

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA NA ELETROCOAGULAÇÃO: AVALIAÇÃO DOS CUSTOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DO PROCESSO DE PARBOILIZAÇÃO DO ARROZ

Data da submissão: 20/01/2024

Data de aceite: 26/01/2024

Beatriz Regina Pedrotti Fabião

IFSul - Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense,
campus Pelotas, Programa de Pós-
graduação em Engenharia e Ciências
Ambientais
Pelotas – RS
<https://lattes.cnpq.br/7146797107160873>

Kátia Regina Lemos Castagno

IFSul - Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense,
campus Pelotas, Programa de Pós-
graduação em Engenharia e Ciências
Ambientais
Pelotas – RS
<http://lattes.cnpq.br/7177057188621855>

Michel David Gerber

IFSul - Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense,
campus Pelotas, Programa de Pós-
graduação em Engenharia e Ciências
Ambientais
Pelotas – RS
<http://lattes.cnpq.br/6666598600875774>

impactando negativamente esses ecossistemas e seu entorno. Nesse sentido é importante que as técnicas de tratamento de águas residuárias consigam ser eficientes, dada a ampla gama de contaminantes presentes. Ainda pouco empregada no Brasil, a Eletrocoagulação (EC) é uma técnica capaz de gerar “in situ” o agente coagulante, um processo que consiste em criar hidróxidos metálicos por eletrodissolução de ânodos solúveis, geralmente de ferro ou alumínio. À medida que o ânodo sofre corrosão, o cátion ativo é liberado para a solução, formando o hidróxido metálico insolúvel responsável pela coagulação. Ao mesmo tempo, no cátodo, são formadas microbolhas de hidrogênio promovendo a separação das partículas, por meio de flotação. A EC possui alta eficiência na remoção de contaminantes orgânicos e inorgânicos, incluindo compostos recalcitrantes e metais pesados, é rápida e compacta. Contudo, a principal dificuldade para a sua popularização está nos custos operacionais, relacionados ao desgaste dos eletrodos e, principalmente, ao consumo de energia elétrica. Este trabalho avaliou os custos energéticos e de desgaste dos eletrodos no tratamento, por Eletrocoagulação, do efluente do processo

RESUMO: O aporte de contaminantes nos corpos hídricos acarreta uma série de alterações na qualidade das águas,

de parboilização do arroz. Os custos totais foram de R\$ 13,07 por m³ de efluente tratado e de R\$ 7.842,00 por dia, levando-se em conta a vazão de lançamento diária de efluente tratado pela empresa.

PALAVRAS-CHAVE: tratamento eletroquímico; energia elétrica; eletrodos.

ECONOMIC VIABILITY ANALYSIS IN ELECTROCOAGULATION: COST ASSESSMENT IN THE TREATMENT OF EFFLUENT FROM THE RICE PARBOILING PROCESS

ABSTRACT: The input of contaminants into water bodies causes a series of changes in water quality, negatively impacting these ecosystems and their surroundings. In this sense, it is important that wastewater treatment techniques be efficient, given the wide range of contaminants present. Still not widely used in Brazil, Electrocoagulation is a technique capable of generating the coagulating agent “in situ,” a process that involves the creation of metallic hydroxides through the electrodisolution of soluble anodes, usually made of iron or aluminum. As the anode corrodes, the active cation is released into the solution, forming the insoluble metallic hydroxide responsible for coagulation. At the same time, hydrogen microbubbles are formed at the cathode, promoting particle separation by flotation. It has high efficiency in removing organic and inorganic contaminants, including recalcitrant compounds and heavy metals, it is a fast and compact process. However, the main challenge in its popularization lies in operational costs, related to electrode wear and, especially, electricity consumption. This study evaluated the energy and electrode wear costs in the Electrocoagulation treatment of effluent from the rice parboiling process. The total costs (values for December 2024) were R\$ 13.07 per cubic meter of treated effluent and R\$ 7,842.00 per day, considering the daily flow of effluent treated by the company.

KEYWORDS: electrochemical treatment; electrical power; electrode.

