

## Impacto da reciclagem de neodímio em ímãs

Com o advento da tecnologia e a expansão da produção de eletrônicos, foi necessária a extração de novas substâncias da Terra para alcançar os requisitos necessários a determinadas funções para o equipamento. Uma classe dessas novas substâncias a serem utilizadas é a dos metais terras raras. Esses metais pertencem a série dos lantanídeos da Tabela Periódica e possuem diversas propriedades fosforescentes e magnéticas, além da alta resistência às temperaturas elevadas. Essas características são indispensáveis na produção de eletrônicos como turbinas eólicas, fones de ouvido e computadores. Apesar de seu difundido uso na indústria, os metais terras raras são extremamente difíceis de serem extraídos, sendo raramente encontrados na forma pura, na maioria das vezes estão misturados a outros elementos, o que aumenta seu custo de extração substancialmente. Ademais, sua mineração pode gerar subprodutos como o urânio e o tório, elementos radioativos que podem contaminar os solos e águas subterrâneas da região explorada, gerando severos danos ecológicos [1].

Graças a esse elevado custo de extração e rigorosas regulamentações ambientais, a mineração de terras raras tem encontrado dificuldade em países ocidentais como os Estados Unidos, que sofreu uma diminuição na produção mundial do recurso. A China, por outro lado, passou por um enorme aumento na produção dos elementos graças a mão de obra barata, e regulamentações ambientais fracas, produzindo maior parte do abastecimento mundial. Isto pode ser observado na figura 1, que demonstra a produção mundial de terras raras de 1950 até 2007.

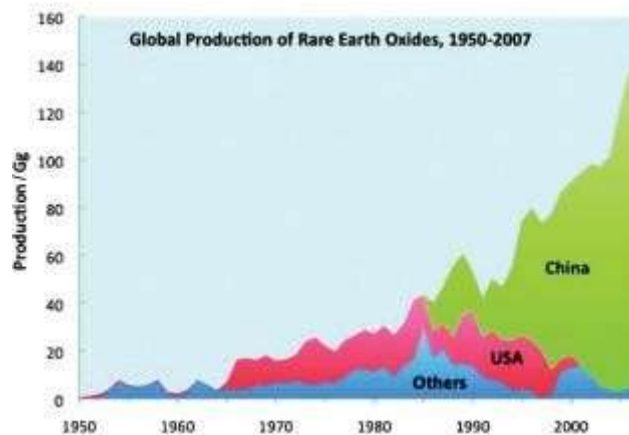
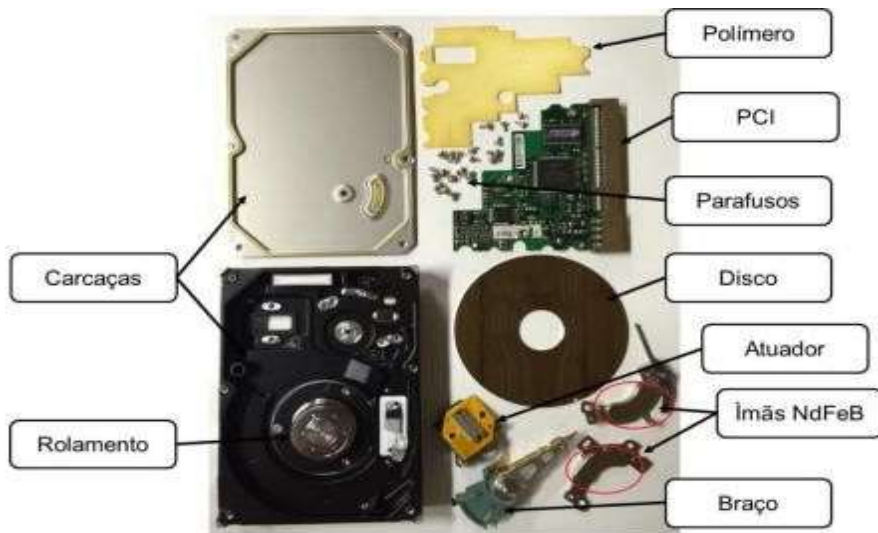


Figura 1. Produção mundial de Óxidos de Terras Raras (1950-2007) [2].

