

INFLUÊNCIA DO PH INICIAL NO TRATAMENTO DE ÁGUA POR ELETROCOAGULAÇÃO-FLOTAÇÃO

INFLUENCE OF THE INITIAL PH ON WATER TREATMENT BY ELECTROCOAGULATION-FLOTATION

INFLUENCIA DEL PH INICIAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS POR ELECTROCOAGULACIÓN-FLOTACIÓN

Luciane Marchesan¹
Elvis Carissimi²
Cristiane Graepin³
Gustavo Holz Bracher⁴

Resumo: A eletrocoagulação-flotação (ECF) é uma das alternativas para o tratamento de água de abastecimento público e o pH inicial da água é um parâmetro de influência na eficiência do tratamento por essa tecnologia. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência do pH inicial na remoção de cor e turbidez por ECF e verificar a melhor faixa de pH inicial a ser utilizado. Verificou-se que o pH 7,1 foi mais eficiente, sendo próximo ao pH natural da água, não necessitando de correção preliminar, o que favorece o uso do reator ECF.

Palavras-chave: Abastecimento público. Tratamento de água. Eletrocoagulação-flotação. pH inicial.

Abstract: The Electrocoagulation-flotation (ECF) is one of the alternatives for water treatment to public supply and the initial pH of the water is a parameter with influence on the efficiency of the treatment by this technology. Thus, the objective of this study was to evaluate the influence of the initial pH on the removal of color and turbidity by ECF and to verify the best pH range to be used. It was found that the pH 7.1 was more efficient and it was close to the natural pH of water, so it is not required any preliminary correction, which favors the use of the ECF reactor.

Keywords: Public supply. Water treatment. Electrocoagulation-flotation. Initial pH.

Resumen: La electrocoagulación-flotación (ECF) es una de las alternativas de tratamiento del agua para abastecimiento público y el pH inicial del agua es un parámetro de influencia en la eficacia del tratamiento por esta tecnología. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la influencia del pH inicial en la remoción de color y turbidez por ECF y verificar el mejor rango de pH a utilizar. Se encontró que el pH 7.1 fue más eficiente, al estar cerca del pH natural del agua, no requiriendo corrección preliminar, lo que favorece el uso del reactor ECF.

Palabras-clave: Abastecimiento público. Tratamiento de agua. Electrocoagulación-flotación. pH inicial.

Submetido 26/10/2021

Aceito 28/12/2021

Publicado 29/12/2021

¹ Graduanda do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Maria. ORCID: 0000-0001-5655-5599. E-mail: luciane_marchesan@hotmail.com

² Doutor em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal de Santa Maria. ORCID: 0000-0001-5964-7915. E-mail: elvis.carissimi@ufsm.br

³ Doutora em Engenharia Sanitária e Ambiental e pós-doutoranda no Programa Doutor Empreendedor (Fapergs). Universidade Federal de Santa Maria. ORCID: 0000-0002-4629-3596. E-mail: crisgraepin@gmail.com

⁴ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria. ORCID: 0000-0003-2669-519X. E-mail: gustavohbracher@gmail.com

Introdução

Fornecer água potável para a população tem se tornado um dos grandes desafios da atualidade, seja por qualidade ou quantidade da água disponível. Tal fato é resultado do crescimento populacional aliado aos crescentes eventos de escassez de água e à constante poluição dos recursos hídricos, estes que são constantemente poluídos pelo mal uso e descarga de águas residuais sem tratamento adequado (SIVASANGARI et al., 2016; WWAP, 2017).

Cerca de 2,2 bilhões de pessoas não tem acesso a água tratada no mundo (UNICEF, 2019), situação que deixa a população exposta à micro-organismos patogênicos e a substâncias químicas nocivas à saúde humana (NASCIMENTO, 2015). Portanto, para a manutenção de um padrão de vida adequado, é imprescindível a ampliação da cobertura dos serviços de tratamento de água para o abastecimento público.

