

Estudo comparativo do sulfato de alumínio e ferro no processo de coagulação/floculação da água do açude Epitácio Pessoa, Boqueirão-PB

Comparative study of aluminum and iron sulfate in the coagulation/floculation process of water from the Epitácio Pessoa water, Boqueirão-PB

Rondinele Nunes de Araujo¹; Vanessa dos Santos Gomes², Erivaldo Genuino Lima³, Thiago Marinho Duarte⁴, Rodolfo da Silva Barbosa Ferreira⁵, Mônica Tejo Cavalcanti⁶

Resumo: No presente estudo foi observado a influência da dosagem dos agentes coagulantes sulfato de alumínio e sulfato férrico na remoção da cor, turbidez e coliformes totais, além da influência no pH da água bruta obtida no açude Epitácio Pessoa, Boqueirão-PB. As amostras coletadas foram submetidas a ensaios de coagulação/floculação pelo equipamento Jar Test, os agentes coagulantes (1% m/v) foram adicionados em dosagens variadas de 1 a 6 ml. Os resultados confirmaram que o sulfato de alumínio apresentou uma maior remoção de cor e turbidez totalizando 81% e 98% respectivamente na dosagem de 6 ml indicando a sua maior capacidade de desestabilizar as partículas coloidais presentes na água. Os ensaios microbiológicos indicaram uma remoção mútua dos coliformes no processo de sedimentação das partículas suspensas.

Palavras-chave: Agentes coagulantes, tratamento de água, potabilidade.

Abstract: In the present study, the influence of the dosage of aluminum sulfate and ferric sulfate on the removal of color, turbidity and total coliforms was observed, in addition to the influence on the pH of raw water obtained from the Epitácio Pessoa reservoir, Boqueirão-PB. The collected samples were submitted to coagulation/floculation tests using the Jar Test equipment, the coagulating agents (1% m/v) were added in varying doses from 1 to 6 ml. The results confirmed that aluminum sulfate showed a greater removal of color and turbidity, totaling 81% and 98%, respectively, in the dosage of 6 ml, indicating its greater ability to destabilize the colloidal particles present in the water. The microbiological tests indicated a mutual removal of the coliforms in the process of sedimentation of the suspended particles.

Keywords: Coagulating agents, water treatment, flocculation, potability.

1 INTRODUÇÃO

O açude Epitácio Pessoa está situado na zona rural do município de Boqueirão, abastecendo Campina grande e mais 18 cidades localizadas na região circunvizinha, sua capacidade máxima de armazenamento é de 411.686.287 m³. Em abril de 2017 a região passou pela pior seca desde a sua construção, atingindo o menor volume armazenado já registrado, de apenas 11,97 milhões de m³ de água inferior a 3% de sua capacidade total (AESAs, 2022), resultando em crise de abastecimento além da diminuição da qualidade da água devido a concentração de substâncias dissolvidas e dispersas elevando, por exemplo, sua coloração e turbidez tornando-se inadequada para o consumo humano. Entre os padrões organolépticos de potabilidade previsto na PORTARIA GM/MS N° 888, DE 4 DE MAIO DE 2021, a cor e turbidez são parâmetros usuais para testar a eficiência dos processos de tratamento de água bruta, com limite máximo permitido previsto na portaria para cor e turbidez

de 15 uH e 5 uT respectivamente, sendo necessário o controle desses parâmetros por meio da remoção das partículas dispersas presentes na água.

Geralmente as partículas dispersas em águas naturais possuem superfícies carregadas negativamente atraindo uma grande quantidade de íons de carga positiva e devido as limitações dimensionais das partículas, um número limitado desses contra íons são adsorvidos superficialmente formando uma camada compacta e rígida denominada de camada de Stern. Após a formação da camada de Stern, íons negativos são atraídos originando a camada difusa (Matilainen *et al.*, 2010). A interação atrativa e repulsiva devido às interações eletrostáticas entre as camadas difusas das partículas em solução resulta no movimento desordenado chamado de movimento Browniano tornando o sistema em suspensão estável por longos períodos de tempo (Trinh *et al.*, 2011; Iwuozor, 2019).

¹ Pesquisadores do Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, Paraíba, Brasil, rondinele.araujo@insa.gov.br; vanessa.gomes@insa.gov.br; erivaldo.lima@insa.gov.br; thiago.duarte@insa.gov.br; rodolfo.ferreira@insa.gov.br; monica.tejo@insa.gov.br.