1 | INTRODUÇÃO

O aporte de contaminantes, pelo despejo de águas residuárias, promove diversas alterações nos corpos receptores, principalmente a redução do teor de oxigênio dissolvido (OD), que é consumido nos processos de estabilização da matéria orgânica, a eutrofização causada pelo excesso de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e transmissão de doenças por microrganismos patogênicos (ROSA, DALMOLIN, COPETTI, 2013). Os métodos tradicionais de tratamento de efluentes industriais incluem processos físico-químicos e biológicos.

Tratamentos biológicos são sistemas baseados na atividade metabólica dos microrganismos, sobretudo bactérias e algas, e conseguem uma alta eficiência na remoção da fração orgânica biodegradável (DBO₅), mas não apresentam o mesmo desempenho frente a compostos de difícil biodegradabilidade, metais, e outros contaminantes como nitrogênio e fósforo (WIESNIESK, COSTA, 2012; ROSA, DALMOLIN, COPETTI, 2013; SAYANTHAN, THUSYANTHY, 2018; MALI et al., 2023).

Alternativa de tratamento, as técnicas eletroquímicas podem ser tecnologias promissoras para tratar efluentes por, entre outras vantagens, necessitar menor tempo de detenção e possibilitar a automatização dos processos (MENESES et al., 2012). São consideradas técnicas eletroquímicas: a Eletroxidação, a Eletrodeposição e a Eletrocoagulação.

Essas técnicas tem sido empregadas para remoção de nutrientes como fósforo e outros contaminantes inorgânicos e orgânicos, inclusive produtos farmacêuticos, e no tratamento de diversos tipos de efluentes, como de abatedouros de bovinos e aves e efluentes com presença elementos tóxicos, como metais pesados (KOPARAL, OUTVEREN, 2002; KOBYA, SENTURK, BAYRAMOGLU, 2006; ASSELIN et al., 2008; SIRÉS e BRILLAS, 2012; TRAN et al., 2012; OTOSSEN, KIRKELUND, JENSEN, 2013; NGUYEN, et al., 2016; HAMAWAND et al., 2017; HUANG, 2017; MÓDENES et al., 2017).

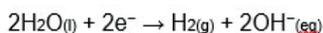
Embora seja um processo tão antigo quanto a eletricidade (KABDASH et al, 2012), e bastante utilizado no início do Século 19 (HOLT, BARTON, MITCHELL, 2005), no final dos anos 1930 a Eletrocoagulação (EC) foi substituída por coagulação química, devido ao alto custo da eletricidade naquele período (HAKIZINAMA et al, 2017). Com a popularização da energia elétrica, as vantagens da EC foram sendo “redescobertas” e, desde a década de 1990, vem sendo bastante utilizada na Europa (HAKIZINAMA et al, 2017).

Ainda incipiente no Brasil, a Eletrocoagulação é uma tecnologia promissora para tratamento de efluentes por, entre outras características, ser rápida e compacta, ter alta eficiência de remoção, inclusive para compostos coloidais, baixa geração de lodo e promover a desinfecção. Além disso, tem a vantagem de gerar o coagulante “in situ” pela dissolução dos ânodos, de ferro ou alumínio (WIMMER, 2007; ASSELIN et al., 2008; OTOSSEN, KIRKELUND, JENSEN, 2013; NGUYEN et al., 2014; NGUYEN et al., 2016; HUANG, 2017; YAVUZ, ÖGÜTVEREN 2018).

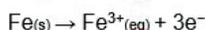
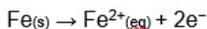
À medida que o ânodo sofre corrosão, o cátion ativo é liberado para a solução, formando espécies hidrolisadas e hidróxido metálico insolúvel, responsável pela formação de precipitado, enquanto que, no cátodo, são formadas microbolhas de hidrogênio que promovem a separação das partículas por meio de flotação (CHEN, 2004; TRAN et al., 2012; NGUYEN et al., 2016; HAMAWAND et al., 2017).

Para eletrodos de ferro, as principais reações envolvidas no processo de EC são (CHEN, 2004; GARCIA-SEGURAA et al., 2017):

No cátodo (dissociação da água):



No ânodo (corrosão do eletrodo):



Embora os custos de operação possam ser maiores, em comparação com a

coagulação química, a EC geralmente aparece como um processo ecológico e econômico (BENHADJI, AHMED, MAACHI, 2011; HAKIZINAMA et al, 2017; HUANG, 2017).

