

AVALIAÇÃO DO EFEITO DO CAMPO ELÉTRICO NA RECUPERAÇÃO DE NÍQUEL A PARTIR DE CATALISADOR DESATIVADO DO PROCESSO HIDROGENAÇÃO DE GORDURAS

Lucas Aparecido Bittencourt lucasbittencourt@ufpr.br¹
Carolina Mocelin Gomes Pires, carolinamocelin@ufpr.br¹
Haroldo de Araújo Ponte, hponte@ufpr.br¹

Universidade Federal do Paraná, Avenida Cel. Francisco H. dos Santos, 100, Cep: 81.531-990, Caixa Postal 19.011, Jardim das Américas, Curitiba, Paraná, Brasil

Resumo: Os catalisadores oriundos do processo de hidrogenação de óleos e gorduras tornam-se desativados após vários ciclos de operação. Esses resíduos industriais podem resultar em grandes problemas ambientais quando esses materiais não são destinados a um adequado tratamento de efluentes sólidos. Por outro lado, ao efetuar o descarte desses resíduos, muitos elementos que fazem parte da composição desses catalisadores, e que possuem valor agregado, são desperdiçados. Visando atender às normas ambientais de descarte de resíduos, assim como recuperar alguns elementos presentes nesses rejeitos industriais, a técnica de lixiviação ácida assistida por campo elétrico apresenta-se como uma alternativa viável para remoção dessas espécies. Com isso, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito do campo elétrico na recuperação do elemento níquel a partir de catalisadores desativados do processo de hidrogenação de óleos e gorduras aplicando a técnica de lixiviação assistida por campo elétrico. Para isso, foram realizados quatro experimentos, dos quais foram aplicados dois tipos de pré-tratamento para remoção da camada de gordura presente na superfície da partícula de catalisador. No primeiro ensaio, a amostra ficou em repouso em uma solução de ácido sulfúrico a $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ por 48 h, e na sequência foi submetida ao processo de lixiviação eletroassistida por 72 h com o mesmo eletrólito. O segundo experimento foi conduzido de forma análoga, contudo sem a assistência do campo elétrico. No terceiro ensaio, a amostra foi previamente calcinada a 350°C durante 30 min e depois submetida à eletrolixiviação com ácido sulfúrico na concentração de $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ durante 72 h. O quarto experimento foi realizado de forma similar ao terceiro, porém sem o acionamento do campo elétrico. Os resultados indicaram que o ensaio com pré-tratamento via calcinação apresentou a melhor remoção, resultando em uma recuperação 22,5% de Ni^{2+} . Por outro lado, o mesmo ensaio realizado sem a ação do campo elétrico apresentou remoção de 2,8% da espécie. No experimento conduzido com pré-tratamento com ácido sulfúrico foi obtida uma remoção de 18,8% de Ni^{2+} , enquanto o mesmo experimento realizado sem assistência do campo elétrico resultou em uma recuperação de 1,9% do íon. A partir desses resultados, foi observada a eficácia do campo elétrico na remoção de Ni^{2+} a partir de catalisadores, viabilizando o processo de extração da espécie de uma forma menos poluente que o processo de lixiviação tradicional.

Palavras-chave: eletrolixiviação, recuperação de metais, fenômenos eletrocinéticos, eletrorremediação

1. INTRODUÇÃO

A indústria de óleo vegetal cresceu ao longo dos anos impulsionada pela produção do óleo de palma e de soja. A principal etapa do processo de produção de óleo é a hidrogenação, a qual é responsável por modificar as características físico-químicas do óleo e aumentar sua estabilidade em relação à oxidação e a decomposição (Choo *et al.*, 2001). Catalisadores de óxido de níquel (NiO_2) são frequentemente empregados em uma ampla variedade de processos industriais, incluindo hidrogenação de óleo vegetal.