As águas para o consumo humano fornecidas aos municípios brasileiros são tratadas pelo método convencional de tratamento de água, o que inclui o processo de coagulação e floculação sendo etapas fundamentais (Cruz *et al.*, 2020). Esses processos de coagulação/floculação ocorrem de forma sucessiva objetivando superar as forças que estabilizam as partículas suspensas em solução. No processo de coagulação/floculação são adicionados coagulantes (principalmente sais de alumínio e ferro) que em solução aquosa são dissociados em seus respectivos íons trivalentes, ou seja, Al^{3+} e Fe^{3+} sendo posteriormente hidrolisados formando complexos carregados positivamente, reduzindo o potencial repulsivo das duplas camadas elétricas das partículas potencializando a colisão uma com as outras favorecendo o crescimento dos flocos (Sillanpää *et al.*, 2018; Katrivesis *et al.*, 2019). A eficiência do processo de coagulação/floculação na remoção de partículas suspensas depende de alguns fatores como o tipo e dosagem do agente coagulante, temperatura, pH e concentração do efluente, velocidade de mistura e tempo de decantação (Lv *et al.*, 2019).

Song e colaboradores (Song *et al.*, 2015), observaram que o aumento na dosagem dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico intensificou a remoção da matéria orgânica natural em amostras de água sintética e natural. Pereira e colaboradores (Pereira *et al.*, 2015) utilizaram o sulfato de alumínio como agente coagulante em amostra de água sintética com 150 NTU de turbidez e 504 PtCo de cor, atingindo 28,22% e 94,01% de remoção respectivamente. O sulfato de alumínio foi aplicado para remoção de óleos e graxas (TOC) e turbidez em efluente da extração do petróleo por Santos e colaboradores (Santos *et al.*, 2011), alcançando 86% do TOC e 80% da turbidez em uma dosagem de 200 ppm do coagulante. Cruz e colaboradores (Cruz *et al.*, 2020) alcançaram 61,49% e 61,30% de remoção de cor e turbidez respectivamente com a dosagem de 46 mg/L de sulfato de alumínio. Esses resultados

demonstram a eficiência do sulfato de alumínio como agente coagulante para remoção de partículas suspensas em diversos tipos de água, entretanto não é observado na literatura estudos que demonstrem a eficiência do sulfato de alumínio para remoção da cor, turbidez e coliformes totais da água bruta do açude Epitácio Pessoa, Boqueirão-PB, apesar da grande importância desse manancial.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo a avaliação do processo de coagulação/floculação dos agentes coagulantes sulfato de alumínio e sulfato férrico para a remoção de cor, turbidez e coliformes totais e sua influência no pH da água bruta do açude Epitácio Pessoa, Boqueirão-PB.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram preparadas soluções estoque de sulfato de alumínio e sulfato férrico a 1% (m/v). As análises de cor foram realizadas com colorímetro digital (PoliControl, AquaColor), as análises de turbidez foram realizadas em um turbidímetro digital (PoliControl, AP 2000 WT), as medições de pH foram realizadas em um pHmetro de bancada (kasvi, ph0-14), os ensaios de coagulação/floculação foram realizados em um equipamento Jar Test (Nova Ética, JAR.217) dispo de 6 jarros.

Foi selecionado o manancial Epitácio Pessoa inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, tendo como principais afluentes o Alto Paraíba e o rio Taperoá. Situado na cidade de Boqueirão, localizado no Cariri Oriental e na microrregião da Borborema do Estado da Paraíba. O procedimento de amostragem seguiu conforme indicado no Manual prático de análise de água (Saúde, 2009). Inicialmente foram coletadas amostras de água em três recipientes plásticos de 5 L previamente limpos em pontos próximos a bomba flutuante de sucção simulando a qualidade da água que está sendo bombeada para as estações de tratamento (Figura 1).



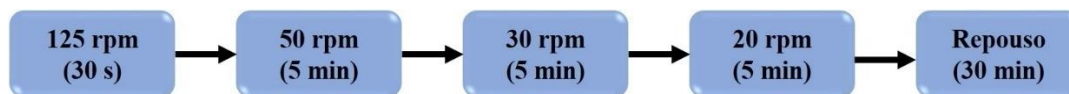
Figura 1 - Bombas de sucção flutuante localizados no açude Epitácio Pessoa, Boqueirão – PB.

As amostras foram preservadas com gelo ($T < 10^{\circ}C$) com auxílio de uma caixa térmica. Após a recepção, as amostras foram misturadas e agitadas manualmente garantindo a distribuição homogênea da matéria suspensa.

