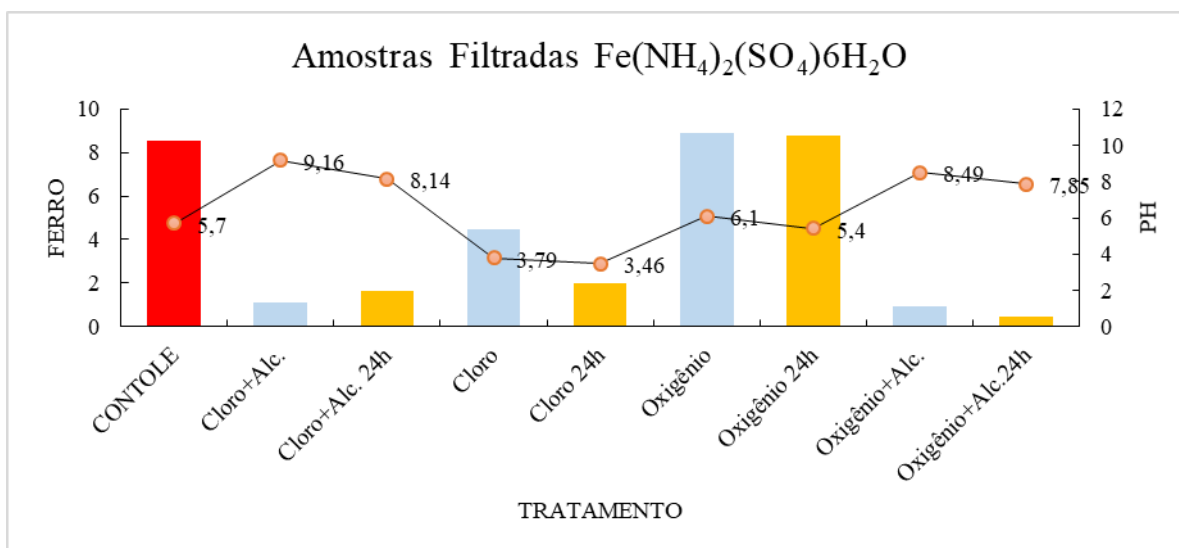
**Figura 5 – Perfil de ferro em função do tempo com diferente tipo de tratamentos com amostras não filtradas usando o sulfato de ferro II e amônio.**



A Figura 6 apresenta os resultados da remoção de ferro para amostras filtradas no final do tempo reacional e no tempo de 24 horas de precipitação das partículas do composto para diferentes tratamentos. Verifica-se que ao final da reação e da etapa de filtração, houve eficiência na remoção das partículas suspensas da precipitação do metal, exceto quanto ao uso do oxigênio como oxidante que não ocorreu a precipitação do composto independente do tempo de 24h, com valores de ferro em torno de 10 mg.L<sup>-1</sup>. Quando as amostras com diferentes tratamentos foram submetidas ao tempo de 24 horas de decantação houve remoção dos níveis de ferro no sobrenadante, notadamente, para as amostras tratadas com cloro+alcalinidade, Cloro e oxigênio+alcalinidade, com respectivas remoção de 83,4 %, 80 % e 95,39 %. Para o tratamento usando como oxidante o cloro, a precipitação ocorreu independente da adição de alcalinidade e alteração de pH. **Figura 6 –**

