

1521 ANÁLISE DA VIABILIDADE DE REUSO DE ÁGUAS CINZAS DE UMA LAVANDERIA TRATADAS POR ELETROCOAGULAÇÃO-FLOTAÇÃO

Luciane Marchesan⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Mestranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Ingrid Souza Brikalski⁽²⁾

Graduanda do curso de Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Gustavo Holz Brächer⁽³⁾

Engenheiro Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal de Pelotas (UFPeL). Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Cristiane Graepin⁽⁴⁾

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Pós-Doutora pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS).

Elvis Carissimi⁽⁵⁾

Engenheiro Civil pela Universidade de Passo Fundo (UPF). Mestre e Doutor em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Professor Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Endereço⁽¹⁾: Rua 19 de Novembro, 289, apartamento 201 – Bairro N. S. de Lourdes – Santa Maria – RS - CEP: 97060-160 - Brasil - Tel: (55) 9 9919-6606 - e-mail: luciane_marchesan@hotmail.com

RESUMO

O lançamento inadequado de efluentes no meio ambiente, como os oriundos de lavanderias, deteriora a qualidade dos recursos hídricos, prejudicando o seu uso para outras finalidades, como o abastecimento público e a manutenção de ecossistemas aquáticos. Aliado a isso, os eventos de seca e estiagem dos últimos anos e o aumento na demanda por água agravam ainda mais a crise hídrica. Esses fatos têm manifestado a importância do emprego de técnicas de tratamento de efluentes visando o reúso de água. Nesse contexto, a eletrocoagulação-flotação (ECF) vêm sendo estudada por ser uma técnica de tratamento eficiente que demonstra potencial de atribuir uma boa qualidade às águas residuais tratadas. O objetivo deste estudo foi analisar a possibilidade de reúso de efluentes de lavanderia tratados por eletrocoagulação-flotação, considerando a turbidez como parâmetro indicador da qualidade do efluente tratado. A amostra de efluente bruto foi coletada em uma lavanderia doméstica, localizada na cidade de Santa Maria-RS. O sistema ECF utilizado no estudo foi constituído de um reator cilíndrico acrílico com 8 eletrodos de alumínio, conectado a um floculador tubular helicoidal (FTH) e a um separador de fases. O sistema operou em fluxo contínuo, com vazão de 0,8 L min⁻¹, com exceção da separação de fases que ocorreu em modo batelada. Para a determinação da melhor condição de tratamento foi realizado um delineamento experimental do tipo composto central rotacional (DCCR), com as variáveis independentes pH inicial (3,5, 4,0, 5,2, 6,4 e 6,9) e dose de alumínio (45,00, 50,86, 65,00, 79,14 e 85,00 mg L⁻¹). Por meio da análise do Diagrama de Pareto, foi possível verificar que o pH inicial do efluente foi o único fator significativo estatisticamente para a remoção de turbidez, e além disso, através da superfície de resposta gerada foi possível verificar que um pH abaixo de 5,2 possui potencial de garantir menores concentrações finais de turbidez. Assim, a dose alumínio de 50,86 mg L⁻¹ e o pH inicial 4 foram definidos como a melhor condição de tratamento para efluentes de lavanderia, garantindo uma turbidez final de 4,66 NTU ao efluente tratado. A turbidez final se enquadrou na norma brasileira de reúso de água para fins não potáveis (ABNT NBR 16783, 2019), demonstrando viabilidade para o reúso dos efluentes de lavanderia tratados por ECF. Contudo, a turbidez final não se enquadrou na norma internacional para reúso de água irrestrito (US-EPA, 2012), o que indica a necessidade de adição de uma unidade de filtração após a ECF como uma alternativa para reduzir os teores de turbidez do efluente tratado e enquadrá-lo à padrões mais restritivos.

PALAVRAS-CHAVE: Saneamento, Tratamento de Efluentes, Recursos Hídricos, Reuso de Água.

INTRODUÇÃO

A escassez de água é um problema crescente que vem exigindo maior atenção. De acordo com o Programa Mundial de Avaliação da Água das Nações Unidas (WWAP, 2017), dois terços da população mundial sofrem com a falta de água em pelo menos um mês no ano. Segundo dados do UN-HABITAT (2016), até 2030 é previsto um aumento de 50% na demanda global por água, o que torna ainda mais agravante o cenário de crise hídrica.

