https://eventos.utfpr.edu.br//sicite/sicite2020

Otimização das condições operacionais do sistema eletrocoagulação/FAD para pós-tratamento de efluente de abatedouro e frigorífico de suínos.

Optimization of the operating conditions of the electrocoagulation/FAD system for post-treatment of swine slaughterhouse effluent

Christian Costa Schmitz
christianschmitz_21@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil.

Eduardo Eyng
eduardoeyng@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil.

Thayane Walkovitz Ribeiro
thayaneribeiro@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil.

RESUMO

O uso de abordagens combinadas no tratamento de efluentes está sendo amplamente aplicado, especialmente para matrizes complexas como o efluente de frigoríficos de suínos. Assim, o objetivo do estudo foi investigar os efeitos da eletrocoagulação associado a flotação por ar dissolvido na remoção de DQO, turbidez e nitrogênio total em efluentes de frigoríficos de suínos. As condições operacionais avaliadas foram a densidade de corrente elétrica, pressão de saturação, pH inicial e o tempo de retenção hidráulica, e utilizando o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) para embasar a otimização das operações. As remoções foram obtidas através de pesquisa bibliográfica, devido a impossibilidade no término do experimento pela pandemia de covid-19, que mostrou a eficiência na remoção de DQO, turbidez e nitrogênio total, com resultados de eletrocoagulação sendo em sua maioria superiores a 80%, já o processo de flotação por ar dissolvido teve números inferiores, com bons valores em DQO e turbidez, e desempenho fraco na remoção de nitrogênio total.

PALAVRAS-CHAVE: Otimização. Tratamento eletroquímico. Delineamento composto central rotacional.

ABSTRACT

Recebido: 19 ago. 2020.
Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

The use of combined approaches in the treatment of effluents is being widely applied, especially for complex matrices such as swine slaughterhouse wastewater. So the aim of the study was to investigate the effects of electrocoagulation associated with dissolved air flotation in the removal of COD, turbidity and total nitrogen. in swine slaughterhouse effluents. The operational conditions evaluated were the electric current density, saturation pressure, initial pH and the hydraulic retention time, and using the Central Composite Rotatable Design (CCRD) to support the optimization of operations. The removals were obtained through bibliographic research, due to the impossibility of

finishing the experiment due to the covid-19 pandemic, which showed the efficiency in the removal of COD, turbidity and total nitrogen, with electrocoagulation results being mostly above 80%, the dissolved air flotation process, on the other hand, had lower numbers, with good COD and turbidity values, and poor performance in the removal of total nitrogen.

KEYWORDS: Optimization. Electrochemical treatment. Central composite rotatable design.

INTRODUÇÃO

O tratamento de efluentes industriais envolve os processos necessários para remover as impurezas geradas no processo de fabricação do produto alvo. O método de tratamento está diretamente relacionado ao tipo de efluente gerado, ao controle operacional industrial e as características da água utilizada.

O processo de eletrocoagulação (EC) tem atraído grande atenção no tratamento de efluentes industriais devido à sua versatilidade e compatibilidade ambiental. Comparada aos métodos tradicionais, essa tecnologia tem algumas vantagens, como equipamentos simples, operação fácil, tempo de retenção curto, sem necessidade de adição de produtos químicos, sedimentação rápida de flocos gerados eletricamente e menor geração de lodo (MENESES et al,2012).

A EC é um método eletroquímico baseado na corrosão eletrolítica através de ânodos de sacrifício e decomposição da água na superfície do cátodo enquanto gera produtos químicos coagulantes (íons Al^{+3} ou Fe^{+2}, segundo o material anódico utilizado), hidrogênio gasoso (H_2) e íons hidróxido (OH^-). O cátodo é acionado pela passagem de corrente entre os eletrodos (GARCIA-SEGURA et al, 2017). Os efluentes devem ter boa resistência, porque quanto maior a resistência, maior a diferença de potencial e consequentemente mais material coagulado (TAUCHERT, 2012).

