



## **Análise do desempenho de um sistema eletroquímico no tratamento de esgoto doméstico**

**Gustavo Holz Brächer<sup>1</sup>, Andressa Gabriela Glusczak<sup>2</sup>, Émilie Scheunemann Lovato<sup>3</sup>, Rafaela De Maman<sup>4</sup>, Elvis Carissimi<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Maria (gustavohbracher@hotmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Santa Maria (andressag.g@hotmail.com)

<sup>3</sup> Universidade Federal de Santa Maria (emiliesche@gmail.com)

<sup>4</sup> Universidade Federal de Santa Maria (rafaela.de.maman@gmail.com)

<sup>5</sup> Universidade Federal de Santa Maria (ecarissimi@gmail.com)

### **Resumo**

Para prevenir a degradação da qualidade de corpos hídricos, os esgotos domésticos têm seus padrões de lançamento limitados por legislação vigente. Desta forma, quando não atingem esses limites ficam condicionados a um tratamento. Dentre as alternativas de tratamento, a eletrocoagulação-flotação, processo eletroquímico que combina os mecanismos de oxidação, coagulação, floculação e flotação, têm se demonstrado capaz de promover um tratamento adequado para águas residuárias, além de apresentar aspectos positivos na perspectiva operacional, econômica e sustentável. O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho de um sistema de tratamento de esgoto doméstico composto por um reator de eletrocoagulação/flotação. O estudo foi realizado em um reator cilíndrico, com 1 L de capacidade, equipado com um par eletrodos de alumínio, conectados a uma fonte de alimentação de corrente contínua. As condições experimentais foram de 1,00 cm de distância entre os eletrodos, 1,50 A de corrente elétrica, 20 min de tempo de eletrólise e 262,5 rpm de agitação. O desempenho do sistema foi verificado através da análise de parâmetros físico-químicos do esgoto antes e após o tratamento. Com base nos resultados obtidos, foi possível concluir que o sistema de eletrocoagulação-flotação apresentou bom desempenho no tratamento de esgoto doméstico, sendo verificadas eficiências de remoção médias de 78,86% de demanda química de oxigênio, 97,26% de cor aparente e 90,05% de turbidez.

Palavras-chave: Eletrocoagulação-flotação. Eletrodos de alumínio. Esgoto doméstico.

Área Temática: Tecnologias Ambientais.

## **Analysis of the performance of an electrochemical system for the domestic wastewater treatment**

### **Abstract**

*In order to prevent the degradation of the water bodies quality, domestic wastewater has its discharge standards limited by current legislation. In this way, when they do not reach these limits it is conditioned to a treatment. Among the treatment alternatives, electrocoagulation-flotation, an electrochemical process that combines the mechanisms of oxidation, coagulation, flocculation and flotation, has been shown capable of promoting an adequate treatment for wastewater, besides presenting positive aspects in the operational, economic and sustainable perspectives. The objective of this study was to evaluate the performance of a domestic wastewater treatment system composed of an electrocoagulation-flotation reactor.*



*The study was conducted in a cylindrical reactor, with 1 L capacity, equipped with a pair of aluminum electrodes, connected to a direct-current power supply. The experimental conditions were of 1.00 cm of distance between the electrodes, 1,50 A of electric current, 20 min of electrolysis time and 262,5 rpm of agitation. The performance of the system was verified through the analysis of physical and chemical parameters of the wastewater before and after the treatment. Based on the results obtained, it was possible to conclude that the electrocoagulation-flotation system presented good performance in the domestic sewage treatment, with average removal efficiencies of 78.86% chemical oxygen demand, 97.26% apparent color and 90.05% turbidity*

*Key words: Electrocoagulation-flotation. Aluminium electrodes. Domestic wastewater*

*Theme Area: Environmental Technologies.*

## 1 Introdução

O esgoto doméstico se faz na forma de despejo líquido residencial/doméstico (higiene e necessidades fisiológicas humanas), industrial (resultante dos processos industriais), água de infiltração na rede coletora e a contribuição pluvial parasitária (ABNT NBR 9648, 1986; CONAMA 430, 2011). Assim, os padrões de lançamento de esgotos são regidos pela Resolução nº 430/11 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que visa assegurar a qualidade da água dos corpos hídricos quanto à carga poluidora de efluentes despejados nestes, por vezes, condicionados ao tratamento.

