

# Revisão bibliográfica sobre metais de terras raras

*Literature review of rare earth metals*

Celia Aparecida Lino dos Santos<sup>a</sup> e Zehbour Panossian<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Laboratório de Corrosão e Proteção, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

<sup>b</sup> Diretoria Executiva, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

\*E-mail: [clsantos@ipt.br](mailto:clsantos@ipt.br)

Palavras-chave:  
metal de terras raras; ímã permanente; consumo mundial.

Keywords:  
*rare earth metal; permanent magnet, worldwide consumption.*

## Resumo

Os compostos contendo metais terras raras (TR) são empregados em uma ampla gama de produtos, tais como: catalisadores para veículos automotivos; catalisadores para craqueamento do petróleo, ligas metálicas; produtos para polimentos; laser; luzes e telas luminescentes. Um dos principais produtos em que os metais de TR é aplicado é na obtenção da liga magnética (Nd,Pr)-Fe-B. Essa liga é classificada como ímã permanente e apresenta propriedades magnéticas destacadamente superiores às ligas magnéticas sem TR. Atualmente, os ímãs permanentes à base de TR tornaram-se muito importantes por serem empregados em motores de veículos 100 % elétricos ou híbridos, e em geradores eólicos, produtos voltados à sustentabilidade ambiental. Este artigo tem como objetivo apresentar uma revisão bibliográfica sobre os metais de TR, abordando a sua ocorrência natural, seu comportamento físico-químico e o seu consumo mundial.

## Abstract

*Rare earth (RE) metal compounds are employed in a wide range of products, such as: catalysts for automotive vehicles; catalysts for petroleum cracking processes, alloys; polishing products; laser applications; light and luminescent screens. One of the most important RE-based commercial product is the (Nd,Pr)-Fe-B magnetic alloy. This alloy is classified as permanent magnet and exhibits magnetic properties markedly superior to RE-free magnetic alloys. Nowadays, RE-based permanent magnets have become very important because they are used in 100 % electric or hybrid motor vehicles and in wind generators, products which are focused on environmental sustainability. This article aims at presenting a brief bibliographical review about RE metals addressing their natural occurrence, physicochemical behavior and worldwide consumption.*

## 1 Introdução

O Centro de Tecnologia de Metalurgia e Materiais (CTMM), desde 2014, vem desenvolvendo projetos em parceria com a empresa CBMM e a Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (Embrapii). De 2014 a 2016, realizou-se o primeiro projeto Embrapii "Obtenção de neodímio, contendo teores controlados de praseodímio, a partir da redução de seu óxido" em que se obteve o neodímio metálico e, também, o didímio metálico (Di – liga metálica contendo ambos os metais neodímio, Nd, e praseodímio, Pr). Encontra-se em andamento o segundo projeto Embrapii "Obtenção de liga Didímio-Ferro-Boro a partir de óxido de didímio", iniciado no segundo semestre de 2016, que visa à obtenção da liga magnética Di-Fe-B.

O CTMM também participa de uma chamada CNPq-INCT, recém-aprovada, intitulada Processamento e Aplicação de Ímãs de Terras Raras para Indústria de Alta Tecnologia (PATRIA) que tem como objetivo construir as bases de apoio científico e tecnológico ao desenvolvimento da cadeia produtiva de terras raras no Brasil.

Do envolvimento com esses projetos, surgiu a necessidade de se realizar uma revisão bibliográfica que abrangesse os conceitos fundamentais, a começar pela definição de metais de terras raras, sua obtenção e utilização, assuntos apresentados nesse artigo. No entanto, a revisão expandiu-se e se concentrou nos temas corrosão e proteção contra corrosão de ímãs permanentes à base de terras raras que será apresentada em oportunidade futura.

## 2 Metodologia

A revisão bibliográfica abrangeu o período de 1975 a 2016, com consultas a livros-texto e às seguintes bases de dados:

- *ISI Web of Knowledge*;
- *Scopus*;
- Repositórios digitais de dissertações e teses.

As palavras-chave empregadas foram: *rare earths*; *rare earth + uses*; *rare earth + importance*; *rare earth + worldwide consumption*.

Além das bases de dados, foram utilizadas informações disponíveis em websites de organizações oficiais e governamentais.

### 3 Desenvolvimento

Os compostos contendo metais de terras raras (TR) são empregados em diversos ramos de atividade, como por exemplo, (LUCAS et al., 2015, p. 2; CHARALAMPIDES et al., 2015, p. 130):

- óxidos para catalisadores do sistema de exaustão automotivos dedicados ao controle da emissão de poluentes;
- ligas com magnésio para aumentar sua resistência mecânica a altas temperaturas e redução da sua inflamabilidade;
- ligas com metais de transição (Ni, Co, Mn) e hidrogênio para eletrodos de baterias recarregáveis;
- ligas com metais de transição (Fe, Co) para fabricação de ímãs permanentes com elevado campo magnético;
- produtos para polimento;
- dopantes em vidro para fabricação de laser com comprimento de onda reproduzível;
- dopantes em vidro e em polímeros para a fabricação de produtos luminescentes como luzes e telas.