O ânodo de sacrifício que será utilizado é o de alumínio, que gera íons Al^{3+} devido ao potencial aplicado, mostrado pela equação 1, neste processo o alumínio é oxidado, reagindo com as moléculas de água formando o agente coagulante $Al(OH)_3$ que acarreta na coagulação e formação de partículas coloidais, como vemos na equação 2:

$$Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^- \quad (1)$$

$$Al^{3+} + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + 3H^+ \quad (2)$$

A EC também é capaz de gerar microbolhas de gases responsáveis pela flotação de óleos e graxas. Onde são formadas pela evolução de hidrogênio em reações catódicas, e evolução de oxigênio no processo anódico (CRESPLHO et al, 2004). Demonstradas pelas equações 3 e 4:

$$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^- \quad (3)$$

$$2H_2O \rightarrow O_2 + H^+ + 2e^- \quad (4)$$

O experimento com EC pode apresentar algumas desvantagens como: trocar regularmente os eletrodos, em caso de passivação; em alguns locais a eletricidade pode representar um valor excessivo; um filme de oxido impermeável pode ser formado nos cátodos, o que se traduz em perca de eficiência da unidade de eletrocoagulação (ORSSATTO, 2017).

Outra tecnologia empregada no tratamento de efluentes é a flotação por ar dissolvido (FAD), e seu processo consiste na adesão do efluente junto as bolhas de ar geradas, sendo o conjunto formado por bolha-partícula carregado para a superfície do recipiente de flotação onde ocorre a recuperação das partículas.

Como virtude a FAD consegue gerar bolhas microscópicas, com tamanho na faixa entre os 0 -100 µm, característica muito interessante para o processo de flotação, pois quanto menor a bolha maior área superficial de contato da bolha com a partícula e consequentemente maior eficiência. A geração de bolhas é realizada saturando o efluente estudado com o ar em tanques sob pressões manométricas moderadas (4 à 6 atm), posteriormente, o liquido sofre uma descompressão súbita ao ser liberado em uma válvula agulha ou em dispositivos de constrições de fluxo, o que promove a liberação do ar supersaturado em forma de microbolha (NUNES et al, 2008).

A FAD é um método propicio para o pós-tratamento de efluentes sanitários, atingindo níveis agradáveis de qualidade, além de apresentar vantagens como a flexibilidade do processo, onde permite que trabalhe em uma maior faixa de vazão de recirculação e de pressão, sendo possível o controle de quantidade de ar desprendida aliado ao tamanho das microbolhas formadas (AISSE et al, 2001).

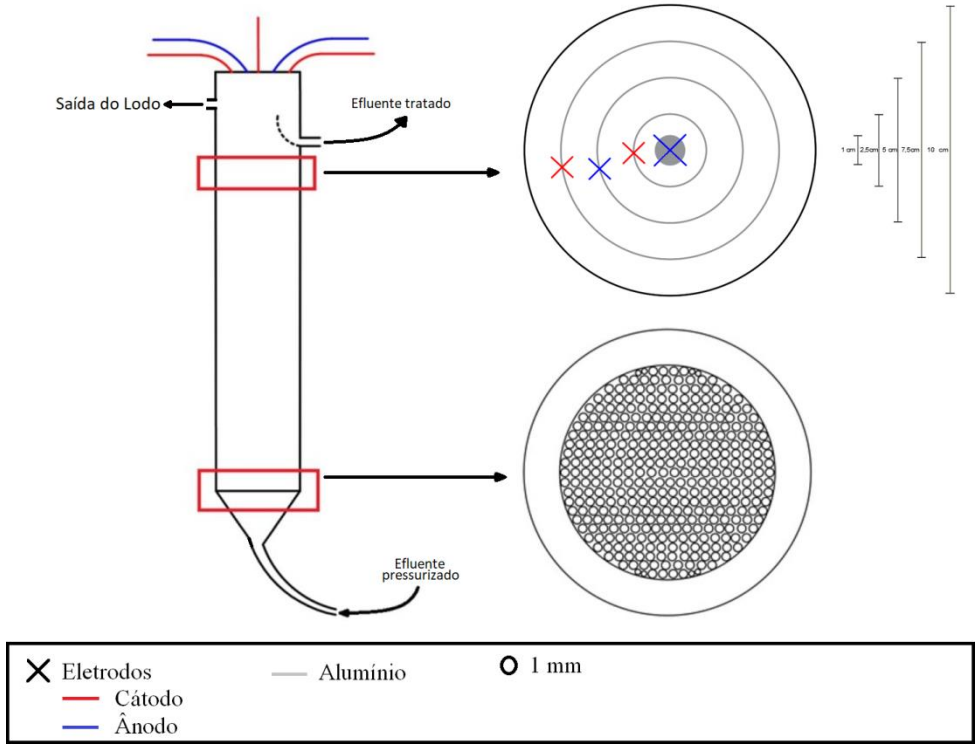
O trabalho realizado teve como proposta a junção dos processos de tratamento de EC com a FAD em um reator de fluxo continuo, buscando maior eficiência na remoção de matéria orgânica do efluente do frigorífico de suínos, e usando o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) como ferramenta para otimizar o trabalho de remoção.