Embora sejam econômicos e altamente ativos, os catalisadores de NiO_2 diminuem sua atividade catalítica após o uso prolongado. Essa redução pode ocorrer devido ao envenenamento do material, incrustação ou por desgaste mecânico (Idris *et al.*, 2010). Os catalisadores desativados são classificados como resíduos perigosos, devido à presença de resíduos orgânicos/inorgânicos e outros compostos tóxicos, tais como fósforo e enxofre (Deniz *et al.*, 2017). Desta forma, para efetuar o descarte desses rejeitos industriais deve-se realizar um tratamento prévio de acordo com a política nacional de resíduos sólidos. Por outro lado, o catalisador desativado pode conter elevados teores de elementos em sua composição que ainda possuem valor de mercado, tais como o níquel e outros elementos. Em muitos casos, essas espécies apresentam concentrações superiores aos teores dos minérios dos quais foram derivados (Jödicke *et al.*, 1999). Nesse sentido, a recuperação desses metais de fonte secundária torna-se atraente em termos econômicos para atender às necessidades de metal do mercado, assim como na redução da poluição ambiental (Arslanoğlu and Yaraş, 2019).

Há inúmeros estudos que relatam técnicas para recuperação de níquel (Ni) de catalisadores desativados oriundos de processos industriais, das quais pode-se destacar: a lixiviação, a hidrometalurgia, a pirometalurgia e a troca iônica (Idris *et al.*, 2010; Arslanoğlu and Yaraş, 2020). Nesses processos são aplicados diferentes métodos para regeneração ou recuperação de Ni. Contudo, essas técnicas empregam altas temperaturas e o uso de ácidos e/ou bases fortes em elevadas concentrações, o que resulta em processos com elevada geração de efluentes, assim como alto consumo energético.

A lixiviação assistida por campo elétrico (LACE) é uma técnica eletrocinética para recuperação de metais a partir de resíduos sólidos. Essa técnica faz uso da aplicação de uma diferença de potencial elétrico entre os eletrodos que estão inseridos na matriz a ser tratada. Para que ocorra o transporte das massas das espécies, a amostra deve estar imersa em um meio condutor. Assim, devido à ação do campo elétrico, as espécies migram para seus respectivos eletrodos, promovendo a extração do metal (Acar and Alshawabkeh, 1993; Virkutyte *et al.*, 2002).

As técnicas eletrocinéticas são empregadas para remoção de diferentes espécies, sendo elas: a extração de terras raras de solos, a reciclagem de lantânio a partir de catalisador de craqueamento catalítico fluidizado desativado e a remoção de vanádio de catalisador usado na fabricação de ácido sulfúrico (Pires *et al.*, 2019; Maidel *et al.*, 2019; Deniz *et al.*, 2017; e Mangini *et al.*, 2020). Apesar da técnica LACE ser empregada na recuperação de metais de catalisadores industriais, não foi encontrada na literatura consultada a remoção de Ni a partir dessa matriz. Este elemento apresenta inúmeras aplicações essenciais para o desenvolvimento da tecnologia, tais como a manufatura de ligas com elevada resistência à corrosão e a produção de células combustíveis. Além disso, na área biomédica é utilizado em equipamentos de imagens por ressonância magnética e na produção de medicamentos (Ahmad *et al.*, 2022). Visto que a técnica LACE apresenta menor impacto ambiental dos que as técnicas convencionais de lixiviação, torna-se relevante o emprego dessa metodologia para extração de Ni a partir de catalisadores desativados.

Considerando que o campo elétrico é a força motriz para promover a migração e extração das espécies, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito do campo elétrico na recuperação de Ni a partir de catalisadores desativados do processo de hidrogenação de óleos e gorduras empregando a técnica de lixiviação assistida por campo elétrico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O material em estudo neste trabalho foi o catalisador proveniente da hidrogenação de óleos e gorduras vegetais da indústria de alimentos com funções catalíticas reduzidas. A caracterização da amostra foi realizada pela técnica semiquantitativa de fluorescência de raios-X, como mostrado na Tab. 1.

Tabela 1 - Composição do catalisador desativado

Espécie	NiO ₂	SiO ₂	MgO	CaO	SO ₃	P ₂ O ₅	P.F*
(%)	30,5	2,7	1,3	0,1	0,1	< 0,1	65,2

