

**Recuperação de Neodímio a partir de lixo eletrônico por meio de ensaios de lixiviação com Cloreto Férrico: estudos prospectivos**

**Carlos E. R. Muniz¹ (G)\*, Heyder P. Neves (PQ)1, Gabriel M. D. Ferreira (PQ)1, Aparecida B. Mageste (PQ)1, Versiane A. Leão (PQ)1**

carlos.muniz@aluno.ufop.edu.br

1Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP

**RESUMO**

O presente trabalho se propôs a avaliar a lixiviação de ímãs permanentes contidos em HDs obsoletos (IPO) para recuperação de Neodímio (Nd), um elemento terra rara de grande destaque no cenário internacional. Através de uma triagem utilizando um planejamento fatorial completo, avaliou-se a o percentual de extração (%E) e concentração de Nd no lixiviado, em função da variação da temperatura de lixiviação, razão sólido-líquido (S/L), concentração de lixiviante e tempo de lixiviação. Os resultados revelaram a maior influência da razão sólido-líquido em relação às demais variáveis. Os valores de %E atingiram valores de 100% nas menores S/L. Nos maiores valores de S/L, mesmo atingindo valores superiores de concentração de Nd no lixiviado, o percentuais de extração variaram 5,67% a 33,56%.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

*Palavras-chaves: Neodímio, recuperação, ímãs permanentes obsoletos, lixiviação.*

*\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_*

**Introdução**



O Neodímio (Nd) é um elemento químico da série dos lantanídeos e que dentro do grupo conhecido como elementos terras raras (ETR), vem ganhando destaque devido à sua aplicação na produção de ímãs permanentes utilizados em turbinas de geração de energia eólica, veículos com motores elétricos, além de outras aplicações tecnológicas. Tais fatores proporcionam correlacionar diretamente este metal ao processo de transição energética pelo qual passa toda a sociedade global (1), aumentando ainda mais a sua importância no cenário geopolítico internacional.

Diante da alta demanda de Nd para a produção de ímãs permanentes que é projetada para os próximos anos e dos monópolios da China na comercialização de produtos de ETR (2), países ao redor do globo vem traçando estratégias para diminuir a dependência do país asiático, em termos de importação (3). E dentre estas, destaca-se a recuperação de Nd a partir de uma fonte obsoleta rica neste elemento: os imãs permanentes contidos em unidades de discos rígidos obsoletos (que a partir daqui serão referidos neste texto como IPO) (3).

Tentando se inserir nos contextos relevantes da recuperação de Nd a partir de fontes alternativas e da criação de processos menos danosos que os usualmente aplicados (rotas hidrometalúrgicas que utilizam vultosas quantidades de ácidos minerais), este trabalho se propôs a avaliar a lixiviação de Nd a partir de IPO, utilizando como agente lixiviante o FeCl3 e dispensando a utilização de grandes quantidades de ácidos inorgânicos. Os resultados apontaram para o potencial deste sistema simples de recuperação de Nd com altas taxas de eficiência e a perspectiva da criação de uma nova rota hidrometalúrgica para este fim.

**Experimental**

Para execução do trabalho, inicialmente foram coletadas duzentas unidades de HDs obsoletos, sedidos gentilmente pela Chagas – Solução em Destinação de Resíduos, sediada em Ouro Preto/MG. Os HDs foram desmantelados manualmente e os IPO separados. Os ímãs foram desmagnetizados a 450 °C em forno elétrico, por 15 minutos, segundo procedimento descrito na literatura (4) e em seguida cominuídos até a pulverização da amostra.

A fração fina obtida após a pulverização foi lixiviada com soluções de FeCl3, preparadas com solução de HCl em pH 1,00. Para averiguar as variáveis mais relevantes do processo e futuramente otimizá-lo, os ensaios de lixiviação foram executados a partir de uma triagem, utilizando um Planejamento Experiemental Completo em dois níveis, com triplicata no ponto central, avaliando as variáveis descritas na Tabela 1. Após a lixiviação, o sistema fooi filtrado à vácuo e o licor obtido em cada ensaio foi adequadamente diluído para análise da concentração Nd, via espectrometria de emissão ótica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES). A partir dos dados obtidos, foram determinados os valores concentração de Nd e percentual de extração (%E).