O tratamento de água convencional, o mais utilizado nas estações de tratamento de água da América Latina, sendo estações de tratamento de água ligeiramente modificadas das usadas nos países mais industrializados do mundo (VALENCIA, 2000), é composto pelas etapas de coagulação, floculação, decantação e filtração (BOTERO, 2009). A coagulação consiste na inserção de coagulante, como o sulfato de alumínio, para agregar as partículas coloidais; na etapa de floculação ocorre a agitação lenta e choque entre estas partículas para a formação dos flocos; já na etapa de decantação ocorre a separação dos flocos para posterior remoção; e na etapa de filtração ocorre a remoção das partículas que ainda ficaram em suspensão (LOPES et al., 2020). Após estas etapas, é indispensável que ocorra a correção de pH (caso necessário), desinfecção e fluoretação para finalizar o tratamento e tornar a água apropriada para o consumo humano (BOTERO, 2009).

Populações distantes dos centros urbanos são as mais afetadas pela falta de abastecimento público, como as residentes em zonas rurais (TRATABRASIL, 2019). Estas populações geralmente são dispersas e com baixa densidade demográfica, o que inviabiliza a implementação de tecnologias convencionais de tratamento de água, sendo assim, necessário desenvolver tecnologias inovadoras que sejam capazes de substituir o tratamento convencional e de superar as condicionantes desses locais (TRATABRASIL, 2019).

Neste contexto, a eletrocoagulação-flotação (ECF) se destaca como um sistema de tratamento alternativo ao convencional devido as vantagens que podem apresentar, tais como: menor tempo de retenção, pequena área requerida, menor produção de lodo, fácil operação e

manutenção, não utilização de coagulantes químicos e fácil automação (JOÃO et al., 2018; BRACHER et al., 2020). A ECF consiste em uma tecnologia avançada capaz de gerar agentes coagulantes *in situ* por meio da oxidação eletrolítica de eletrodos metálicos (ânodos de sacrifício), sendo desencadeada pela tensão elétrica estabelecida por cátodos e ânodos, substituindo os coagulantes químicos utilizados em tratamentos convencionais (MOTA, 2015). Os íons metálicos gerados da dissolução eletrolítica do ânodo, capturam as impurezas e formam os agregados (AVELLAR; COTTA; NEDER, 2015). No cátodo, ocorre a hidrólise da água, gerando microbolhas de gás hidrogênio, as quais se aderem aos agregados formados, promovendo a flotação (AVELLAR; COTTA; NEDER, 2015). O alumínio é um dos materiais mais utilizados como eletrodos na ECF tendo em vista sua grande disponibilidade; alta eficiência de remoção de contaminantes e menor toxicidade (HAKIZIMANA et al., 2017; LIU et al., 2017; ADAMOVIC et al., 2016).

Nas tecnologias eletroquímicas existem algumas condições operacionais que podem influenciar na eficiência de sistemas de ECF, como corrente elétrica, condutividade elétrica, tempo de eletrólise, agitação, material do eletrodo, distância dos eletrodos e o potencial hidrogeniônico (pH) inicial da água. O pH inicial pode apresentar grande influência nas espécies de metais formadas durante o processo, interferindo no coagulante formado e consequentemente na eficiência do tratamento (FAVERO, 2019; GRAEPIN et al., 2020; BRACHER et al., 2021; ELKHATIB et al., 2021).

Com isso, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência do pH inicial na remoção de cor e turbidez da água em um sistema de ECF, e verificar a melhor faixa de pH a ser utilizada para melhorar a eficiência do sistema.