Para os ensaios de coagulação/floculação foi adicionado 1 L de amostra em cada jarro (totalizando 6 jarros), em seguida foram adicionados os agentes coagulantes com dosagem variada de 1 a 6 ml. Seguiu-se uma programação

de agitação conforme ilustrado na Figura 2. Com um estágio de mistura rápida garantindo a dispersão dos coagulantes favorecendo a desestabilização das partículas, seguido de três estágios lentos promovendo o choque entre as partículas e crescimento dos flocos.

Figura 2 – Fluxograma do programa de agitação para os ensaios de coagulação/floculação.



Após o término das etapas de coagulação/floculação/sedimentação, foram coletadas alíquotas superficiais de 50 ml para avaliação da cor, turbidez e pH. Para a determinação dos coliformes totais foi realizado o método do substrato cromogênico colilert® conforme o Standard Methods for Examination of Water

and Wastewater (APHA, 2017, part. 9223b, p. 2), transferindo 100 ml das amostras para recipientes estéreis adicionando o substrato Colilert®, após a homogeneização as amostras foram inseridas em cartelas Quant-Tray, seladas e encubadas em estufa a 35°C durante 24 h.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros analisados da água bruta recém coletada do açude Epitácio Pessoa estão resumidos na Tabela I. Apresentando cor e coliformes totais com valores acima do valor máximo permitido referente a PORTARIA GM/MS N° 888, DE 4 DE MAIO DE 2021, tornando-se necessário um tratamento prévio para adequação desse

manancial junto a portaria. Observa-se também que o manancial apresenta uma turbidez dentro do padrão permitido de 5 uT, o pH encontra-se próximo de 7 indicando condições de neutralidade entre os íons H⁺ e OH⁻ no ambiente aquático.

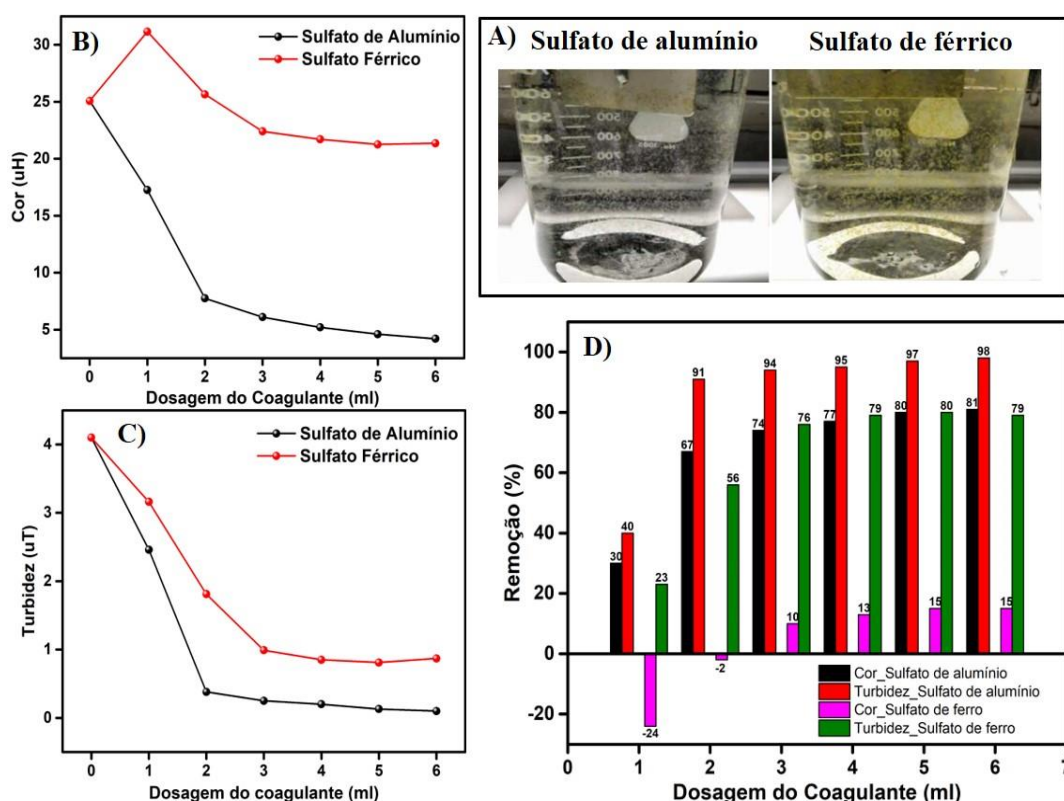
Tabela 1 – Parâmetros analisados da água bruta recém coletada.