**Tabela 1.** Ensaios de triagem utilizando planejamento fatorial completo para lixivação de Nd contidos em IPO.



|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Ensaio** | **Temp. (°C)** | **S/L (%)** | **[FeCl3] (mol/L)** | **Tempo (min)** |
| 1 | 25 | 2,50 | 0,5 | 30 |
| 2 | 90 | 2,50 | 0,5 | 30 |
| 3 | 25 | 15,00 | 0,5 | 30 |
| 4 | 90 | 15,00 | 0,5 | 30 |
| 5 | 25 | 2,50 | 2,5 | 30 |
| 6 | 90 | 2,50 | 2,5 | 30 |
| 7 | 25 | 15,00 | 2,5 | 30 |
| 8 | 90 | 15,00 | 2,5 | 30 |
| 9 | 25 | 2,50 | 0,5 | 360 |
| 10 | 90 | 2,50 | 0,5 | 360 |
| 11 | 25 | 15,00 | 0,5 | 360 |
| 12 | 90 | 15,00 | 0,5 | 360 |
| 13 | 25 | 2,50 | 2,5 | 360 |
| 14 | 90 | 2,50 | 2,5 | 360 |
| 15 | 25 | 15,00 | 2,5 | 360 |
| 16 | 90 | 15,00 | 2,5 | 360 |
| 17\* | 58 | 8,75 | 1,5 | 195 |
| 18\* | 58 | 8,75 | 1,5 | 195 |
| 19\* | 58 | 8,75 | 1,5 | 195 |

\*pontos centrais da triplicata.

**Resultados e Discussões**

A Figura 1 apresenta os dados de %E e concentração de Nd para cada ensaio realizado. Pelos dados obtidos foi possível observar a influência da variação simultânea das variáveis no percentual de %E e concentração de Nd em cada amostra. Chama-se a atenção para a maior influência da variável razão sólido-líquido (S/L) em detrimento das demais.

Comparando os ensaios 1, 2, 3 e 4, percebe-se que mantendo-se a concentração de lixiviante (0,5 mol.L-1) ao aumentar a S/L, ocorre uma queda nos valores de %E e concentração de Nd no lixiviado, simultaneamente. Comparando os experimentos 5, 6, 7 e 8, percebe-se que mesmo na maior concentração de lixiviante (2,5 mol.L-1), há uma queda de %E quando se aumenta a S/L. Chama-se atenção para as amostras 7 e 8, onde o tempo apresentou alguma influência, aumentando de maneira expressiva a concentração de Nd no lixiviado (de 3753,95 mg.L-1 para 12246,43 mg.L-1), ainda que com baixos valores de %E (de 10,06% para 32,84%).

Os demais ensaios não apresentaram variações significativas em relação às tendências observadas e discutidas no parágrafo anterior, o que reforça a percepção da influência da razão sólido-líquido no processo. Sendo assim, a perspectiva para os ensaios de otimização seria a fixação do valor de S/L, variando as demais

variáveis e avaliando seu real impacto na lixiviação de Nd. Há ainda a perspectiva de inclusão de um processo de separação conectado à lixiviação para obtenção de um óxido de Nd puro ao final do processo.



**Figura 1.** Percentual de extração (%E) e concentração de Nd nos ensaios de triagem de lixiviação de IPO com FeCl3.

**Conclusões**

A lixiviação de IPO com FeCl3 se mostrou promissora, obtendo valores de recuperação na margem de 100% em alguns ensaios. A triagem viagem planeamento experimental apontou para a grnade influência da variável razão sólido-líquido no processo e os caminhos a serem tomados na otimização

**Agradecimentos**

SBQ, FAPEMIG, CAPES, CNPq, UFOP.

**Referências**

[1] CHRISTMANN, P.; LEFEBVRE, G. Trends in global mineral and metal criticality: the need for technological foresight. **Mineral Economics**, 2022.

[2] LI, X. Y. et al. Scenarios of rare earth elements demand driven by automotive electrification in China: 2018–2030. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 145, p. 322–331, 1 jun. 2019.

[3] MÜNCHEN, D. D.; STEIN, R. T.; VEIT, H. M. Rare Earth Elements Recycling Potential Estimate Based on End-of-Life NdFeB Permanent Magnets from Mobile Phones and Hard Disk Drives in Brazil. **Minerals**, v. 11, n. 11, p. 1190, 27 out. 2021.

[4] NI’AM, A. C. et al. Recovery of Neodymium from Waste Permanent Magnets by Hydrometallurgy Using Hollow Fibre Supported Liquid Membranes. **Solvent Extraction Research and Development, Japan**, v. 27, n. 2, p. 69–80, 2020.