O tratamento convencional comumente utilizado é baseado em processos biológicos, porém são demorados, necessitam de grande área operacional e não são eficazes para alguns elementos tóxicos presentes nos efluentes (KHANDEGAR; SAROHA, 2013). Isso tem levado ao surgimento de tecnologias alternativas e sistemas de tratamento integrados. Tratamentos prévios ou posteriores, de naturezas distintas, são integrados para se aumentar a eficiência global do sistema, reduzir a área de instalação e os custos, ou transformar quimicamente os poluentes em substâncias biologicamente degradáveis ou mais facilmente elimináveis pelos processos convencionais (MANENTI et al., 2014). Uma das alternativas é o tratamento eletroquímico, o qual tem demonstrado potencial de aplicação para o tratamento de esgotos, devido a possibilidade de conferirem boa qualidade ao esgoto tratado, além de apresentarem vantagens como fácil operação, pequeno espaço físico requerido, custos relativamente baixos, geração de hidrogênio e geração de baixas quantidades de lodo (EMAMJOMEH, SIVAKUMAR, VARYANI, 2011; FORMENTINI, 2012; COTILLAS et al., 2013; ELAZZOUZI, HABOUBI, ELYOUBI, 2017; CHO, HOFFMAN, 2017).

A eletrocoagulação-flotação (ECF) é um processo eletroquímico, onde segundo Emamjomeh, Sivakumar (2009) são três os mecanismos que o regem: a oxidação do eletrodo (ânodo), a geração de bolhas de gás (ânodo e cátodo) e a flotação e/ou sedimentação dos flocos formados. Então, através da inserção de uma corrente elétrica no meio aquoso por meio de eletrodos (metais, principalmente Al e Fe), que dissolvidos por eletrólise, desestabiliza e agrega as partículas suspensas ou precipitadas e adsorve contaminantes dissolvidos (JIANG, et al, 2002; EMAMJOMEH, SIVAKUMAR, 2009). O coagulante é gerado *in situ* pela oxidação do material do ânodo, produzindo, a exemplo de eletrodos de Al, cátions de alumínio que tem o mesmo efeito da adição de sais desse metal (MOLLAH, et al. 2001; HAN, SONG, KWON, 2002). Este tratamento é versátil e competitivo para instalações em tanques que requerem grandes volumes de água a ser tratada. Suas unidades são pequenas e compactas, requerem pouca manutenção e os custos operacionais são mais baixos em comparação a outras unidades de flotação (CRESPILO et al., 2004; MOLLAH et al., 2001).



O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de um sistema de tratamento de esgoto doméstico composto por um reator de ECF, com base na qualidade do esgoto antes e após o tratamento.