O objetivo deste trabalho foi avaliar os custos relacionados ao consumo de energia e de desgaste dos eletrodos, no tratamento de efluente de parboilização de arroz por técnica de Eletrocoagulação.

2 | METODOLOGIA

O efluente da parboilização utilizado neste trabalho foi cedido por uma empresa de beneficiamento de arroz da região de Pelotas – RS.

O tratamento por Eletrocoagulação foi realizado no laboratório de Eletroquímica do IFSul - Instituto Federal Sul-rio-grandense, campus Pelotas.

Os ajustes de pH foram realizados com adição de solução de hidróxido de sódio p.a. (MERCK), na concentração de 6 mol.L^{-1} .

Os parâmetros Condutividade (Bel Engineering W12D) e pH (Mettler Toledo Seven Easy) foram determinados por medição direta e o desgaste dos eletrodos (ânodos) por gravimetria em balança analítica (ATX324R – Shimadzu).

2.1 TRATAMENTO POR ELETROCOAGULAÇÃO

O sistema de tratamento por EC foi composto por reservatório, reator eletroquímico e decantador, conforme a Figura 1. O reator com capacidade para 4,5 L, operou em fluxo contínuo com alimentação na parte inferior por bomba peristáltica (ProwTec, modelo DB 5000) e vazão de alimentação foi fixada em 125 mL.min^{-1} , em função da capacidade da bomba utilizada.

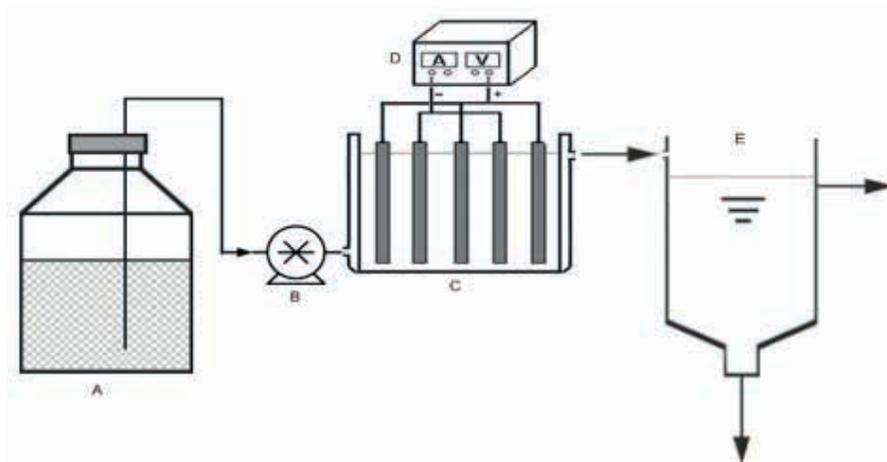


Figura 1. Sistema de Tratamento por Eletrocoagulação: A) tanque de alimentação; B) bomba peristáltica; C) reator eletroquímico; D) fonte geradora E) decantador. Fonte: Autora.

Os eletrodos foram obtidos a partir de chapa metálica da liga de ferro AISI 1020 com espessura de 2mm, cortada em placas medindo 22,0 cm x 6,0 cm, correspondendo a uma área de 200,4 cm² cada. A área total dos dois ânodos, onde ocorre o desgaste, foi de 0,04 m². Os eletrodos foram fixados na forma de *colmeia*, composta por 5 placas, sendo 3 cátodos e 2 ânodos, espaçados em 1 cm, em arranjo monopolar, conforme demonstrado na Figura 2.

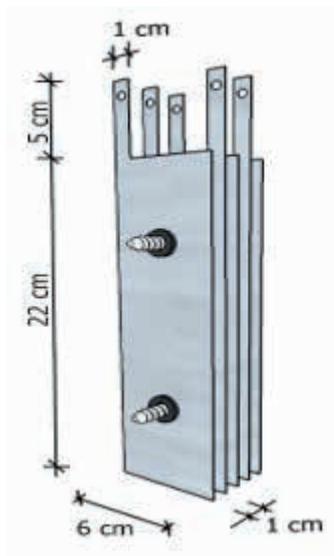


Figura 2: Colmeia constituída com eletrodos de ferro, sendo 3 cátodos e 2 ânodos

Fonte: Autora

As variáveis de influência na técnica de EC foram estudadas segundo modelo estatístico 2³, com triplicata no ponto central, onde se atribuiu os valores de influência para as variáveis representados na Tabela 1.