Material e Métodos

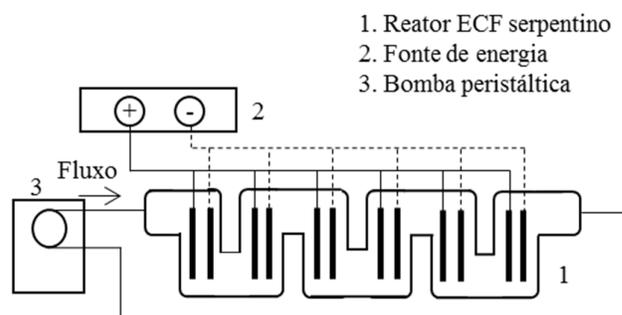
Amostra de água

O estudo foi realizado utilizando uma amostra de água bruta do sistema de abastecimento público de Santa Maria, Rio Grande do Sul - Brasil, a qual foi coletada na entrada da Estação de Tratamento de Água de Santa Maria. No ponto de coleta, havia a mistura das águas captadas nas barragens do Rio Vacacaí-Mirim e Saturino de Brito (Rio Ibicuí-Mirim), ambas situadas na região central do estado do Rio Grande do Sul. A amostra de água bruta coletada apresentou cor aparente de 65,8 uC, e turbidez de 4,3 NTU.

Sistema de eletrocoagulação-flotação

O reator de ECF foi constituído de uma unidade tubular serpentinada de PVC, conectado a uma fonte de energia (Instrutherm FA-3060) e uma bomba peristáltica (Instrutherm LM1300 ENG-1.3) (Figura 1). O reator possui um diâmetro de 32 mm, seis módulos com 100 mm de altura e seis pares de eletrodos de alumínio ($90 \times 14 \times 0,5$ mm). O sistema foi operado através de recirculação com uma vazão de 0,3 L/min, densidade de corrente de $0,76 \text{ mA/cm}^2$ e concentração de 10,5 mg/L de alumínio.

Figura 1 – Sistema de ECF, conectado a fonte de energia e bomba peristáltica.



Fonte: Autores (2020).

Procedimentos experimentais

Neste estudo, foram realizados três diferentes ensaios avaliando os pHs iniciais de 6,0, 7,1 e 8,0. O pH inicial da água bruta foi ajustado antes da realização dos tratamentos no sistema ECF, por meio da adição de hidróxido de sódio 1N e ácido clorídrico 1N. Após o tratamento no reator, as amostras foram transferidas para um béquer, ficando em repouso por 20 min para ocorrer a flotação dos flocos formados. Posteriormente, a água clarificada, da parte inferior do béquer, foi coletada para a realização das análises de cor aparente e turbidez. Todos os ensaios foram realizados em duplicata.

Procedimentos analíticos

A análise de cor aparente foi realizada através de um colorímetro Quimis Q406COR. A turbidez foi analisada através de um turbidímetro Thermo Scientific Orion AQ4500. Para análise do pH, foi utilizado um pHmetro Thermo Scientific Orion Star A211.

A eficiência da remoção de cor aparente e turbidez foram calculadas utilizando a Eq. (1).

$$\text{Eficiência de remoção (\%)} = \frac{V_{AB} - V_{AT}}{V_{AB}} \times 100 \quad (\text{eq. 1})$$

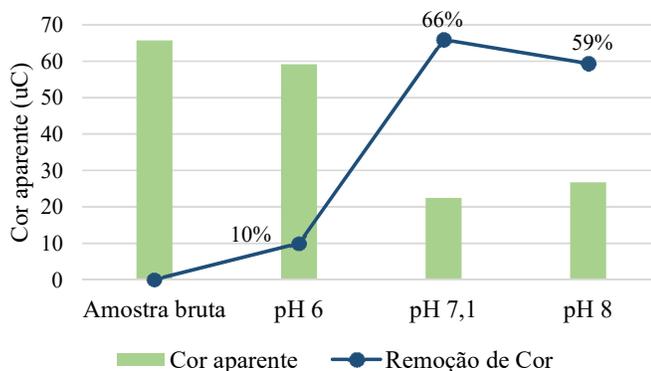
Onde: V_{AB} é o valor do parâmetro na água bruta, e V_{AT} é o valor do parâmetro na água tratada.

Resultados e discussão

Remoção de cor aparente

O tratamento de água por ECF com pH de 7,1 proporcionou a maior remoção de cor aparente entre as faixas de pH analisadas, apresentando uma remoção de 66% e um valor final de 22,4 uC (Figura 2).

Figura 2 – Remoção de cor após o tratamento por ECF.



Fonte: Autores (2021).