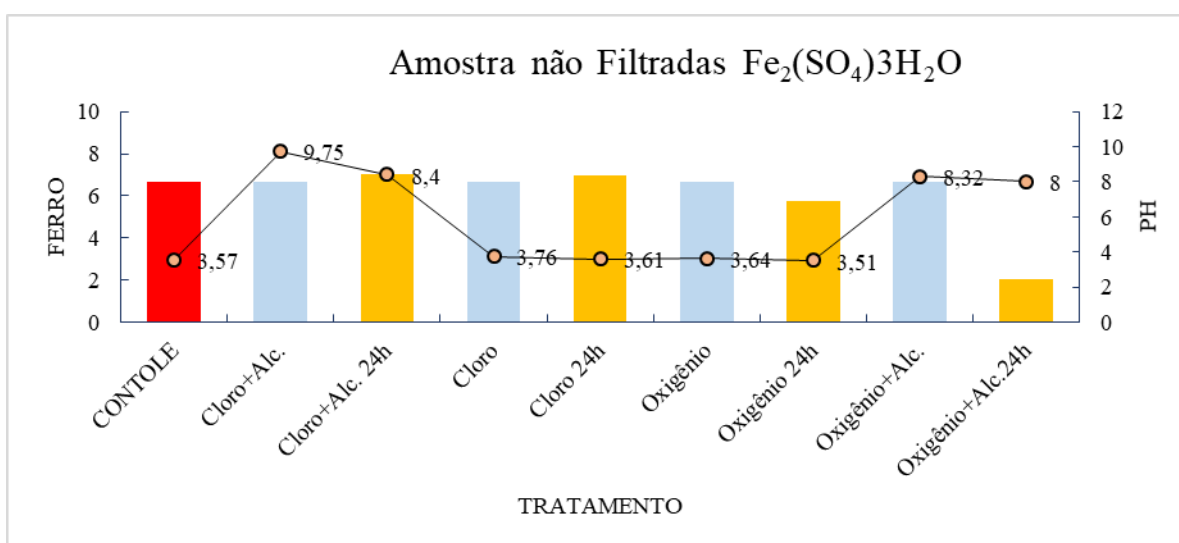


Perfil de ferro em função do tempo com diferente tipo de tratamentos com amostras filtradas usando o sulfato de ferro II e amônio.



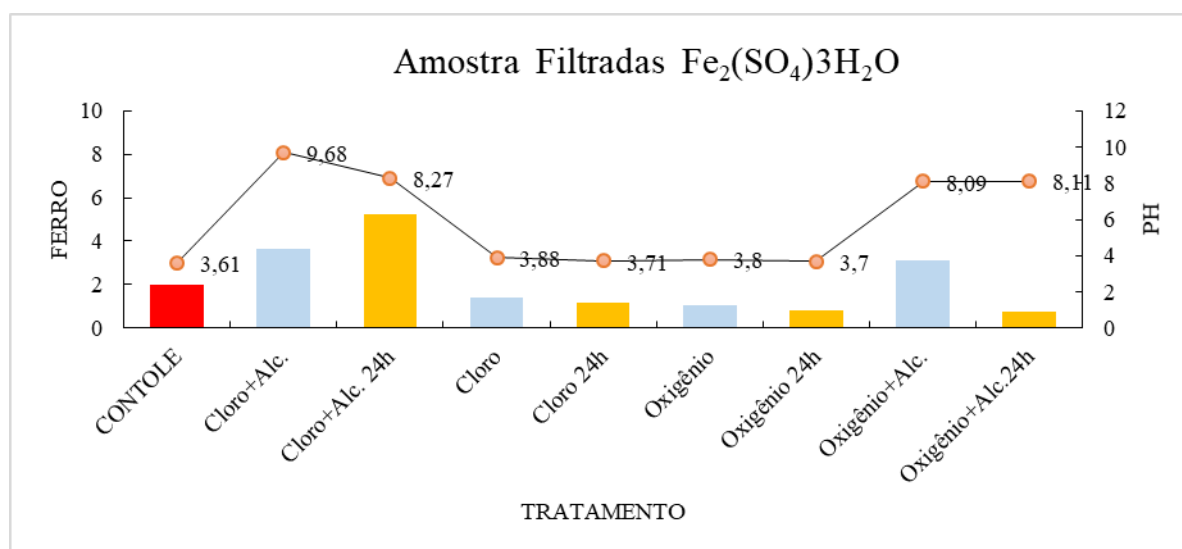
A Figura 7 apresenta os resultados da remoção de ferro para amostras não filtradas no final do tempo reacional e no tempo de 24 horas de precipitação das partículas do composto para diferentes tratamentos. Verifica-se que ao final da reação, muito embora possa ter ocorrido a insolubilização do ferro, não houve a ocorrência da precipitação do metal, independente do tratamento realizado, com valores de ferro em torno de 10 mg.L<sup>-1</sup>. Quando as amostras com diferentes tratamentos foram submetidas ao tempo de 24 horas de decantação também não houve decaimento dos níveis de ferro no sobrenadante, com exceção, para as amostras tratadas com oxigênio+alcalinidade e somente oxigênio, com respectivas remoção de 79,8 % e 42,6 % Para o tratamento usando como oxidante o cloro, a precipitação não ocorreu independente da adição de alcalinidade e alteração de pH. Quanto ao uso do oxigênio como oxidante a insolubilização do ferro é dependente da presença da alcalinidade no meio e pH adequado, não havendo a precipitação considerável do ferro quando a amostra foi tratada apenas com aeração.