MATERIAL E MÉTODOS

O sistema de tratamento construído foi um reator de EC de fluxo continuo que leva eletrodos de sacrifício de alumínio, conectados a uma fonte de corrente elétrica continua. O reator consiste em um tubo de PVC, com 100 mm de diâmetro, e outros três tubos de alumínio, com diâmetros de 75 mm, 50 mm e 25 mm, e um cilindro maciço de alumínio com diâmetro de 10 mm.

O efluente é depositado em uma câmera de pressurização, ate alcançar a sua pressão ideal, entrando no reator o efluente pressurizado encontra-se com a pressão atmosférica formando microbolhas, começando a operação por FAD. O efluente pressurizado entra no reator pela parte inferior, passando por um disco de acrílico com furos de 1 mm para dispersão do efluente, depois é submetido a reações eletrolíticas e saindo pela parte superior o efluente tratado e o lodo gerado. O reator foi ilustrado na figura 1.

Figura 1. Demonstração do reator em escala laboratorial.



Fonte: Autoria Própria (2020)

Os gastos para aplicar esse modelo de tratamento de efluente, são colocados em custos predominantes como consumo de energia elétrica, mão de obra de operação e manutenção, consumo de eletrodos e disposição final do lodo gerado. Como o trabalho foi realizado em escala de bancada apenas os consumos de energia elétrica e dos eletrodos fora significativos para os cálculos. O custo operacional para o consumo de energia pode ser calculado usando a equação 5:

$$Ce = \frac{I.V.T}{V_r} \quad (5)$$

De acordo com a Lei de Faraday, a massa máxima consumida do eletrodo de Al durante o processo de EC pode ser determinada utilizando a Equação 6:

$$M_{el} = \frac{I.T.M}{(F.Z).V_r} \quad (6)$$

Para embasar a otimização do sistema foi proposto a utilização do Delineamento Composto Central Rotacional – DCCR. Neste planejamento experimental seriam estudados os efeitos de fatores como Tempo de Detenção Hidráulica – TDH, pH inicial do efluente, pressão de saturação (etapa de FAD) e densidade de corrente elétrica aplicada aos eletrodos de alumínio. As variáveis respostas seriam as remoções de cor aparente, turbidez e DQO.

Após a análise estatística dos resultados oriundos da execução da matriz do delineamento experimental, seria possível determinar os valores ótimos para os fatores estudados, indicando as condições operacionais do sistema com vistas a maximizar o nível de tratamento do efluente.

Entretanto, devido a Pandemia do COVID-19 que se instaurou durante o período de execução do projeto, o acesso ao efluente agroindustrial foi vetado, impossibilitando a execução do experimento. Deste modo, a pesquisa foi reformatada na forma de uma pesquisa bibliográfica referente às aplicações da EC e FAD, mesmo que de forma dissociada, buscando-se as condições ótimas encontradas por diversos autores. O resultado desta pesquisa irá embasar a continuidade do projeto, avaliando-se experimentalmente o sistema integrado EC/FAD.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No abate de suínos são utilizados 1200 litros de agua por animal, sendo esses divididos em 300 litros na sala de matança, 400 litros nas demais dependências, 500 litros nos anexos externos. A utilização dessa água gera o efluente líquido de abatedouros e frigoríficos de suínos, que possuem como principais características a DBO elevada, grande presença de óleos e graxas, material flotável, alta concentração de sólidos sedimentáveis e suspensos, alta concentração de nitrogênio orgânico, presença de sólidos grosseiros e presença de microrganismos patogênicos (SCARASSATI et al, 2003).