P.F = perda ao fogo

2.1. Pré-tratamento e Lixiviação Assistida por Campo Elétrico das amostras

Com o propósito de avaliar o efeito do campo elétrico no processo de eletrolixiviação, diferentes pré-tratamentos das amostras foram realizados. No primeiro ensaio, denominado Exp 1, o catalisador ficou em repouso por 48 h em uma solução de ácido sulfúrico (H₂SO₄) na concentração de 1,0 mol L⁻¹. Na sequência, a amostra foi submetida ao processo de lixiviação eletroassistida por 72 h com o mesmo eletrólito. O segundo experimento (Exp 2) foi conduzido de forma análoga ao primeiro, contudo os eletrodos não foram conectados à fonte de alimentação visando avaliar a ocorrência do fenômeno da difusão. No terceiro ensaio (Exp 3), a amostra foi previamente calcinada (EDG Equipments, modelo EDG 3P-S) a 350 °C durante 30 min e, em seguida, submetida à eletrolixiviação com H₂SO₄ na concentração de 1,0 mol L⁻¹ durante 72 h. Por fim, o quarto experimento (Exp 4) foi conduzido de forma similar ao terceiro, porém sem a assistência do campo elétrico.

Para efetuar os experimentos de eletrolixiviação, foi utilizada um reator eletroquímico de acordo com o modelo proposto por Pires *et al.* (2019). Para isso, foram adicionados ao leito do reator 300,2 g de catalisador. Na sequência, a solução com ácido sulfúrico (95% NEON – CAS 7664-93-9) a 1,0 mol L⁻¹ foi bombeada para o sistema a partir da câmara anódica (CA) e em direção a câmara catódica (CC) até que o volume interno da célula fosse completamente preenchido. Os eletrodos de titânio (grau 2) foram conectados à fonte de alimentação (Agilent – E3645A) para fornecer o campo elétrico necessário para efetuar a migração das espécies. Os experimentos foram conduzidos por 72 h, e sem circulação de eletrólito, empregando uma intensidade de campo elétrico de 1,0 V cm⁻¹. Todas as soluções foram preparadas com água destilada. A Figura 1 mostra de forma esquemática o aparato experimental utilizado nos ensaios de eletrolixiviação.

Em todos os ensaios, foram coletadas alíquotas de anólito e católito a cada 12 h para determinar a concentração de íons de níquel (Ni²⁺) durante os experimentos. A quantificação das espécies foi realizada pelo método analítico de polarografia (Methrom® - 797 VA). A corrente elétrica também foi monitorada a cada 12 h.

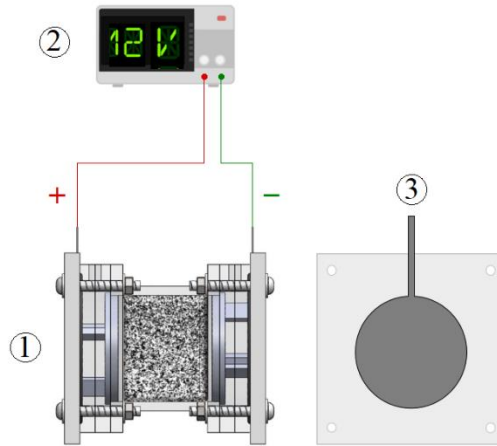


Figura 1 - Aparato experimental contendo: (1) reator eletroquímico, (2) fonte de alimentação e (3) eletrodos

2.1.1. Eficiência da extração de Ni^{2+}

A eficiência de remoção do processo de eletrorremediação (ξ) de Ni foi calculada a partir da razão entre a massa final recuperada (m_r) da espécie, que migrou para as câmaras CA e CC, e a massa inicial (m_0) de Ni presente no catalisador sem tratamento ($m_0 = 0,039$ mg), assim

$$\xi = \frac{m_r}{m_0} 100\% . \quad (1)$$

A massa final recuperada da espécie leva em consideração a concentração da espécie nas câmaras eletrolíticas (C_{CA} e C_{CC}) e o volume das câmaras ($V_{CA} = V_{CC} = 0,15$ L). Assim, a Eq.(1) pode ser reescrita como:

$$\xi = \left(\frac{C_{CA} V_{CA} + C_{CC} V_{CC}}{m_0} \right) 100\% . \quad (2)$$

