



TERRAS-RARAS: ELEMENTOS ESTRATÉGICOS PARA O BRASIL

Paulo César Ribeiro Lima
Consultor Legislativo da Área XII
Recursos Minerais, Hídricos e Energéticos

ESTUDO
FEVEREIRO/2012



Câmara dos Deputados
Praça 3 Poderes
Consultoria Legislativa
Anexo III - Térreo
Brasília - DF

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	3
2. O MERCADO MUNDIAL DE TERRAS-RARAS	7
2.1 Perfil da produção.....	7
2.2 Tamanho e valor do mercado	8
2.3 Preços	10
2.4 Análise da demanda.....	16
2.5 Potencial de produção e reservas	17
2.6 Cadeia produtiva.....	20
2.7 Importações e exportações.....	22
3 O CASO DA CHINA	24
3.1 Pesquisa e Desenvolvimento	25
3.2 Política de proteção	25
3.3 Política de agregação de valor e de exportação	26
3.4 Dependência do Japão e Estados Unidos.....	29
4. TERRAS-RARAS NO BRASIL	29
4.1 Histórico da produção.....	29
4.2 Dados do Departamento Nacional de Produção Mineral.....	31
4.3 Potencial brasileiro	34
4.4 Novos projetos.....	38
4.4.1 Projeto Araxá.....	38
4.4.2 Pitinga.....	44
4.4.3 Patrocínio.....	49
4.5 Instituições de pesquisa	50
4.6 Necessidade de uma política industrial.....	50
5. CONCLUSÕES	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

© 2012 Câmara dos Deputados.

Todos os direitos reservados. Este trabalho poderá ser reproduzido ou transmitido na íntegra, desde que citados o autor e a Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados. São vedadas a venda, a reprodução parcial e a tradução, sem autorização prévia por escrito da Câmara dos Deputados.

Este trabalho é de inteira responsabilidade de seu autor, não representando necessariamente a opinião da Câmara dos Deputados.

TERRAS-RARAS: ELEMENTOS ESTRATÉGICOS PARA O BRASIL

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem por objeto analisar a exploração e a cadeia produtiva de terras-raras no Brasil e no mundo. A demanda por terras-raras vem se intensificando devido ao seu grande uso, principalmente em setores de alta tecnologia.

Atualmente, a China produz cerca de 95% das matérias-primas que contêm os elementos terras-raras e cerca de 97% dos óxidos de terras-raras. Além disso, aproximadamente 90% das ligas metálicas contendo terras-raras são produzidas na China.

O aumento dos preços internacionais dos terras-raras e as cotas de exportação da China têm provocado a discussão sobre novos projetos relacionados a terras-raras em todo o mundo. É importante ressaltar que a restrição da oferta pode afetar o emprego e desenvolvimento de importantes tecnologias.

São denominados terras-raras o conjunto de dezessete elementos químicos da tabela periódica formado pelos quinze lantanídeos mais o escândio e o ítrio, que também são considerados terras-raras por ocorrerem, normalmente, nos mesmos depósitos minerais que os lantanídeos e exibirem propriedades químicas similares. O número atômico¹ dos lantanídeos varia de 57 (lantânio) a 71 (lutécio); o número atômico do escândio é 21 e o do ítrio 39.

Os lantanídeos podem ser classificados em:

- leves (57-60): lantânio (La), cério (Ce), praseodímio (Pr) e neodímio (Nd);
- médios (61-64): promécio (Pm), samário (Sm), európio (Eu) e gadolínio (Gd);
- pesados (65-71) : térbio (Tb), disprósio (Dy), hólmio (Ho), érbio (Er), túlio (Tm), itérbio (Yb) e lutécio (Lu).

Os terras-raras também costumam ser classificados apenas em leves e pesados. Os leves seriam os elementos do lantânio (57) ao európio (63), e os pesados do gadolínio (64) ao lutécio (71), incluindo-se o ítrio.

Apesar de o ítrio ser mais leve que os lantanídeos, ele é normalmente incluído no grupo de pesados por causa de suas associações químicas e físicas com os elementos pesados em depósitos naturais. O escândio, por sua vez, nem sempre é classificado como terras-raras, talvez por seu menor potencial econômico.

¹ Termo usado para designar o número de prótons encontrados no núcleo de um átomo.

Os terras-raras estão presentes em mais de duzentas e cinquenta espécies minerais conhecidas. Entretanto, somente em algumas dessas espécies ocorrem terras-raras em concentração suficiente para justificar sua exploração. Dessa forma, elas respondem praticamente pela totalidade da produção dos terras-raras.

As principais espécies minerais que contêm terras-raras são monazita², bastnaesita³, xenotima⁴ (ou xenotímio) e argilas portadoras de terras-raras adsorvidos sob forma iônica. Essas argilas, exploradas apenas na China, e a xenotima são as principais fontes de terras-raras pesados. A monazita e a bastnaesita são também importantes fontes de terras-raras, principalmente leves.

Grandes depósitos de bastnaesita são encontrados na China e nos Estados Unidos. No Brasil, Austrália, Índia, África do Sul, Tailândia e Sri Lanka, os elementos terras-raras ocorrem em monazita e em areias com outros minerais pesados. Também é importante destacar a ocorrência, no Brasil, de importantes concentrações de terras-raras na monazita, encontrada tanto em depósitos do tipo *placer*⁵ quanto em carbonatitos⁶, e na xenotima.

A cadeia produtiva dos terras-raras pode ser decomposta em várias etapas. Inicialmente, extrai-se o minério que contém esses elementos. Após extraído, o minério é triturado e moído. Em seguida, em geral por um processo de flotação⁷, obtém-se o minério concentrado que contém terras-raras. Depois da concentração, ocorre a separação dos diferentes óxidos de terras-raras.

Depois desse processamento primário, os óxidos são refinados e convertidos em metais, que depois são combinados com outros metais para se produzir as ligas contendo terras-raras. Essas ligas são usadas em centenas de aplicação, principalmente na área de alta tecnologia. A Figura 1.1 ilustra a cadeia produtiva dos elementos terras-raras.

² Mineral fosfatado no qual predominam as terras-raras leves e com presença de tório.

³ Fluorcarbonato no qual as terras-raras leves predominam.

⁴ Fosfato de ítrio com presença de terras-raras pesados.

⁵ Concentração mecânica superficial de partículas minerais provenientes de detritos de intemperismo.

⁶ Rochas ígneas ricas em minerais carbonáticos.

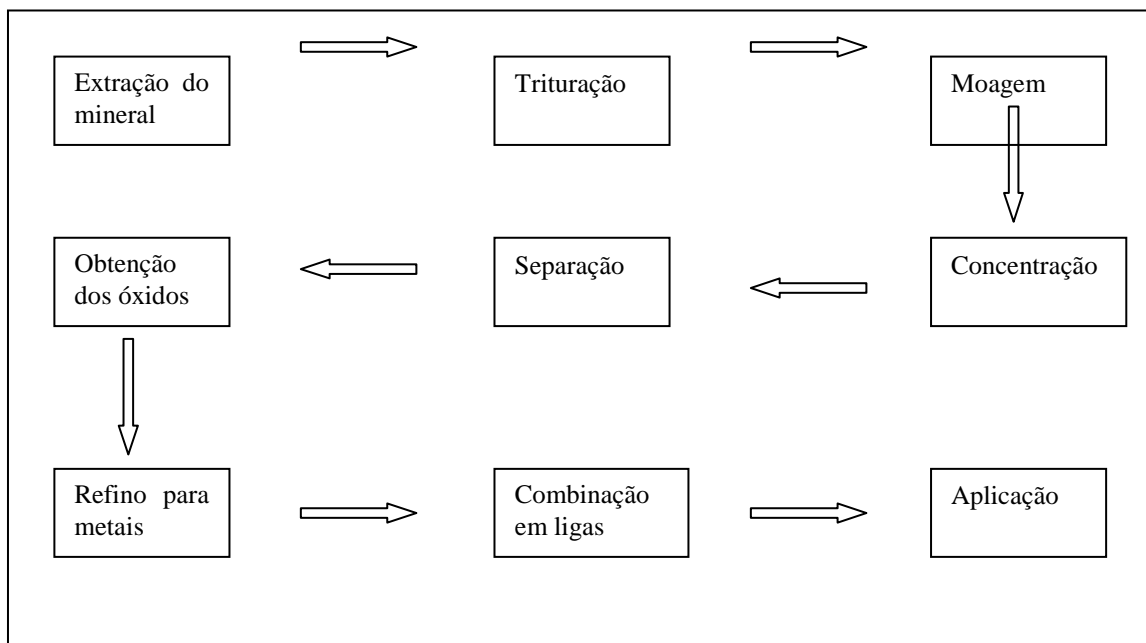


Figura 1.1 Cadeia produtiva dos terras-raras

Atualmente, os elementos terras-raras estão presentes em vários produtos comerciais, como, por exemplo: carros; catalizadores para refino do petróleo; fósforos em telas de televisão, monitores e *laptops*; ímãs permanentes; baterias recarregáveis para veículos híbridos ou elétricos e diversos equipamentos médicos. Os ímãs permanentes contendo neodímio, gadolínio, disprósio e itérbio são usados em vários componentes elétricos e eletrônicos e nos modernos geradores para turbinas eólicas.

