

Análise de remoção de DQO e residual de alumínio em efluente de frigorífico de suínos tratado por eletrocoagulação

Analysis of COD removal and aluminum residual in swine effluent treated by electrocoagulation

Flavia Manente da Silva
flavia@alunos.utfpr.edu.br, Bolsista PETAMB, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil.

Fábio Orssatto
orssatto@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil

Isabela de Souza Araújo
isabelaa@alunos.utfpr.edu.br
Bolsista PETAMB, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil.

Thainá Harris Vieira
harristhaina@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil.

RESUMO

A geração diária de efluente é preocupante devido à alta carga poluidora desse rejeito, que é capaz de alterar o ecossistema aquático. Em vista disso deve-se empregar métodos de tratamento para atenuar o impacto ambiental, entre os métodos convencionais pode-se citar o sistema de lagoas. O tratamento eletrolítico, que se baseia no princípio da interação elétrica entre eletrodos metálicos e o efluente, tem potencial para substituir os sistemas adotados. Com isso, o objetivo do trabalho consistiu em avaliar o desempenho de um reator de eletrocoagulação empregado para tratar efluente de abatedouro e frigorífico de suínos. Montou-se um DCCR com 3 variáveis independentes: tempo de eletrólise, distância entre os eletrodos e corrente elétrica, obtendo-se um fatorial completo 2^3 com adição de 6 pontos axiais e 3 repetições no ponto central. Avaliando-se o percentual de remoção da DQO percebeu-se que o ensaio 5, realizado com corrente elétrica de 1,28 A por 14min3s e distância entre os eletrodos de 3,63 cm, obteve a máxima remoção de 67,44%. A menor concentração de alumínio residual, $14,53 \text{ mg.L}^{-1}$, foi visualizada no ensaio 12, realizado com 0,95 A por 20min e distância de 8,5 cm entre os eletrodos. Embora os modelos matemáticos não tenham sido válidos percebe-se que a técnica apresenta boa eficiência no tratamento de efluente, porém apresenta a desvantagem de acumular alumínio, proveniente dos eletrodos metálicos.

PALAVRAS-CHAVE: Corrente elétrica. DCCR. Distância.

ABSTRACT

The daily generation of effluent is worrisome due to the high pollutant load of this waste, which is capable of altering the aquatic ecosystem. In view of this, treatment methods should be employed to mitigate the environmental impact. Conventional methods include the lagoon system. The electrolytic treatment, which is based on the principle of the electric interaction between metallic electrodes and the effluent, has the potential to replace the adopted systems. Then, the purpose of this work was to evaluate the performance of an electrocoagulation reactor used to treat slaughterhouse effluent and swine fridge A CRCD with 3 independent variables established: electrolysis time, distance between the electrodes and electric current, obtaining a complete factorial 2^3 with addition of 6 axial points and 3 repetitions at the central point. The percentage of removal of COD showed that test 5, performed with electric current of 1.28 A for 14min3s and distance between the electrodes of 3.63 cm, obtained the maximum removal of 67.44%. The lowest residual aluminum concentration, 14.53 mg.L^{-1} , was visualized in the test 12, performed with 0.95 A for 20 minutes and a distance of 8.5 cm between the electrodes. Although the mathematical models were not valid, it can be seen that the technique has good effluent treatment efficiency, but it has the disadvantage of accumulating aluminum from the metal electrodes.

KEYWORDS: CRCD. Distance. Electric current.

Recebido: 27 ago. 2018.

Aprovado: 04 out. 2018.

Direito autoral:

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



INTRODUÇÃO

Devido à expansão da atividade agroindustrial, houve um aumento significativo dos impactos ambientais causados, principalmente, devido à geração de efluentes que possuem elevada carga poluidora. De acordo com Pacheco (2008), efluentes de frigoríficos e abatedouros possuem alta concentração de matéria orgânica, sólidos em suspensão, graxas e material flutuável.

A partir disso, percebe-se a necessidade em realizar um tratamento adequado, visando amenizar os impactos causados. Entre os processos convencionais de tratamento, o exemplo mais comum é o sistema de lagoas, que ocupa uma grande área e apresenta eficiência relativamente baixa, o que motiva a busca por métodos alternativos.

Entre esses métodos, tem-se o tratamento eletrolítico, como a eletrocoagulação, que envolve a interação elétrica entre eletrodos metálicos que sofrem reações de oxirredução, liberando íons metálicos em solução. Mollah et al. (2004) explicam que esses íons provenientes dos eletrodos agem como agente coagulante, causando a desestabilização dos colóides promovendo a formação de flocos e, conseqüentemente a clarificação do efluente.