2.1.2. Consumo Energético do Processo de Eletrolixiviação

O consumo energético (CE), em W h, é dado por

$$CE = \int_{t_0}^{t_f} E(t) i(t) dt . \quad (3)$$

Considerando que o processo de eletrolixiviação foi conduzido sob um potencial elétrico constante ($E = 9$ V), e a intensidade de corrente (i) foi obtida pela média das observações, ao integrar a Eq.(3), tem-se

$$CE = E i t_f , \quad (4)$$

onde t_f corresponde ao tempo final de experimento ($t_f = 72$ h).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o tempo de repouso de 48 h das amostras de catalisador na solução de H_2SO_4 , foi observada a cor verde nas câmaras eletrolíticas em todos os experimentos. Segundo Randhawa *et al.* (2016), a cor verde pode ser atribuída à presença de íons Ni^{2+} no eletrólito. Quando o óxido de níquel (NiO) entra em contato com uma solução de H_2SO_4 , pode-se formar algumas espécies, tais como: Ni^{2+} , NiOH^+ , $\text{Ni}(\text{OH})_2$, NiSO_4 , $\text{Ni}(\text{SO}_4)_2^{2-}$ e NiHSO_4^+ (Randhawa *et al.*, 2016). Outro fator que pode estar relacionado à coloração verde está relacionado com a formação de um complexo catiônico, onde o Ni^{2+} pode ter reagido com a água formando a espécie hexa-aquaníquel (II), de acordo com



A presença do íon Ni^{2+} nas primeiras 48 h de experimentos foi confirmada pelo método de quantificação de polarografia. A partir desse instante, os experimentos de eletrolixiviação foram iniciados. Assim, os resultados da quantificação da remoção da etapa de pré-tratamento correspondem aos valores de eficiência de remoção de Ni^{2+} no tempo inicial ($t = 0$ h) dos experimentos de eletrolixiviação (Figura 2). As demais alíquotas, que foram coletadas durante as eletrolixiviações, foram quantificadas pelo mesmo método analítico.

3.1. Eficiência da Lixiviação Assistida por Campo Elétrico

As eficiências de remoção de Ni^{2+} foram obtidas por meio da Eq.(2). De acordo com a Figura 2, foi observado que os experimentos Exp 2 e Exp 4 apresentaram baixa remoção da espécie, com valores de extração inferiores a 2%. Considerando que esses experimentos foram conduzidos sem a assistência do campo elétrico, a remoção das espécies ocorreu apenas por lixiviação. Com isso, justifica-se os resultados semelhantes para a remoção de Ni^{2+} em ambas as câmaras eletrolíticas (CA e CC), uma vez que a difusão da espécie ocorreu com o propósito de igualar a concentração do íon na solução eletrolítica.

Os ensaios Exp 1 e Exp 3 apresentam uma remoção de Ni^{2+} de forma crescente (Figura 2). Ao comparar esses experimentos aos ensaios Exp 2 e Exp 4, pode-se comprovar a eficácia do campo elétrico na extração das espécies, uma vez que todos os experimentos foram realizados com H_2SO_4 a $1,0 \text{ mol L}^{-1}$. Contudo, foi observado um comportamento diferente na extração de Ni^{2+} dos testes Exp 1 e Exp 3. No experimento Exp 3, a remoção de Ni^{2+} foi semelhante nas duas câmaras. Esse comportamento pode estar relacionado a presença de um filme de gordura na superfície da partícula de catalisador, o que pode ter reduzido a efetividade do campo elétrico sobre a partícula. Visto que para a execução do experimento Exp 3 a amostra foi previamente calcinada, a remoção de Ni^{2+} foi superior, resultando uma extração de 22,5% de Ni^{2+} considerando as duas câmaras eletrolíticas. Contudo, foi observada uma maior extração da espécie na CC, o que caracteriza a migração do íon, ou seja, novamente comprova-se a ação do campo elétrico na extração de Ni^{2+} .