Na primeira década do século XXI, o desenvolvimento dos carros híbridos, carros 100 % elétricos e das turbinas eólicas para a geração de energia elétrica tem se intensificado e, com isso, aumentado a demanda por ímãs permanentes de TR. O crescimento da demanda fez com que esses ímãs sejam os produtos industriais à base de TR mais importantes devido ao seu emprego em dispositivos de alta tecnologia (KRAMER et al., 2012; ALONSO et al., 2012).

Apesar de serem tecnologicamente importantes para o mundo atual, os elementos de terras raras ainda são pouco conhecidos. Esse artigo tem como objetivo fazer uma revisão bibliográfica sobre esses elementos, sua ocorrência natural, seu comportamento físico-químico e o seu consumo mundial.

A Comissão de Nomenclatura em Química Inorgânica da IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) recomenda o uso das seguintes expressões (CONNELLY et al., 2005):

- "metais de terras-raras", cujo símbolo geral é "TR" (*RE – rare earth*), para os elementos escândio (Sc), ítrio (Y) e do lantânio (La) ao lutécio (Lu), pertencentes ao Grupo 3 da tabela periódica e que possuem, respectivamente, os seguintes números atômicos (Z) 21, 39, 57 a 71;
- "lantanóides", símbolo "Ln", para os elementos com números atômicos entre 57 a 71, que são: lantânio (La) Z = 57, cério (Ce) Z = 58, praseodímio (Pr) Z = 59, neodímio (Nd) Z = 60, promécio (Pm) Z = 61, samário (Sm) Z = 62, európio (Eu) Z = 63, gadolínio (Gd) Z = 64, térbio (Tb) Z = 65, disprósio (Dy) Z = 66, hólmio (Ho) Z = 67, érbio (Er) Z = 68, túlio (Tm) Z = 69, itérbio (Yb) Z = 70 e lutécio (Lu) Z = 71.

Destaca-se que o elemento Pm ( $Z = 61$ ) é um produto da fissão nuclear do urânio. Além do Pm, outro elemento que apresenta radioatividade é o Lu. Esse apresenta radioatividade natural para o isótopo  $^{176}_{71}\text{Lu}$ , um beta emissor de meia vida de  $7,3 \cdot 10^{10}$  anos (ABRÃO, 1994).

Esses elementos caracterizam-se pelo preenchimento sucessivo dos elétrons 4f adicionados à configuração do La, que é considerado como um elemento protótipo (ABRÃO, 1994).

As TR podem ser classificadas como leves (do La ao Gd) e pesadas (do Tb ao Lu, incluindo o Y). Aceita-se, também, a classificação em três grupos: leves (do La ao Nd); médias (do Sm ao Gd) e pesadas (do Tb ao Lu, incluindo o Y) (SERRA, 2013).

Apesar da definição recomendada pela IUPAC incluir como metais de TR os elementos Sc e Y, há publicações que não seguem esta recomendação e definem como metais de TR somente os elementos com números atômicos entre 57 (La) e 71 (Lu), como acontece na obra *Rare Earths* (LUCAS et al., 2015).

O termo "terra rara" remonta à época do descobrimento desses elementos entre 1750 e 1800. O emprego do adjetivo "raro" não é claro na literatura, mas há quem considere que raro se referia, em épocas passadas, a objetos estranhos ou surpreendentes e, não necessariamente, escassos ou singulares. Assim, o adjetivo raro refere-se ao comportamento dos compostos desses metais e não a sua ocorrência natural. O termo "terra", por sua vez, foi amplamente empregado para designar óxidos no século 19 (LIMA; LEAL FILHO, 2016).

O cério é o elemento de terra rara mais abundante, a sua ocorrência é similar à do cobre e maior do que à do cobalto, o chumbo e o estanho. O túlio é o elemento de terra rara mais escasso e, ainda assim, é mais abundante do que o iodo, o mercúrio e o bismuto. O elemento escândio, o mais caro, é mais abundante do que o chumbo e o lítio (FORSYTH; HINTON, 2014).

A química das terras raras originou-se com a descoberta de um mineral preto de aspecto pouco convencional, em 1787, pelo sueco Carl Axel Arrhenius, em Ytterby, localidade próxima a Estocolmo. A partir daí, muitos pesquisadores envolveram-se com a descoberta de vários minerais e a separação dos novos elementos que possuíam aspecto e características semelhantes. Os principais minerais descobertos foram a cerita e a gadolinita que, a princípio, eram tidos como compostos simples (SANTOS, 1997; MOELLER, 1975).

Na **Figura 1** e na **Figura 2**, apresentam-se os diagramas dos minerais, dos elementos e seus respectivos descobridores (SANTOS, 1997; MOELLER, 1975) e, na **Tabela 1**, a origem e o significado dos nomes atribuídos aos metais de TR.