Variável	Nível baixo (-1)*	Nível médio (0)*	Nível alto (+1)*
(1) Tempo (min)	20	40	60
(2) Intensidade de corrente (A)	7	8	9
(3) pH inicial amostra	5,0	6,0	7,0

*valores de influência atribuídos às variáveis para aplicação estatística

Tabela 1. Níveis baixo, médio e alto para as variáveis de influência na Eletrocoagulação

Foram realizados 11 experimentos com diferentes combinações de tempo de tratamento, intensidade de corrente e pH inicial, conforme a matriz desenvolvida para o planejamento do tratamento.

A avaliação de custos envolvidos, deste trabalho, considerou os dados obtidos para

o experimento de maior tempo de tratamento e maior consumo de eletrodos, com uma perda de massa dos ânodos de 4,95 e 4,89 %.

As condições de operação desse experimento foram: tempo de 60 minutos; intensidade de corrente de 9 A (6,2 v) e pH 7,0.

2.2 CUSTOS GERAIS DO TRATAMENTO

Os cálculos foram baseados nas fórmulas propostas por Crespilho e Rezende (2004) para o custo elétrico e de materiais, levando em conta os valores praticados pela concessionária de energia e o preço médio de chapa de ferro na região metropolitana de Porto Alegre - RS.

O Custo Total (CTO.m⁻³), foi obtido pela soma dos gastos com energia e consumo (desgaste) de eletrodos.

2.3 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

A Resolução ANEEL nº 1.000 (BRASIL, 2021) instituiu a Tarifa Branca, que leva em consideração os diferentes momentos de consumo ao longo do dia: horário de ponta; horário intermediário e horário fora de ponta. É de adesão voluntária e, dependendo do seu momento de maior consumo, pode ser mais vantajoso o consumidor permanecer com a Tarifa Convencional.

Nos cálculos de custo do tratamento por EC foram considerados os valores da energia para o consumidor industrial em janeiro de 2024, para as duas modalidades de tarifa.

O custo elétrico (COE) é calculado com base na energia elétrica consumida durante o processo (kWh.m⁻³ de efluente tratado) e no preço da energia elétrica (PEE em R\$.kWh), e expresso pela fórmula:

$$COE = \frac{V i t}{V_{ef}} PEE$$

Onde:

COE: custo elétrico em R\$.m⁻³

V: tensão aplicada (V)

i: intensidade de corrente (A)

t: tempo de tratamento (h)

V_{ef}: volume efetivo total do efluente tratado (L)

PEE: custo da eletricidade industrial, em R\$.kWh

2.4 CONSUMO DE ELETRODOS

O custo dos materiais (CM) leva em conta a massa máxima possível de ferro, teoricamente dissolvida pelo ânodo, por m³ de efluente tratado, a partir da fórmula:

$$CM = \frac{i t M}{n F V_{ef}} PME$$

Onde:

CM: custo dos materiais em R\$.m⁻³

i: intensidade da corrente elétrica (A)

t: tempo (s)

M: massa molar relativa do ferro (g.mol⁻¹)

n: número de elétrons envolvidos na reação de oxidação/redução

F: constante de Faraday (96.500 C.mol⁻¹)

V_{ef}: volume efetivo total do efluente tratado (L)

PME: preço de material de eletrodo (R\$.g⁻¹)

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CONSUMO DE ELETRODOS

O quilo da chapa de aço 1020, na Região Metropolitana de Porto Alegre, variou entre 12 e 20 reais, valores referentes a novembro/dezembro de 2023. Foi considerado, então, um valor médio de R\$ 15,00 por Kg.

Custo de materiais por m³ de efluente tratado :

$$CM = [(9,0 \times 3.600 \times 0,056) / (3 \times 96.500 \times 4,5)] \times 15 = \mathbf{0,02 \text{ R}\$.m^{-3}}$$

Considerando a vazão de lançamento diária de efluente tratado da empresa que é de 600 m³.d⁻¹, têm-se:

$$CM = 0,02 \times 600 = \mathbf{12,00 \text{ R}\$.d^{-1}}$$

O adequado espaçamento entre os eletrodos evita a formação de resistência, o que tornaria necessário elevar a tensão de eletrólise, aumentando o consumo de energia (WANG et al., 2016).