Sahu et al. (2014) elencaram diversos fatores que interferem na eletrocoagulação, como: material do eletrodo, sendo que metais polivalentes conferem vantagem ao processo devido à alta densidade de carga; distância entre os eletrodos, de maneira que menores distâncias proporcionam menores custos, porém interferem na homogeneização do efluente; densidade de corrente, que é um dos parâmetros mais relevantes já que determina a quantidade de coagulante formada, dentre outros.

Com isso o objetivo do trabalho consistiu em avaliar o potencial de utilização da eletrocoagulação no tratamento de efluente oriundo de frigorífico e abatedouro de suínos.

MÉTODOS

O efluente utilizado para os ensaios é oriundo de um frigorífico de suínos que diariamente gera em torno 5.200 m³ de efluente. A indústria possui uma planta de tratamento composto por operações físicas, seguidas de processos biológicos, sendo que a coleta ocorreu após o tratamento primário, antes de ser encaminhado para sistema de lagoas. Para realizar o tratamento do efluente, montou-se um reator de bancada de eletrocoagulação no sistema de batelada, onde adicionavam-se 0,8 L de efluente para a realização de cada ensaio, que foi mantido em agitação constante. Os eletrodos de alumínio foram imersos no efluente e conectados à fonte de corrente contínua.

Com o intuito de encontrar um modelo matemático que possibilitasse a otimização do processo de eletrofloculação, montou-se um delineamento composto central rotacional (DCCR) com três variáveis independentes: X_1 que corresponde ao tempo de eletrólise (min), X_2 que refere-se à distância entre os eletrodos (cm) e X_3 que relaciona-se com a corrente elétrica aplicada (A). Com isso montou-se um fatorial completo 2³ incluindo 6 pontos axiais e realizando 3 repetições no ponto central, obtendo-se 17 ensaios, os valores codificados e reais encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores codificados e reais das variáveis independentes

Código	Tempo (min)	Distância (cm)	Corrente elétrica (A)
-1,68	10'	2,40	0,40
-1	14'3''	3,63	0,62
0	20'	5,45	0,95
1	25'57''	7,27	1,28
1,68	30'	8,50	1,50

Fonte: autoria própria

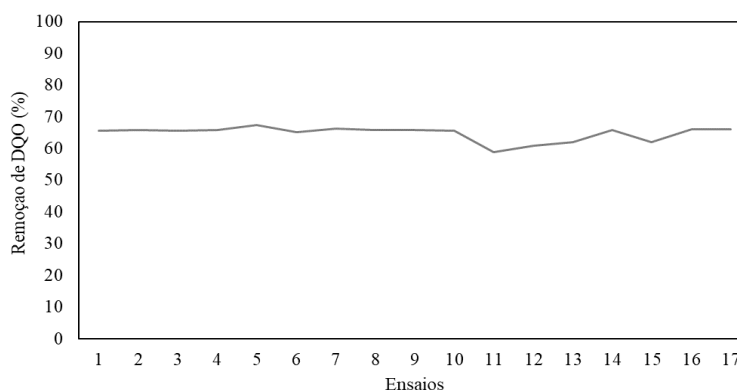
As análises físico-químicas seguiram os padrões do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005), sendo que a matéria orgânica foi contabilizada por meio da análise de DQO (demanda química de oxigênio) seguindo o método colorimétrico de refluxo fechado (APHA 5020 D), além de mensurar a concentração de alumínio residual (APHA 3111 D) e caracterizar o efluente bruto com relação ao pH (APHA 4500-H⁺ B) e a condutividade (APHA 2510 B).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação a caracterização do efluente bruto encontrou-se uma concentração de DQO de 3.047,50 mg.L⁻¹, de acordo com a Resolução CEMA 070/09, o valor máximo para o lançamento é de 200 mg.L⁻¹, justificando a necessidade em realizar algum tratamento. O pH foi de 7,67 e a condutividade de 2.200 mS.cm⁻¹.

Observando o gráfico de remoção da DQO, Figura 1, percebe-se que não houve grande variação entre os ensaios, sendo que a maior remoção foi de 67,44% obtida no ensaio 5, realizado com corrente elétrica de 1,28 A por 14 minutos e 3 segundos e distância de 3,63 cm entre os eletrodos. A menor remoção foi de 58,87% encontrada no ensaio 11 realizado com corrente elétrica de 0,95 A por 20 minutos e 2,4 cm entre os eletrodos.