O neodímio é um metal terra rara muito utilizado na produção de diversos eletrônicos devido ao seu forte magnetismo. Entre eles estão motores de usinas eólicas, fones de ouvidos e Unidade de Disco Rígido, o último sendo essencial para a montagem de computadores. Existem diversos métodos de obtenção do Neodímio e, muitas vezes, a reciclagem de HDDs é utilizada para a recuperação desse metal.

HDDs têm a função de armazenar informações através da leitura de polos magnéticos modificados para norte ou sul. Apesar de possuírem pequenas variações de acordo com a marca, HDDs seguem uma estrutura fixa, como pode ser visto na figura 2.



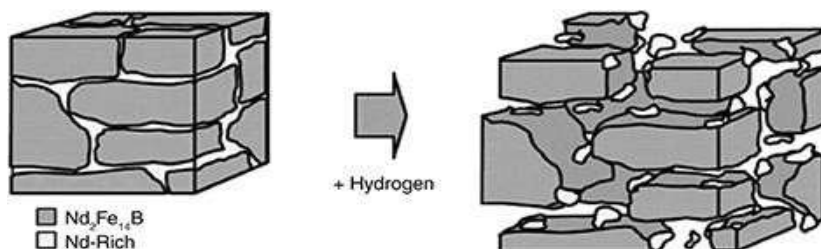
**Figura 2.** Hard Disk Drive desmontado.

Os materiais que podem ser reciclados para obtenção do neodímio são os Ímãs NdFeB. Existem diversas maneiras para a reciclagem deste ímã, este trabalho focará em duas, a decrepitação por hidrogênio, e o processo hidrometalúrgico [3-5].

Para a reciclagem através destes processos ocorrer, o primeiro passo é a separação dos ímãs NdFeB dos HDDs, o que pode ser feito tanto manualmente, quanto através de uma máquina.

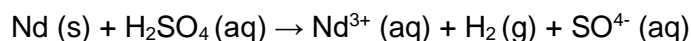
No caso da decrepitação por hidrogênio, é necessário primeiro transformar o neodímio em hidreto de neodímio, que é realizado em temperatura e pressão ambiente. Essa transformação causa a expansão da substância, de forma que ocorre a quebra do ímã em diversas partículas finas e desmagnetizadas, formando um pó, e assim possibilitando sua separação do ímã. Como o NdFeB apresenta uma temperatura de Curie (temperatura necessária para a desmagnetização) baixa, ele é revestido com uma camada protetora de níquel em sua produção, esta que pode ser quebrada com facilidade através de uma adaptação do processo mencionado acima a temperaturas e pressão mais altos, assim possibilitando a saída do hidreto de neodímio do ímã [3].

Após a quebra e separação do hidreto de neodímio, e da camada de níquel do resto do ímã, é preciso isolar o hidreto para seu reuso, o que pode ser feito por um tambor poroso, que separa os dois elementos. Após a divisão, o neodímio está pronto para ser reprocessado em novos materiais.



**Figura 3.** Ilustração da decrepitação por hidrogênio em ímã NdFeB [6].

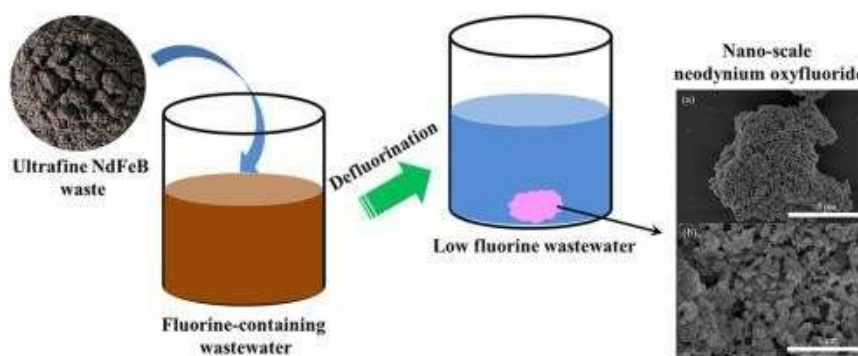
No método da hidrogenação é necessária a mistura do imã com um conjunto de ácidos para a eventual separação do neodímio. O primeiro passo é a lixiviação, onde ocorre a dissolução do NdFeB em ácido sulfúrico separando o neodímio do restante do imã, como pode ser observado na seguinte reação:



Após a dissolução é necessária a realização da precipitação seletiva, onde ocorre a separação do neodímio do ácido sulfúrico. Para realizar essa separação, é preciso adicionar uma solução básica para elevar o pH da substância a 1,5, esta que pode ser hidróxido de sódio, hidróxido de amônio ou hidróxido de potássio. Forma nesse processo sais duplos com as seguintes fórmulas:



O sal duplo de neodímio é convertido em trifluoreto de neodímio ( $\text{NdF}_3$ ), ou óxido de neodímio ( $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ) através do processo de lixiviação, ou com o ácido fluorídrico (HF), ou com o ácido oxálico ( $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ ). Os compostos formados podem ser filtrados e utilizados em outros processos, como a eletrodeposição para obtenção de Nd metálico.



**Figura 4.** Ilustração da lixiviação do NdFeB por óxido de neodímio [7].

O mercado de reciclagem de neodímio presente em ímãs NdFeB ainda possui muito espaço para crescimento, com constantes inovações e descobertas de novos métodos. Entre os dois métodos apresentados, a hidrometalurgia é mais acessível economicamente, já que apenas necessita de certos ácidos, enquanto na decrepitação por hidrogênio são necessários diversos equipamentos para a alteração de pressão, e aquecimento. Por isso, no momento, a hidrometalúrgica é mais recomendada do que a decrepitação por hidrogênio.

Terras raras são elementos essenciais para a sociedade, principalmente o neodímio, que já é e será muito utilizado no futuro, principalmente com a transição para uma matriz energética sustentável, visto que, é essencial para a produção de usinas eólicas. Por isso é importante que os países ocidentais possuam um abastecimento constante do elemento não dependente da China [8,9]. O aumento na produção de neodímio pelos países ocidentais pode ser atingido através da reciclagem, que redistribui o neodímio presente em lixo eletrônico para o mercado.

## Referências Bibliográficas

- [1] Relatório dos EUA aponta Brasil como dono da maior reserva de terras-raras. Disponível em [https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/tecnologia/2011/07/13/interna\\_tecnologia,261062/relatorio-dos-eua-aponta-brasil-como-dono-da-maior-reserva-de-terras-raras.shtml](https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/tecnologia/2011/07/13/interna_tecnologia,261062/relatorio-dos-eua-aponta-brasil-como-dono-da-maior-reserva-de-terras-raras.shtml). Acessado em 09 mar. 2022.
- [2] Hague Centre for Strategic Studies (HCSS) & TNO, Rare Earth Elements and Strategic Policy, 2010.
- [3] Walton A, Yi H, Rowson NA, Speight JD, Mann VSJ, Sheridan RS, Bradshaw A, Harris IR, Williams AJ, The Use of Hydrogen to Separate and Recycle NeodymiumIron-Boron-type Magnets from Electronic Waste, Journal of Cleaner Production (2015), doi: 10.1016/j.jclepro.2015.05.033.
- [4] Carvalho da Silva, Suelanny. (2012). Properties of hydrogenation-disproportionation-desorption-recombination NdFeB powders prepared from recycled sintered magnets. Journal of Applied Physics. 111. 07A7725-1.
- [5] MÜNCHEN, Daniel Dotto. Recuperação de neodímio a partir de ímãs de neodímio-ferroboro por meio de processos mecânicos e hidrometalúrgicos. 2016. 63 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/149837>. Acesso em: 23 fev. 2022.
- [6] Disponível em: <https://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/download/1435/1699?inline=1#RF0006>> Acesso em 24 fev. 2022.
- [7] Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1002072121002830> Acesso em 24 fev. 2022.
- [8] LAMMERTSMA, M. A. de Boer And K.. Scarcity of Rare Earth Elements. 2013. 12 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, European Chemical Society, Amsterdam, 2021. Disponível em: <https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cssc.201200794>. Acesso em: 23 fev. 2022.
- [9] Critical Minerals and Materials: U.S. Department of Energy's Strategy to Support Domestic Critical Mineral and Material Supply Chains (FY 2021-FY 2031). Disponível em: [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2021/01/f82/DOE%20Critical%20Minerals%20and%20Materials%20Strategy\\_0.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2021/01/f82/DOE%20Critical%20Minerals%20and%20Materials%20Strategy_0.pdf).