3.2 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

No Rio Grande do Sul, a Tarifa Convencional para consumidor industrial é de R\$ 0,71881 kWh (dez 2023). Na Tarifa Branca, os valores são respectivamente: R\$ 1,57959; 1,00233 e 0,57547 por kWh (CEEE-EQUATORIAL, 2024).

Custos por m³ de efluente pela Tarifa Convencional:

$$COE = [(6,2 \times 9,0 \times 1,0) / 4,5] \times 0,71881 = \mathbf{8,91 \text{ R}\$.m^{-3}}$$

Custos por m³ de efluente pela Tarifa Branca (média das faixas):

$$\text{COE} = [(6,2 \times 9,0 \times 1,0) / 4,5] \times 1,05246 = \mathbf{13,05 \text{ R}\$.m^{-3}}$$

Levando-se em conta a vazão de lançamento diária de efluente tratado pela empresa (600 m³.d⁻¹), têm-se:

Custos diários pela Tarifa Convencional: 8,91 x 600 = **5.346 R\$.d⁻¹**

Custos diários pela Tarifa Branca (média): 13,05 x 600 = **7.830,00 R\$.d⁻¹**

O consumo energético do processo de EC foi de 12,4 kWh.m⁻³ e é compatível com os encontrados por outros autores, que obtiveram eficiências de tratamento similares: 9,46 kWh.m⁻³, no tratamento de águas cinzas de efluente doméstico (BARIŞÇI, TURKAY, 2016) e 16 kWh.m⁻³ para remoção de corante em efluente de indústria têxtil (KHEMILA et al.,2018).

A presença de substâncias recalcitrantes, como compostos fenólicos pode dificultar o tratamento de efluentes (MICHAELSEN et al., 2019). No tratamento de efluente sintético de alta carga orgânica (fenólico), o consumo de energia ficou entre 40 e 34 kWh.m⁻³ indicando que os custos do tratamento por eletrocoagulação podem ser influenciados pela presença de compostos recalcitrantes, como são os compostos fenólicos, assim como as variáveis do processo de tratamento por EC, como pH e tipo/quantidade de eletrólito adicionado (FAJARDO et al.,2015).

3.3 CUSTOS TOTAIS

Considerando-se a situação mais onerosa (Tarifa Branca), os custos do tratamento por Eletrocoagulação do efluente gerado no processo de parboilização de arroz, foram:

Custo por m³ de efluente tratado:

$$\text{CTO} = 13,05 + 0,02 = \mathbf{13,07 \text{ R}\$.m^{-3}}$$

Custo pela vazão de lançamento diária de efluente tratado:

$$\text{CTO} = 7.830,00 + 12,00 = \mathbf{7.842,00 \text{ R}\$.d^{-1}}$$

O aumento da concentração de sal (adição de eletrólitos) tem relação diretamente proporcional com a condutividade do meio e eleva a capacidade de tratamento, reduzindo custos. Porém, Nguyen e colaboradores (2016) salientam que isso acelerará a corrosão dos eletrodos, encurtando o ciclo de substituição. Ainda que o custo do desgaste de eletrodos não pese tanto quanto o da energia, toda interrupção em um processo produtivo sempre é inconveniente.

4 | CONCLUSÃO

Apesar da Eletrocoagulação ser um processo rápido e eficiente, os custos relacionados ao consumo de energia ainda podem se mostrar uma barreira para a popularização desse método de tratamento.

O emprego de células fotovoltaicas na geração de energia para o sistema vem

sendo estudado, e indica a viabilidade operacional através do uso de fontes alternativas, reduzindo os custos e contribuindo para a divulgação do processo de Eletrocoagulação (HUSSIN et al., 2017; KHEMILA et al., 2018).

Outra alternativa para reduzir custos são os tratamentos híbridos, que combinam técnicas eletroquímicas com sistemas biológicos, reduzindo o tempo de tratamento na EC, pela inclusão de um pré ou pós-tratamento biológico.

(AL-QODAH, AL-QUDAH, ASSIREY, 2019).