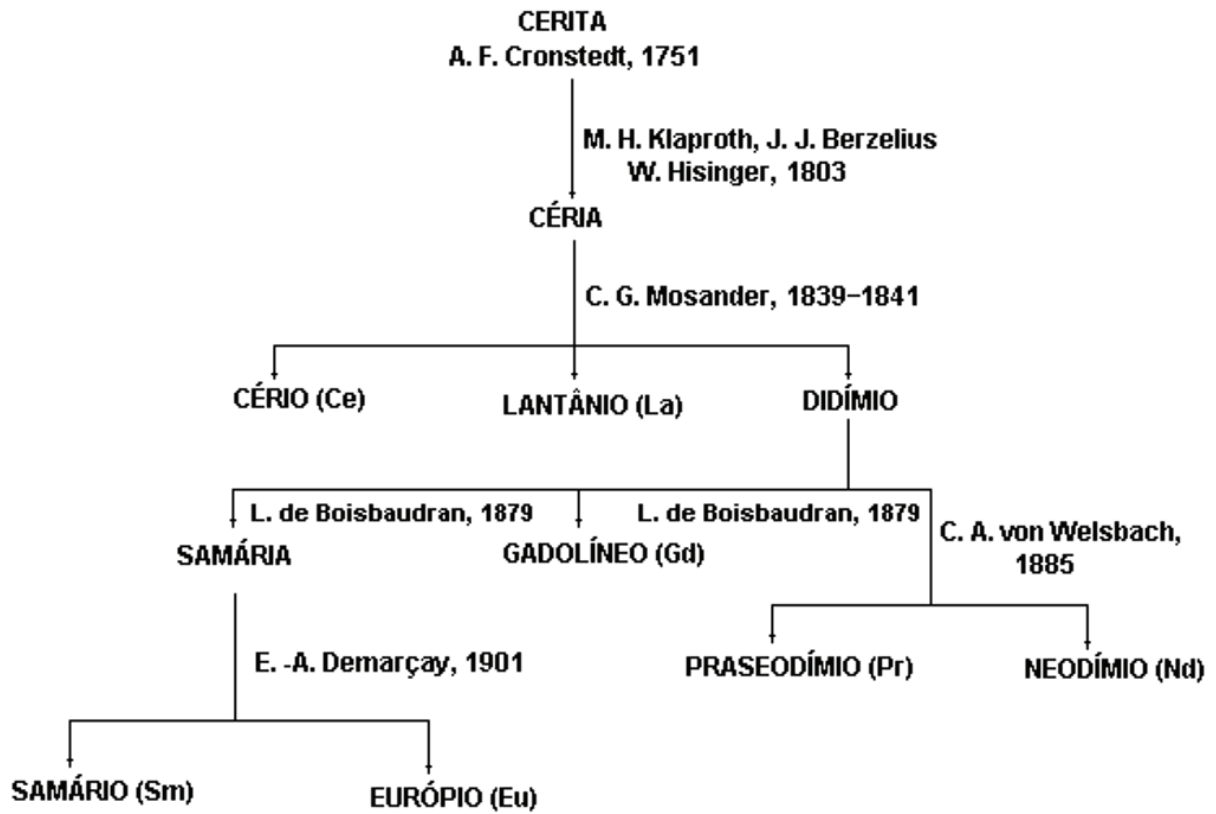


Figura 1 – Diagrama das terras raras descobertas a partir da cerita.  
Fonte: adaptado de Moeller (1975).