Na área de defesa, podem-se destacar as aplicações de terras-raras em caças, sistemas de controle de mísseis, defesa antimísseis e sistemas de comunicação e satélites. Nessa área, é importante registrar o uso dos terras-raras em dois materiais para ímãs permanentes: samário-cobalto (SmCo) e neodímio-ferro-boro (NdFeB).

Os ímãs NdFeB são considerados os ímãs permanentes mais fortes do mundo e são essenciais para muitos armamentos militares. Já os ímãs SmCo retêm sua resistência magnética em elevadas temperaturas e são ideais para tecnologias militares como mísseis guiados de precisão, bombas inteligentes e aeronaves.

A Tabela 1.1 mostra os terras-raras mais usados e alguns exemplos de aplicação (Humphries, 2011).

⁷ Processo para a separação dos componentes das misturas heterogêneas, com base nas massas específicas.

Tabela 1.1 Exemplos de aplicação de terras-raras

Terras-raras leves	Aplicação	Terras-raras pesados	Aplicação
Lantânio	Motores híbridos, ligas metálicas	Térbio	Fósforos, ímãs permanentes
Cério	Catalizadores para carro e para refino de petróleo, ligas metálicas	Disprósio	Ímãs permanentes, motores híbridos
Praseodímio	Ímãs	Érbio	Fósforos
Neodímio	Catalizadores para carro e para refino de petróleo, discos rígidos para <i>laptops</i> , fones de ouvido, ímãs, motores híbridos	Hólmio	Corantes de vidro, lasers
Samário	Ímãs	Túlio	Equipamentos médicos de raio X
Európio	Cor vermelha para televisão e telas de computadores	Lutécio	Catalizadores para refino de petróleo
		Ítérbio	Lasers, ligas de aço
		Gadolínio	Ímãs
		Ítrio	Cor vermelha, lâmpadas fluorescentes, cerâmicas, agente de ligas metálicas

2. O MERCADO MUNDIAL DE TERRAS-RARAS

O mundo é farto em terras-raras, sendo muito grande o potencial de produção de minérios contendo terras-raras. Dessa forma, grandes transformações podem ocorrer no perfil da produção. Mesmo com o grande aumento de preços nos últimos anos, o mercado mundial ainda é muito pequeno quando comparado com outros mercados, como, por exemplo, o do petróleo e do minério de ferro. Dessa forma, a construção de uma cadeia produtiva integrada, que gere grande agregação de valor, é fundamental. Nesse cenário, é importante analisar o perfil das importações e exportações de compostos e de metais dos principais países que atuam no mercado de terras-raras.

2.1 Perfil da produção

O perfil da produção de óxidos de terras-raras passou por uma profunda transformação ao longo das últimas décadas. A Figura 2.1 mostra a evolução da produção de óxidos de terras-raras de 1950 a 2007 (Hocquard, 2011). Conforme mostrado na Figura 2.1, houve um decréscimo da produção nos Estados Unidos, e em outros países, e um aumento da produção da China, que levou esse país a uma posição extremamente dominante. Registre-se que os Estados Unidos já foram autossuficientes na produção de terras-raras, mas ao longo dos últimos anos o país tornou-se totalmente dependente de importações, principalmente da China.

Nos últimos quinze anos, o consumo de terras-raras aumentou cerca de três vezes e muitos novos produtos contendo esses elementos foram introduzidos no mercado. As atividades de pesquisa e desenvolvimento devem contribuir para a futura expansão do mercado de terras-raras, com crescimento de mercados antes marginais, como, por exemplo, o de células solares e de supercondutores de alta-temperatura.

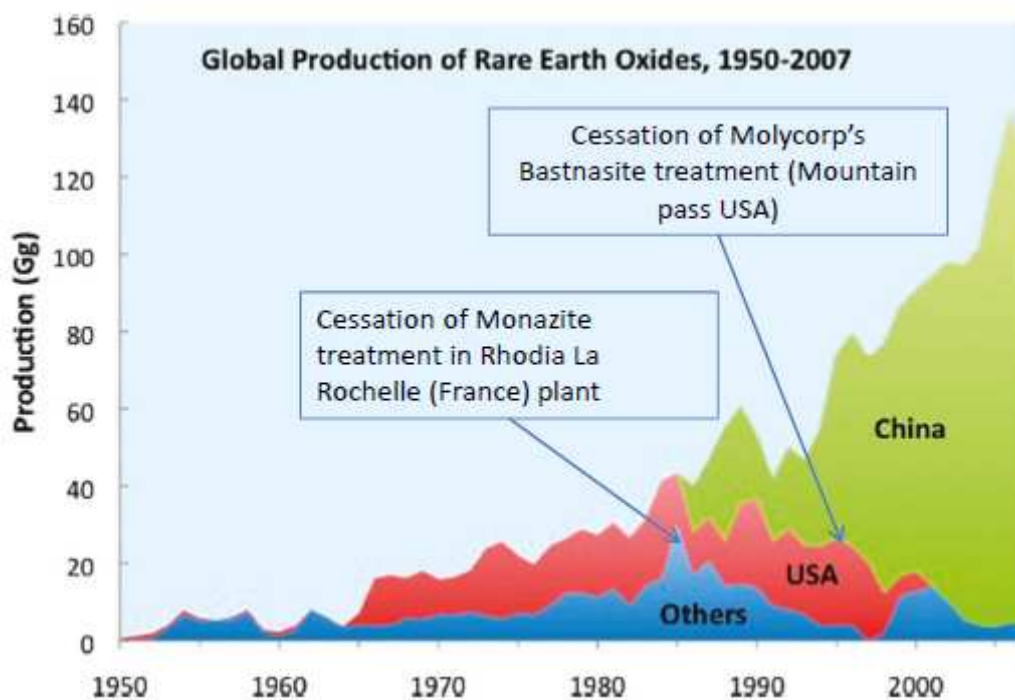


Figura 2.1 Evolução da produção de terras-raras desde 1950

2.2 Tamanho e valor do mercado

Estima-se que, no ano de 2011, o mercado global dos óxidos de terras-raras, em massa, foi de 158,2 mil toneladas e que, em 2016, esse mercado deverá ser de aproximadamente 258 mil toneladas⁸. O mercado de terras-raras pode ser dividido em seis segmentos, conforme mostrado na Tabela 2.1. O mercado do segmento energia deve crescer de 27,3 mil toneladas métricas, em 2011, para 62 mil toneladas métricas em 2016.

⁸ Informação obtida no endereço eletrônico <http://www.electronics.ca/presscenter/articles/1607/1/GLOBAL-MARKET-FOR-RARE-EARTHS-TO-REACH-258-THOUSAND-METRIC-TONS-IN-2016/Page1.html>. Página acessada no dia 22 de janeiro de 2011.

Tabela 2.1 Mercado mundial de óxidos de terras-raras

Segmento	Mercado em 2011 (mil toneladas métricas)	Mercado previsto em 2016 (mil toneladas métricas)
Mecânico/metalúrgico	51,0	77,0
Cerâmica e vidro	39,5	60,0
Químico	24,8	32,6
Energia	27,3	62,0
Eletrônica/ótica	12,0	21,3
Outros	4,0	5,8
Total	158,6	258,7

Estima-se que o mercado mundial de terras-raras, em valor, tenha aumentado de US\$ 1 bilhão, em 2009, para cerca de US\$ 11 bilhões em 2011 (McKinsey, 2011). Apesar desse crescimento, o mercado de terras-raras ainda é muito pequeno quando comparado com o do petróleo, de cerca de US\$ 3 trilhões, e com o do minério de ferro, de cerca de US\$ 200 bilhões.

A demanda, por massa, de terras-raras em 2010, por aplicação, é mostrada na Figura 2.2 (Lynas, 2011). Nesse ano, os ímãs de terras-raras representaram 25% da demanda.

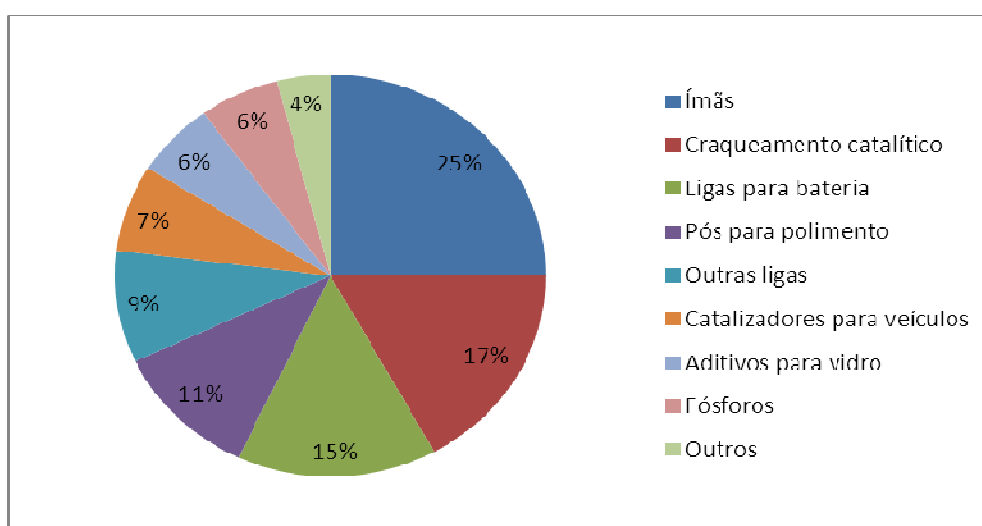


Figura 2.2 Demanda de terras-raras, por aplicação, em 2010

2.3 Preços

Os preços da maioria dos terras-raras caíram para seus níveis mais baixos entre 2002 e 2003, antes de começarem a subir gradualmente até 2006. A taxa de aumento acelerou-se a partir desse ano, havendo um primeiro pico em 2008 e um grande pico de preços em 2011. A Tabela 2.2 mostra a evolução dos preços de alguns óxidos de terras-raras, com pureza mínima de 99%, do ano de 2002 ao segundo quadrimestre de 2011⁹. A Figura 2.3 mostra, graficamente, os dados da Tabela 2.2.