O tratamento com pH 6 não foi eficiente, pois apresentou 10% de remoção de cor, não sendo indicado para esse tipo de tratamento. Já o tratamento com pH 8 apresentou resultado semelhante ao pH 7,1, removendo 59% de cor aparente, indicando que a faixa de pH entre 7 e 8 é melhor para a remoção de cor no tratamento de águas de abastecimento por meio da técnica ECF.

No estudo de Graepin et al. (2020) foi realizada a análise de uma condição ideal para o tratamento de águas para consumo humano por ECF em um reator de batelada, utilizando eletrodos de Al, em que foi observado o melhor resultado entre pH neutro a alcalino. O tratamento com pH inicial de 8,5 foi mais eficiente para remoção de cor, removendo 86,42% (GRAEPIN et al., 2020). Este resultado corrobora com o estudo de Kushwaha, Srivastava e Mall (2010), os quais verificaram que os pHs neutro e alcalino garantem maior eficiência no tratamento, enquanto valores de pHs ácidos diminuem a eficiência. Kushwaha, Srivastava e Mall (2010) atribuíram a maior remoção de cor (66%) em pH neutro à maior agregação de flocos formados nesta condição. A maior remoção de cor observada no presente estudo foi menor em comparação aos resultados de Graepin et al. (2020) e Kushwaha, Srivastava e Mall (2010), o que pode estar ligado à condição de outros fatores da ECF como a agitação e concentração de alumínio utilizada.

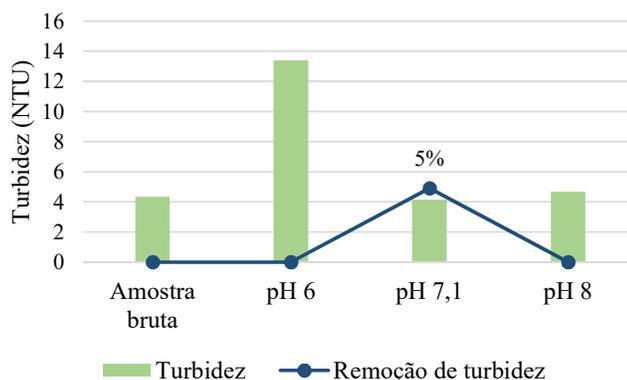
No pH 8 (alcalino) houve uma remoção de 59% de cor aparente, representando uma remoção significativamente alta, porém inferior ao obtido no pH 7,1, tal fato tem relação com a solubilidade do Al total, a qual aumenta com o aumento do pH, não permitindo grande formação de flocos (EMAMJOMEH; SIVAKUMAR, 2009). Já no pH 6 os resultados não foram expressivos, visto que um pH abaixo de 7 (ácido) não permite a agregação das partículas, resultando em precipitados muito pequenos na água tratada (GRAEPIN et al., 2020).

Remoção de turbidez

A remoção de turbidez ocorreu somente com pH 7,1, apresentando um valor de 4,1 NTU e uma remoção de 5% (Figura 3). Os tratamentos com pHs 6 e 8 não são adequados para o tratamento de águas para abastecimento, pois não promoveram a remoção de turbidez e, sim, um aumento nos valores de turbidez da amostra. O aumento do valor de turbidez da amostra de água clarificada pode ter ocorrido devido à presença de sólidos e partículas em suspensão, como pequenos flocos que não foram agregados durante o tratamento e não flotaram. Tal fato é

consequência do valor de pH utilizado no tratamento não ser adequado para a formação de espécies de alumínio eficientes na coagulação de impurezas e formação de flocos maiores (JIMÉNEZ et al., 2012).

Figura 3 – Remoção de turbidez após o tratamento por ECF.



Fonte: Autores (2021).