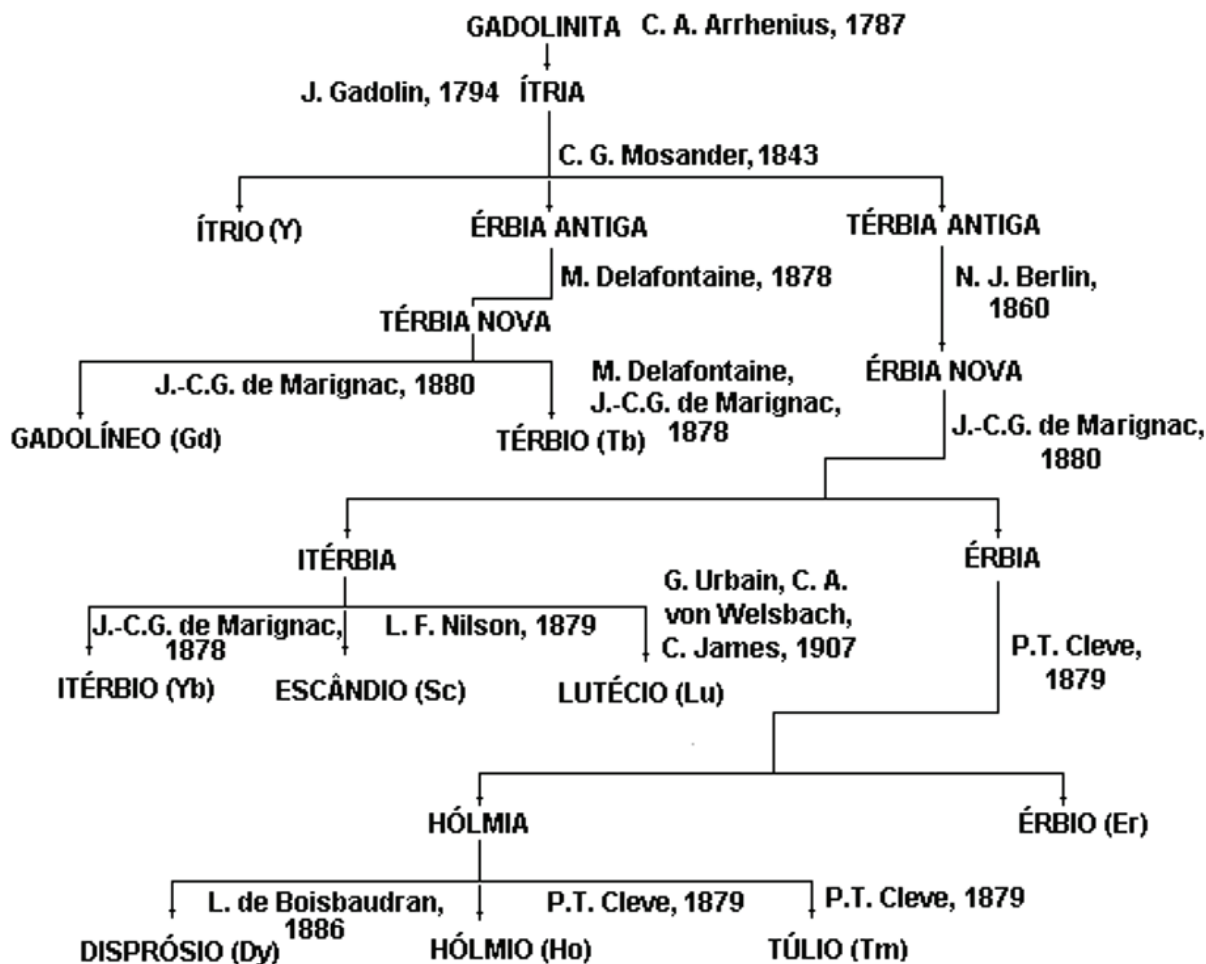


Figura 2 – Diagrama das terras-raras descobertas a partir da gadolinita.

Fonte: adaptado de Moeller (1975).

**Tabela 1 – Origem e significado dos nomes atribuídos aos metais de TR.**

<b>Elemento</b>	<b>Origem/Significado dos nomes dos elementos de TR</b>
Escândio (Sc) Z = 21	Escandinávia, região que compreende a Dinamarca, a Noruega, a Suécia, a Finlândia e a Islândia
Ítrio (Y) Z = 39	Ytterby, cidade histórica sueca em que se descobriu o mineral preto rico em elementos de terras raras.
Lantânio (La) Z = 57	Estar escondido
Cério (Ce) Z = 58	Ceres (planeta anão). Ambos, o elemento cério e o planeta anão foram descobertos na mesma época
Praseodímio (Pr) Z = 59	Gêmeo verde
Neodímio (Nd) Z = 60	Gêmeo novo
Promécio (Pm) Z = 61	Prometeu (mitologia grega: personagem que roubou o fogo dos deuses e o entregou aos seres humanos)
Samário (Sm) Z = 62	Samarskita (mineral)
Európio (Eu) Z = 63	Europa (continente)
Gadolínio (Gd) Z = 64	J. Gadolin, professor da Universidade de Abo em 1794
Térbio (Tb) Z = 65	Ytterby, cidade histórica sueca em que se descobriu o mineral preto rico em elementos de terras raras
Disprósio (Dy) Z = 66	De difícil acesso
Hólmio (Ho) Z = 67	Estocolmo, capital da Suécia
Érbio (Er) Z = 68	Ytterby, cidade histórica sueca em que se descobriu o mineral preto rico em elementos de terras raras
Túlio (Tm) Z = 69	Thule (antigo nome da Escandinávia)
Ítérbio (Yb) Z = 70	Ytterby, cidade histórica sueca em que se descobriu o mineral preto rico em elementos de terras raras
Lutécio (Lu) Z = 71	Lutetia (antigo nome de Paris)

**Fonte: adaptado de Moeller (1975).**

Na **Figura 1** e **Figura 2**, observa-se que foram necessários cerca de 130 anos de atividades entre a descoberta dos minerais e a identificação e a separação dos elementos de TR. Já na **Tabela 1**, verifica-se que a maioria dos nomes dos metais de TR faz menção às cidades suecas, à Escandinávia e à Europa.