Tabela 2.2 Evolução dos preços de alguns óxidos de terras-raras (pureza mínima de 99%)

Ano	Preço (US\$ por quilograma)							
	La	Ce	Nd	Pr	Sm	Dy	Eu	Tb
2002	2,3	2,3	4,4	3,9	3,0	20,0	240,0	170,0
2003	1,5	1,7	4,4	4,2	2,7	14,6	235,4	170,0
2004	1,6	1,6	5,8	8,0	2,7	30,3	310,5	300,0
2005	1,5	1,4	6,1	7,6	2,6	36,4	286,2	300,0
2006	2,2	1,7	11,1	10,7	2,4	70,4	240,0	434,0
2007	3,4	3,0	30,2	29,1	3,6	89,1	323,9	590,4
2008	8,7	4,6	31,9	29,5	5,2	118,5	481,9	720,8
2009	4,9	3,9	19,1	18,0	3,4	115,7	492,9	361,7
2010	22,4	21,6	49,5	48,0	14,4	231,6	559,8	557,8
Q1 2011	75,9	77,5	130,2	119,7	72,8	412,9	719,2	717,6
Q2 2011	135,0	138,3	256,2	220,1	125,6	921,2	1830,0	1659,0

Os óxidos de praseodímio e neodímio, terras-raras leves, apresentaram um aumento de preço superior a 600% entre 2002 e 2008. Os terras-raras pesados tornaram-se cada vez mais importantes e os preços dos óxidos de disprósio e térbio apresentaram um aumento de, respectivamente, 500% e 300% (BGS, 2011).

⁹ Informação obtida no endereço eletrônico http://www.lynascorp.com/page.asp?category_id=1&page_id=25. Página acessada no dia 24 de janeiro de 2011.

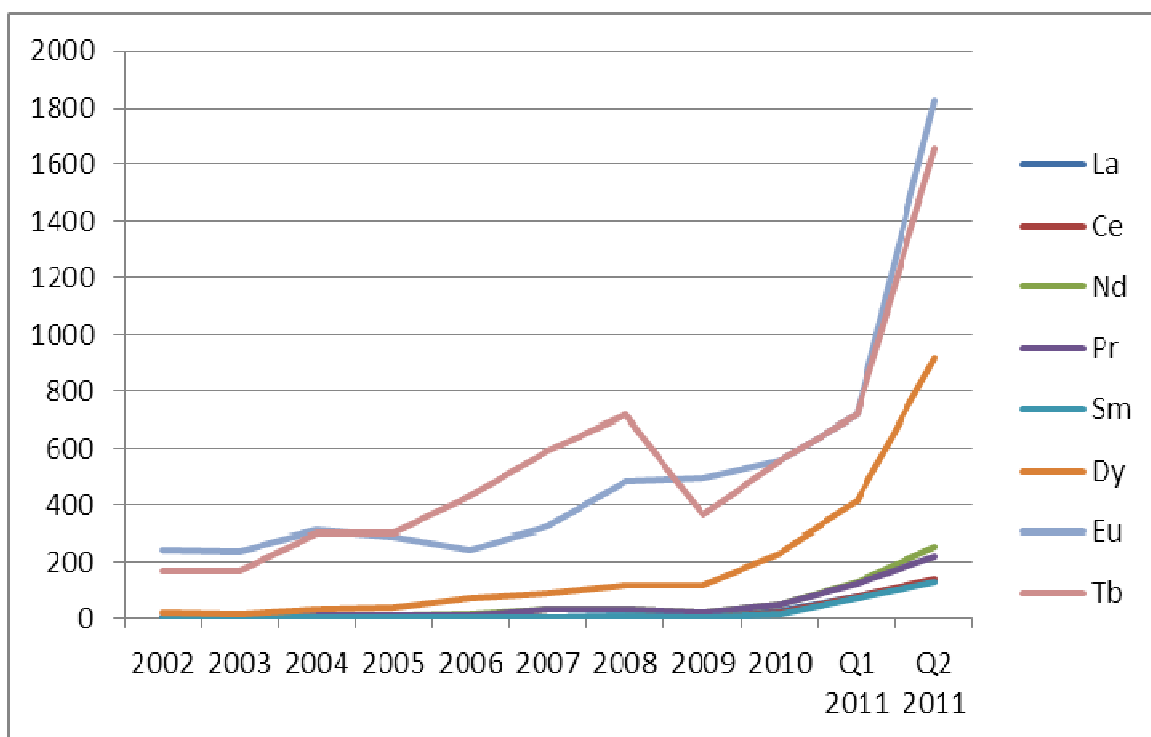


Figura 2.3 Evolução dos preços de alguns óxidos de 2002 ao segundo quadrimestre de 2011

Os preços dos metais de terras-raras são um pouco mais altos que os preços de seus respectivos óxidos. A Tabela 2.3 mostra os preços FOB¹⁰ na China de alguns metais e óxidos de terras-raras no dia 16 de agosto de 2011. Os preços correspondem a uma pureza mínima de 99%. Nesse dia, os preços já estavam bem mais altos que os preços médios mostrados na Tabela 2.2.

É importante ressaltar as grandes diferenças entre os preços dos diversos elementos terras-raras. Em agosto de 2011, o óxido de cério, por exemplo, foi comercializado por cerca de US\$ 150 por quilograma, enquanto o óxido de európio foi comercializado por US\$ 5.880 por quilograma.

¹⁰ Free on board. Designação da cláusula de contrato segundo a qual o frete não está incluído no custo da mercadoria.

Tabela 2.3 Preços FOB na China no dia 16 de agosto de 2011

Terra-raras	Preço (US\$ por quilograma)	
	Óxido	Metal
Cério	149-151	168-170
Disprósio	2.580-2.600	3.400-3.420
Európio	5.860-5.880	6.600-6.620
Gadolínio	200-210	223-228
Ítrio	180-185	205-215
Lantânio	149-151	165-167
Neodímio	335-340	465-470
Praseodímio	247-250	280-282
Samário	127-130	189-192
Térbio	4.500-4.520	5.100-5.120

Os terras-raras pesados são, geralmente, mais caros que os leves, em razão de sua menor abundância na maioria dos depósitos. Os custos de extração e os padrões de demanda também têm influência nos preços.

Apesar do aumento de preços observado nos últimos anos, houve, no final do ano de 2011, um recuo nas cotações dos terras-raras. A Figura 2.4 mostra, graficamente, os aumentos de preços FOB na China do ítrio, de alguns terras-raras leves e do gadolínio, metal com 99% de pureza, de 2001 a 2011. Da mesma forma, a evolução de preços do európio, disprósio e térbio é mostrada, graficamente, na Figura 2.5.

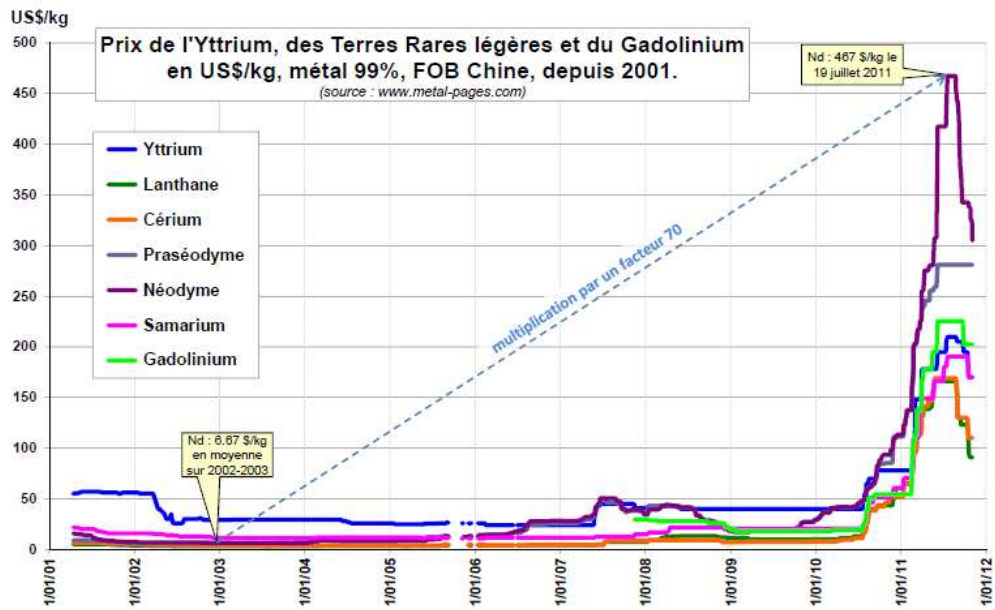


Figura 2.4 Evolução do preço do ítrio, de alguns terras-raras leves e gadolínio de 2001 a 2011