## 2 Metodologia

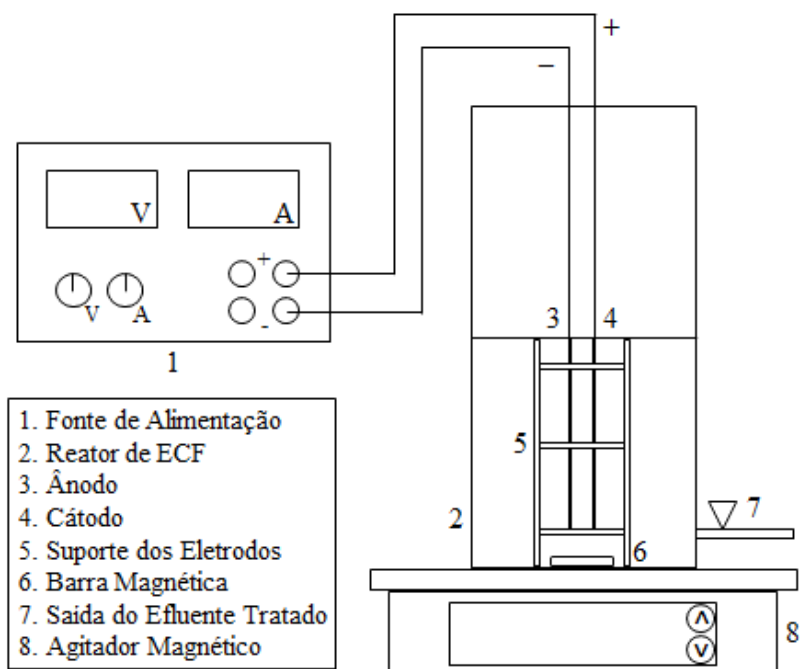
### 2.1 Água Residuária

A água residuária utilizada no estudo foi de esgoto doméstico proveniente de uma Estação de Tratamento de Efluentes Experimental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), a qual recebe parte dos efluentes gerados na Casa do Estudante Universitário II da UFSM. Após a coleta, a amostra foi encaminhada ao Laboratório de Engenharia de Meio Ambiente do Centro de Tecnologia da UFSM, onde foram realizadas as análises qualitativas e conduzidos os estudos de ECF.

### 2.2 Sistema de Eletrocoagulação-flotação

O reator utilizado nos estudos de ECF foi constituído por um recipiente cilíndrico de acrílico (22,20 x 10,80 cm), com volume útil de 1 L, equipado com dois eletrodos de alumínio (9,10 x 7,50 x 0,05 cm), com conexão monopolar, ligados à uma fonte de alimentação de corrente contínua (0 – 30 V, 0 – 2,5 A), como representado na Figura 1. Os eletrodos permaneceram completamente submersos na amostra a ser tratada, resultando em uma área superficial ativa de 67,50 cm<sup>2</sup>.

Figura 1 – Representação esquemática do reator de eletrocoagulação/flotação.



Fonte: Autoria própria.

### 2.3 Procedimentos Experimentais

As condições experimentais adotadas no estudo foram determinadas com base em estudos preliminares. Foram mantidas, durante o tratamento, uma distância entre os eletrodos de 1,00 cm, corrente elétrica de 1,50 A, tempo de eletrólise de 20 min e agitação de 262,5



rpm. Após o tempo de eletrólise, o fornecimento de energia ao sistema foi cessado e a amostra deixada em completo repouso durante 5 min, para flotação dos precipitados remanescentes. Os experimentos foram realizados em triplicata, nas condições citadas anteriormente, com o objetivo de verificar a reprodutibilidade e variação dos resultados obtidos.

## 2.4 Métodos Analíticos

Para avaliação da qualidade do esgoto antes e após o tratamento, foram analisados os parâmetros de condutividade, pH, oxigênio dissolvido, temperatura, demanda química de oxigênio (DQO), cor aparente, turbidez e sólidos totais. Os parâmetros foram determinados conforme as metodologias indicadas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). A eficiência de remoção de DQO, cor aparente, turbidez e sólidos totais, do tratamento eletroquímico, foram determinadas a partir da Equação 1.

$$E = \left(1 - \frac{C_B}{C_A}\right) \cdot 100 \quad \text{Equação 1.}$$

## 3 Resultados e Discussão

Os valores obtidos durante o estudo estão apresentados na Tabela 1, demonstrando a caracterização do esgoto doméstico sem tratamento e após o tratamento por ECF, bem como as eficiências de remoção observadas.

Tabela 1 - Características do esgoto doméstico antes e após o tratamento eletroquímico.

Parâmetro	Valor Médio ( $\pm$ Desvio Padrão)		
	Esgoto sem tratamento	Esgoto tratado	Eficiência de Remoção (%)
Condutividade ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-2}$ )	1.056,00	1.087,56 ( $\pm 38,01$ )	-
pH	7,61	9,06 ( $\pm 0,04$ )	-
Oxigênio Dissolvido ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	0,00	1,40 ( $\pm 0,64$ )	-
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	19,00	27,67 ( $\pm 0,58$ )	-
Demanda Química de Oxigênio ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	1.029,31	217,62 ( $\pm 5,59$ )	78,86 ( $\pm 0,54$ )
Cor Aparente (uC)	4.316,33	118,30 ( $\pm 10,05$ )	97,26 ( $\pm 0,23$ )
Turbidez (NTU)	136,33	13,57 ( $\pm 0,93$ )	90,05 ( $\pm 0,68$ )
Sólidos Totais ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	985,00	484,39 ( $\pm 43,78$ )	50,82 ( $\pm 4,44$ )