O aumento na demanda por água se deve ao crescimento populacional, a urbanização e a industrialização, tornando grandes centros urbanos especialmente vulneráveis à escassez de água (AMARASINGHE; SMAKHTIN, 2014; WWAP, 2017). Outro fator que vem agravando a crise hídrica é a falta de saneamento básico aliado ao lançamento de efluentes em corpos hídricos, como os oriundos das lavanderias, que além de trazerem riscos à saúde e aos ecossistemas, deterioram a qualidade dos recursos hídricos disponíveis (SPILK, 2015). Além disso, os eventos de seca e estiagem vêm contribuindo para a diminuição da disponibilidade hídrica nos últimos anos (ANA, 2017).

Essa problemática tem levado a pesquisas que busquem por fontes alternativas de água, como o tratamento e reuso de águas cinzas de lavanderias. O setor das lavanderias está em crescimento atualmente e possui médio a alto potencial poluidor para o meio ambiente (CONSEMA 372, 2018), além dessa atividade econômica utilizar grandes volumes de água e produzir volumes significativos de efluentes (HOINKIS; PANTEN, 2008).

Dessa forma, o desenvolvimento e o estudo de novas técnicas emergentes de tratamento de efluentes poderão trazer uma nova perspectiva em relação à preservação ambiental e ao reuso de água em lavanderias. Nesse contexto, processos eletroquímicos, como a Eletrocoagulação-Flotação (ECF), vêm sendo estudados por serem métodos eficientes, de simples operação, manutenção e automação, além de produzirem pequena quantidade de lodo residual (BRACHER et al., 2022). Conforme um estudo realizado por Dimoglo et al. (2019), a ECF pode ser uma técnica eficiente para o tratamento de efluentes de lavanderias.

OBJETIVO

O objetivo deste estudo foi analisar a possibilidade de reuso de efluentes de lavanderia tratados por eletrocoagulação-flotação, considerando a turbidez como parâmetro indicador da qualidade do efluente tratado.

METODOLOGIA

Para a realização dos experimentos foi coletado efluente de uma lavanderia doméstica, localizada na cidade de Santa Maria, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. O efluente foi coletado em cinco etapas (molho, lavagem, primeiro enxágue, segundo enxágue e enxágue com amaciante e neutralizante), as quais após foram misturadas na mesma proporção, 1/5 de cada etapa, e encaminhadas ao Laboratório de Engenharia e Meio Ambiente (LEMA), da Universidade Federal de Santa Maria, onde realizou-se as análises e experimentos.

O efluente coletado possuía produtos como detergente neutro para pré-lavagens, aditivo alcalino, desinfetante, neutralizante de resíduo alcalino e amaciante de tecidos, os quais são utilizados no processo de lavagem. O efluente bruto foi caracterizado e apresentou uma condutividade inicial de 1.416,2 $\mu\text{S cm}^{-1}$, turbidez de 77,3 NTU, pH de 10,5 e temperatura das amostras de 23,6 °C.

O sistema de ECF utilizado no estudo foi constituído de um reator de eletrocoagulação, um floculador tubular helicoidal (FTH) e um separador de fases (Figura 1). O reator de ECF, responsável pela produção dos agentes coagulantes e microbolhas, tem um diâmetro de 3,6 cm e altura de 35,5 cm, possuindo 8 eletrodos de alumínio alocados no seu interior, espaçados em 0,3 cm, superfície ativa total de 365,75 cm^2 e gradiente de velocidade de 305 s^{-1} . O reator foi conectado a uma fonte de corrente contínua em configuração monopolar paralelo, com densidade da corrente de 1 mA cm^{-2} (GRAEPIN, 2020).

Conectado ao reator ECF, o FTH permite a formação dos flocos aerados, através da agitação, ele possui uma mangueira de 45 m de comprimento, com diâmetro de 0,9 cm (mangueira) e diâmetro das unidades anelares de 6 cm. O sistema ECF operou em fluxo contínuo com vazão de 0,8 L min^{-1} , com exceção da separação de fases que foi realizada em modo batelada. A separação de fases ocorreu em um recipiente cilíndrico (10,8 \times 22,2 cm) e o efluente permaneceu em repouso por 20 minutos para ocorrer a flotação dos flocos produzidos (GRAEPIN, 2020).

