

Avaliação do efeito da agitação no tratamento do efluente de matadouro e frigorífico por eletrocoagulação

Evaluation of agitation effect in the treatment of slaughterhouse and fridge effluent by electrocoagulation

RESUMO

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

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

Vanessa Nayara Paloschi
nessa_nayarapaloschi@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil

Vitor Alves Perez
vitoralpe@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil

A necessidade em buscar maneiras alternativas de tratamento de efluentes agroindustriais é justificada pelo aumento na geração dos mesmos, sendo que a aplicação da eletrocoagulação para tal finalidade pode ser uma solução. Com o objetivo de avaliar o desempenho da técnica eletroquímica no tratamento de efluente de abatedouro e frigorífico montou-se um DCCR com 3 variáveis independentes: corrente elétrica, tempo e rotação obtendo um fatorial completo 2^3 com adição de 6 pontos axiais e 3 repetições no ponto central, totalizando 17 ensaios. Os ensaios foram realizados em regime de batelada utilizando uma fonte de corrente contínua conectada a eletrodos de alumínio que foram imersos no efluente, sendo o mesmo foi mantido em agitação com controle da rotação. Avaliando a remoção de cor, turbidez e DQO encontraram-se remoções elevadas, na faixa de 90 a 100% para cor, 80 a 100% para turbidez e 30 a 85% para DQO. Embora os modelos matemáticos gerados não tenham sido válidos, foi possível concluir que a técnica é capaz de tratar efluentes desta natureza.

PALAVRAS-CHAVE: Eletroquímica. Eletroflotação. Eletrofloculação.

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

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



ABSTRACT

The need to seek alternative ways of treating agro-industrial effluents is justified by the increase in their generation, and the application of electrocoagulation for such purpose may be a solution. In order to evaluate the performance of the electrochemical technique in the treatment of slaughterhouse and fridge effluent, a RCCD with 3 independent variables was assembled: electric current, time and rotation obtaining a complete factorial 2^3 with the addition of 6 axial points and 3 repetitions at the central point, totaling 17 trials. The assays were performed in batch regime using a direct current source connected to aluminum electrodes that were immersed in the effluent, being kept in agitation with rotation control. Evaluating color, turbidity and COD removal, high removals were found, ranging from 90 to 100% for color, 80 to 100% for turbidity and 30 to 85% for COD. Although the generated mathematical models were not valid, it was concluded that the technique is capable of treating effluents of this nature.

KEYWORDS: Electrochemistry. Electroflotation. Electroflocculation.

INTRODUÇÃO

A busca por novas alternativas para o tratamento de efluentes agroindustriais devem ser constante, já que esses efluentes possuem características que os tornam altamente nocivos ao ambiente, caso não recebam o tratamento adequado.

De acordo com Pacheco (2008) os efluentes de frigoríficos possuem valores elevados de DQO, DBO₅, sólidos em suspensão, graxas, material flotável e altamente putrescível, como fragmentos de carne, vísceras e gordura. A presença destes materiais torna o tratamento deste efluente imprescindível.

Uma das inúmeras técnicas existentes para tratar tais efluentes são os processos eletroquímicos, como a eletrocoagulação que é baseada na geração *in situ* do agente coagulante devido a oxidação dos eletrodos de sacrifício (YAVUZ; ÖGÜTVEREN, 2018).

Para Bazrafshan *et al.* (2015) a técnica eletroquímica é simples, rápida, de fácil operação e mais sustentável, além de produzir uma quantidade menor de lodo. A eletrocoagulação, especificamente, é capaz de remover sólidos suspensos, metais dissolvidos, taninos e corantes.

Assim, o principal objetivo do trabalho consistiu em avaliar a eficiência no tratamento de efluente agroindustrial controlando a corrente elétrica aplicada, o tempo de eletrólise e a rotação aplicada ao efluente.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do experimento utilizou-se efluente de um abatedouro e frigorífico de suínos, foram coletados aproximadamente 50 litros após a etapa de tratamento preliminar da indústria, constituída por peneiras e decantadores.