Durante o tratamento foram observados aumentos dos valores de pH, oxigênio dissolvido e temperatura do efluente. O aumento do pH pode ser consequência da atividade catódica durante o tratamento, onde há geração de íons  $\text{OH}^-$  e consumo de íons  $\text{H}^+$  a partir da hidrólise da água, bem como da geração de espécies solúveis de hidróxidos de alumínio durante o tratamento, o que ocorre em pH alcalino (BARRERA-DÍAZ et al., 2012; JIMÉNEZ et al., 2012). Durante o processo de ECF há a formação de gás oxigênio no ânodo, o que explica o aumento de oxigênio dissolvido após o tratamento (ROMERO, 2009). O aumento na temperatura pode ser atribuído à perda de energia na forma de calor, em função da resistividade apresentada pelo esgoto doméstico (CHEN, 2004).

Além disso, foram registradas elevadas eficiências de remoção de DQO (78,86%), cor aparente (97,26%) e turbidez (90,05%), o que evidencia o potencial do tratamento quanto a clarificação e remoção de matéria orgânica do esgoto doméstico. As remoções observadas são consequência principalmente da separação dos contaminantes do meio aquoso pelos processos de coagulação, floculação e flotação (EMAMJOMEH, SIVAKUMAR, VARYANI, 2011). A



eficiência de remoção de sólidos totais observada foi menor que as eficiências de DQO e turbidez, o que pode indicar a predominância de sólidos dissolvidos inorgânicos na solução e a existência de espécies de hidróxidos de alumínio solúveis na solução.

A remoção de DQO observada no tratamento encontrou-se dentro das faixas de remoção esperadas em sistemas de tratamento convencionais, compostos de diferentes combinações de lagoas, biofiltros e reatores biológicos (VON SPERLING, 2005). No entanto, cabe ressaltar que o tratamento por ECF foi realizado em uma única unidade e em curto tempo de operação. Dados semelhantes para a DQO foram obtidos no estudo de Benazzi (2013), em seu estudo sobre a otimização de um sistema de eletrofloculação em fluxo contínuo para o tratamento de efluentes das indústrias de laticínios, onde encontrou uma remoção de 71% para a DQO em um maior período de tratamento.

As legislações a serem consideradas a respeito do lançamento de efluentes em corpos hídricos são a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 430/11, a nível nacional e do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA) nº 355/17, a nível estadual. Em ambas resoluções a condição de lançamento para o parâmetro de pH é na faixa de 6 a 9, porém como apresentado na Tabela 1, o pH do esgoto tratado permanece ligeiramente acima deste limite, o que indica a necessidade de uma etapa adicional de correção de pH no tratamento. E se tratando da temperatura, o efluente pode apresentar até 40 °C, em ambas as resoluções, porém a CONAMA nº 430/11 ressalta que a variação na temperatura do corpo receptor não poderá ultrapassar 3 °C na zona de mistura. Considerando que a temperatura média de águas naturais varia entre 20 a 25 °C em países tropicais, como o Brasil, e que a temperatura média do esgoto após o tratamento foi de 27,67 °C, pode-se dizer que o efluente encontra-se de acordo com as exigências, uma vez que apresenta temperatura média de 27,67 °C, após o tratamento (LIBÂNIO, 2016).

A Resolução CONAMA nº 430/11 não traz valores de DQO a serem respeitados, mas a CONSEMA nº 355/17 sim, os quais diferem de acordo com a vazão a ser lançada em corpo receptor, variando de 150mg/L ( $10.000 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1} \leq Q$ ) à 330 mg/L ( $Q < 200 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ ). O esgoto tratado esteve dentro dos limites para vazões de lançamento menores que  $10.000 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ .

A cor aparente não tem limite definido, porém, segundo a CONSEMA nº 355/17, o efluente lançado não deve modificar a cor verdadeira do corpo hídrico receptor. De acordo com Libânio (2016), as águas naturais de corpos hídricos apresentam, geralmente, cor verdadeira na faixa de 15 a 100 uC, podendo o valor de 118,30 uC de cor aparente, encontrado no esgoto após tratamento, ser considerado satisfatório.