Uma característica importante do despejo de líquidos em abatedouros e frigoríficos é que, devido à sua alta DBO e por serem ricos em proteínas, eles são perecíveis e produzem um cheiro forte. No descarte dos resíduos, é necessário avaliar cuidadosamente se ele atende aos padrões de qualidade dos receptores de amônia (CREMONINI et al, 2018).

Há muitas opções para o tratamento de efluentes de frigoríficos, alguns tratamentos mais convencionais e outros que vem ganhando maior destaque nos últimos anos. Os principais processos de tratamento comumente utilizados na depuração dos efluentes de abatedouros são: Processos anaeróbios, sistema de lagoas aeradas de mistura completa, lodos ativados, filtros biológicos de alta taxa e discos biológicos rotativos (Biodiscos) (SCARASSATI et al, 2003).

Os Processos Anaeróbios são bastante apropriados para a limpeza de resíduos provenientes de frigoríficos, dada à natureza dos resíduos, que contem altas cargas de DBO e de sólidos em suspensão. Os sistemas anaeróbios incluem digestores de lodo, como reatores anaeróbios de manta de lodo, fossas sépticas e lagoas anaeróbias.

Os frigoríficos como analisado anteriormente tem características marcantes, por conter uma grande carga de matéria orgânica, com isso analisamos quais as características principais de um efluente de frigorifico de suínos: pH, DQO, DBO, Óleos e Graxas, Sólidos Suspensos, Nitrogênio e Fósforo, segundo os seguintes autores.

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos de efluentes de abatedouros e frigoríficos caracterizados por diferentes pesquisadores.

Parâmetro / Autor	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	Óleos e Graxas (mg/l)	NTK (mg/l)	Fósforo Total (mg/l)	Sólidos Suspensos (mg/l)	pH	Efluente
Aguilar et al (2002)	5398	2763	-	71,7	71,5	1271	7,03	Frigorífico
Manjutah, Mehrotra e Mathur (2000)	1100-7250	600-3900	125-400	90-150	8-15	300-2300	6,9	Frigorífico de ovelha
Bustillo-Lecompte, Mehrvar e Quiñones-Bolaños (2014)	4221	1209	-	427	-	1167	6,95	Frigorífico
Chávez et al (2005)	7333	5500	306	-	9,52	-	6,6	Frigorífico de aves
Borja, Banks e Wang (1995)	5050	3120	-	310	30	100	6,7	Frigorífico
Lopes Gil (2010)	27-64	12-19	2-25	10-38	1,3-6	8-30	7,25	Frigorífico de suínos
Caixeta, Cammarota e Xavier (2002)	2000-6200	1300-2300	40-600	70-240	15-40	850-6300	6,45	Frigorífico de suínos e bovinos
Debik e coskun (2009)	6880	-	-	675	8,95	2800	6,85	Frigorífico de aves

Fonte: Autoria Própria (2020)

Enfatizando que os efluentes industriais podem ter diferentes características, ate mesmo em indústrias do mesmo seguimento, dependendo do uso da agua e de seu gerenciamento na indústria (VON SPERLNG, 2005).

O resultado da revisão bibliográfica sobre aplicações das tecnologias de EC e FAD, mesmo que dissociadas, estão compilados na Tabela 2. Ressalta-se a amplitude dos valores encontrados para as condições operacionais ótimas, indicando que tais processos são muito dependentes da qualidade do efluente a ser tratado, além de detalhes do projeto do sistema de tratamento, como geometria dos reatores, dinâmica de escoamento, entre outros.