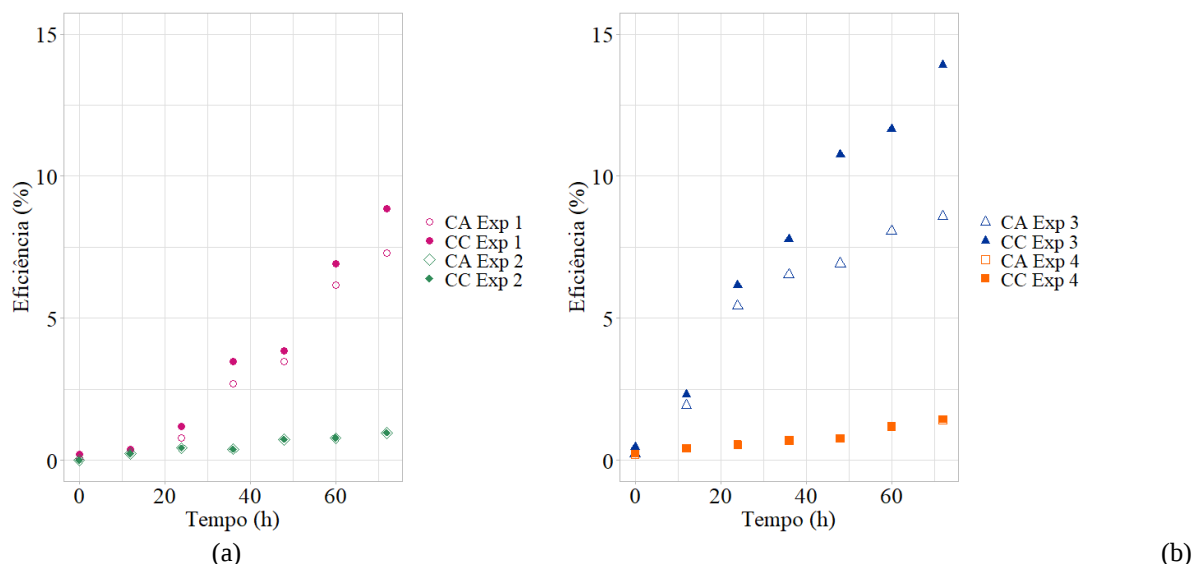


Figura 2 – Eficiência de extração de Ni^{2+} para os experimentos: (a) Exp 1 e Exp 2 e (b) Exp 3 e Exp 4

A remoção de Ni^{2+} foi considerada satisfatória considerando as 72 h de experimentos. Contudo, para que a remoção obtenha teores mais elevados é necessário um tempo maior de experimento, uma vez que os processos eletrocinéticos são mais lentos. Por outro lado, ao compará-los com processos de lixiviação tradicionais, a técnica de lixiviação assistida por campo elétrico apresenta menor impacto ambiental, pois emprega condições mais brandas para promover a extração das espécies e ácidos em concentrações mais baixas.

3.2. Corrente Elétrica e Consumo Energético

Durante os experimentos Exp 1 e Exp 3 foi monitorada a corrente elétrica a cada 12 h. Em ambos os ensaios foi observado um perfil crescente da intensidade de corrente, como mostrado na Figura 3. Esse comportamento pode estar relacionado às reações anódicas de corrosão dos eletrodos, ou devido à ação do ácido como agente lixiviante, o qual foi responsável por liberar mais espécies para o meio e, por sua vez, torná-lo mais condutivo. Considerando que não foi observada a ocorrência de corrosão nos eletrodos anódicos, neste trabalho foi admitido que o aumento da intensidade de corrente elétrica ocorreu devido ao aumento de espécies iônicas na solução eletrolítica.

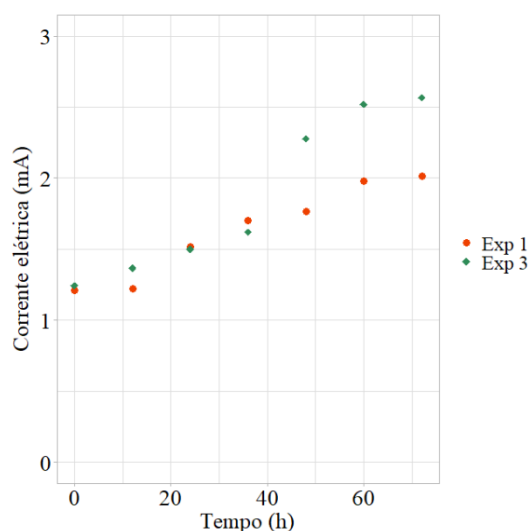


Figura 3 – Corrente elétrica dissipada nas eletrolixiviações dos experimentos Exp 1 e Exp 3

Embora o processo de eletrolixiviação tenha sido conduzido com ácido sulfúrico na concentração de $1,0 \text{ mol L}^{-1}$, a intensidade de corrente do processo apresentou valores inferiores a 3 mA (Figura 3). Assim, de acordo com a Eq.(4), o consumo energético do experimento Exp 1 foi de $1,06 \text{ W h}$ e de $1,21 \text{ W h}$ para o Exp 3. Ao comparar esses resultados com outras técnicas eletrocinéticas para remoção de espécies metálicas, as quais empregam intensidades de corrente elétrica na ordem de 100 mA (Almeida *et al.*, 2020), que resultam em um consumo energético próximo a 65 W h para 96 h de experimento (Eq.(4)), a eletrolixiviação torna-se uma técnica economicamente mais atrativa.