Um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) foi realizado utilizando doses de alumínio de 45,00, 50,86, 65,00, 79,14 e 85,00 mg L⁻¹ e pH inicial de 3,5, 4,0, 5,2, 6,4 e 6,9, resultando em 12 ensaios, sendo 4 repetições do ponto central (dose de alumínio de 65,00 mg L⁻¹ e pH 5,2). O DCCR seguiu a metodologia de Rodrigues e Iemma (2014) e os resultados foram analisados utilizando o software Statistica ® 7.0 (Statsoft Inc., Tulsa, OK, EUA), com um nível de significância de 95% (p<0,05).

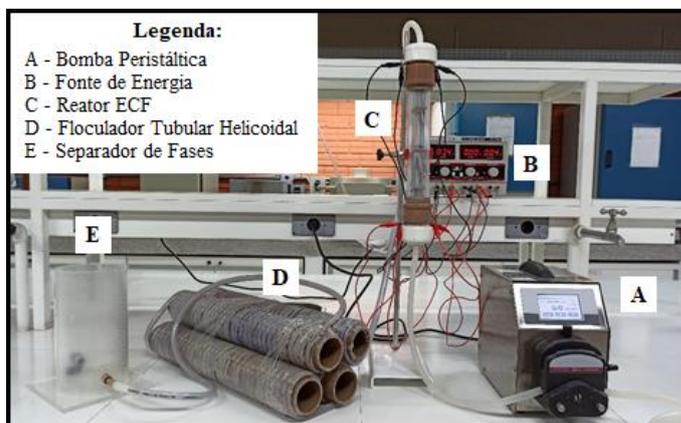


Figura 1: Sistema de eletrocoagulação-flotação.

A turbidez foi quantificada seguindo o item 2130 B e a condutividade elétrica seguindo o 2510 B do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). Após a análise, o valor final foi comparado com as normas US-EPA (2012) e da ABNT NBR 16783 (2019), para verificar a possibilidade de reuso considerando o parâmetro turbidez e condutividade elétrica.

RESULTADOS

A análise de variância apresentou um F calculado (29,11) maior que o F tabelado (4,39) e um coeficiente de determinação (R²) de 0,96, indicando que o modelo foi estatisticamente significativo e explicou 96% da variação dos resultados.

Além disso, o Diagrama de Pareto demonstrou que o pH inicial do efluente foi o único fator significativo estatisticamente para a remoção de turbidez, nas faixas de dose e pH inicial estudadas (Figura 2). O mesmo pode ser observado na superfície de resposta gerada (Figura 3), considerando as combinações de dose e pH inicial utilizados no estudo.

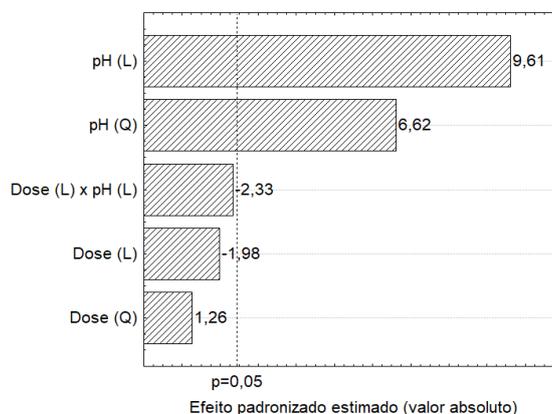


Figura 2: Diagrama de Pareto para a variável resposta turbidez.