REFERÊNCIAS

AL-QODAH, Z.; AL-QUDAH, Y.; ASSIREY, E. **Combined biological wastewater treatment with electrocoagulation as a post-polishing process: A review**. Separation Science and Technology, 1-19, 2019.

ASSELIN, M.; DROGUI, P.; BENMOUSSA, H.; BLAIS, J.F. **Effectiveness of electrocoagulation process in removing organic compounds from slaughterhouse wastewater using monopolar and bipolar electrolytic cells**. Chemosphere v. 72, p. 1727– 1733, 2008.

BARIŞÇI, S.; TURKAY, O. **Domestic greywater treatment by electrocoagulation using hybrid electrode combinations**. Journal of Water Process Engineering, v. 10, p. -66, 2016.

BENHADJI, A.; AHMED, M. T.; MAACHI, R. **Electrocoagulation and effect of cathode materials on the removal of pollutants from tannery wastewater of Rouiba**. Desalination, v. 277, p. 128-134, 2011.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Resolução nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021**. Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de dezembro de 2020 e dá outras providências. Brasília, 2011.

CEEE - GRUPO EQUATORIAL ENERGIA. Disponível em: <https://ma.equatorialenergia.com.br/informacoes-gerais/valor-de-tarifas-e-servicos/#demais-classes>. Acesso em 19 jan 2024.

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

CRESPILHO, F. N.; RESENDE, M. **Eletroflotação. Princípios e Aplicações**. São Paulo: RiMa Editora, 2004.

FAJARDO, A. S.; RODRIGUES, R. F.; MARTINS, R. C.; CASTRO, L. M.; QUINTA-FERREIRA, R. M. **Phenolic wastewaters treatment by electrocoagulation process using Zn anode**. Chemical Engineering Journal, v. 275, p. 331-341, 2015.

GARCIA-SEGURAA, S.; EIBANDA, M. M. S.; DE MELOA, J. V.; MARTÍNEZ-HUITLEA, C. A. **Electrocoagulation and advanced electrocoagulation processes: A general review about the fundamentals, emerging applications and its association with other technologies**. Journal of Electroanalytical Chemistry, v. 801, p. 267-299, 2017.

HAKIZINAMA, J. N.; GOURICH, B.; CHAFI, M.; STIRIBA, Y.; VIAI, C.; DROGUI, P.; NAJA, J. **Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches**. *Desalination*, v. 404, p. 1-21, 2017.

HAMAWAND, I.; GHADOUANI, A.; BUNDSCHUH, J.; HAMAWAND, S.; AL JUBOORI, R. A.; CHAKRABARTY, S.; YUSAF, T. **A Critical Review on Processes and Energy Profile of the Australian Meat Processing Industry**. *Energies*, v. 10, p. 731. DOI: 10.3390/en10050731. 2017.

HOLT, P. K.; BARTON, G. W.; & MITCHELL, C. A. **The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology**. *Chemosphere*, v. 59, n. 3, p. 355-367, 2005.

HOSNI, A. Y. **Separating oil from oil-water emulsions by electroflotation technique**. *Sep. Technol.* v.6, p 9-17. 1996.

HUANG, H.; Zhang, D.; Zhao, Z.; Zhang, P.; Gao, F. **Comparison investigation on phosphate recovery from sludge anaerobic supernatant using the electrocoagulation process and chemical precipitation**. *Journal of cleaner production*, v. 141, p. 429-438, 2017.

HUSSIN, F.; ABNISA, F.; ISSABAYEVA, G.; AROUA, M. K. **Removal of lead by solarphotovoltaic electrocoagulation using novel perforated zinc electrode**. *Journal of cleaner production*, v. 147, p. 206-216, 2017.

KABDASH, I.; ARSLAN-ALATON I.; OLMEZ-HANC T.; TUNAY O. **Electrocoagulation applications for industrial wastewaters: a critical review**. *Environmental Technology Reviews*, v. 1, n. 1, p. 2-45, 2012.

KHEMILA, B.; MERZOUK, B.; CHOUDER, A.; ZIDELKHIR, R.; LECLERC, J. P.; LAPICQUE, F. **Removal of a textile dye using photovoltaic electrocoagulation**. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, v. 7, p. 27-35, 2018.

KOBYA, M.; SENTURK, E.; BAYRAMOGLU, M. **Treatment of poultry slaughterhouse wastewaters by electrocoagulation**. *J. Hazard. Mater.*, v.133, p.172–176, 2006.