Parâmetro	Unidade	Valor	Referência
Cor	uH (mgPt-Co/L)	25,7	15
Turbidez	uT (unidade de Turbidez)	4,1	5
pH	-	7,6	-
Coliformes Totais (Quantitativo)	NMP/100 mL	2419,6	Ausência em 100 mL

A Figura 3 ilustra a influência da dosagem do sulfato de alumínio e sulfato férrico na remoção da cor e turbidez da água, não é observado diferença significativa no tamanho dos flocos formados (Fig.3A), entretanto foi verificado que os flocos formados a partir do sulfato férrico apresentaram menores tempos de sedimentação uma vez que o ferro possui maior peso molecular (55,85 g/mol) em comparação com o alumínio (26,98 g/mol). Observa-se uma diminuição da cor e turbidez com a adição de ambos coagulantes, entretanto em adições iniciais do sulfato férrico intensificou a coloração do meio (Fig.3B), uma vez que o íon férrico em água conferiu uma coloração amarelada (Fig.3A). Segundo Umar *et al.* (2016), provavelmente a cor amarelada é decorrente da quebra e liberação do íon férrico por pequenos flocos que não se estabeleceram completamente devido a sua natureza frágil, o que pode levar a um aspecto visual inadequado para o consumo humano.

Em todas as dosagens o sulfato de alumínio apresentou maior eficiência na remoção da cor e turbidez da água analisada. Com a introdução de 2 ml do sulfato de alumínio foi capaz de reduzir a coloração de 25,7 uH para 7,75 uH (Fig.3B) totalizando uma remoção de 67% (Fig.3D) reduzindo também a turbidez de 4,1 uT para 0,38 uT (Fig.3C) removendo aproximadamente 91% (Fig.3D) tornando a água própria para o consumo segundo apenas os parâmetros até então avaliados. Tais diferenças na remoção de cor e turbidez podem ser explicadas tomando como base o modelo da dupla camada elétrica, onde íons de mesma valência afetam na compressão da dupla camada de formas distintas, apesar dos coagulantes apresentarem íons tri valentes (Al³⁺ e Fe³⁺), o alumínio possui menor raio iônico facilitando sua maior adsorção na superfície das partículas ocasionando a compressão da dupla camada elétrica com maior eficiência, possibilitando a estabilização das partículas em suspensão, prevalecendo forças atrativas intensificando a formação dos flocos.

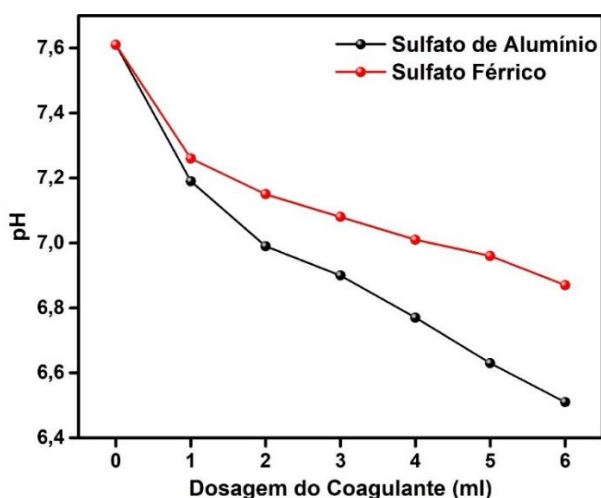
Figura 3 - Aspecto visual das amostras (A), e variação da cor (B), turbidez (C), eficiência de remoção (D) em função da dosagem dos coagulantes.



O efeito do tipo e dosagem do coagulante na variação de pH é ilustrado na Figura 4. Após a aplicação dos coagulantes observou-se uma acidificação da água, com o sulfato de alumínio apresentando uma maior redução do pH visto que um dos subprodutos da reação entre o sulfato de alumínio com a alcalinidade natural da água é o ácido carbônico acidificando o sistema. Dessa forma a alcalinidade natural da água é um fator fundamental no controle do pH, pois em águas de alta alcalinidade têm

maior capacidade tampão sobre águas de baixa alcalinidade contra a diminuição do pH (Matilainen *et al.*, 2010). Nesse caso não se faz necessário a adição de cal hidratada para a correção da alcalinidade e pH, no sentido de favorecer o processo de coagulação (Skoronski *et al.*, 2014). Santos *et al.* (2011) observaram uma redução do pH de 6 para valores inferiores a 4 devido ao caráter ácido do sulfato de alumínio e sua elevada dosagem do necessária para remoção das partículas em suspensão.