Figura 1 - Gráfico de remoção da DQO



Fonte: autoria própria

A análise de regressão demonstrou que nenhuma variável foi significativa em um nível de 95% de confiança, já que todas obtiveram p-valor superior a 0,05, conforme pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 - Análise de regressão para remoção de DQO

Termo	Efeito	Erro padrão	t(7)	p-valor	Coefficiente de regressão
Média	64,525	1,415	45,593	0,000	64,525
X ₁ (L)	-0,407	1,330	-0,306	0,768	-0,204
X ₁ (Q)	1,966	1,465	1,342	0,222	0,983
X ₂ (L)	0,407	1,330	0,306	0,769	0,203
X ₂ (Q)	-2,103	1,465	-1,435	0,194	-1,052
X ₃ (L)	1,204	1,330	0,905	0,395	0,602
X ₃ (Q)	0,716	1,465	0,489	0,640	0,358
X ₁ .X ₂	0,451	1,737	0,260	0,803	0,226
X ₁ .X ₃	-0,800	1,737	-0,460	0,659	-0,400
X ₂ .X ₃	-0,041	1,737	-0,024	0,982	-0,021

Fonte: autoria própria

Analisando o efeito das variáveis lineares nota-se que X_1 (tempo) possui efeito negativo, ou seja, aumentando o valor da variável a remoção tende a diminuir, já para X_2 (distância) e X_3 (corrente elétrica) o efeito é positivo, de maneira que o aumento do nível da variável favorece a remoção de DQO.

Devido ao fato de nenhuma variável ter sido significativa, o modelo matemático obtido não é válido para descrever o comportamento da remoção de matéria orgânica, na Tabela 3 é possível visualizar que o $F_{calculado}$ para a regressão é inferior ao $F_{tabelado}$, comprovando a não significância do modelo.

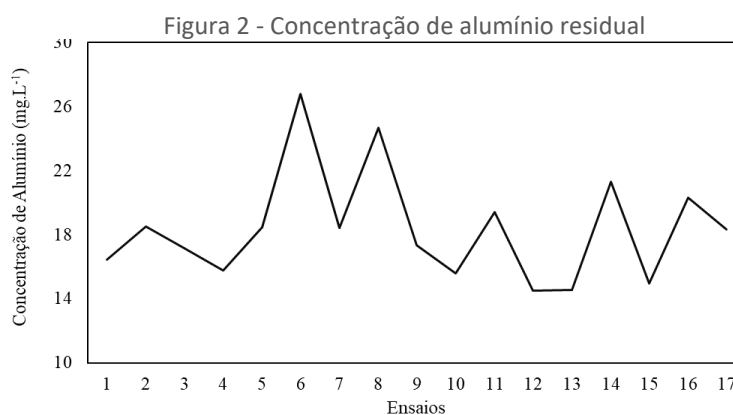
Tabela 3 - ANOVA da regressão para a DQO

Fonte	SM	GL	MS	$F_{calculado}$	$F_{tabelado}$	p-valor
Regressão	42,57	9	4,73	0,78	3,68	0,64
Resíduo	42,24	7	6,03			
Total	84,81	16				

Fonte: autoria própria

Com relação ao alumínio, não há parâmetro para lançamento de efluente, porém a Resolução CONAMA 357/09 estabelece que a concentração máxima para água doce de classe III seja de $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$. Comparando este valor com as concentrações residuais de cada ensaio, percebe-se que os mesmos estão acima do permitido, como pode ser visualizado na Figura 2.

A maior concentração, $26,79 \text{ mg.L}^{-1}$, foi observada no ensaio 6, realizado com corrente elétrica de 1,28 A por 25 minutos e 57 segundos com distância de 3,63 cm entre os eletrodos. Já a menor concentração de $14,53 \text{ mg.L}^{-1}$ foi encontrada no ensaio 12, conduzido com 0,95 A de corrente elétrica, tempo de 20 minutos e distância de 8,5 cm entre os eletrodos.



Fonte: autoria própria

A análise de regressão para o alumínio residual, Tabela 4, demonstrou que apenas a variável X_3 linear, associada à corrente elétrica, foi significativa em um nível de 95% de confiança, já que seu p-valor foi inferior a 0,05. A variável possui efeito positivo, ou seja, aumentando o valor da corrente elétrica a concentração de alumínio tende a aumentar.

Considerando as variáveis lineares, nota-se que X_1 (tempo) tem efeito positivo, aumentando o nível dessa variável, a concentração de alumínio residual tende a aumentar. Já a variável X_2 (distância entre os eletrodos) possui efeito negativo, o seu aumento causa a diminuição do alumínio residual.