Tabela 2. Aplicações da eletrocoagulação ou flotação por ar dissolvido no tratamento de efluentes

Referência	Efluente	Tecnologia Utilizada	Condições Operacionais Ótimas				Nível de Tratamento Alcançado			Volume de Efluente Tratado
			Pressão (kPa)	Densidade de Corrente (A/m²)	TDH (min)	pH	DQO (%)	NTK (%)	Turbidez (%)	
Emerick et al (2020)	Frigorífico de suínos	EC com Ultrassom	-	95	40	8	85	85,5	97,4	-
Bui (2018)	Frigorífico de suínos	EC	-	126,2	9,7	8,36	97,6	-	-	-
Asselin et al (2008)	Frigorífico de suínos	EC	-	3,5	90	-	82	-	90	1,7 L
Cruz et al (2019)	Frigorífico de suínos	EC	-	250	100	2	96,6	-	89,3	-
Bayramoglu et al (2006)	Frigorífico de aves	EC	-	150	25	3	93	-	-	-

Referência	Efluente	Tecnologia Utilizada	Condições Operacionais Ótimas				Nível de Tratamento Alcançado			Volume de Efluente Tratado
			Pressão (kPa)	Densidade de Corrente (A/m²)	TDH (min)	pH	DQO (%)	NTK (%)	Turbidez (%)	
Orssatto et al (2018)	Frigorífico de suínos	EC	-	172	30	-	-	67,1	-	-
Adlan, palaniandy, Aziz (2011)	Aterro Sanitário	FAD com coagulação química	600	-	20	4,88	72	43	53	6L/min
Pereira et al (2020)	Lacticínio	FAD com coagulação química	1000	-	-	7,6	54,2	7,6	88	2 L
Palaniandy et al (2010)	Chorume	FAD com coagulação química	400	-	20	-	79	-	42	6L/min
Amin et al (2017)	Metalúrgica	FAD com coagulação química	300	-	30	7,8	98,5	-	95,8	20L/min

Legenda: EC – Eletrocoagulação; FAD – Flotação por Ar Dissolvido.
Fonte: Autoria Própria (2020)

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos com a revisão bibliográfica realizada indicam que o processo de eletrocoagulação pode ser usado para remoção de DQO, turbidez e nitrogênio total em efluentes de frigorifico de suínos, mostrando resultados eficientes para remoção de DQO, turbidez e nitrogênio total, com todos os resultados mostrando uma eficiência maior a 80%. O processo de Flotação por Ar Dissolvido também se mostrou eficiente, mesmo com números inferiores, os resultados para DQO e turbidez são em maioria superiores a 50% de eficiência, mas mostra fraco desempenho na remoção do nitrogênio total.

Também foi possível constatar a diversidade de valores encontrados para os parâmetros operacionais destes processos, indicando forte dependência da qualidade do efluente a ser tratado assim como detalhes de projeto.

Acredita-se que com a continuidade do presente projeto seja possível chegar ao equilíbrio entre um nível satisfatório de tratamento de efluente, sob condições operacionais mais brandas, em virtude da associação de duas tecnologias promissoras para o tratamento de efluentes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de iniciação científica, que possibilitou a realização desse estudo. Agradeço também a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e ao Prof. Dr. Eduardo Eyng pela oportunidade e a Thayane W. Ribeiro pela parceria.

REFERÊNCIAS

ADLAN, M.N.; PALANIANDY, P.; AZIZ, H.A. **Optimization of coagulation and dissolved air flotation (DAF) treatment of semi-aerobic landfill leachate using response surface methodology (RSM).** Desalination. Ed. 1-3, vol.277, p. 74-82. 2011. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916411003298

AGUILAR, M.I.; SÁEZ, J.; LLORÉNS, M.; SOLER, A.; ORTUÑO, J.F. **Nutrient removal and sludge production in the coagulation–flocculation process.** Water research. v.36, p.2910-2919. 2002. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135401005085?via%3Dihub#TBL1

AISSE, M.M.; JURGENSEN, D.; REALI, M.A.P.; PENETRA, R.G.; FLORENCIO, L.; SOBRINHO, P.A. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistema de flotação**. In: Chernicharo, Carlos. A. de L. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Belo Horizonte, 2001.