Os metais de TR são utilizados na forma combinada com outros elementos (LUCAS et al., 2015), por serem extremamente eletropositivos e se oxidarem rapidamente quando expostos ao ar (FORSYTH; HINTON, 2014).

Os valores de potencial padrão de equilíbrio  $E^0_{Me^{n+}/Me}$  para os lantanóides estão apresentados na Tabela 2 e referem-se, somente, aos potenciais de redução dos íons trivalentes ( $Ln^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons Ln$ ).

**Tabela 2 – Potencial padrão de equilíbrio ( $E^0_{Me^{n+}/Me}$ ) para os lantanóides (Ln).**

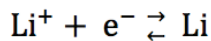
Elemento	Símbolo	$E^0_{Me^{n+}/Me}$ (V/EPH*)	Elemento	Símbolo	$E^0_{Me^{n+}/Me}$ (V/EPH)
Lantânio	La	-2,38	Térbio	Tb	-2,28
Cério	Ce	-2,34	Disprósio	Dy	-2,30
Praseodímio	Pr	-2,35	Hólmio	Ho	-2,33
Neodímio	Nd	-2,32	Érbio	Er	-2,33
Promécio	Pm	-2,30	Túlio	Tm	-2,32
Samário	Sm	-2,30	Itérbio	Yb	-2,19
Európio	Eu	-1,99	Lutécio	Lu	-2,28
Gadolínio	Gd	-2,28			

\*EPH – Eletrodo Padrão de Hidrogênio.

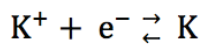
Fonte: adaptado de Haynes (2017).



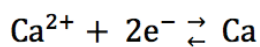
Os valores de  $E_{Me^{n+}/Me}^0$  dos Ln estão compreendidos entre -2,38 V/EPH (La) e -2,28 V/EPH (Lu), apenas 0,10 V de diferença, distribuídos entre os 15 elementos químicos. Essa característica evidencia a grande semelhança entre eles e, também, a grande reatividade. Somente os elementos das famílias 1 e 2, alcalinos e alcalinos terrosos, respectivamente, possuem valores de  $E_{Me^{n+}/Me}^0$  mais negativos do que os Ln. O elemento Mg apresenta  $E_{Me^{n+}/Me}^0$  muito próximo ao La.



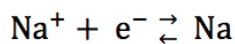
$$E_{Li^+/Li}^0 = -3,04 \text{ V/EPH}$$



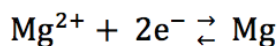
$$E_{K^+/K}^0 = -2,93 \text{ V/EPH}$$



$$E_{Ca^{2+}/Ca}^0 = -2,87 \text{ V/EPH}$$



$$E_{Na^+/Na}^0 = -2,71 \text{ V/EPH}$$



$$E_{Mg^{2+}/Mg}^0 = -2,37 \text{ V/EPH}$$

Os lantanídeos são maleáveis e dúcteis, apresentam baixa resistência à tração e todos são branco-prateados. Os elementos mais pesados permanecem brilhantes ao ar à temperatura ambiente, porém os mais leves ficam recobertos rapidamente por uma camada de óxido e, com o passar do tempo, há a conversão total do metal a óxido (HESLOP; JONES, 1976).

Conforme já dito anteriormente, os Ln apresentam em comum configurações eletrônicas  $6s^2$  e preenchimento do nível 4f, sendo que este último confere a designação de elementos de transição interna. Esse preenchimento faz com que os Ln sejam muito semelhantes quimicamente entre si (HESLOP; JONES, 1976), fato já ressaltado nos valores de  $E_{Me^{n+}/Me}^0$  da **Tabela 2**.

Todos os elementos, exceto o Yb, são paramagnéticos, sendo que o Gd é ferromagnético até 290 K. Os íons  $La^{3+}(4f^0)$ ,  $Ce^{4+}(4f^0)$ ,  $Yb^{2+}(4f^{14})$  e  $Lu^{3+}(4f^{14})$  não são paramagnéticos, os demais íons de Ln são todos paramagnéticos e possuem momento de orbital e momento de spin (HESLOP; JONES, 1976).

Os metais de TR são empregados industrialmente como catalisadores, agentes polidores, metalurgia, materiais cerâmicos, ligas para baterias e ímãs permanentes (CHARALAMPIDES et al., 2015), conforme já dito anteriormente. O consumo estimado dos produtos industriais à base de TR de acordo com a aplicação a que se destina, em 2011, é mostrado na **Figura 3** (ROCIO et al., 2012).