KOPARAL, A. S.; ÖĞÜTVEREN, Ü. B. **Removal of nitrate from water by electroreduction and electrocoagulation**. *Journal of Hazardous Materials*, v. 89, n. 1, p. 83-94, 2002.

MALI, H.; SHAH, C.; RAGHUNANDAN, B. H.; PRAJAPATI, A. S.; PATEL, D. H.; TRIVEDI, U.; SUBRAMANIAN, R. B. **Organophosphate pesticides an emerging environmental contaminant: pollution, toxicity, bioremediation progress, and remaining challenges**. *Journal of Environmental Sciences*, v. 127, p. 234-250, 2023.

MENESES, J. M. de; VASCONCELOS, R. de F.; FERNANDES, T. de F.; ARAÚJO, G. T. de. **Treatment of biodiesel wastewater by electrocoagulation/flotation process: investigation of operational parameters**. *Química Nova*, v. 35, n. 2, p. 235-240, 2012.

MICHAELSEN, A.; LAUX, P.; DE SOUZA, T. D.; & OGRODOWSKI, C. S. **Estudo da reação fotocatalítica na degradação de compostos fenólicos em efluente**. *Brazilian Journal of Development*, v. 5, n. 10, p. 21284-21291, 2019.

MÓDENES, A. N.; ESPINOZA-QUIÑONES, F. R.; YASSUE, P. H.; PORTO, T. M.; THEODORO, P. S. **Aplicação da técnica de eletrocoagulação no tratamento de efluentes de abatedouro de aves.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 22, n. 3, p. 571-578, 2017.

NGUYEN, D. D.; NGO, H. H.; GUO, W.; NGUYEN, T. T.; CHANG, S. W.; JANG, A.; YOON, Y. S. **Can electrocoagulation process be an appropriate technology for phosphorus removal from municipal wastewater?** Science of the Total Environment, v. 563, p. 549-556, 2016.

NGUYEN, D. D.; KIM, S. D.; YOON, Y. S. **Enhanced phosphorus and COD removals for retrofit of existing sewage treatment by electrocoagulation process with cylindrical aluminum electrodes.** Desalination and Water Treatment, v. 52, n. 13-15, p. 2388-2399, 2014.

OTOSSEN, L. M.; KIRKELUND, G. M.; JENSEN, P. E. **Extracting phosphorus from incinerated sewage sludge ash rich in iron or aluminum.** Chemosphere, v. 91, n. 7, p. 963-969, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.101>.

ROSA, A. S.; DALMOLIN, R. S. D.; COPETTI, A. C. C. **A poluição causada por aterros de resíduos sólidos urbanos sobre os recursos hídricos.** Revista Gaia Scientia, v. 7, n. 1, 2013.

SAYANTHAN, S.; THUSYANTHY, Y. **Rice parboiling and effluent treatment models; a review.** International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences (IJRSAS), v. 4, n. 5, p. 17-23, 2018.

SIRÉS, I.; BRILLAS, E. **Remediation of water pollution caused by pharmaceutical residues based on electrochemical separation and degradation technologies: A review.** Environment International, v. 40, p. 212-229, 2012.

TRAN, N.; DROGUI, P.; BLAIS, J.-F.; MERCIER, G. **Phosphorus removal from spiked municipal wastewater using either electrochemical coagulation or chemical coagulation as tertiary treatment.** Sep. Purif. Technol., v. 95, p. 16-25, 2012.

WANG, S.; LI, F.; LIU, Z.; LIU, G. **Phosphorus removal from wastewater in Johkasou sewage treatment tank by electro-coagulation.** International Journal of Environmental Science and Development, v. 7, n. 11, p. 798, 2016.

WIESNIESK, J. A.; COSTA, W. **Características dos sedimentos das lagoas de estabilização do aterro controlado do Botuquara, Ponta Grossa –PR, que levam à retenção de metais.** Ciência e Natura, v. 34, n. 1, 2012.

YAVUZ, Y.; ÖGÜTVEREN, Ü. B. **Treatment of industrial estate wastewater by the application of electrocoagulation process using iron electrodes.** Journal of environmental management, v. 207, p. 151-158, 2018.