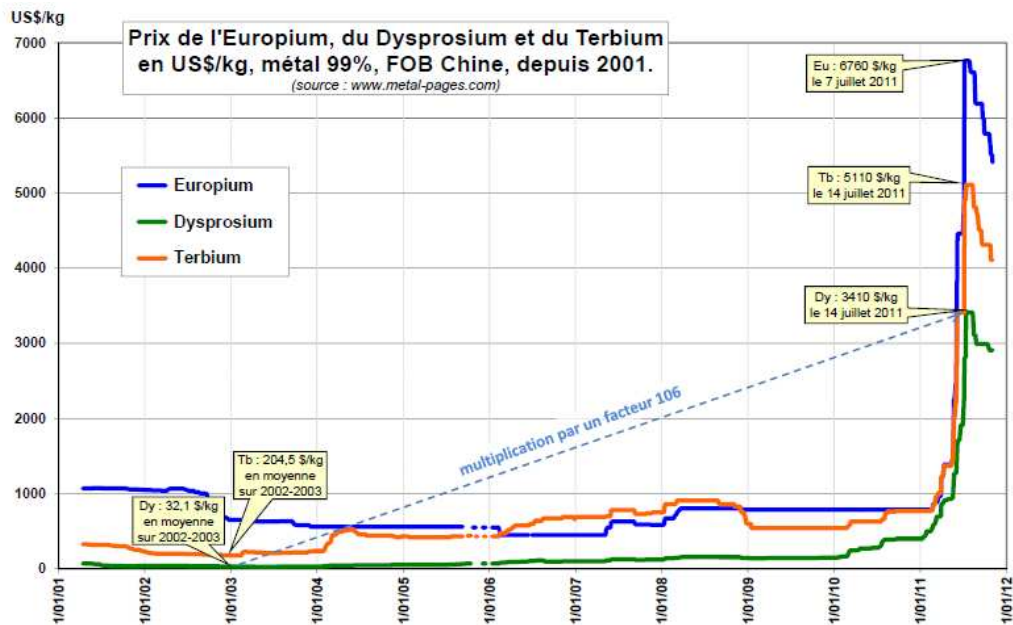


Figura 2.5 Evolução do preço do európio, disprósio e térbio de 2001 a 2011

Com o crescimento da demanda e as restrições das exportações pela China, deverá levar algum tempo para que a oferta global atenda à demanda. Dessa forma, os preços devem continuar altos no curto prazo. Segundo Humphreys (2009), no longo prazo, com o aumento da oferta, os preços tendem a cair para o custo marginal de produção.

Ressalte-se, no entanto, que mudanças estruturais na economia global podem alterar esse cenário. Mais da metade da população mundial vive nas economias emergentes, liderados pela China, com população de 1,3 bilhões de pessoas, e Índia, com população de 1,0 bilhão de pessoas. Outras regiões do mundo também merecem destaque, como África, América do Sul e outras partes da Ásia. O crescimento dessas economias nos próximos anos pode manter os preços sob pressão, mesmo que haja novas fontes de produção.

Não está claro em que patamar irão se estabilizar os preços dos terras-raras, pois a variação dos preços vai depender da mudança estrutural que pode ocorrer na demanda. O crescimento das economias emergentes é, em geral, mais intensivo em materiais que o das economias já desenvolvidas. Os necessários projetos de infraestrutura nas economias emergentes são uma das causas para esse fato.

Se os produtores de terras-raras tiverem dificuldade em acompanhar o crescimento da demanda, os preços poderão permanecer altos por mais tempo, principalmente para os elementos terras-raras pesados de menor disponibilidade. A história mostra, no entanto, que a curva de oferta no longo prazo ajusta-se à demanda (Humphreys, 2009).

Também é importante registrar que, em geral, os custos da extração mineral estão aumentando por causa dos baixos graus dos minérios e do aumento dos custos de capital. Na China, os custos de produção podem aumentar em razão de questões ambientais e sociais, além dos crescentes custos da mão de obra a ser incorporada à produção e processamento de terras-raras.

A China poderá não ser capaz de aumentar significativamente a produção para mover os preços para baixo, como ocorrido no passado, por causa dos custos mais altos, da demanda interna e do valor agregado ao mercado de exportação. Destaque-se, ainda, que subprodutos de terras-raras também podem provocar o aumento dos custos de processamento. Subprodutos são materiais produzidos como resultado da extração e processamento do produto primário para o qual a mina foi desenvolvida.

A redução das cotas de exportação da China em peso bruto em vez de teor de óxidos de terras-raras (Tse, 2011), mostradas na Figura 2.6, têm levado os fornecedores a exportarem produtos de mais alto valor. Isso tem contribuído para o aumento de preços, já que a disponibilidade desses elementos tem sido reduzida. Alguns compradores têm tido dificuldades em absorver o aumento de preços. Registre-se, no entanto, que a maioria das aplicações finais usam pequenas quantidades de terras-raras por unidade produzida.

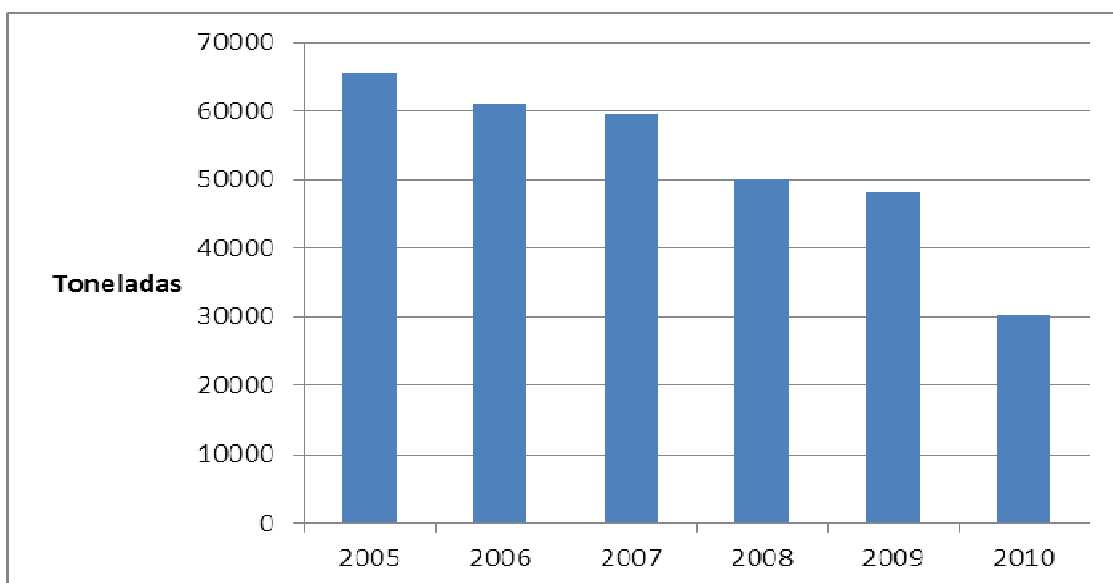


Figura 2.6 Cotas de exportação da China de terras-raras

Com relação aos produtos finais que contêm terras-raras, seus custos poderão continuar caindo por unidade produzida, mesmo que os custos das matérias-primas continuem subindo. Caindo os preços desses produtos, é provável que muitas famílias tenham muitas unidades de vários produtos, tais como: telefones celulares, *laptops* e televisões. Mesmo com maior eficiência no uso de materiais, onde menos metal é consumido por unidade produzida, há uma crescente pressão sobre os preços dos minérios por causa da crescente demanda e da falta de capacidade de suprimento (Humphreys, 2010). Como é baixo o consumo de terras-raras por unidade produzida, o baixo custo dos produtos manufaturados pode levá-los a conter materiais de alto custo.

É importante ressaltar que uma adequada capacidade de mineração é apenas uma parte da solução para a escassez de suprimento de terras-raras e aumento dos preços. Capacidades adicionais de processamento, refino e fabricação são necessárias para atender ao aumento da demanda. Alguns problemas de suprimento poderão ser resolvidos no curto prazo, no entanto, o desafio no longo prazo é construir uma cadeia produtiva, se possível em diversos países, de modo a atender a demanda.

Para os países industrializados, do chamado primeiro mundo, é fundamental que se promova um estável e confiável suprimento de óxidos de terras-raras. O principal objetivo desses países é que suas empresas privadas produzam e processem esses materiais. Registre-se, contudo, que muitos recursos minerais não existem em quantidades econômicas nesses países e que os custos dos processos industriais podem não ser competitivos com outros países. Dessa forma, existe a possibilidade de que os países industrializados adotem políticas públicas para compensar suas desvantagens.

O Congresso dos Estados Unidos está discutindo o impacto da posição dominante da China e uma política para apoiar o desenvolvimento de uma cadeia produtiva verticalmente integrada no próprio país (Humphries, 2011).

2.4 Análise da demanda

O acesso a fontes de suprimento para as demandas atuais e esperadas tem sido uma grande preocupação para muitos países e empresas. A China, que produz 97% dos elementos terras-raras, medidos pelo teor de óxidos de terras-raras, pode eliminar operações ilegais e restringir as exportações de terras-raras ainda mais.