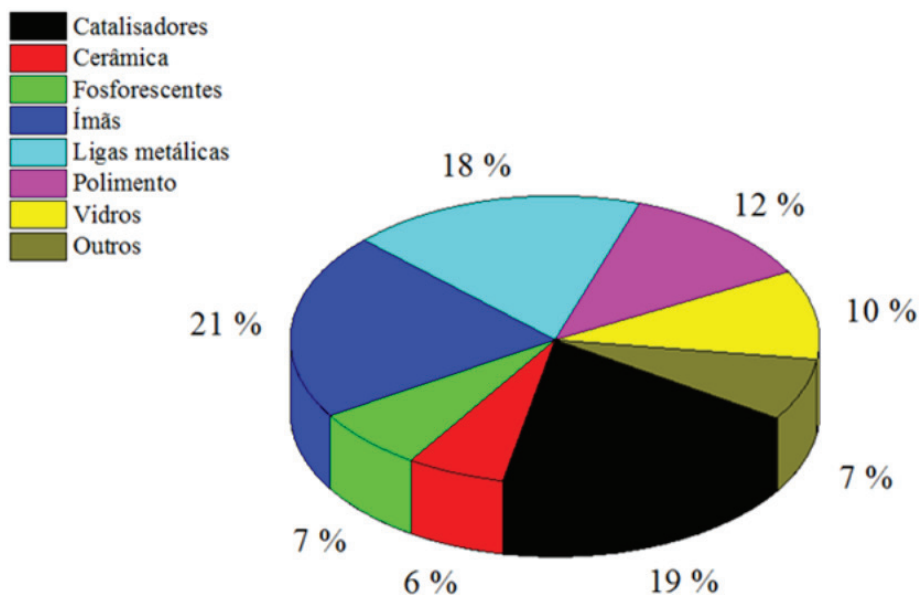


Figura 3 – Porcentagem estimada de consumo de TR de acordo com a aplicação.

Fonte: adaptado de Rocio et al. (2012).

As aplicações industriais dos materiais contendo TR com maior destaque, em 2011, foram os ímãs permanentes (21 %), os catalisadores (19 %) e as ligas metálicas (18 %). Assim, percebe-se que os ímãs de TR constituem-se numa importante parcela do mercado consumidor, **Figura 3**.

Os dados publicados pelo *United State Geological Survey* (2016) revelam que o consumo de compostos de TR em 2015, na China, foi liderado pelos ímãs permanentes (35 %), seguido por abrasivos (18 %) e catalisadores (15 %).

Os ímãs de TR são, destacadamente, os mais fortes disponíveis no mercado atual. As ligas  $\text{SmCo}_5$ ,  $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$  e  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  são ligas comerciais (LUCAS et al., 2015).

Para ilustrar o panorama de utilização das TR no mundo e no Brasil, apresenta-se, a seguir, parte da publicação do jornal Valor Econômico, escrita pelo Prof. Dr. Fernando José Landgraf (IPT/EPUSP) e do Boletim do Conselho Regional de Química 4ª região (CRQ IV) de autoria do Prof. Dr. Osvaldo Antonio Serra (USP-Ribeirão Preto).

O mercado dos 17 elementos químicos individualizados é da ordem de US\$ 5 bilhões anuais e, mais que isso, é estratégico. O significado da palavra estratégico ficou muito claro em 2010, quando a China anunciou que imporá cotas de exportação destas terras raras, jogando os preços para o céu, e, de forma mais chocante, ameaçou não mais entregá-las para o Japão, depois de uma escaramuça de fronteira

marítima. Tratou-se de um claro perigo à supremacia japonesa em produção de carros híbridos, cuja tração elétrica baseia-se nos superímãs de terras raras e objetos de alta tecnologia. O disparo dos preços foi extremo. Por exemplo, em 30 de março deste ano, o preço do neodímio metálico, um dos 17 elementos terra rara, foi cotado na Ásia em U\$ 200 o quilo, enquanto em janeiro de 2009 estava em R\$ 15 o quilo. (LANDGRAF, 2011).

O maior consumo é para a produção de catalisadores usados para o refino do petróleo. Elas também fazem parte dos componentes dos catalisadores existentes nos escapamentos que se destinam a eliminar a maior parte da poluição gerada pelos veículos. Têm uso crescente em: fabricação de supermagnetos (ímãs), que desde a década de 80 vêm substituindo a ferrita e são utilizados nos pequenos motores elétricos automotivos e grandes geradores de energia eólica (reduzem em até 1/5 o peso de um gerador de algumas toneladas), baterias para veículos híbridos e materiais luminescentes para monitores em geral (televisores, tela de computadores, etc.) e lâmpadas fluorescentes. São utilizadas ainda nos sistemas de iluminação com base em LEDs (Diodos Emissores de Luz). O cério, na forma de óxido, foi utilizado por muito tempo para produção de pós para polimento de materiais ópticos.

O maior consumidor no Brasil é a Fábrica Carioca de Catalisadores, com cerca de 900 toneladas/ano de óxido de lantânio ( $\text{La}_2\text{O}_3$ ). As indústrias de catalisadores para emissão de gases automotivos, como Umicore, Basf e J. Mathey, importam cerca de 500 t/ano de óxido de cério IV ( $\text{CeO}_2$ ) já processados.