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho avaliou o efeito do campo elétrico na remoção de Ni^{2+} a partir de catalisadores desativados oriundos da indústria de óleos e gorduras. Para isso, diferentes experimentos foram conduzidos. Os resultados indicaram que o experimento que apresentou a melhor remoção de Ni^{2+} teve como pré-tratamento a calcinação da amostra de catalisador seguido do processo de eletrolixiviação, o que resultou em uma remoção de Ni^{2+} de $22,5\%$, considerando a recuperação nas duas câmaras eletrolíticas. Os experimentos conduzidos sem a assistência do campo elétrico, ou seja, em que a extração foi realizada somente por lixiviação, apresentaram remoção próxima a 2% . Com isso, os resultados comprovam a eficácia do campo elétrico na extração e separação de Ni^{2+} . Além disso, a eletrolixiviação apresentou um baixo consumo energético, visto que o experimento que teve a calcinação como pré-tratamento consumiu $1,2 \text{ W h}$ nas 72 h de experimento. Desta forma, ao comparar a técnica apresentada neste trabalho com os métodos convencionais de lixiviação de espécies metálicas, a eletrolixiviação apresenta-se como uma alternativa ambientalmente menos impactante e com menor consumo energético.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

6. REFERÊNCIAS

- Acar, Y. B. and Alshawabkeh, A. N., 1993. "Principles of electrokinetic remediation". *Environmental Science and Technology*, Vol. 27, No. 13, pp. 2638–2647. doi:10.1021/es00049a002.
- Almeida, J., Craveiro, R., Faria, P., Silva, A. S., Mateus, E. P., Barreiros, S., and Ribeiro A. B., 2020. "Electrodialytic removal of tungsten and arsenic from secondary mine resources – Deep eutectic solvents enhancement". *Science of The Total Environment*, Vol. 710, 136364. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.136364
- Arslanoğlu, H. and Yaraş, A., 2021. "Recovery of molybdenum, cobalt and nickel from spent hydrodesulphurization catalyst through oxidizing roast followed by sodium persulfate leaching". *Sustainable Materials and Technologies*, Vol. 28, 00286. doi:10.1016/j.susmat.2021.e00286.
- Arslanoğlu, H. and Yaraş, A., 2019., A. "Recovery of precious metals from spent $\text{Mo-Co-Ni/Al}_2\text{O}_3$ catalyst in organic acid medium: process optimization and kinetic studies". *Petroleum Science and Technology*, Vol. 37, No. 19, pp. 2081-2093. doi:10.1080/10916466.2019.1618867.
- Choo, H.P., Liew, K.Y., Liu, H.F, Seng, C.E., 2001. "Hydrogenation of palm olein catalyzed by polymer stabilized Pt colloids". *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, Vol. 165, No. 1-2, pp. 127-134. doi:10.1016/s1381-1169(00)00367-8.

Deniz, A. B. C., Valt, R. B. G., Kaminari, N. Ponte, M. J. J. S., and Ponte, H. A., 2017. "Parameters of an electrokinetic reactor design for vanadium recovery from fluid catalytic cracking catalysts". *Separation and Purification Technology*, Vol.193, pp. 297-302. doi:10.1016/j.seppur.2017.10.057

Idris, J., Musa, M., Yin, C., and Hamid, K. H. K., 2010. "Recovery of nickel from spent catalyst from palm oil hydrogenation process using acidic solutions". *Journal of Industrial And Engineering Chemistry*, Vol. 16, No. 2, pp. 251-255. doi:10.1016/j.jiec.2010.01.044.

Li, J., Zhang, J., Yang, J., 2022. "Research progress and applications of nickel-based catalysts for electrooxidation of urea". *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 47, No. 12, pp. 7693-7712. doi:10.1016/j.ijhydene.2021.12.099.