Segundo Caifeng (2010), até 2015, a demanda global de óxidos de terras-raras pode ser de 210 mil toneladas métricas por ano (Caifeng, 2010). De acordo com a Industrial Minerals Company of Australia – IMCOA (2011), em 2015, a demanda será de 185 mil toneladas métricas. A oferta da China deverá atingir 140 mil toneladas métricas. Com base nessas estimativas, para atender à demanda de óxidos de terras-raras em 2015, a oferta de óxidos de terras-raras fora da China deve ser de 45 mil a 70 mil toneladas métricas.

De acordo com Lifton (2011), a China está construindo estoques estratégicos de terras-raras e outros materiais críticos para garantir a demanda interna por vários anos. Segundo ele, a Coreia do Sul e o Japão também estão construindo estoques estratégicos. O nível de estocagem poderia ter uma grande impacto no mercado, principalmente dos terras-raras pesados.

De acordo com o USGS (2007), a demanda de terras-raras deve subir em razão da crescente demanda por vários produtos onde eles estão presentes. A demanda de ímãs permanentes deve crescer de 10% a 16% por ano nos próximos anos e a de catalisadores de automóveis e de craqueamento catalítico de petróleo deve crescer de 6% a 8% ao ano. Também são esperados aumentos de demanda de terras-raras para telas planas, motores de veículos e para aplicações na área médica e de defesa.

A Tabela 2.4 mostra a previsão de demanda e oferta, por óxido de terra-rara, em 2014 (BGS, 2011). Apesar de ser possível atender a demanda de alguns óxidos de terras-raras mais leves, muitas previsões indicam a possibilidade de haver escassez de alguns óxidos de terras-raras leves e de óxidos de terras-raras mais pesados, como disprosio e térbio. É importante registrar que pode haver déficit também no suprimento de óxido de neodímio e de európio.

Tabela 2.4 Previsão de demanda e oferta, em 2014, por óxido de terra-rara

Óxido de terra-rara	Demanda		Oferta		Superávit/ Déficit
	Toneladas	%	Toneladas	%	
Lantânio	51050	28,4	54092	26,5	3042
Cério	65750	36,5	79156	38,9	13406
Praseodímio	7950	4,4	9909	4,9	1959
Neodímio	34900	19,4	33665	16,5	-1235
Samário	1390	0,8	4596	2,3	3206
Európio	815	0,5	659	0,3	-156
Gadolínio	2300	1,3	3575	1,8	1275
Térbio	565	0,3	512	0,2	-53
Disprósio	2040	1,1	1830	0,9	-210
Érbio	940	0,5	1181	0,6	241
Ítrio	12100	6,7	12735	6,3	635
Ho, Tm, Yb, Lu	200	0,1	1592	0,8	1392
Total	180000	100	203502	100	23502

2.5 Potencial de produção e reservas

Os elementos terras-raras sempre ocorrem com outros elementos, tais como fosfatos, urânio, tório, ferro, nióbio e estanho, e sempre têm sido produzidos como coprodutos ou subprodutos. Os elementos mais leves, como lantânio, cério, praseodímio e neodímio, são mais abundantes e concentrados. Normalmente, os terras-raras leves correspondem a mais de 80% do total de terras-raras dos depósitos. Os elementos mais pesados, do gadolínio ao lutécio, e o ítrio, são menos abundantes e mais desejados.

Os depósitos de bastnaesita localizados nos Estados Unidos e China são responsáveis por grande concentração de terras-raras. A monazita, cujos principais depósitos ocorrem na Austrália, África do Sul, China, Brasil, Malásia e Índia, responde pela segunda maior concentração de terras-raras. A xenotima, encontrada na Noruega, Madagascar, Brasil e Estados Unidos, e as argilas portadoras de terras-raras adsorvidos sob forma iônica, com notável ocorrência na China, são as principais fontes de terras-raras pesados.

Com relação à monazita, existem grandes preocupações com o fato de ela estar associada a minerais radioativos como o tório. Como existem altos custos relativos ao

armazenamento desses minerais, a monazita, nos Estados Unidos, por exemplo, não é considerada fonte de terras-raras (Humphries, 2011). A monazita tem sido produzida como subproduto do processamento de outros elementos, como, por exemplo, urânio e tório. A bastnaesita, em geral, apresenta baixo teor de tório.

Existem depósitos de alto teor de terras-raras em Bayan Obo, na Mongólia Interior, China, onde ocorre grande parte da produção de terras-raras, e existem depósitos de baixo teor de terras-raras no Sul da China, que são a principal fonte de terras-raras pesados (Mariano, 2010). Áreas consideradas atrativas para o desenvolvimento da produção de terras-raras incluem o lago Thor, no Canadá; Karonga, no Burundi; e Wigu Hill, no sudoeste da Tanzânia.

De acordo com o USGS (2011), em 2010, a China detinha cerca de 50% das reservas mundiais de terras-raras e os Estados Unidos detinham aproximadamente 13%. Segundo esse documento, a África do Sul e o Canadá têm alto potencial de produção de terras-raras e depósitos de terras-raras também são encontrados na Austrália, Brasil, Índia, Rússia, Malásia e Malawi. A Tabela 2.5 mostra as reservas mundiais de elementos terras-raras em 2010.

De acordo com alguns geólogos, cuidadosa atenção deve ser dada à viabilidade de mineração e processamento de terras-raras como coproduto de depósitos de fósforo e de minas de titânio e nióbio no Brasil e em outros países (USGS, 2011). Nesses locais, empresas canadenses, chinesas e dos Estados Unidos avaliaram, recentemente, vários depósitos de terras-raras associados com o desenvolvimento de outros minérios.

Tabela 2.5 Reservas mundiais de terras-raras em 2010

País	Reservas (milhões de toneladas métricas)
China	55,0
Rússia e outros países da antiga União Soviética	19,0
Estados Unidos	13,0
Índia	3,1
Austrália	1,6
Brasil	pequena
Malásia	pequena
Outros	22,0

De acordo com alguns analistas, espera-se que capacidades adicionais de produção sejam desenvolvidas nos Estados Unidos, Austrália e Canadá dentro de dois a cinco anos (Lifton, 2009). Os chineses também estão procurando aumentar sua capacidade de produção em outras regiões do mundo, particularmente na África e na Austrália.

O Departamento de Energia dos Estados Unidos destaca algumas áreas que poderão entrar em produção nos próximos cinco anos (DOE, 2010):

- Mount Weld (Austrália) em 2011;
- Mountain Pass (Estados Unidos) em 2012 e 2013;
- Costa leste (Brasil);
- Nolans bore (Austrália);
- Nechalacor (Canadá);
- Domng Pao (Vietnam);
- Hoidas Lake (Canadá); e
- Dubbo Zirconia (Austrália).

No curto prazo, as iniciativas mais importantes são o projeto Mount Weld da Lynas Corporation Ltd. e a operação da Mountain Pass pela Molycorp Inc. com capacidade para produzir 40 mil toneladas métricas por ano, com uma capacidade adicional de 20 mil toneladas métricas por ano por parte da Molycorp, até o fim de 2013 (Humphries, 2011).

A Lynas Corporation Ltd., estabelecida na Austrália, tem potencial imediato para o desenvolvimento de terras-raras leves. O projeto Mount Weld, na Austrália, está sendo desenvolvido e existe a possibilidade de se reabrir a mina de Steenkampskraa na África do Sul.

No ano de 2011, não havia nenhuma mina com produção de terras-raras nos Estados Unidos. A Molycorp opera uma planta de separação em Mountain Pass, na Califórnia, e vende produtos concentrados e refinados a partir de material estocado. Óxidos de neodímio, praseodímio e lantânio são produzidos para posterior processamento, mas esses materiais não se transformam em metais de terras-raras nos Estados Unidos.

A empresa tem planos para produção plena no segundo semestre de 2012 e para modernizar suas instalações de refino. Os depósitos de Mountain Pass contêm cerca de 30 milhões de toneladas de terras-raras e já foram responsáveis por uma produção de 20 mil toneladas por ano (Lifton, 2009).

O teor de corte de Mountain Pass é, em algumas áreas, 5%, enquanto o teor médio é 9,2% (IMCOA, 2011). A Molycorp pode se tornar um produtor de baixo custo. A empresa estima custos de produção de aproximadamente US\$ 2,77 por quilograma contra um

custo estimado de US\$ 5,58 por quilograma na China e um custo potencialmente mais alto da Lynas, de cerca de US\$ 10,11 por quilograma.

No Canadá, existem depósitos que contêm terras-raras pesados, como disprósio, itérbio e európio que são necessários para a produção de ímãs que operam em altas temperaturas. A Great Western Minerals Group (GWMG) e a empresa Avalon Rare Metals Inc. têm depósitos que podem conter altos teores de terras-raras pesados, respectivamente, 7% e 20% (IMCOA, 2011).

A GWMG é proprietária de um fabricante de liga magnética no Reino Unido. Quando a empresa começar a produção no Canadá, o plano é ter uma refinaria perto da mina, de modo a permitir maior controle e integração da cadeia produtiva. A maior vantagem competitiva da GWMG pode ser seu potencial para uma operação verticalmente integrada.

A empresa Avalon está desenvolvendo um projeto no lago Thor, no Canadá. As perfurações começaram em janeiro de 2010. Essa região pode conter um dos maiores depósitos de terras-raras do mundo, com potencial para produção de elementos pesados (IMCOA, 2011).