A realização dos testes ocorreu em escala de bancada no regime de batelada, onde 0,8 litros de efluente foram adicionados em um béquer que foi mantido em agitação com o auxílio de um agitador que permitia controlar a rotação. Eletrodos metálicos de alumínio foram imersos no efluente e conectados a uma fonte de corrente contínua.

As condições operacionais foram determinadas de acordo com o planejamento experimental denominado delineamento composto central rotacional (DCCR), com três variáveis controladas: corrente elétrica aplicada (A), tempo de eletrólise (minutos) e agitação (rpm), obtendo-se um fatorial completo 2³ com adição de 6 pontos axiais e 3 repetições no ponto central, totalizando 17 ensaios. Na Tabela 1 é possível visualizar as condições operacionais reais e os códigos correspondentes.

Tabela 1 - Condições operacionais com valores codificados e reais

Código	Tempo	Rotação (rpm)	Corrente elétrica (A)
-1,68	10'	15	0,40
-1	14'3"	26	0,62
0	20'	42,5	0,95
1	25'57"	59	1,28
1,68	30'	70	1,50

Fonte: autoria própria

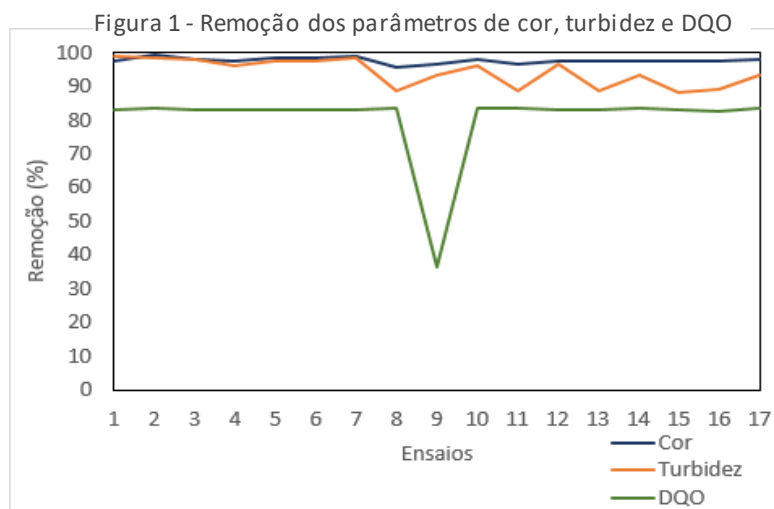
Para verificar a eficiência da eletrocoagulação no tratamento deste efluente utilizaram-se métodos analíticos definidos pela *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005) para avaliar a remoção de cor (APHA 2120 C), turbidez (APHA 2130 B) e demanda química de oxigênio - DQO (APHA 5020 D), além de caracterizar o efluente bruto com relação ao pH (APHA 4500-H+ B) e a condutividade (APHA 2510 B).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o intuito de conhecer o efluente empregado para realização dos testes realizou-se a caracterização do efluente bruto, encontrando o valor de 239 NTU para turbidez, 2000 UC para a cor, pH de 6,89 e condutividade elétrica de 6,21 mS.

REMOÇÃO DE COR, TURBIDEZ E DQO

O parâmetro utilizado para comprovar a eficiência da eletrocoagulação no tratamento de efluente agroindustrial foi a remoção de cor, turbidez e DQO, sendo que estes percentuais podem ser visualizados na Figura 1.



Fonte: autoria própria

Percebe-se que os valores foram muito semelhantes, no caso da cor os percentuais encontram-se na faixa de 95 a 100%, com destaque para o ensaio 2 que obteve 99,30% de remoção, sendo este realizado com corrente elétrica de 0,62A por 25min57s e rotação de 26 rpm.