Figura 4 - Variação do pH em função da dosagem dos coagulantes.



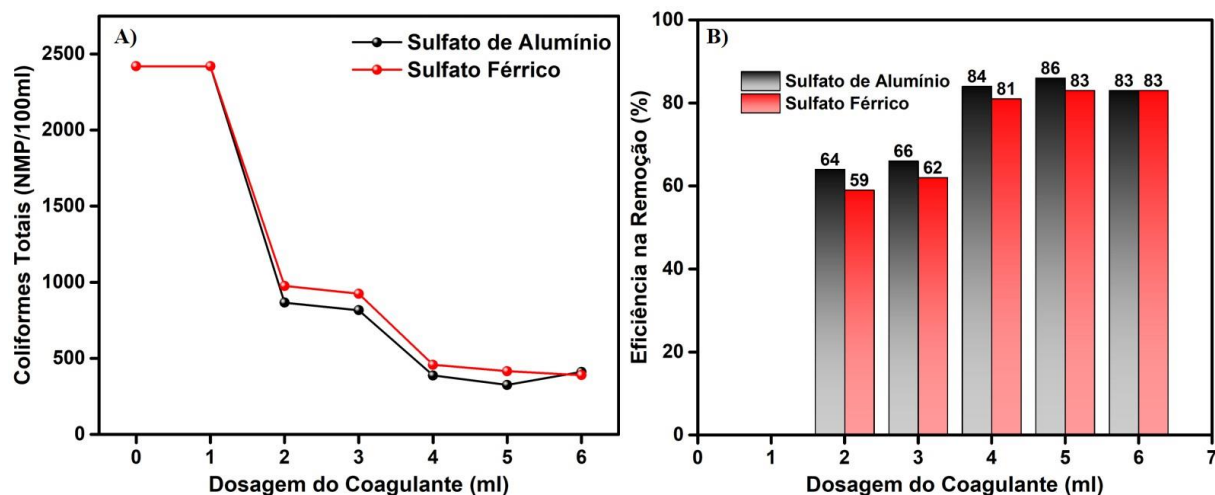
A Figura 5 exibe a variação dos coliformes totais em função da dosagem do sulfato de alumínio e sulfato férrico. Sendo constatado uma precipitação da carga microbiana durante os processos de coagulação/floculação (Fig.5A), os

coagulantes apresentaram resultados semelhantes removendo aproximadamente 83% dos coliformes totais na dosagem de 6 mL (Fig.5B). Esse processo de remoção pode estar correlacionado com a quantidade de flocos formados

adsorvendo e arrastando os microrganismos durante a sedimentação. Pritchard *et al.* (2010), verificaram que a redução de coliformes está ligada à remoção de turbidez alcançada durante a coagulação em água mais clarificada, alcançando 99,8% de remoção de E.coli em uma dosagem de 50 mg/L de sulfato de alumínio. Tais resultados observados na literatura corroboram com o presente estudo, onde não foi observado a remoção de coliformes na

dosagem de 1 ml dos coagulantes devido à baixa remoção da turbidez, entretanto em dosagens superiores observa-se remoções significativas da carga microbiana. Entretanto nas condições atuais de estudo, não foi possível alcançar 100% de remoção evidenciando que um posterior processo de desinfecção com cloro é indispensável para utilização da água para o consumo humano.

Figura 5 - Variação de coliformes totais (A), Eficiência de remoção (B), em função da dosagem do coagulante.



4 CONCLUSÃO

O sulfato de alumínio apresentou maior eficiência na remoção da cor e turbidez em comparação com o sulfato férrico. Os resultados indicam uma dosagem ideal de 2 mL do sulfato de alumínio sendo capaz de remover 67% e 91% da cor e turbidez respectivamente, reduzindo também o pH para uma faixa de neutralidade. Resultados satisfatórios considerando que em estações de tratamento de água convencionais, a coagulação/floculação são pré-tratamentos para as etapas de filtração diminuindo a carga suspensa sobre os filtros, possibilitando o aumento no ciclo de lavagem, além disso a diminuição considerável da carga microbiana na etapa de coagulação/floculação possibilita uma redução na quantidade de cloro na etapa de desinfecção visando a remoção de 100% desses poluentes, barateando o processo realizado nas estações de tratamento de água.

