

ANÁLISE DA GERAÇÃO DE LODO NO TRATAMENTO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DO BIODIESEL USANDO ELETROFLOCULAÇÃO

THALYS DE FREITAS FERNANDES¹, GILMAR TRINDADE DE ARAÚJO², JOSÉ NILTON SILVA³

¹MSc e Doutorando em Engenharia Química, Campina Grande-PB, thalys.fernandes@yahoo.com.br;

²Dr. em Química, Prof. Titular. UAEQ, UFCG, Campina Grande-PB, gilmar.trindade@eq.ufcg.edu.br;

³Dr. em Engenharia Química, Prof. Adj. UAEQ, UFCG, Campina Grande-PB, nilton@eq.ufcg.edu.br;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
15 a 17 de setembro de 2021

RESUMO: Este estudo objetivou analisar a relação entre a quantidade de lodo gerado no tratamento eletroquímico da água residuária do biodiesel com parâmetros do sistema e do efluente tratado. Para isso, sintetizou-se um efluente artificial e fez-se o tratamento eletroquímico em um sistema contínuo. Este foi construído em torno de um reator eletroquímico, com eletrodos de alumínio e cujo volume reacional era de 0,883 L. Quatro experimentos de 40 min foram realizados, variando-se a vazão volumétrica na entrada do reator e o potencial elétrico da fonte CC. Os resultados demonstraram que há uma relação entre as variáveis de controle do sistema e os parâmetros físico-químicos do efluente, com a remoção de lodo no reator. Os melhores resultados foram obtidos para uma vazão de 0,05 L.min⁻¹ e um potencial elétrico de 6 volts, implicando numa remoção de 89,1% de sólidos insolúveis no efluente e uma geração 9,95 g de lodo.

PALAVRAS-CHAVE: tratamento de efluentes, processo eletroquímico, efluente oleoso, meio ambiente.

ANALYSIS OF THE SLUDGE GENERATION IN THE TREATMENT OF BIODIESEL WASTEWATER USING ELECTROFLOCCULATION

ABSTRACT: This study aimed to analyze the relationship between the amount of sludge generated in the electrochemical treatment of biodiesel wastewater with parameters of the system and the treated effluent. For this, an artificial effluent was synthesized and electrochemical treatment was carried out in a continuous system. This was built around an electrochemical reactor, with aluminum electrodes and whose reaction volume was 0.883L. Four 40-min-experiments were performed, varying the volumetric flow at the reactor inlet and the electrical potential of the DC source. The results demonstrated that there is a relationship between the control variables of the system and the physical-chemical parameters of the effluent, with the removal of sludge in the reactor. The best results were obtained for a flow of 0.05 L.min⁻¹ and an electrical potential of 6.0 volts, implying a removal of 89.1% of insoluble solids in the effluent and a generation of 9.95 g of sludge.

KEYWORDS: wastewater treatment, electrochemical process, oily effluent, environment.

INTRODUÇÃO

Uma planta típica da produção do biodiesel é constituída basicamente por duas etapas de processo: uma reacional e outra de purificação (VELJKOVIĆ et al. 2014). A lavagem do biodiesel, que ocorre na etapa de purificação é obrigatória (LAGE et al. 2019). Segundo Chavalparit (2009) a lavagem acaba gerando em média, três litros de efluente oleoso para cada litro de biodiesel sintetizado. Esse efluente apresenta elevadas taxas de sólidos totais, óleos e graxas, DQO, pH, entre outros parâmetros, exigindo portanto um tratamento para que seja devidamente descartado ou mesmo, reutilizado na planta de produção do biodiesel (MENESES et al. 2012).