Para a turbidez os percentuais encontram-se entre 85 e 100% de remoção, sendo que o ensaio 7 obteve o maior percentual, de 98,34%, o mesmo foi realizado com corrente elétrica de 1,28A por 14min3s e rotação de 59 rpm. Com relação a DQO a maioria dos valores encontram-se na entre 82 e 84% de remoção, no entanto o ensaio apresentou um resultado discrepante, com 36,60% de remoção, sendo este realizado com corrente elétrica de 0,95A por 10min e rotação de 42,5 rpm.

ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA COR

Analisando a análise estatística para a cor, Tabela 2, percebe-se que nenhum dos fatores teve efeito significativo com 95% de confiança, já que todos os p-valor foram superiores a 0,05. A variável X_1 refere-se ao tempo, X_2 a rotação e X_3 a corrente elétrica.

As variáveis X_1 linear e quadrática e a variável X_3 quadrática obtiveram efeito positivo, ou seja, aumentando o valor destas variáveis a remoção de cor tende a aumentar. As demais variáveis tiveram efeito negativo, com o aumento das mesmas a remoção diminui.

Na Tabela 3 é possível visualizar a ANOVA para a análise de regressão da remoção, onde fica claro que o modelo matemático gerado não é válido em um intervalo de 95% de confiança já que o F_{tabelado} é superior ao $F_{\text{calculado}}$.

Como os percentuais de remoção foram semelhantes e elevados, a regressão para obtenção da equação que descreve os resultados encontrados não obteve bom ajuste, consequentemente o modelo não foi válido.

Tabela 2 - Análise estatística para a remoção de cor

Fonte	Efeito	Erro padrão	t(7)	p-valor
Média	97,731	0,507	192,819	0,000
X_1 (L)	0,097	0,476	0,203	0,845
X_1 (Q)	0,048	0,525	0,092	0,929
X_2 (L)	-0,270	0,476	-0,567	0,588
X_2 (Q)	-0,129	0,525	-0,245	0,813
X_3 (L)	-0,174	0,476	-0,365	0,726
X_3 (Q)	0,235	0,525	0,447	0,668
$X_1.X_2$	-1,156	0,622	-1,859	0,105
$X_1.X_3$	-1,031	0,622	-1,658	0,141
$X_2.X_3$	-0,281	0,622	-0,452	0,665

Fonte: autoria própria

Tabela 3 - Análise ANOVA para a regressão da cor

Fonte de Variação	Soma dos quadrados	Grau de liberdade	Quadrado médio	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}	p-valor
Regressão	5,551	9	0,617	0,797	3,677	0,633
Resíduos	5,418	7	0,774			
Total		16				

Fonte: autoria própria

ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA TURBIDEZ

A análise de regressão para a remoção da turbidez pode ser visualizada na Tabela 4, onde percebe-se que nenhum fator foi significativo com 95% de confiança, já que os p-valor foram superiores a 0,05.

Com relação ao efeito das variáveis, X_1 e X_3 linear apresentaram efeito negativo, ou seja, diminuindo o valor da variável a remoção da turbidez tende a aumentar. As demais obtiveram efeito positivo.

Tabela 4 - Análise estatística para a remoção de turbidez

Fonte	Efeito	Erro padrão	t(7)	p-valor
Média	89,990	2,723	33,042	0,000
X ₁ (L)	-1,120	2,559	-0,438	0,675
X ₁ (Q)	4,864	2,820	1,725	0,128
X ₂ (L)	0,301	2,559	0,118	0,910
X ₂ (Q)	3,455	2,820	1,225	0,260
X ₃ (L)	-0,220	2,559	-0,086	0,934
X ₃ (Q)	2,195	2,820	0,779	0,462
X ₁ .X ₂	-2,621	3,343	-0,784	0,459
X ₁ .X ₃	-1,781	3,343	-0,533	0,611
X ₂ .X ₃	-1,169	3,343	-0,350	0,737

Fonte: autoria própria

Na Tabela 5 encontra-se a ANOVA para a análise de regressão da turbidez. Como o comportamento dos percentuais de remoção foi semelhante ao que ocorreu com a remoção de cor, o modelo matemático gerado não é significativo, já que o F_{tabelado} é superior ao $F_{\text{calculado}}$.