AMIN, M.M; MOFRAD, M.M.G.; POURZAMANI, H.; SEBARADAR, S.M.; EBRAHIM, K. **Treatment of industrial wastewater contaminated with recalcitrant metal working fluids by the photo-Fenton process as post-treatment for DAF.** Journal of Industrial and Engineering Chemistry. Vol. 45, p. 412-420. 2017. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1226086X16303896

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**.** Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653508005821

BAYRAMOGLU, M.; KOBYA, M.; EYVAZ, M.; SENTURK, E. **Technical and economic analysis of electrocoagulation for the treatment of poultry slaughterhouse wastewater.** Separation and Purification Technology. v.51, p.404-408. 2006. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586606000724#bbib5

BORJA, R.; BANKS, C.J.; WANG, Z. **Effect of organic loading rate on anaerobic treatment of slaughterhouse wastewater in a fluidised-bed reactor.** Bioresource Technology. v.52, p.157-162. 1995. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0960852495000179

BUI, H.M. **Applying Response Surface Methodology to Optimize the Treatment of Swine Slaughterhouse Wastewater by Electrocoagulation.** Polish Jouranal of Environmental Studies. v.27, p.1975-1981. 2018. Disponível em: file:///C:/Users/user/Downloads/Applying%20Response%20Surface.pdf

BUSTILLO-LECOMPTE, C.F.; MEHRVAR, M.; QUIÑONES-BOLAÑOS, E. **Cost-effectiveness analysis of TOC removal from slaughterhouse wastewater using combined anaerobic-eaerobic and UV/H2O2 processes.** Journal of

Environmental Management. v.134, p.145-152. 2014. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479714000139?via%3Dihub

CAIXETA, C.E.T.; CAMMAROTA, M.C.; XAVIER, A.M.F. **Slaughterhouse wastewater treatment: evaluation of a new three-phase separation system in a UASB reactor**. Bioresource Technology. v.81, p.61-69. 2002. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852401000700?via%3Dihub

CHÁVEZ, C.; CASTILLO, R.; DENDOOVEN, L.; ESCAMILLA-SILVA, E.M. **Poultry slaughter wastewater treatment with an up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor.** Bioresource Technology. v.96, p.1730-1736. 2005. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852404003189?via%3Dihub

CREMONINI, J.; NEDEL, T.; HIGARASHI, M.M. **Tratamento De Efluentes Da Indústria De Frigoríficos**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ed. 12, Vol. 04, p. 124-138. 2018. Disponível em: https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-ambiental/tratamento-de-efluentes

CRESPILHO, F.N.; SANTANA, C.G. e REZENDE, M.O.O. **Tratamento de efluente da indústria de processamento de coco utilizando eletroflotação.** *Quím. Nova* [online]. 2004, vol.27, n.3, pp.387-392. ISSN 1678-7064. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/qn/v27n3/20163.pdf

CRUZ, K.D.; THERESE, J.J.; MELLENDREZ, K.J.M.; PINEDA, J.M.F. **Electrocoagulation treatment of swine slaughterhouse wastewater: effect of electrode material.** International Conference on Water Resource and Environmental Engineering. 2019. Disponível em: file:///C:/Users/user/Downloads/Electrocoagulation_treatment_of_swine_slaughterhou.pdf

DEBIK, E.; COSKUN, T. **Use of the Static Granular Bed Reactor (SGBR) with anaerobic sludge to treat poultry slaughterhouse wastewater and kinetic modeling**. Bioresource Technology. v.100, p.2777-2782. 2009. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852409000030?via%3Dihub

EMERICK, T.; VIEIRA, J.L.; SILVEIRA, M.H.L.; JOÃO, J.J. **ULTRASOUND-ASSISTED ELECTROCOAGULATION PROCESS APPLIED TO THE TREATMENT AND REUSE OF SWINE SLAUGHTERHOUSE WASTEWATER.** Journal of Environmental Chemical Engineering. 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343720306576#fig0015

GARCIA-SEGURA, S.; EIBAND, M.M.S.G.; DE MELO, J.V.; MARTINEZ-HUITLE, 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. Disponível em:

https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/170002/2-s2.0-85026878325.pdf?sequence=1&isAllowed=y