Fabricantes de motores elétricos, a exemplo de WEG, Embraco e Bosch, importam TRs já na forma de ímãs (liga  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ ) cerca de 50 t/ano, volume que deve crescer rapidamente com a fabricação de geradores eólicos (100 kg/MW). Ímãs contendo TRs são ainda componentes em discos rígidos de computadores e chegam ao País já para consumo final.

As lâmpadas fluorescentes (tubulares e compactas), cujo consumo no Brasil é da ordem de 200 milhões de unidades/ano, contêm cerca de 1 g de TRs (Y, Ce, Eu, Tb) e 20 mg de Hg, em média, cada uma. Não há mais fabricantes nacionais (como Osram, Sylvania e Philips), que antes importavam o pó fosfórico. Atualmente, estas recebem prontas da China para consumo.

Em resumo, o consumo industrial é de cerca de 1,5 mil t/ano e o de produtos de uso diário maior do que 2 mil t/ano. O consumo mundial é de 130 mil t/ano, sendo quase 70 % na própria China, que vem aumentada em quase 10 % ano e produz aproximadamente 95 % das terras raras. Com a entrada da Molycorp (EUA) e da Lynas (Austrália-Malásia) já em 2013, espera-se um acréscimo de 20 mil toneladas devendo crescer até 40 mil t/ano. No Brasil, MBAC e Serra Verde anunciam para 2016 cerca de 20 mil t de óxidos (mistura). A MBAC constituiu, neste ano, em Araxá (MG), uma empresa que deve produzir supermagnetos. Para tanto, deverá isolar óxidos de neodímio e praseodímio e reduzi-los aos respectivos metais (SERRA, 2013).

As citações anteriores são atuais e revelam a importância dos metais de TR para o Brasil. Há, porém, algumas atualizações que merecem destaque:

- a empresa Serra Verde divulga, em seu site <http://mineracaoserraverde.com.br/>, que possui um projeto de TR em fase avançada e que o início da construção será em 2017;
- não foram localizadas notícias concretas sobre a produção de óxidos de TR, ou de ímãs pela empresa MBAC em Araxá – MG;
- a empresa Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) possui uma planta de concentração mineral das TR (aproximadamente 3 t/ano) presentes no rejeito de extração de nióbio em Araxá – MG e uma planta piloto (aproximadamente 3 t/ano) de extração por solvente para separação dos óxidos, produzindo quatro produtos: óxido de lantânio, óxido de cério, óxido de didímio (neodímio+praseodímio) e óxido de TR pesadas;
- a empresa Lynas (Austrália-Malásia) faz a concentração do minério em uma planta na Austrália e a separação dos óxidos de TR em uma planta na Malásia, mas não afirma claramente que faz a redução dos óxidos a metais de TR<sup>1</sup> ;
- a empresa Molycorp (EUA) paralisou as suas atividades relacionadas às TR (notícia publicada em [www.mining.com/molycorp-shuts-down-mountain-pass-rare-earth-plant/](http://www.mining.com/molycorp-shuts-down-mountain-pass-rare-earth-plant/), 26.08.2015), porém, uma nova empresa surgiu a partir dos ativos da Molycorp fora dos Estados Unidos, denominada Neo Materials (<http://neomaterials.com/company/neo-rare-metals/>, 10.04.2017) a qual produz metais de TR, ligas e pós em plantas localizadas na Ásia, principalmente;
- a empresa Less Common Metals (LCM – Reino Unido) compra matéria-prima da China e é capaz de reduzir neodímio, por eletrólise, a partir da mistura fundida de óxido de neodímio, fluoreto de lítio e fluoreto de neodímio. O neodímio metálico produzido é utilizado na fabricação da liga Nd-Fe-B por *strip casting*<sup>2</sup>. A empresa LCM é uma das únicas a reduzir neodímio e produzir ligas para ímãs permanentes fora da China<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Informação obtida durante apresentação oral da empresa Lynas no 24th International Workshop on Rare-Earth and Future Permanent Magnets and their Applications-REPM 2016.

<sup>2</sup> Strip casting é uma tecnologia de solidificação empregada na fabricação de ímãs permanentes e que será abordada mais a frente

<sup>3</sup> Informações obtidas durante visita à empresa LCM (Reino Unido) em 09.09.2016.

## 4 Conclusões

A revisão bibliográfica apresentou a descoberta dos elementos de terras raras na cidade sueca de Ytterby na segunda metade do século XIX, as suas principais características físico-químicas e os seus principais produtos comerciais. No século XIX, o termo "terra" era empregado para designar óxidos e o termo "raro" foi empregado para destacar o comportamento singular daqueles compostos, assim, terra rara significa óxidos diferentes, isto porque os comportamentos físico-químicos dos seus elementos são muito semelhantes entre si, o que os tornam de difícil separação. A utilização industrial dos elementos de terras raras envolve produtos como catalisadores, materiais cerâmicos, ligas metálicas, vidros, materiais fosforescentes, materiais para polimento, ligas para anodos de baterias e ímãs permanentes. Em especial, os ímãs permanentes fazem parte de um grupo de materiais empregados em equipamentos de alta tecnologia agregada. O Brasil apresenta potencial para a concentração dos minérios de TR e separação dos seus óxidos e, os projetos de pesquisa desenvolvidos entre o IPT-CBMM-Embrapii tem proporcionado *know-how* para a redução de Nd e Di (mistura de Nd-Pr) necessários à produção nacional de ímãs permanentes.