A técnica eletroquímica de eletrofloculação (EF) vem sendo bastante utilizada para o tratamento de águas residuárias contaminadas com óleos (PRIYA et al. 2019), uma vez que o campo

elétrico gerado no processo reacional contribui para a desestabilização da emulsão água-óleo que é muito difícil de ser rompida (AMMAR et al. 2019). A técnica consiste na aplicação de um potencial elétrico entre um conjunto de placas (eletrodos) que se encontram submersas no efluente a ser tratado (WU PI et al. 2014). Isso acarreta na geração de uma corrente elétrica (I), no meio, devido a movimentação eletrônica e, conseqüentemente, iônica.

O metal (M) que constitui os eletrodos, geralmente Alumínio (Al) e/ou Ferro (Fe), desintegra-se do ânodo da célula e difunde-se no meio reacional, onde reage com hidroxilas (OH⁻), formando o coagulante químico M(OH)_x. Este é responsável por coagular as micropartículas oleosas do meio (PRIYA et al. 2019). Parte desse material é decantado no interior do reator e uma maioria é flotado para a superfície líquida, através de bolhas de gás H₂ e O₂, que se formam na eletrólise da água residuária (MECHELHOFF et al. 2013).

A maioria dos trabalhos que se têm visto na literatura e que relatam a técnica da EF aplicada ao tratamento de efluentes, estão muito engajados em explicar as características do efluente pós-tratamento e pouco se relatam que um produto secundário, o lodo, é gerado no processo. Wu Pi et al. (2014), por exemplo, citaram a utilização do lodo na recuperação de solos, já a grande maioria destacam o uso de aterros sanitários como alternativa para eliminá-los. Entretanto, é interessante que além de se apresentar uma alternativa de uso ou descarte desse subproduto, que se avalie a correlação existente entre a produção deste, com os parâmetros de processo e com a qualidade do efluente tratado, sendo a finalidade desse trabalho.

MATERIAL E MÉTODOS

Síntese da Água Residuária do Biodiesel

A água da lavagem do biodiesel foi obtida artificialmente à temperatura de 25°C, misturando-se para cada 5,0 L de água de abastecimento local: 1,36 g de glicerina; 4,01 g de biodiesel e 2,01 g de óleo de soja comercial. A mistura foi submetida a uma agitação mecânica de 700 rpm, por um período de 30 min. Após esse período, a agitação foi reduzida para 100 rpm e a manteve-se constante até se completar o experimento. Em seguida, mediu-se o pH da solução com um pHmetro da marca (pH Meter), modelo (Instrutherm pH – 1900), diretamente no tanque, apresentando um pH médio igual a 11. Quando o pH medido foi acima ou abaixo de 11, ajustou-o para este valor, utilizando soluções de Ácido Clorídrico (HCl) e Hidróxido de Sódio (NaOH) a 1,0 M. Na Figura 1 é apresentada a imagem do tanque de preparação com destaque para a emulsão sintética do biodiesel, logo após o período da mistura e estabilização da emulsão água-óleo.

Figura 1: Síntese do efluente artificial da purificação do biodiesel. Fonte: dados da pesquisa.



Antes da água residuária ser utilizada no experimento, uma alíquota de 0,05 L foi retirada do tanque e encaminhada para análises físico-químicas, cujos valores foram apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros físico-químicos da água residuária da purificação do biodiesel.

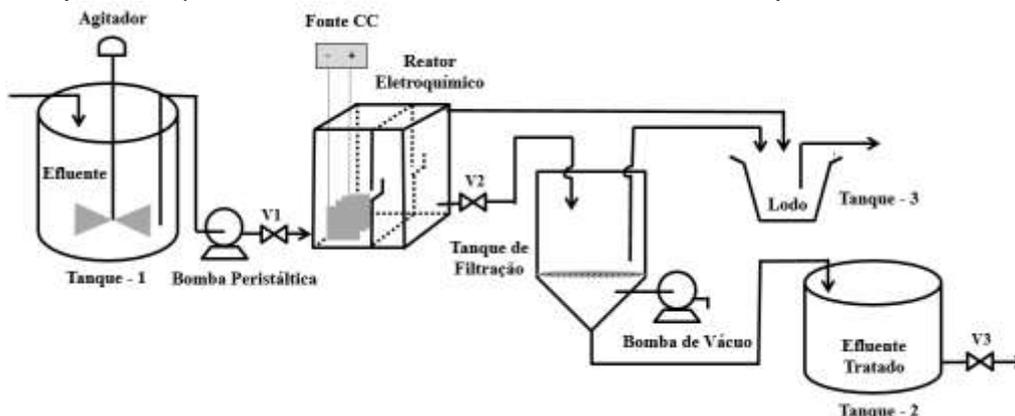
<u>Parâmetro</u>	<u>Valor</u>	<u>Unidade</u>
------------------	--------------	----------------