Tabela 5 - Análise ANOVA para regressão da remoção de turbidez

Fonte de Variação	Soma dos quadrados	Grau de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{tabelado}	p-valor
Regressão	141,163	9	15,685	0,702	3,677	0,696
Resíduos	156,420	7	22,346			
Total		16				

Fonte: autoria própria

ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO

Na Tabela 6 visualiza-se a análise de regressão para a DQO, como nos casos anteriores nenhum dos fatores foi significativo com 95% de confiança. Com relação ao efeito das variáveis, apenas as variáveis X₁ quadrática e X₂ linear apresentaram efeito positivo.

Tabela 6 - Análise estatística para a remoção de DQO

Fonte	Efeito	Erro padrão	t(7)	p-valor
Média	82,600	6,355	12,999	0,000
X ₁ (L)	11,602	5,972	1,943	0,093
X ₁ (Q)	-12,730	6,579	-1,935	0,094
X ₂ (L)	-0,092	5,972	-0,015	0,988
X ₂ (Q)	3,757	6,579	0,571	0,586
X ₃ (L)	0,038	5,972	0,006	0,995
X ₃ (Q)	3,743	6,579	0,569	0,587
X ₁ .X ₂	0,044	7,799	0,006	0,996
X ₁ .X ₃	0,113	7,799	0,015	0,989
X ₂ .X ₃	0,064	7,799	0,008	0,994

Fonte: autoria própria

Na Tabela 7 pode-se ver a ANOVA para a análise de regressão da DQO, semelhante ao que ocorreu com a cor e turbidez, o modelo matemático para a

DQO não foi válido com 95% de confiança, como observa-se comparando o F_{tabelado} com o $F_{\text{calculado}}$.

Tabela 7 - Análise ANOVA para regressão da remoção de DQO

Fonte de Variação	Soma dos quadrados	Grau de liberdade	Quadrado médio	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}	p-valor
Regressão	993,795	9	110,422	0,908	3,677	0,564
Resíduos	851,561	7	121,652			
Total		16				

Fonte: autoria própria

CONCLUSÃO

Analisando os resultados conclui-se que mesmo as remoções foram elevadas para cor e turbidez, com resultados superiores a 85% para ambos os parâmetros. Para a cor, a maior remoção foi 99,30% observada no ensaio 2, no caso a turbidez o maior valor foi 98,34% no ensaio 7.

Já para a DQO os percentuais de remoção foram semelhantes na maioria dos ensaios, sendo que o maior valor foi de 83,45% observado nos ensaios 8 e 10. No entanto, o ensaio 9 obteve remoção discrepante dos demais (36,60%), indicado que pode ter ocorrido algum erro durante a análise.

Embora os modelos matemáticos não tenham sido válidos, a técnica pode ser considerada eficiente para o tratamento, já que ocorreu remoção significativa para cor, turbidez e DQO.

REFERÊNCIAS

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

BAZRAFSHAN, E.; MOHAMMADI, L.; ANSARI-MAGHADDAM, A.; MAHVI, A. H. Heavy metals removal from aqueous environments by electrocoagulation process – a systematic review. **Journal of Environmental Health Science & Engineering**, 2015. 13:74 DOI 10.1186/s40201-015-0233-8

PACHECO, J. W. F. **Guia técnico ambiental de frigoríficos - Industrialização de carnes (bovina e suína) - Série P+L**. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2008. p. 49-50

YAVUZ, Y.; ÖGÜTVEREN, Ü. B. Treatment of industrial estate wastewater by the application of electrocoagulation process using iron electrodes. **Journal of Environmental Management**, 2018, 207, 151–158. doi:10.1016/j.jenvman.2017.11.034