## 5 Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Apoio ao IPT – FIPT pelo financiamento do Projeto de Capacitação N°500113A/(PTC 1026/15): "Corrosão e proteção contra corrosão de ímãs permanentes de terras raras – Ímãs Permanentes".

## 6 Referências

ABRÃO, A. **Química e tecnologia das terras-raras**. Brasília: CETEM/CNPq, 1994. (Série Tecnologia Mineral nº 66).

ALONSO, E. et al. Evaluating rare earth element availability: a case with revolutionary demand from clean technologies. **Environmental Science & Technology**, v. 46, n. 6, p. 3406-3414, 20 Mar. 2012. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/es203518d>.

CHARALAMPIDES, G. et al. Rare earth elements: industrial applications and economic dependency of Europe. **Procedia Economics and Finance**, v. 24, p. 126-135, 2015. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s2212-5671\(15\)00630-9](http://dx.doi.org/10.1016/s2212-5671(15)00630-9).

CONNELLY, N. G. et. al. **Nomenclature of Inorganic Chemistry: IUPAC Recommendations 2005**. Cambridge: IUPAC, 2005. 377 p. Disponível em: <[http://www.iupac.org/fileadmin/user\\_upload/databases/Red\\_Book\\_2005.pdf](http://www.iupac.org/fileadmin/user_upload/databases/Red_Book_2005.pdf)>. Acesso em: 17 mar. 2016.

FORSYTH, M.; HINTON, B. (Ed.). **Rare Earth– based corrosion inhibitors**. Cambridge: Elsevier, 2014. 347 p.

HAYNES, W. M. (Ed.). **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 97. ed. Boca Raton, Fl: Crc Press/Taylor & Francis, 2017. Disponível em: <[http://hbcponline.com/faces/documents/05\\_22/05\\_22\\_0001.xhtml?search=true](http://hbcponline.com/faces/documents/05_22/05_22_0001.xhtml?search=true)>. Acesso em: 09 nov. 2016.

HESLOP, R. B.; JONES, H. **Química inorgânica**. 2. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1976. 944 p.

KRAMER, M. J. et al. Prospects for Non-Rare Earth Permanent Magnets for Traction Motors and Generators. **JOM**, v. 64, n. 7, p. 752-763, 29 June 2012. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11837-012-0351-z>.

LANDGRAF, F. J. G. Terras raras, um negócio da China? **Valor Econômico**, São Paulo, p. 12, 13 abr. 2011. Disponível em: <[http://www.ipt.br/download.php?filename=403-Terras\\_Raras\\_Valor\\_Economico.pdf](http://www.ipt.br/download.php?filename=403-Terras_Raras_Valor_Economico.pdf)>. Acesso em: 09 dez. 2016.

LIMA, I. B.; LEAL FILHO, W. (Ed.). **Rare earths industry technological, economic, and environmental implications**. Amsterdam: Elsevier, 2016. 437 p.

LUCAS, J. et al. **Rare earths science, technology, production and use**. Amsterdam: Elsevier, 2015. p. 2.

MOELLER, T. **The chemistry of the lanthanides**: Chapter 44 of Comprehensive Inorganic Chemistry. [S.l.]: Pergamon Press, 1975. 110 p.

ROCIO, M. A. R. et al. Terras-raras: situação atual e perspectivas. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 35, p. 369-420, mar. 2012. Disponível em: <[https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1527?mode=full&submit\\_simple=Mostrar+registro+em+formato+completo](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1527?mode=full&submit_simple=Mostrar+registro+em+formato+completo)>. Acesso em: 10 mar. 2016.

SANTOS, C. A. L. **Estudo voltamétrico do íon Nd<sup>3+</sup> em meio de NaCl-KCl (1:1) fundido**. 1997. 123 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Reatores Nucleares de Potência e Tecnologia do Combustível Nuclear, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 1997. Disponível em: <[http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Celia Aparecida Lino dos Santos\\_M.pdf](http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Celia Aparecida Lino dos Santos_M.pdf)>. Acesso em: 27 out. 2016.

SERRA, O. A. Terras raras. **Química Viva**, 12 jun. 2013. Disponível em: <[http://www.crq4.org.br/quimicaviva\\_terrasraras](http://www.crq4.org.br/quimicaviva_terrasraras)>. Acesso em: 11 nov. 2016.

UNITED STATE GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral commodity summaries rare earths**. Reston: USGS, 2016. Disponível em: <[http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare\\_earths/mcs-2016-raree.pdf](http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earths/mcs-2016-raree.pdf)>. Acesso em: 10 mar. 2016.