Jödicke, G., Zenklusen, O., Weidenhaupt, A., and Hungerbühler, K., 1999. "Developing environmentally-sound processes in the chemical industry: a case study on pharmaceutical intermediates". *Journal of Cleaner Production*, Vol. 7, No 2, pp. 159-166. doi:10.1016/S0959-6526(98)00075-4.

Maidel, M., Ponte, M. J. J. S., and Ponte, H. A., 2019." Recycling lanthanum from effluents of elektrokinetic treatment of FCC spent catalyst, using a selective precipitation technique". *Separation and Purification Technology*, Vol. 210, pp. 251-257. doi:10.1016/j.seppur.2018.08.001.

Mangini, L. F. K., Valt, R. B. G., Ponte, M. J. J. S., and Ponte, H. A., 2020. "Vanadium removal from spent catalyst used in the manufacture of sulfuric acid by electrical potential application". *Separation and Purification Technology*, Vol. 246, 116854. doi:10.1016/j.seppur.2020.116854.

Pires, C. M. G., Ponte, H. A., Pereira, J. T., and Ponte, M. J. J. S., 2019. "Yttrium extraction from soils by electric field assisted mining applying the evolutionary operation technique". *Journal of Cleaner Production*, Vol.227, pp.272-279, 2019. doi:10.1016/j.jclepro.2019.04.077.

Randhawa, N. S., Gharami, K., and Kumar, M., 2016. "Leaching kinetics of spent nickel-cadmium battery in sulphuric acid". *Hydrometallurgy*, Vol. 165, pp. 191-198. doi:10.1016/j.hydromet.2015.09.011.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

EVALUATION OF THE EFFECT OF THE ELECTRIC FIELD ON THE RECOVERY OF NICKEL FROM SPENT CATALYST OF OIL AND FAT HYDROGENATION PROCESS

Lucas Aparecido Bittencourt, lucasbittencourt@ufpr.br¹

Carolina Mocelin Gomes Pires, carolinamocelin@ufpr.br¹

Haroldo Araújo Ponte, hponte@ufpr.br¹

¹Federal University of Parana, 100 Cel. Francisco H. dos Santos Avenue, Zip code: 81.531-990, P.O Box 19.011, Jardim das Américas, Curitiba, Parana, Brazil

Abstract. Catalysts from the hydrogenation process of oils and fats become deactivated after several cycles of operation. This industrial waste can result in many environmental issues when these materials are not sent to the adequate effluent solids treatment. On the other hand, in the disposal of these spent catalysts some elements with economic value in their composition, such as nickel, can be lost. In light of this view, aiming to attend environmental standards and also taking into account the recovery of some species from the spent catalyst, the electric field assisted leaching arises as a feasible technique to remove species from them. Therefore, the aim of the present work was to evaluate the electric field effect on the recovery of nickel from the catalyst of the hydrogenation process of fat using the electric field assisted leaching technique. To that end, four experiments were conducted, in which there were two different types of pre-treatments to remove the oil film on the surface of the catalyst particle. In the first test, the catalyst sample remained in a solution of sulfuric acid at 1.0 mol L⁻¹ for 48 h. Subsequently, the sample was submitted to the electroleaching for 72 h with the same electrolyte. The second experiment was conducted similarly to the first, however, without the electric field assistance. In the third test, the sample was previously calcined at 350 °C for 30 min, and after that, it was submitted to the electric field assisted leaching for 72 h using sulfuric acid as electrolyte at a concentration of 1.0 mol L⁻¹. The last experiment was conducted analogically to the third, however without the electric field support. The results showed that the experiment conducted with calcination as pre-treatment presented higher removal, resulting in 22.5% of Ni²⁺ recovery. On the other hand, the same test conducted without electric field assistance presented 2.8% of species recovery. In the experiment conducted with sulfuric acid in the pre-treatment, the removal of Ni²⁺ was 18.8 %. Nevertheless, the same experiment conducted without electric field support presented a removal of 1.9% of the species. Based on these results, the effectiveness of the electric field on the Ni²⁺ from the spent catalyst was observed, which makes the species removal process using a technique with lower environmental impact feasible.

Keywords: electroleaching, metal recovery, electrokinetic phenomena, electroremediation