Condutividade	1520.75	$\mu\text{S.cm}^{-1}$
pH médio	11.0	--
Óleos e Graxas	1239	mg.L^{-1}
DQO	1030	mg.L^{-1}
Sólidos Totais	1262	mg.L^{-1}

O Sistema de Eletrofloculação

O diagrama do sistema contínuo de tratamento por EF está representado na Figura 2. Ele foi montado em torno de um reator de fluxo contínuo, de geometria retangular, possuindo um volume reacional de 0,883 L. A colmeia de eletrodos foi formada por quatro placas retangulares de alumínio com 0,1 cm de espessura e área total de 351 cm^2 . Elas foram interligadas a uma fonte de corrente contínua (CC) com potencial elétrico ajustável. Um tanque com um sistema de agitação acoplado e contendo o efluente oleoso, alimentou o reator eletroquímico através de uma bomba peristáltica, pela qual também se controlou a vazão volumétrica. O efluente tratado que saiu do reator passou por um filtro contendo papel qualitativo 80G de 12,5 cm e que era acoplado a um sistema a vácuo. Posteriormente, o filtrado seguiu para serem realizadas análises físico-químicas, já o lodo úmido acumulado no filtro foi raspado e colocado no tanque 3, junto ao lodo que foi retirado pela parte superior do reator.

Figura 2: Esquemática do sistema contínuo de tratamento de efluente por EF. Fonte: o autor.



Planejamento e Procedimento Experimental

Como variáveis de controle do sistema, estudou-se a vazão volumétrica (v) da entrada do reator e a diferença de potencial elétrico (ddp) aplicada na fonte CC, variando cada fator em dois níveis, menor (-) e maior (+), conforme apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Fatores e níveis experimentais.

Fatores	(-)	(+)
v (Lmin^{-1})	0,03	0,05
ddp (volt)	3,6	6,0

Os fatores foram escolhidos com base em estudos previamente realizados por (FERNANDES, 2012). Combinou-se os níveis e os fatores, contabilizando quatro experimentos, cada um realizado em triplicata, conforme estatisticamente abordado por (MONTGOMERY et al. 2004).

Cada experimento teve duração de 40 min. Inicialmente a bomba peristáltica foi ligada e ajustada à vazão volumétrica do experimento. Com a válvula de saída do reator, ajustou-se o nível de líquido e ligou-se a fonte na ddp do experimento. Após cada experimento, o efluente coletado no (Tanque-2) foi encaminhado para análises de condutividade (CD), Óleos e Graxas (OG) e Sólidos Totais (ST). Já o lodo úmido retirado na parte superior do reator, assim como o recolhido no sistema de filtração foi armazenado no (Tanque-3). Este foi então levado para uma estufa a 105°C para retirada da umidade e, seguidamente, foi quantificado como lodo seco (LS).

Todas as análises físico-químicas que foram mencionadas seguiram as metodologias do Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005). Os experimentos foram

realizados no Laboratório de Integração Engenharia e Processos (LIEP), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), cidade de Campina Grande – PB.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os experimentos foram realizados e os valores obtidos para as análises físico-químicas, tanto para o efluente como para o lodo estão representados na Tabela 3. Esses resultados correspondem respectivamente à média dos dois valores mais próximos obtidos para os experimentos em triplicata.