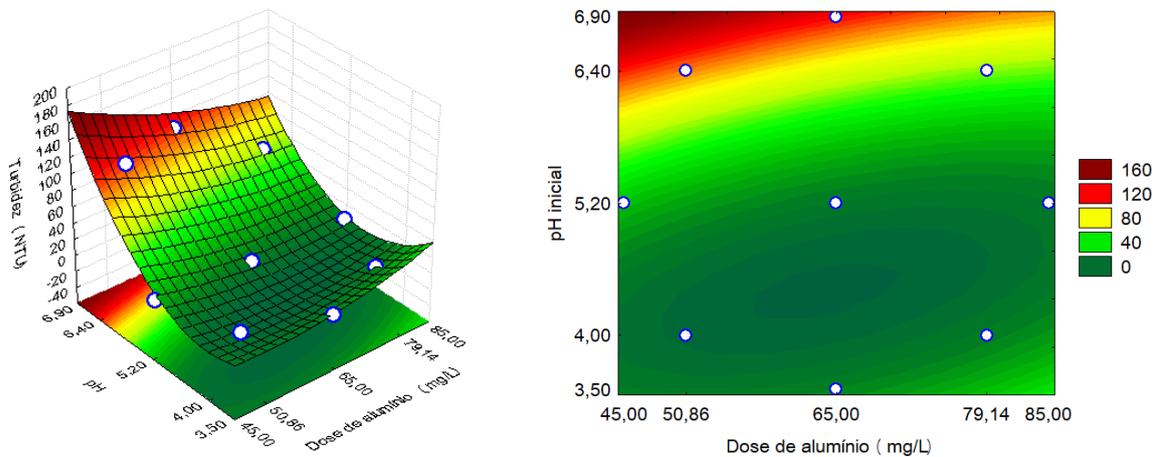


Figura 3: Superfície de resposta gerados para o parâmetro turbidez, variando a dose de alumínio e o pH inicial do efluente.

Com a análise da superfície de resposta, verificou-se que um pH abaixo de 5,2 possui grande potencial de garantir uma maior eficiência no tratamento. Os resultados do parâmetro turbidez final para os pHs (3,5, 4,0 e 5,2) estão expressos na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados obtidos para o parâmetro turbidez, variando a dose de alumínio e o pH inicial do efluente.

Dose de alumínio (mg L ⁻¹)	PH inicial	Turbidez Inicial (NTU)	Turbidez Final (NTU)	Remoção (%)
65,00	3,5	74,70	5,19	93
50,86	4,0	74,70	4,66	94
65,00	5,2	73,53	3,49	95

O modelo de regressão foi gerado para o parâmetro turbidez, conforme Equação 1.

$$\text{Turbidez (NTU)} = 3,4417 - 7,9728ED + 5,7022ED^2 + 38,6603EP + 29,8509EP^2 - 13,2625EDEP \quad (1)$$

Onde: ED corresponde à dose de alumínio e EP ao pH inicial.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As concentrações finais de turbidez mais baixas foram encontradas utilizando o pH 4,0 e 5,20. Tendo que quanto mais elevada a dose maior o consumo de energia e de eletrodos e, conseqüentemente, maior o custo do tratamento (GRAEPIN et al., 2020), a condição de dose alumínio de 50,86 mg L⁻¹ com o pH inicial 4 foi definida como a melhor condição para o tratamento de efluentes de lavanderia.

Assim, o pH inicial 4 possibilitou que uma menor dose de alumínio fosse utilizada no tratamento. Esse pH foi o mais adequado devido à dissolução das espécies de alumínio no efluente, neutralizado as cargas elétricas entre o óleo e a água (BRACHER, 2018). Além disso, o maior valor de turbidez utilizando o pH 3,5 demonstrou que o pH 4 contribuiu para a separação de fases após a neutralização das cargas, resultando em menor turbidez final.

Em comparação com estudos da literatura, Shaikh e Ahammed (2021) utilizaram a coagulação química com alumínio e também obtiveram uma remoção de turbidez de 94%. Além disso, Pidou et al. (2008) relataram a melhor condição de tratamento em pH 4,5 (ácido), próximo ao valor obtido no presente estudo.

Comparando os resultados obtidos com as normas, observou-se que o valor final de turbidez para o pH inicial 4,0 e a dose de 50,86 mg L⁻¹ (4,66 NTU) se enquadrou na norma brasileira para reuso de água para fins não potáveis (turbidez ≤ 5 NTU) (ABNT NBR 16783, 2019), porém, não se enquadrou na norma internacional para uso irrestrito (turbidez ≤ 2 NTU) (US-EPA, 2012). A adição de uma unidade de filtração poderia ser uma alternativa para atingir menores valores de turbidez residual e alcançar os padrões da norma internacional (BRACHER et al., 2021).

CONCLUSÕES

Com o presente estudo foi possível verificar que a ECF é uma técnica eficiente para o tratamento de efluentes oriundos de lavanderia e a condição de pH inicial 4,0 aliado à uma dose de alumínio de 50,86 mg L⁻¹ foi definida como a melhor condição para o tratamento desse tipo de efluente.