#### 4 Conclusão

Com base nos resultados obtidos, foi possível concluir que o sistema de ECF apresentou um bom desempenho na remoção de matéria orgânica, cor e turbidez do esgoto doméstico. O esgoto, após o tratamento no sistema de ECF, apresentou os parâmetros de qualidade em conformidade com a legislação vigente de despejo em corpo hídrico receptor, excetuando-se o pH, que se manteve ligeiramente acima dos padrões, indicando a necessidade de uma etapa adicional de correção de pH ao tratamento.

#### Referências

APHA; AWWA; WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21. ed. Washington: [s.n.], 2005. p. 1600.





ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9.648**: Estudos de Concepção de Sistemas de Esgoto Sanitário. Novembro de 1986. 5p.

BARRERA-DÍAZ, C., et al. Synergy of electrochemical/O<sub>3</sub> process with aluminum electrodes in industrial wastewater treatment. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 51, n. 27, p. 9335-9342, 2012.

BENAZZI, T. L. **Otimização de um Sistema de Eletrofloculação em Fluxo Contínuo Para o Tratamento de Efluentes Líquidos das Indústrias de Laticínios. 2013. 121 p. Tese (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, RS, 2013.**

CHEN, G. Electrochemical technologies in wastewater treatment. **Separation and purification Technology**, v. 38, n. 1, p. 11-41, 2004.

CHO, K.; HOFFMANN, M. R. Molecular hydrogen production from wastewater electrolysis cell with multi-junction BiOx/TiO<sub>2</sub> anode and stainless steel cathode: Current and energy efficiency. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 202, p. 671-682, 2017.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – CONSEMA. **Resolução Nº 355, de 19 de julho de 2017**. Rio Grande do Sul: 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução Nº 430, de 13 de Maio de 2011**. Brasil: 2011.

COTILLAS, S.; LLANOS, J.; CAÑIZARES, P.; MATEO, S.; RODRIGO, M. A. Optimization of an integrated electrodisinfection/electrocoagulation process with Al bipolar electrodes for urban wastewater reclamation. **Water research**, v. 47, n. 5, p. 1741-1750, 2013.

CRESPILHO, F. N.; SANTANA, C. G.; REZENDE, M. O. O. Tratamento de efluente de indústria de processamento de coco utilizando eletroflotação. **Química Nova**, v. 27, n. 3, 2004, pg. 387-392.

EMAMJOMEH, M.M., SIVAKUMAR, M. Review of pollutants removed by electrocoagulation and electrocoagulation/flotation processes. **Journal of Environmental Management** 90 (2009). p. 1663–1679.

EMAMJOMEH, M.M., SIVAKUMAR, M. VARYANI. A. S. Analysis and the understanding of fluoride removal mechanisms by an electrocoagulation/flotation (ECF) process. **Desalination** 275 (2011). p.102–106. DOI:10.1016/j.desal.2011.02.032.

ELAZZOUI, M.; HABOUBI, K.; ELYOUBI, M. S. Electrocoagulation flocculation as a low-cost process for pollutants removal from urban wastewater. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 117, p. 614-626, 2017.

FORMENTINI, D. **Tratamento eletroquímico de esgotos sanitários. 2012. 125p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR, 2012.**



HAN, M., SONG, J. KWON, A. Preliminary investigation of electrocoagulation as a substitute for chemical coagulation. **Water Science and Technology: Water Supply**. Vol. 2 No. 5–6. p. 73–76. IWA Publishing: 2002.

JIANG, J. et al. Laboratory study of electro-coagulation–flotation for water treatment. **Water Research** 36 (2002) p. 4064–4078.

KHANDEGAR, V.; SAROHA, A. K. Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluents – a review. **Journal of Environmental Management**, v. 128, n. 15, 2013, pg. 949–963.

LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 4 ed. Campinas, SP: Editora Átomo, 2016.

MANENTI, D. R., et al. Avaliação do desempenho de um sistema de tratamento utilizando os processos eletrocoagulação e foto-fenton integrados no tratamento de um efluente têxtil. **Engevista**, v. 16, n. 3, 2014, pg. 420–431.

MOLLAH, M. Y. et al. Electrocoagulation (EC)—science and applications. **Journal of Hazardous Materials B84** (2001) p. 29–41.

ROMERO, J. A. P. **Eletroflotação aplicada ao tratamento de esgoto sanitário**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Volume 1: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 3ª Ed. 2005.