A Japan Oil, Gas, and Metals National Corporation (JOGMEC) assinou um acordo com a Midland Exploration Inc. para o Desenvolvimento do projeto Ytterby, na província canadense de Quebec. A JOGMEC é controlada pelo Ministério da Economia, Comércio e Indústria do Japão, com autoridade para investir em projetos relacionados a um estável suprimento de recursos naturais para o Japão.

2.6 Cadeia produtiva

Muitos analistas são capazes de dizer onde novas áreas de mineração entrarão em operação, mas tão importante quanto isso é saber onde estará a cadeia produtiva. Talvez a principal questão no desenvolvimento de terras-raras seja a integração da cadeia produtiva.

Para fins de financiamento, muitos investidores acreditam que um projeto de mineração de terras-raras, sem que se construa uma cadeia produtiva de refino, produção de metal e ligas necessárias para se fabricar os produtos de uso final, não é suficiente. A cadeia produtiva pode ser o único caminho para se garantir o financiamento para projetos de produção de terras-raras.

Segundo relatório do U. S. General Accountig Office – GAO (2010), a China produz cerca de 95% das matérias-primas de onde são extraídos os elementos terras-raras e cerca de 97% dos óxidos de terras-raras. Além disso, aproximadamente 90% das ligas metálicas, 75% dos ímãs NdFeB e 60% dos ímãs SmCo são produzidas na China.

Nos Estados Unidos, por exemplo, apenas uma empresa produz ímãs permanentes SmCo e nenhuma empresa produz ímãs NdFeB. Na produção dos ímãs SmCo, a empresa usa pequenas quantidades de gadolínio que não são produzidas no país. Para ímãs que

trabalham a altas temperaturas são necessárias pequenas quantidades de disprosio e itérbio, somente disponíveis na China. As ligas magnéticas utilizadas nos ímãs da empresa americana também são importadas da China.

A cadeia produtiva de elementos de terras-raras pode consistir na mineração, concentração, separação, refino de óxidos, produção de ligas e fabricação de peças e dispositivos. A Figura 2.7 mostra um exemplo da cadeia produtiva de ímãs (Landgraf, 2011).



Figura 2.7 Exemplo de um processo produtivo de terras-raras

Joint ventures e consórcios podem ser formados para dar suporte às várias etapas da cadeia produtiva, com otimização das instalações em várias regiões. Cada investidor ou produtor teria compromissos de participação, de compra e de suprimento.

Cita-se, a seguir, algumas recentes ações no sentido de se construir uma cadeia produtiva. A GWMG deverá formar uma *joint venture* com a empresa chinesa Ganzhou Qiandong Rare Earth Group para construir uma unidade de separação de óxidos na África do Sul. A matéria-prima para separação seria produzida na mina de Steenkampskraal, também localizada nesse país. A construção da planta de processamento pode ter início em 2012.

A Frontier Rare Earths, de Luxemburgo, formou uma *joint venture* com a Korea Resources Corp. para construir uma unidade de separação na África do Sul. A Frontier Rare Earths é proprietária da mina Zondkopsdrift, localizada nesse país.

A Lynas e a Siemens constituíram uma *joint venture* para construir ímãs a serem usados em geradores de turbinas eólicas. A Lynas fornecerá para a Siemens matéria-prima extraída da mina de Mount Weld na Austrália. A Lynas deverá processar a matéria-prima na sua unidade na Malásia, onde há preocupações com o destino do tório a ser gerado.

Recentemente, a Molycorp adquiriu a Santoku America e mudou seu nome para Molycorp Metais e Ligas (MMA). Essa aquisição é parte da estratégia da empresa de se tornar verticalmente integrada “da mina ao ímã”. A MMA produz tanto ligas de NdFeB quanto

de SmCo usadas na produção de ímas permanentes. A empresa é o único produtor de liga de NdFeB nos Estados Unidos. A intenção da Molycorp é modernizar as instalações e aumentar a produção de metais e ligas (Ice, 2011).

A Molycorp também comprou a maior parte da AS Silmet, empresa que processa metais e terras-raras. Dessa forma, a empresa dobrará sua capacidade de produção de óxidos de terras-raras e de produção de metais.

Além disso, a empresa assinou um acordo de pesquisa e desenvolvimento cooperativos com o Laboratório AMES do Departamento de Energia dos Estados Unidos para estudar novos métodos para se criar ímãs permanentes para aplicações comerciais. O desenvolvimento da cadeia produtiva, tais como refino, fabricação de ligas e ímãs permanentes vai demandar financiamento, força de trabalho altamente qualificada e mercado. A barreira potencial para entrar na fabricação de ímãs permanentes, no curto prazo, são os direitos de propriedade intelectual de duas empresas: Hitachi e Magnequench.

Empresas japonesas e o próprio governo também estão buscando associações. A Sumitomo Corp. e a Kazakhstan National Mining firmaram um acordo de *joint venture* para produzir terras-raras leves. A Toyota Tsusho e a Sojitz estão firmando uma parceria no projeto Dong Pao, no Vietnã, com o objetivo de produzir terras-raras leves. A JOGMEC está se associando com a Índia para explorar terras-raras e instalar uma unidade de processamento e está buscando investimento com a Lynas.

A United States Magnet Materials Association (USMMA), que representa um grupo de companhias da área aeroespacial e de materiais eletrônicos, recentemente expandiu seu foco para incluir a cadeia produtiva de metais e ímãs de terras-raras.

2.7 Importações e exportações

Em 2009, os Estados Unidos e o Japão foram os maiores importadores de compostos de terras-raras. A Alemanha, França, Áustria, Estônia, China, República da Coreia, Brasil e Rússia também foram importantes importadores desses compostos. O Japão é o maior importador de metais de terras-raras, seguido pela França, Bélgica, Índia, Áustria, Brasil, Estados Unidos e China (Hong Kong). A Figura 2.8 mostra os principais importadores de compostos e metais de terras-raras em 2009 (BGS, 2011).

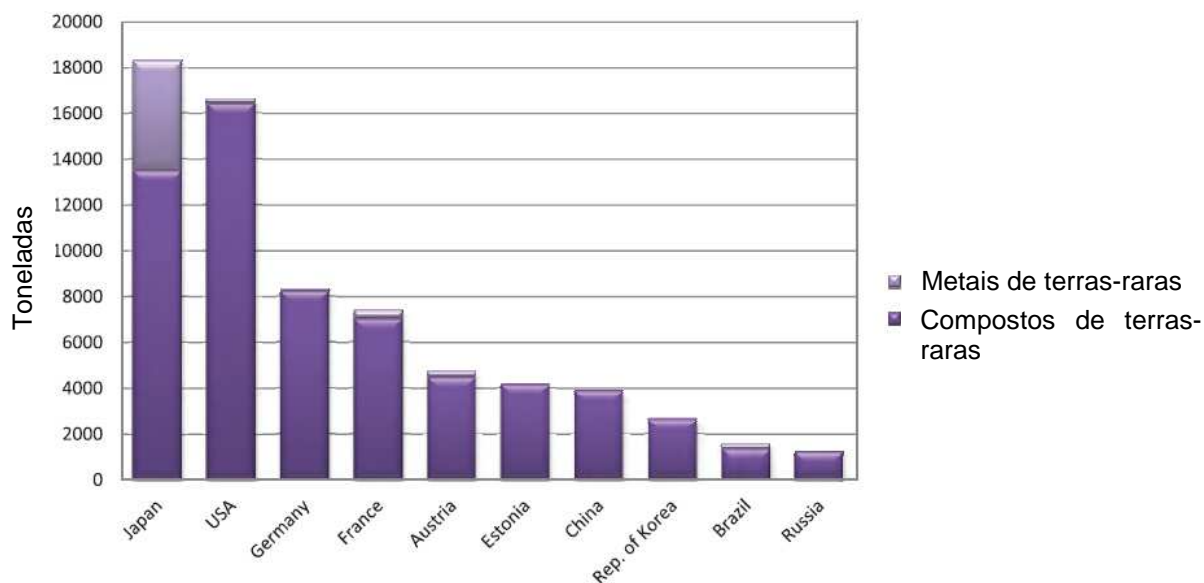


Figura 2.8 Principais importadores de compostos e metais de terras-raras em 2009

A China, em 2009, exportou 38,5 mil toneladas de compostos de terras-raras, seguida pela Áustria, que não é um produtor primário de terras-raras. Depois da China, os maiores exportadores de produtos semi-acabados de terras-raras são Japão, Estados Unidos e Europa, que importam material primário, principalmente da China, e exportam produtos processados.

A empresa austríaca Treibacher AG exporta vários produtos contendo terras-raras, como óxidos de todos os terras-raras, ligas ferro-cério, ligas para estocagem de hidrogênio, metais individuais de terras-raras, mischmetal¹¹, além de compostos e soluções de cério (Hedrick, 2002). A Áustria exportou, em 2009, mais de 10 mil toneladas de compostos de terras-raras.

Conforme mostrado na Figura 2.9 (BGS, 2011), o terceiro maior exportador de compostos e metais de terras-raras foi o Japão, seguido por Estados Unidos e Rússia. Outros exportadores foram Estônia, França, Kazaquistão, Sri Lanka e Alemanha.