Tabela 3: Parâmetros físico-químicos do efluente tratado e do lodo gerado no tratamento por EF.

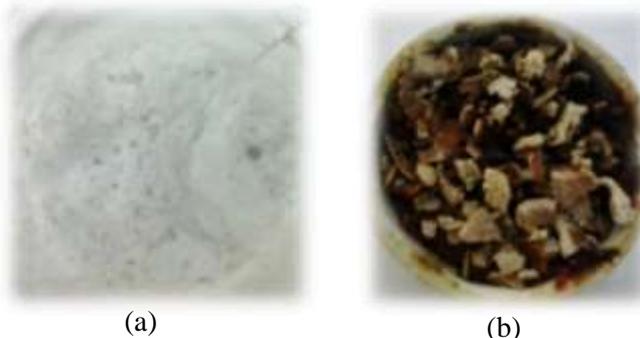
Experimento	v (L.min ⁻¹)	ddp (volt)	CD (μS.cm ⁻¹)	OG(mg.L ⁻¹)	ST(mg.L ⁻¹)	LS (g)
1	0,05	3,6	1084	303,67	1246,7	5,20
2	0,03	3,6	1741	556,89	1633,3	5,24
3	0,05	6,0	1147,4	135,56	1033,3	9,95
4	0,03	6,0	1194,8	194,67	1550	8,14

Os resultados das análises físico-químicas para o efluente tratado e para a remoção de lodo mostram que o (experimento-2) foi o que obteve pior resultado, dentre os realizados. Pois, comparando esses dados com os da (tabela 1), parâmetros iniciais do efluente, percebe-se que houve uma elevação considerável da condutividade e da concentração de sólidos totais, além da remoção de apenas 55% de óleos e graxas, culminando numa retirada de 5,24 g de lodo para 1,2 L de efluente tratado. Em contrapartida, o (experimento-3) foi o que se obteve os melhores resultados, pois, comparando esses valores com os da (tabela 1), observou-se uma redução da condutividade, da concentração de sólidos totais e uma remoção de 89,1% de óleos e graxas, culminando em uma retirada de 9,95 g de lodo para 2,0 L de efluente tratado.

Os valores da condutividade e dos sólidos totais acima dos iniciais no (experimento-2), mostram que a redução da vazão, entre os (experimentos 1 e 2), mantendo-se os potenciais elétricos constantes, dificultou o contato entre os agentes coagulantes e as partículas contaminantes, reduzindo a coagulação. Pois, como o reator é desprovido de sistema de agitação, a vazão volumétrica é quem faz a função de auxiliar essa interação. Conseqüentemente, o meio fica mais saturado com compostos de alumínio, elevando-se a condutividade e a quantidade de sólidos totais. A mesma comparação pode ser feita para os (experimentos 3 e 4), quando se alteram apenas as vazões volumétricas.

A remoção de lodo é praticamente dobrada, quando se eleva a ddp de 3,6 para 6,0 volts, comparando-se os (experimentos 1 e 2) com os (experimentos 3 e 4). Segundo Ammar et al. (2019), a elevação da ddp impulsiona a maior liberação de cátions Al³⁺ e, conseqüentemente, uma maior quantidade de Al(OH)₃ é formada. Com uma favorável condição de interação entre o agente coagulante e as micropartículas de poluente, flocos com maior área superficial são formados (MECHELHOFF, et al. 2013). Isso causa uma maior remoção de matéria orgânica insolúvel, que são os óleos e graxas e, conseqüentemente, uma maior remoção de lodo é obtida. Na Figura 3 (a) e (b) é apresentado o lodo úmido e seco, respectivamente.

Figura 3: Lodo obtido do processo de EF da água residuária da purificação do biodiesel – (a) lodo úmido, (b) lodo seco após o processo de secagem. Fonte: dados da pesquisa.