REFERÊNCIAS

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba. Volume de Açudes monitorados. Disponível em: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/monitoramento/volume-acude/?id_acude=531. Acesso em: 18FEV. 2022.

American Public Health Association (APHA). 2017. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23. ed. Washington, EUA.

BRASIL. PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor

sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Idexx Brasil. Colilert. Disponível em: <https://www.idexx.com.br/pt-br/water/water-products-services/colilert/>. Acesso em: 18Fev. 2022.

CRUZ, D.; PIMENTEL, M.; RUSSO, A.; CABRAL, W. J. W. Charge neutralization mechanism efficiency in water with high color turbidity ratio using aluminium sulfate and flocculation index. v. 12, n. 2, p. 572, 2020.

IWUOZOR, K. O. J. A. J. O. C.-S. A. Prospects and challenges of using coagulation-flocculation method in the treatment of effluents. v. 2, n. 2, p. 105-127, 2019.

KATRIVESIS, F.; KARELA, A.; PAPADAKIS, V.; PARASKEVA, C. J. J. O. W. P. E. Revisiting of coagulation-flocculation processes in the production of potable water. v. 27, p. 193-204, 2019.

LV, M.; ZHANG, Z.; ZENG, J.; LIU, J.; SUN, M.; YADAV, R. S.; FENG, Y. J. S.; TECHNOLOGY, P. Roles of magnetic particles in magnetic seeding coagulation-flocculation process for surface water treatment. v. 212, p. 337-343, 2019.

MATILAINEN, A.; VEPSÄLÄINEN, M.; SILLANPÄÄ, M. J. A. I. C.; SCIENCE, I. Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review. v. 159, n. 2, p. 189-197, 2010.

PEREIRA, E. R.; FRANCISCO, A.; THEODORO, J. D.; BERGAMASCO, R.; FIDELIS, R. J. E. B. Comparação entre a aplicação do coagulante natural Moringa oleífera e

do coagulante químico sulfato de alumínio no tratamento de água com diferentes níveis de turbidez. v. 11, n. 21, 2015.

PRITCHARD, M.; CRAVEN, T.; MKANDAWIRE, T.; EDMONDSON, A.; O'NEILL, J. J. P.; CHEMISTRY OF THE EARTH, P. A. B. C. A comparison between Moringa oleifera and chemical coagulants in the purification of drinking water—An alternative sustainable solution for developing countries. v. 35, n. 13-14, p. 798-805, 2010.

SANTOS, T. M.; PEREIRA, D. F.; SANTANA, C. R.; DA SILVA, G. F. J. E. Estudo do tratamento físico químico da água produzida utilizando Moringa oleifera Lam em comparação ao sulfato de alumínio. v. 9, n. 3, p. 317-321, 2011.

SAÚDE, B. F. N. D. Manual prático de análise de água: Fundação Nacional de Saúde Brasília 2009.

SILLANPÄÄ, M.; NCIBI, M. C.; MATILAINEN, A.; VEPSÄLÄINEN, M. J. C. Removal of natural organic matter in drinking water treatment by coagulation: A comprehensive review. v. 190, p. 54-71, 2018.

SKORONSKI, E.; NIERO, B.; FERNANDES, M.; ALVES, M. V.; TREVISAN, V. J. R. A.; ÁGUA. Estudo da aplicação de tanino no tratamento de água para abastecimento captada no rio Tubarão, na cidade de Tubarão, SC. v. 9, p. 679-687, 2014.

SONG, Y.; DONG, B.; GAO, N.; DENG, Y. J. I. J. O. E. R.; HEALTH, P. Comparative evaluation of aluminum sulfate and ferric sulfate-induced coagulations as pretreatment of microfiltration for treatment of surface water. v. 12, n. 6, p. 6700-6709, 2015.

TRINH, T. K.; KANG, L. S. J. C. E. R.; DESIGN. Response surface methodological approach to optimize the coagulation–flocculation process in drinking water treatment. v. 89, n. 7, p. 1126-1135, 2011.

UMAR, M.; RODDICK, F.; FAN, L. J. C. E. J. Comparison of coagulation efficiency of aluminium and ferric-based coagulants as pre-treatment for UVC/H₂O₂ treatment of wastewater RO concentrate. v. 284, p. 841-849, 2016.