¹¹ Mistura de elementos de transição interna, normalmente composta por cério, associado a lantânio, neodímio, praseodímio e outros, nas proporções em que ocorrem naturalmente nos minérios.

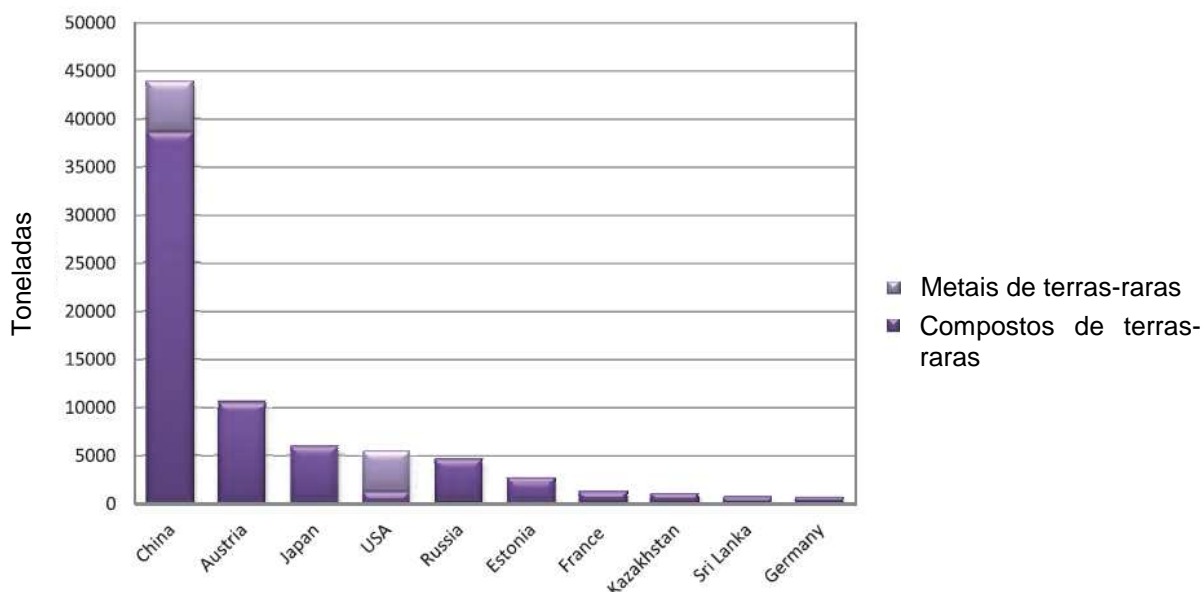


Figura 2.9 Principais exportadores de compostos e metais de terras-raras em 2009

Compostos de terras-raras são exportados da Estônia pela AS Silmet, um das duas únicas unidades de processamento na Europa. Essa empresa foi comprada pela Molycorp, conforme já citado, que planeja aumentar a capacidade da planta de 3 mil para 6 mil toneladas. A Rhodia, na França, é a outra unidade de processamento na Europa, que separa os elementos terras-raras com altíssimos níveis de pureza e produz materiais de alta tecnologia para várias aplicações (Rhodia, 2011).

A China, conforme mostrado na Figura 2.9, foi o maior exportador também de metais de terras-raras, com um total de 5,3 mil toneladas, seguida pelos Estados Unidos.

3 O CASO DA CHINA

Os dados e informações sobre terras-raras indicam que a posição dominante da China na mineração e concentração (97%), na separação de minérios em óxidos (97%), no refino de óxidos para obtenção de metais (quase 100%), na conversão de metais em pós de ligas magnéticas (75% a 80%) e na fabricação de ímãs NdFeB (75% a 80%) não é obra do acaso. Um plano estratégico parece ter sido concebido e executado ao longo das últimas décadas. As atividades de pesquisa e desenvolvimento e a política de proteção e agregação de valor parecem ser pontos importantes desse plano. A posição dominante da China tem causado uma grande dependência por parte dos países industrializados, especialmente Japão e Estados Unidos.

3.1 Pesquisa e Desenvolvimento

A China realizou importantes trabalhos de pesquisa e desenvolvimento na área de terras-raras ao longo dos últimos cinquenta anos. Existem dois laboratórios estatais que se destacam nessa área: Laboratório de Aplicações e Química dos Materiais de Terras-Raras e Laboratório de Utilização de Recursos de Terras Raras. O primeiro, afiliado à Universidade de Pequim, focou na área de técnicas de separação. O segundo é associado ao Instituto de Changchun de Química Aplicada.

Outros laboratórios na área de terras-raras incluem o Instituto Baotou de Pesquisa em Terras-Raras, que é a maior instituição de pesquisa em terras-raras do mundo, e o Instituto de Pesquisa em Metais Não-Ferrosos. A visão de longo prazo e os investimentos trouxeram significativos resultados para a indústria de terras-raras da China.

Os depósitos de minério de ferro em Bayan Obo, na Mongólia Interior, contêm grandes quantidades de elementos terras-raras, que são recuperados como subproduto ou coproduto da extração desse minério. Dessa forma, Bayan Obo tornou-se o centro da produção e das atividades de pesquisa e desenvolvimento. Registre-se, contudo, que elementos terras-raras são produzidos em outras províncias da China, tais como: Shangdong, Jiangxi, Guangdong, Hunan, Guangxi, Fujian e Sichuan.

De 1978 a 1989, a produção anual chinesa aumentou 40%. De 1996 a 2006, a produção aumentou de 2,6 mil para 39 mil toneladas. As exportações aumentaram muito na década de 1990, provocando uma queda nos preços. Em 2007, a China tinha 130 fabricantes de ímãs NdFeB, com uma capacidade total de 80 mil toneladas (Humphries, 2011).

A indústria de terras-raras é fundamental para o pico de demanda na China de produtos eletrônicos como telefones celulares, *laptops* e tecnologias de energia limpa. De acordo com Hurst (2010), a capacidade de geração eólica da China deve aumentar de 12 gigawatts, em 2009, para 100 gigawatts, em 2020. Nesse cenário, os ímãs de neodímio são essenciais. Cerca de 75% da produção de ímãs permanentes está concentrada na China.

3.2 Política de proteção

Com o objetivo de proteger seus recursos de terras-raras e promover o desenvolvimento dessa indústria na China, a Comissão de Planejamento do Desenvolvimento desse país emitiu um documento, intitulado *Interim Provisions on the Administration of Foreign-Funded Rare Earth Industry*, que entrou em vigor em 1º de agosto de 2002.

Esse documento dispõe que é proibido o estabelecimento de empresas para mineração de terras-raras na China por investidores estrangeiros. Nas etapas de separação e fundição, permite-se a atuação de empresas estrangeiras somente por meio de *joint ventures* de participação ou de cooperação.

Os investidores estrangeiros são estimulados a investir em três setores da indústria de terras-raras: processamento intensivo, novos materiais e produtos aplicados.

3.3 Política de agregação de valor e de exportação

De acordo com Hurst (2010), a China quer expandir e integrar totalmente sua indústria de terras-raras, sendo preferidas as exportações de materiais e produtos com valor agregado. O objetivo da China é construir uma indústria doméstica e atrair investidores estrangeiros para construir fábricas no país. Assim, as empresas terão acesso aos terras-raras e outras matérias-primas, metais e ligas, além de terem acesso ao emergente mercado chinês.

O Ministério da Terra e Recursos Naturais da China é responsável pelos planos de produção de terras-raras. Isso inclui o estabelecimento anual de cotas de produção e exportação (Tse, 2011), conforme mostrado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 Cotas de produção, produção estimada e cotas de exportação da China

Ano	Cotas de produção (milhões de toneladas métricas)	Produção estimada (milhões de toneladas métricas)	Cotas de exportação (milhões de toneladas métricas)
2006	86,52	119,00	61,56
2007	87,02	120,00	60,17
2008	87,62	120,00	47,45
2009	82,32	129,00	50,15
2010	89,20	130,00	30,26
2011	93,80	112,50 (estimada pela IMCOA)	30,25

A produção tem sido maior que as cotas. Isso ocorre por causa da mineração ilegal, particularmente das argilas portadoras de terras-raras adsorvidos sob forma iônica, encontradas no sul da China. A quota de produção para 2011 foi de 93,8 mil toneladas métricas, o que representa um aumento de 5% em relação ao ano de 2010.

Além das cotas de produção, a China também estabeleceu cotas de exportação de terras-raras, definidas anualmente em duas fases e em cotas específicas para produtores e comercializadores domésticos e para *joint ventures*, que exportam sob regime de licença (Tse, 2011). Essas cotas são alocadas para cada empresa.

As cotas totais de exportação têm caído continuamente desde 2005, quando eram 65 mil toneladas métricas. Em 2010, a cota de exportação foi de 30,26 mil toneladas. Esse declínio ocorre principalmente em razão do aumento da demanda interna.

Apesar de a cota de exportação de 2011, de 30,25 mil toneladas, parecer praticamente igual à de 2010, não se pode compará-las, pois, pela primeira vez, incluiu-se ligas de ferro-liga na cota de 2011. Segundo Burton (2011), isso representou uma redução de 20% na quantidade de metais e óxidos de terras-raras exportados.

A China também impôs tarifas de exportação sobre os terras-raras. Neodímio, ítrio, európio, térbio e escândio têm uma tarifa de exportação de 25%, enquanto os outros terras-raras estão sujeitos a uma tarifa de 15%. A tarifa de exportação sobre ligas de neodímio e ligas de disprósio são de 20% (Global Trade Alert, 2011).