No entanto, o modelo encontrado não é válido para descrever o comportamento da concentração residual de alumínio, já que o $F_{calculado}$ foi inferior ao $F_{tabelado}$, como está explícito na Tabela 5.

Tabela 4 - Análise de regressão para a concentração residual de alumínio

Termo	Efeito	Erro padrão	t(7)	p-valor	Coefficiente de regressão
Média	17,704	1,648	10,745	0,000	17,704
X ₁ (L)	1,800	1,548	1,163	0,283	0,900
X ₁ (Q)	0,107	1,706	0,063	0,952	0,054
X ₂ (L)	-1,814	1,548	-1,171	0,280	-0,907
X ₂ (Q)	0,455	1,706	0,267	0,797	0,228
X ₃ (L)	4,667	1,548	3,014	0,020	2,333
X ₃ (Q)	1,140	1,706	0,668	0,525	0,570
X ₁ .X ₂	-1,379	2,022	-0,682	0,517	-0,690
X ₁ .X ₃	3,483	2,022	1,722	0,129	1,741
X ₂ .X ₃	-0,026	2,022	-0,013	0,990	-0,013

Fonte: autoria própria

Tabela 5 - ANOVA para a regressão da concentração de alumínio residual

Fonte	SM	GL	MS	Fcalculado	Ftabelado	p-valor
Regressão	128,535	9	14,282	1,746	3,677	0,237
Resíduo	57,249	7	8,178			
Total	185,784	16				

Fonte: autoria própria

Observando a Figura 3 percebe-se a diferença no aspecto entre o efluente bruto e o efluente após ter sido submetido a eletrocoagulação, demonstrando que é possível utilizar o tratamento eletrolítico em efluente de frigorífico e abatedouro de suínos.

Figura 3 - Comparação entre o efluente bruto e o efluente tratado



Fonte: autoria própria

CONCLUSÃO

Analisando os resultados encontrados para a remoção DQO percebe-se que, embora não tenha sido possível obter um modelo matemático válido, as porcentagens foram elevadas, atingindo a marca de 67,44% de remoção. Considerando a DQO inicial do efluente e a referida remoção, estima-se que o efluente tratado apresentaria DQO de 992,27 mg.L⁻¹. Para a concentração de alumínio residual percebe-se que todas as concentrações foram elevadas, revelando a necessidade de um pós-tratamento ou até mesmo de combinar a eletrocoagulação com outros métodos, visando diminuir o residual de alumínio. Embora os modelos não tenham sido válidos é possível avaliar o comportamento do processo de acordo com a variação dos níveis das variáveis e, com isso, buscar condições que favoreçam o tratamento eletrolítico. No entanto, nota-se que a técnica é eficiente para tratar efluentes dessa natureza, já que alcançou altas remoções de matéria orgânica.



REFERÊNCIAS

APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 ed. Washington:APHA, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2005) **Resolução nº 357 de 18 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>> acessado em 05 de agosto de 2018

PACHECO, J. W., **Guia técnico ambiental de frigoríficos - industrialização de carnes (bovina e suína)** - São Paulo : CETESB, 2006. 85p. (1 CD) : il. ; 30 cm. - (Série P + L). Disponível em: <<http://consumosustentavel.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/39/2013/11/frigorifico.pdf> > acesso em 25 de julho de 2018

PARANÁ. Conselho Estadual do Meio Ambiente (2009). **Resolução nº 70 de 11 de agosto de 2009**. Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e critérios e dá outras providências, para empreendimentos industriais. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RESOLUCOES/resolucao_cema_70_2009.pdf> acessado em 05 de agosto de 2018

MOLLAH, M. Y. A.; MORKOVSKY,P.; GOMES, J. A. G.; KESMEZ, M.; PARGA, J.; COCKE, D. L.; Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation; **Journal of Hazardous Materials**; v. 114, p. 199-210, outubro de 2004. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2004.08.009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389404004170>> acesso em 26 de julho de 2018

SAHU, O.; MAZUMDAR, B.; CHAUDHARI, P. K.; Treatment of wastewater by electrocoagulation: a review, **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, 3 ed., p. 2397-2413, fevereiro de 2014. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11356-013-2208-6>> acessado em 10 de agosto de 2018

AGRADECIMENTOS

À Isabela e Thainá pelo apoio na realização dos trabalhos. Meus mais sinceros agradecimentos ao professor Fábio, por toda a ajuda e pela oportunidade em aprender tanto neste tempo de projeto.