Seid-Mohamad et al. (2015) em uma investigação acerca da remoção de turbidez em águas sintéticas, verificaram que na faixa de pH de 8 a 9 o processo de ECF com eletrodos de Al removeu mais de 88% de turbidez, sendo a melhor remoção encontrada neste estudo, verificando que na faixa de pH próximo a neutralidade, a eficiência de remoção aumenta por ter alto potencial de produzir flocos facilmente flotáveis. Seid-Mohamad et al. (2015) observaram, ainda, que realizando testes nas mesmas condições, porém alterando o valor de pH para ácido, pH igual a 3, a eficiência de remoção foi de 44% e com pH 12 (alcalino) foi de 54%. Segundo Seid-Mohamad et al. (2015) a remoção inferior em pH ácido e alcalino se devem as espécies de alumínio na solução, no qual espécies de hidrólise catiônica como Al^{+3} e $Al(OH)_2^{+2}$ predominam em $pH < 4$ (ácido) e quando o pH é superior a 8 (alcalino) as espécies de $Al(OH)_4^-$ aumentam a partir do $Al(OH)_3$, não possibilitando a formação adequada dos flocos.

Das e Nandi (2020) realizaram um estudo acerca da otimização do sistema ECF, verificando a remoção de turbidez em diferentes faixas de pH (5 a 9), no qual obtiveram o melhor resultado em pH 7, com uma remoção de 99,63% de turbidez após 60 min de tratamento. Tal fato corrobora com o presente trabalho, onde o tratamento com pH 7,1 foi mais eficiente

para a remoção de turbidez (5%), porém com um valor inferior ao obtido por Das e Nandi (2020).

Em pH 6, não foi observada remoção de turbidez. De acordo com o estudo de Das e Nandi (2020) tal fato pode estar relacionado com a presença em excesso de íons H^+ na solução, o que dificulta a produção de $Al(OH)_3$ e conseqüentemente resulta na baixa eficiência de remoção. No presente estudo também não houve uma remoção em pH 8, o que pode ter sido influenciado pela alta quantidade de ânions hidróxido (OH^-) em solução, que gera a formação de espécies de hidróxido de alumínio solúveis que retardam o processo de coagulação (SILVA et al., 2018).

Fagnekar e Mane (2015) estudaram a remoção de turbidez por eletrocoagulação e verificaram que o pH neutro é mais eficiente para o tratamento de águas, obtendo uma remoção de 91% de turbidez. O pH próximo a neutralidade é considerado um fator importante para o tratamento por eletrocoagulação, uma vez que para sistemas com eletrodos de alumínio, as espécies formadas nessa faixa de pH são os precipitados de hidróxido de alumínio insolúveis, que são necessários para o processo de coagulação (NASCIMENTO, 2018).

Ainda, de acordo com o estudo de Alimohammadi et al. (2017), a baixa remoção em pHs ácidos e alcalinos está relacionada com o fato de que estes meios afetam o mecanismo de eletrocoagulação e formam diversos compostos químicos na solução aquosa. Emamjomeh, Sivakumar e Varyani (2011) afirmaram em seu estudo que o pH inicial reflete na eficiência de corrente e na solubilidade dos metais hidróxidos, uma vez que em determinadas condições, vários compostos e complexos poliméricos podem ser formados via hidrólise e de reações de polimerização de Al^{+3} dissolvidos eletroquimicamente.

Contudo, além da maior eficiência dos tratamentos por ECF em pH neutro, esta condição tem a vantagem de não necessitar do uso de produtos químicos adicionais para ajuste de pH, pois o pH natural da água se encontra entre 7 e 8, o que reduz os custos e os riscos ambientais e ocupacionais (BARRERA-DÍAZ et al., 2012).

Considerações Finais

O tratamento por ECF foi mais eficiente em pH 7,1, promovendo uma remoção de 66% da cor aparente e 5% de turbidez. Já o tratamento com pH 8 permitiu a remoção de 59% de cor aparente e não removeu a turbidez da água clarificada. Em pH 6 ocorreu baixa remoção de cor

aparente (10%) e não houve remoção de turbidez. A água natural normalmente apresenta valores de pH entre 7 e 8, não havendo necessidade de correção do pH da água bruta antes de submetê-la ao tratamento por ECF. Tal fato favorece o uso do reator nas condições operacionais em estudo, uma vez que fica dispensada a implementação de uma etapa de correção de pH, diminuindo assim os custos e riscos ambientais e ocupacionais.