A turbidez (4,66 NTU) se enquadrou na norma brasileira de reuso (ABNT NBR 16783, 2019), porém não se enquadrou na norma internacional para uso irrestrito (US-EPA, 2012). Contudo, a implantação de uma unidade de filtração após a ECF pode ser uma alternativa para reduzir os teores de turbidez do efluente tratado, tornando-o de acordo com todas as normas de reuso.

Com isso, a ECF pode vir a ser utilizada em lavanderias, facilitando o tratamento destes efluentes *in loco*, evitando o seu lançamento inadequado ou o seu envio para estações de tratamento de esgoto convencionais, diminuindo problemas no tratamento biológico destas estações devido as suas características antibacterianas e recalcitrantes. Além disso, o tratamento e reuso desses efluentes garantem maior conservação e disponibilidade de recursos hídricos e diminuição do consumo e gastos com água potável em lavanderias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMARASINGHE U.; SMAKHTIN V. Global water demand projections: past, present, and future. IWMI, Colombo, 2014.
2. ANA (Agência Nacional de Águas). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno. Brasília: ANA, 177 p., 2017.
3. APHA: *Standard methods for examination of water and wastewater*. Washington, 2012.
4. ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). NBR 16783: Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
5. BRACHER, G. H. Análise do desempenho de um sistema de eletrocoagulação-flotação para o tratamento de esgoto doméstico visando reuso. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.
6. BRACHER, G. H.; CARISSIMI, E.; WOLFF, D. B.; GLUSCZAK, A. G.; GRAEPIN, C. Performance of an electrocoagulation-flotation system in the treatment of domestic wastewater for urban reuse. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 1, p. 1, 2022
7. BRACHER, G. H.; CARISSIMI, E.; WOLFF, D. B.; GRAEPIN, C.; HUBNER, A. P. Optimization of an electrocoagulation-flotation system for domestic wastewater treatment and reuse. *Environmental Technology*, v. 42, p. 2669-2679, 2021.
8. CONSEMA 372 (Conselho Estadual do Meio Ambiente Resolução 372). Resolução CONSEMA nº 372/2018. Porto Alegre: Diário Oficial do Estado, 2018.
9. DIMOGLO, A. et al. Electrocoagulation/electroflotation as a combined process for the laundry wastewater purification and reuse. *Journal of Water Process Engineering*, v. 31, out. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714418309292>. Acesso em: 20 dez. 2022.
10. GRAEPIN, C.; CARISSIMI, E.; KUHN, R. C.; BRACHER, G. H. Electrocoagulation-flotation: a novel proposal for Latin-American water treatment facilities. *Desalination and Water Treatment (Online)*, v. 1, p. 1, 2020.
11. GRAEPIN, C. Sistema de eletrocoagulação-flotação: uma unidade de tratamento de água inovadora para demandas eventuais e remotas do saneamento básico. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2020.
12. HOINKIS, J.; PANTEN, V. Wastewater Recycling in Laundries—From Pilot to Large-Scale Plant. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, v. 47, p. 1159-1164, jul. 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0255270107003911>. Acesso em: 19 dez. 2022.
13. PIDOU, M. et al. Chemical solutions for greywater recycling. *Chemosphere*, v. 71, p. 147-155, 2008.
14. RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. *Experimental Design and Process Optimization*. 1 ed. CRC Press, 2014.
15. SHAIKH, I.; AHAMMED, M. M. Coagulation Followed by Continuous Sand Filtration for Treatment of Graywater. *J. Hazard. Toxic Radioact. Waste*, v. 25, n. 4, 2021.



16. SPILK, F. R. Crise hídrica, saúde e parâmetros de qualidade microbiológica da água no Brasil. Revista USP, n. 106, p. 71-78, 2015.
17. United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT). World Cities Report 2016 – Urbanization and Development: Emerging Futures. Nairobi: UN-Habitat, 2016.
18. United Nations World Water Assessment Programme (WWAP). The United Nations World Water Development Report 2017 – Wastewater: The Untapped Resource. Paris, UNESCO, 2017.
19. United States Environmental Protection Agency (US-EPA). Guidelines for water reuse. Washington: U.S. Agency for International Development, 2012.