**Figura 7 – Perfil de ferro em função do tempo com diferente tipo de tratamentos com amostras não filtradas usando o sulfato de ferro III (Ico)**



A Figura 8 apresenta os resultados da remoção de ferro para amostras filtradas no final do tempo reacional e no tempo de 24 horas de precipitação das partículas do composto para diferentes tratamentos. Com valores de ferro em torno de  $10 \text{ mg.L}^{-1}$ , verifica-se que ao final da reação e da etapa de filtração, houve remoção significativas das partículas suspensas da precipitação do metal, inclusive o controle teve uma redução de 79,80 %, visto que esse composto é mais insolúvel do que o composto da figura 6. Quando as amostras com diferentes tratamentos foram submetidas ao tempo de 24 horas de decantação houve remoção dos níveis de ferro no sobrenadante, notadamente, para as todas as amostras tratadas com cloro+alcalinidade, Cloro, oxigênio+alcalinidade e somente oxigênio, com respectivas remoção de 47,8 %, 88,4 %, 92,60 % e 92,0%. Para o tratamento usando como oxidante o cloro, a precipitação ocorreu independente da adição de alcalinidade e alteração de pH.

**Figura 8 – Perfil de ferro em função do tempo com diferente tipo de tratamentos com amostras filtradas usando o sulfato de ferro III (Ico).**



## CONCLUSÕES

Com base nesses dados preliminares, é possível antecipar uma solução simplificada de remoção de ferro quando praticamos insolubilização em bateladas e mantemos um adequado tempo de repouso para facilitar a sedimentação. Espera-se que ao aumentar a concentração tenhamos uma velocidade ampliada de sedimentação o que tornaria o processo mais rápido e seguro.

Segue que, para concentrações muito baixas, é provável que tenhamos restrições à prática indicada no projeto, o que dificultaria o uso mais simples dessa solução visto que, de forma ideal, seria mais vantajoso o êxito da sedimentação independentemente da concentração inicial (o que não se observou na situação analisada).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AHMAD, M. Iron and Manganese removal from groundwater. University of Oslo. 2012.
2. APHA; AWWA; WEF. Standard Methods: For the Examination of Water and Wastewater, 22 Ed. Washington, D. C. 2012.
3. MENEZES, M. A. S. Ferro bactéria em água subterrânea estudo de caso no ceara. (Dissertação de Mestrado). Universidade de São Paulo Instituto de Geociências. 1992.
4. RAMOS, M. H. C. Remoção de cor, ferro e manganês de águas com matéria orgânica dissolvida por Préoxidação com dióxido de cloro, coagulação e filtração. (Dissertação de Mestrado). Universidade de Ribeirão Preto. Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental. 2010.



5. YAVUZ, H.; SAY, R.; DENEZIL, A. Iron removal from human plasma based on molecular recognition using imprinted beads. *Materials Science and Engineering*. v. 25, p. 521-528, 2005.
6. KHADSE, G. K.; PATINI, P. F.; Labhasetwar, P. K. Removal of iron and manganese from drinking water supply. *Sustainable Water Resources Management*. v. 1, p. 157-165, 2015.