Dessa forma, este estudo demonstrou o grande potencial de utilização do reator ECF na remoção de cor aparente e turbidez utilizando o pH natural da água, que em trabalhos futuros, juntamente com demais análises como a concentração de alumínio, vazão, tempo de detenção e agitação, possibilitará aumentar a eficiência do sistema, podendo atingir as melhores condições de tratamento de água, tornando a água apropriada e dentro dos parâmetros ideais para o consumo humano. Diante disso, o tratamento de água descentralizado com o reator de ECF, poderá beneficiar as comunidades afastadas que não tem acesso ao sistema convencional de tratamento de água, contribuindo para a universalização do abastecimento público.

Agradecimentos

Agradecemos a Companhia Riograndense de Saneamento (Corsan) pelo apoio financeiro, a bolsa da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (Fapergs) de Iniciação Tecnológica e Inovação, a 35ª Jornada Acadêmica Integrada da Universidade Federal de Santa Maria que selecionou este estudo como sendo um dos 40 melhores trabalhos apresentados na edição de 2020. Agradecemos também ao grupo de pesquisa pelo ambiente amigável e por proporcionar o desenvolvimento de trabalho de alto nível de qualidade.

Referências

ADAMOVIĆ, S. et al. Feasibility of electrocoagulation/flotation treatment of waste offset printing developer based on the response surface analysis. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 9, p. 152-162, 2016.

ALIMOHAMMADI, M. et al. Elimination of natural organic matter by electrocoagulation using bipolar and monopolar arrangements of iron and aluminum electrodes. **Int. J. Environ. Sci. Technol**, 2017.

AVELLAR, I. G. J.; COTTA, T. A. P. G.; NEDER, A. V. F. Aplicação de Eletrocoagulação na Remoção de Fosfatos em Efluente Doméstico Artificial Preparado a Partir de Bebida Refrigerante - Um Experimento para Graduação. **Rev. Virtual Quim.**, v. 7, n. 6, p. 2255-2272, 2015.

- BARRERA-DÍAZ, C. et al. Synergy of electrochemical/O₃ process with aluminum electrodes in industrial wastewater treatment, **Ind. Eng. Chem. Res.**, v. 51, p 9335–9342, 2012.
- BOTERO, W. G. Caracterização de lodo gerado em estações de tratamento de água: Perspectivas de aplicação agrícola. **Química Nova**, V. 32, N. 8, p. 2018-2022, 2009.
- BRACHER, G. H. et al. Electrocoagulation and ozonation: a hybrid technique to treat colored effluents from the textile industry. **Desalination and Water Treatment**, v. 204, p. 107-113, 2020.
- BRACHER, G. H. et al. Optimization of an electrocoagulation-flotation system for domestic wastewater treatment and reuse. **Environmental Technology**, v. 42, n. 17, p. 2669-2679, 2021.
- DAS, D.; NANDI, B. K. Simultaneous removal of fluoride and Fe (II) ions from drinking water by electrocoagulation. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 8, 2020.
- ELKHATIB, D. et al. Electrocoagulation applied for the removal of microplastics from wastewater treatment facilities. **Separation and Purification Technology**, 118877, 2021.
- EMAMJOMEH, M. M.; SIVAKUMAR, M. Review of pollutants removed by electrocoagulation and electrocoagulation/flotation processes. **J. Environ. Manag.**, v. 90, n. 5, p. 1204–1212, 2009.
- EMAMJOMEH, M. M.; SIVAKUMAR, M.; VARYANI, A. S. Analysis and the understanding of fluoride removal mechanisms by an electrocoagulation/flotation (ECF) process. **Desalination**, v. 275, p. 102-106, 2011.
- FAGNEKAR, N. A.; MANE, S. Removal of turbidity using electrocoagulation. **International Journal of Research in Engineering and Technology**, v. 4, n. 6, p. 537-543, 2015.
- FAVERO, A. C. et al. Avaliação da influência do pH inicial no tratamento de efluente oleoso via eletrocoagulação com eletrodos de ferro. **Portal Tratamento de Água**. 2019. Disponível em: <<https://tratamentodeagua.com.br/artigo/ph-tratamento-efluente-oleoso-eletocoagulacao/>>. Acesso em: 5 out. 2021.
- GRAEPIN, C. et al. Electrocoagulation-flotation: a novel proposal for Latin-American water treatment facilities. **Desalination and Water Treatment**, v. 202, p. 241-250, 2020.
- HAKIZIMANA, J. N. et al. Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches. **Desalination**, v. 404, p. 1-21, 2017.
- JIMÉNEZ, C. et al. Electrochemical dosing of iron and aluminum in continuous processes: a key step to explain electro-coagulation processes. **Separation and Purification Technology**, v. 98, p. 102-108, 2012.
- JOÃO, J. J. et al. Processo de eletrocoagulação-flotação: Investigação dos parâmetros operacionais para o tratamento de águas residuais da indústria de pescados. **Química Nova**, v. 41, n. 2, p. 163-168, 2018.
- KUSHWAHA, J. P.; SRIVASTAVA, V. C.; MALL, I. D. Organics removal from dairy wastewater by electrochemical treatment and residue disposal, **Sep. Purif. Technol.**, v. 76, n. 2, p. 198–205, 2010.