De acordo com Chavalparit (2009), a análise espectrofotométrica do lodo obtido para esse tipo de efluente gerado na EF, mostra que os grupos funcionais dominantes da composição do lodo são os

ésteres. Assim, uma sugestão apresentada pelos autores desse trabalho, para uma destinação que seja econômica e ambientalmente rentável para o lodo, seria utilizá-lo, isento de umidade em um forno para a geração de calor, podendo este beneficiar a própria planta de produção do biodiesel, por exemplo. Já a fração de escória formada após a queima do lodo seco, poderia ser destinada às empresas beneficiadoras do metal alumínio, para reaproveitá-lo.

A partir das análises físico-químicas para óleos e graxas e sólidos totais, observou-se que a água residuária da purificação do biodiesel, após o tratamento, ainda apresentam valores acima dos exigidos pela legislação brasileira (CONAMA, 2011), que limitam esses valores em máximos de 50 mg.L⁻¹ e 500 mg.L⁻¹, respectivamente. Portanto, o efluente ainda necessitaria passar por um tratamento adicional, caso viesse a ser lançado no meio ambiente.

CONCLUSÃO

Com base no estudo realizado, pôde-se concluir que a quantidade de lodo gerado no processo de EF da água residuária do biodiesel está diretamente relacionada com os parâmetros de controle do sistema, assim como os parâmetros físico-químicos do efluente tratado. Pois, com base no (experimento-3), verificou-se, por exemplo, que a maior remoção de lodo ocorreu quando se elevou a vazão volumétrica e a diferença de potencial no reator. Isso implicou na redução da condutividade, sólidos totais e óleos e graxas, gerando conseqüentemente, mais lodo no processo.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela concessão de bolsa de pesquisa ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- Ammar, H.S; Ismail, N.N; Abbas, M.W. Electrocoagulation technique for refinery wastewater treatment in na internal loop split-plate airlift reactor. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2019.
- Apha, Awwa, Wpcf. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Editora New York, v.21, 2005.
- Chavalparit, Orathai; Ongwandee, Maneerat. Optimizing eletrocoagulation process for the treatment of biodiesel wasterwater using response surface methodology. *Journal of Environmental Sciences*, v. 21, n. 11, p. 1491-1496, 2009.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 430, de 13 de março de 2011. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama>>. Acessado em 20/05/2020.
- Fernandes, T. F; Araújo, G. T. Desenvolvimento de um reator tubular para tratamento de efluente gerado na produção de biodiesel por eletrofloculação. Projeto de Iniciação Científica (PIBIC), Centro de ciências e Tecnologia, Unidade Acadêmica de Engenharia Química, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2012.
- Mechelhoff, Martin; Kelsall, Geoff. H; Graham, Nigel. J. D. Electrochemical behaviour of aluminium in electrocoagulation processes, *Chemical Engineering Science*, v. 95, pp. 301 – 312, 2013.
- Meneses, J.M.; Vasconcelos, R. F.; Fernandes, T. F.; Araújo, G. T. Treatment of biodiesel wastewater by electrocoagulation/flotation process: investigation of operational parameters. *Química Nova*, v. 35, n. 2, p. 235-240, 2012.
- Montgomery, D. C; Runger, G. C; Hubele, N. F. *Estatística Aplicada à Engenharia*. Segunda edição. Rio de Janeiro. Editora LCT. 35 p. 2004.
- Priya, M; Jeyanthi, J. Removal of COD, oil and grease from automobile wash water effluent using electrocoagulation technique. *Microchemical Journal*, vol. 150, 2019.
- Wu Pi, Ke; Xiao, Qu; Zhang, Hui – Qin; Xia, Min; Gerson, A. R. Decolorization of synthetic Methyl Orange wastewater by electrocoagulation with periodic reversal of electrodes and optimization by RSM. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 92, n. 6, p. 796 – 806, 2014.