GIL, A.S.L. **CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE DE ETE DE ABATEDOURO VISANDO O REÚSO.** Trabalho de Conclusão de Curso Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil, 2010. Disponível em: http://usuarios.upf.br/~engeamb/TCCs/2010-2/ANELISE%20SERTOLI%20GIL.pdf

MANJUNATH N.T.; MEHROTRA I.; MATHUR R.P. **Treatment of wastewater from slaughterhouse by DAF-UASB system**, Water research, vol. 34, p. 1930-1936, 2000. Disponível em: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.474.3723&rep=rep1&type=pdf

MENESES, J.M.; VASCONCELOS, R.F.; FERNANDES,T.F.; ARAUJO, G.T. **Tratamento do efluente do biodiesel utilizando a eletrocoagulação/flotação: Investigação dos parâmetros operacionais**. *Quím. Nova* [online]. 2012, vol.35, n.2, pp.235-240. ISSN 0100-4042. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/qn/v35n2/02.pdf

NUNES, D.G.; COUTO, H.J.B.; FRANCA, S.C.A. **Aplicação do Processo de Flotação por Ar Dissolvido no Tratamento de Efluentes e na Recuperação de Finos da Industria Mineral**. In: Jornada de Iniciação Científica do CETEM/MCT, 2008, Rio de Janeiro. Anais da XVI Jornada de Iniciação Científica do CETEM/MCT, 2008. Disponível em: file:///C:/Users/user/Downloads/Daniel_Guedes_Nunes_1.pdf

ORSSATTO, F. **Otimização do tratamento de efluente de matadouro e frigorífico de suínos pela eletrofloculação e combinação eletrofloculação/coagulação orgânica**. Tese (Doutorado)- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Brasil. 2017. Disponível em: http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/2736/1/Fabio_%20Orssatto.pdf

ORSSATTO, F.; TAVARES, M.H.F.; SILVA, F.M; EYNG, E.; FLECK, L. **Optimization of nitrogen and phosphorus removal from pig slaughterhouse and packing plant wastewater through electrocoagulation in a batch reactor.** Revista Ambiente & Agua**.** v.13. 2018. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v13n5/1980-993X-ambiagua-13-05-e2233.pdf

PALANIANDY, P.; ADLAN, M.N.; AZIZ, H.A.; MURSHED, M.F. **Application of dissolved air flotation (DAF) in semi-aerobic leachate treatment.** Chemical Engineering Journal. Ed. 2-3, vol. 157, p. 316-322. 2010. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894709007815

PEREIRA, M.S.; BORGES, A.C.; MUNIZ, G.L.; HELENO, F.F.; FARONI, L.R.D. **Dissolved air flotation optimization for treatment of dairy effluents with organic coagulants.** Journal of Water Process Engineering. Vol. 36. 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714420301495

SCARASSATI, D.; CARVALHO, R.F.; DELGADO, V.L.; CONEGLIAN, C.M.R.; BRITO, N.N.; TONSO, S.; SOBRINHO, G.D.; PELEGRINI, R. **Tratamento de efluentes de**

matadouros e frigoríficos. III Fórum de Estudos Contábeis. Faculdades Integradas Claretianas, Rio Claro, Brasil, 2003. Disponível em: https://ctec.ufal.br/professor/elca/TRATAMENTO%20DE%20EFLUENTES%20DE%20MATADOUROS%20E%20FRIGOR%C3%8DFICOS.pdf

TAUCHERT, T.A. **Desenvolvimento de um Sistema de Eletrocoagulação Aplicado ao Tratamento de Efluentes de Curtume**. Trabalho de Conclusão de Curso Universidade Feevale, Novo Hamburgo, Brasil. 2012. Disponível em: https://tconline.feevale.br/NOVO/tc/files/4205_84.pdf

TIR, M.; MOULAI-MOSTEFA, N. **Optimization of oil removal from oily wastewater by electrocoagulation using response surface method.** Journal of Hazardous Materials. v.158, p.107-115. 2008. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030438940800109X#bib22

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3. Ed. DESA, UFMG: Belo Horizonte, 2005.