LIU, J. et al. Water scarcity assessments in the past, present and future. **Earth's Future**, v. 5, n. 6, 2017.

LOPES, V. S. et al. Estudo da coagulação/floculação de água com turbidez moderada na sedimentação e flotação por ar dissolvido. **Eng Sanit Ambient**, v. 25, n. 4, p. 567-572, jul./ago. 2020. Disponível em: <scielo.br/j/esa/a/cFRHmKKj6cNbnmzqr5rvpFJ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 01 nov. 2021.

MOTA, I. O. et al. Study of electroflotation method for treatment of wastewater from washing soil contaminated by heavy metals. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 4, n. 2, p. 109-113, 2015.

NASCIMENTO, C. V. **Poluição das águas e doenças relacionadas: Educar para a prevenção**. Monografia (Especialização em Ensino de Ciências por Investigação) Faculdade de Educação – FAE, Centro de Ensino de Ciências e Matemática de Minas Gerais, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 40. 2015.

NASCIMENTO, R. C. do. **Tratamento de água para consumo humano utilizando processo de eletrocoagulação**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de graduação em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p. 62, 2018.

SEID-MOHAMMADI, A. et al. Simultaneous Removal of Turbidity and Humic Acid Using Electrocoagulation/Flotation Process in Aqua Solution. **Avicenna J Environ Health Eng.**, v. 2, n. 1, p. 1-5, 2015.

SILVA, J. F. A. et al. Electrocoagulation process for the removal of co-existent fluoride, arsenic and iron from contaminated drinking water, **Sep. Purif. Technol.**, v. 197, p. 237-243, 2018.

SIVASANGARI, S. et al. Characteristic Study of Electroplating and Dye Industrial Effluents. **International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology**, v. 5, n. 2, 2016.

TRATABRASIL (Instituto Trata Brasil). **Acesso à água nas regiões Norte e Nordeste do Brasil: desafios e perspectivas**. São Paulo: TRATABRASIL, 187 p., 2019.

UNICEF. **1 em cada 3 pessoas no mundo não tem acesso a água potável, dizem o UNICEF e a OMS**: Novo relatório sobre as desigualdades no acesso a água, saneamento e higiene também revela que mais da metade do mundo não tem acesso a serviços de saneamento seguro. 2019. Acesso em: <<https://www.unicef.org/brazil/comunicados-de-imprensa/1-em-cada-3-pessoas-no-mundo-nao-tem-acesso-agua-potavel-dizem-unicef-oms#:~:text=O%20relat%C3%B3rio%20revela%20que%20,disponibilidade%20e%20qualidade%20desses%20servi%C3%A7os>>. Disponível em: 12 out. 2021.

VALENCIA, J. A. Teoría y práctica de la purificación del agua. **Mc Graw Hill**, Santa Fe de Bogotá, Colombia, 3 ed., 2000.

WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). The United Nations World Water Development Report 2017. **Wastewater: The Untapped Resource**. Paris, UNESCO, 2017.