Além disso, em 2007, a China retirou os créditos do imposto de valor agregado de 16% sobre as exportações de terras-raras “não desenvolvidos”, enquanto manteve os créditos para exportações de mercadorias de maior valor agregado, como ímãs e fósforos. A Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico estima que, na compra de matérias-primas de terras-raras, essa decisão, combinada com as tarifas de exportação, resultaram no pagamento pelos fabricantes de ímãs fora da China 31% maior que o pagamento pelos fabricantes domésticos (Korinek e Kim, 2010). Esse diferencial de preço estimula os fabricantes a se mudarem para a China.

A Tabela 3.2 mostra as tarifas de exportação sobre terras-raras de 2007 a 2011 (Tse, 2011).

Tabela 3.2 Tarifas de exportação sobre terras-raras

Mercadoria	2007	2008	2009	2010	2011
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Óxido de ítrio	10	25	25	25	25
Óxido de lantânio	10	15	15	15	15
Óxido de cério, hidróxido, carbonato e outros	10	15	15	15	15
Praseodímio	ND	ND	ND	ND	ND
Óxido de neodímio	10	15	15	15	15
Európio e seus óxidos	10	25	25	25	25
Gadolínio	ND	ND	ND	ND	ND
Térbio e seus óxidos, cloreto e carbonato	10	25	25	25	25
Óxido de disprósio, cloreto e carbonato	10	25	25	25	25
Outros óxidos de terras-raras	10	15	15	15	15
Misturas de cloreto e fluoreto de terras-raras	10	15	15	15	15
Misturas de carbonatos de terras-raras	10	15	15	15	15
Misturas de metais e compostos de terras-raras, ítrio e escândio (incluindo o grau bateria)	10	25	25	25	25
Carbonatos de terras-raras não misturados	10	15	15	15	15
Metais de minérios de terras-raras:					
Lantânio	ND	ND	ND	ND	25
Cério	ND	ND	ND	ND	25
Neodímio	10	15	15	15	15
Disprósio	ND	ND	ND	25	25
Outros metais misturados	ND	ND	ND	25	25

ND: não disponível

3.4 Dependência do Japão e Estados Unidos

O Japão importa 82% de seus terras-raras da China, o que representa cerca de 40% das exportações desse país. As importações dos Estados Unidos representam 18% das exportações de terras-raras da China (Humphries, 2010). O valor das importações de terras-raras da China pelos Estados Unidos subiu de US\$ 42 milhões, em 2005, para US\$ 129 milhões, em 2010, o que representou um aumento de 207,1%. Nesse mesmo período, a quantidade importada caiu de 24.239 toneladas métricas para 13.907 toneladas métricas, o que representou uma redução de 42,6%.

O governo japonês e o setor privado têm expressado preocupações com os controles das exportações que a China tem imposto em ferro ligas que contém disprósio e outros terras-raras pesados e com as cotas de mineração para a região sul, onde a maior parte dos terras-raras pesados são extraídos. Várias reuniões já foram realizadas entre representantes dos dois países para discutir a questão (Humphries, 2010).

O acesso do Japão e Estados Unidos, e outros países de alta tecnológica, aos terras-raras é vital para seus parques industriais, que produzem uma grande variedade de peças e produtos finais com presença desses elementos.

4. TERRAS-RARAS NO BRASIL

O Brasil, mesmo tendo sido produtor de terras-raras, não apresenta, no momento, grandes reservas de terras-raras, conforme dados do Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM (Andrade, 2010). Apresenta, no entanto, depósitos com grande potencial de produção de minerais contendo terras-raras (Loureiro, 1994). Atualmente, existem alguns projetos minerários em andamento ou análise. Na área de pesquisa e desenvolvimento, existem instituições de destaque envolvidas com a temática. Apesar de importantes iniciativas, é clara a falta de uma política industrial para os terras-raras no Brasil.

4.1 Histórico da produção

Rosental (2008) apresenta um ótimo histórico sobre a produção de terras-raras no Brasil. O início da produção de terras raras no Brasil ocorreu, no final da década de 1940, na Usina Santo Amaro, localizada em Buena, município de São Francisco de Itabapoana, localizado no norte do Estado do Rio de Janeiro.

A Usina Santo Amaro, pertencente à Indústrias Químicas Reunidas S.A. – ORQUIMA, fabricava compostos de terras-raras a partir da monazita, produzida na Usina de Praia, pertencente à Sociedade Comercial de Minérios Ltda. – SULBA.

Devido à presença de urânio e tório nessa monazita, em 1960, ocorreu a estatização da SULBA, sendo suas atividades assumidas pela Comissão Nacional de Energia

Nuclear – CNEN. Nesse momento, a CNEN assumiu também a unidade de tratamento da monazita da ORQUIMA.

Em 1966, a CNEN constituiu a Administração da Produção da Monazita e assumiu as demais unidades da ORQUIMA. Com a criação da Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear – CBTN, em 1972, essa empresa assumiu todas as atividades relativas a minerais pesados, terras-raras, sais de lítio e seus respectivos coprodutos e subprodutos.

A Empresas Nucleares Brasileiras S.A. – NUCLEBRÁS sucedeu a CBTN em 1974 e, em 1976, criou a subsidiária Nuclebrás de Monazita e Associados Ltda – NUCLEMON. Em 1988, a NUCLEBRÁS foi sucedida pela Indústrias Nucleares do Brasil S.A. – INB, que mudou a razão social da Nuclebrás de Monazita e Associados Ltda para NUCLEMON – Mínero-Química Ltda.

Em 1989, foi inaugurada a Usina de Interlagos, localizada na cidade de São Paulo, destinada a separar os elementos terras-raras em duas fases: leves e médias mais pesadas, pelo processo de extração por solventes¹². Também foi inaugurada, na Usina Santo Amaro, uma unidade para processamento do cloreto de terras-raras e obtenção de hidróxidos e óxidos de cério, bem como solução de cloreto de lantânio.

Iniciou-se, em 1990, o desenvolvimento do processo para obtenção dos óxidos individuais de terras-raras em elevados graus de pureza, a partir de concentrados de terras-raras, em conjunto com o Instituto de Engenharia Nuclear – IEN, tendo como foco os elementos terras-raras médios e pesados. Em 1992, a INB firmou contrato com o IEN para desenvolvimento tecnológico de separação das terras-raras por extração por solventes.

A NUCLEMON paralisou, em 1992, suas atividades industriais em São Paulo e no norte do Estado do Rio de Janeiro, mas manteve o desenvolvimento do processo para obtenção dos óxidos individuais de terras-raras e iniciou, em Buena, a implantação de uma unidade de demonstração de extração por solventes. Registre-se que a NUCLEMON foi extinta em março de 1994 e suas atividades assumidas pela INB.

A unidade de Buena ficou em operação de 1993 a 1996, utilizando matérias-primas estocadas. Nesse ano, essa tecnologia estava consolidada. Nesse período, produziu-se carbonato de lantânio com pureza de 99%, concentrado de didímio (praseodímio e neodímio), carbonato de neodímio com pureza de 99,9%, carbonato e óxido de samário com pureza acima de 99,9%, concentrado de gadolínio e európio e concentrado de terras-raras (itérbio, disprósio, hólmio, európio, itérbio e ítrio), além de promover a separação do par gadolínio/európio (Tavares, 2011).

Em 1996, finalizou-se estudo para montagem de uma unidade industrial para processamento de monazita, em substituição à Usina Santo Amaro. Uma unidade industrial de abertura de monazita, produção de hidróxido de cério e cloreto de lantânio foi montada em

¹² Técnica em que uma solução é posta em contato com um segundo solvente, essencialmente imiscível com o primeiro solvente, a fim de provocar uma transferência de um, ou mais de um, soluto para o segundo solvente.

1997, na Unidade de Caldas, no Estado de Minas Gerais. A licença para operação experimental foi obtida somente em 2004 e foram processadas 300 toneladas de monazita. Após essa campanha, foi realizada uma avaliação econômica e decidiu-se pelo encerramento da atividade. Dessa forma, em 2005, a INB encerrou a atividade de produção desses compostos.

No entanto, a produção de monazita não foi interrompida. Em 2010, na mina de Buena Sul, a INB produziu 249 toneladas de monazita, que, não comercializada por conter tório, foi incorporada ao estoque da empresa. Também são produzidos a ilmenita¹³, a zirconita¹⁴ e o rutilo¹⁵, que são comercializados e completam o conjunto dos quatro minerais pesados da areia da jazida.

4.2 Dados do Departamento Nacional de Produção Mineral

As reservas brasileiras de terras-raras são aproximadamente de 31 mil toneladas, representando menos de 1% do total mundial (Andrade, 2010). Essas reservas estão localizadas nos Estados de Minas Gerais (Poços de Caldas, São Gonçalo do Sapucaí, Cordislândia, Silvianópolis, Pouso Alegre, dentre outros) e Rio de Janeiro (São Francisco do Itabapoana).

Segundo Andrade (2010), as empresas que detêm essas reservas são as seguintes:

- Mineração Terras Raras: 6 milhões de reservas lavráveis, teor de 0,5% TR, com 30 mil toneladas de metal contido;
- INB: 609 mil toneladas de reservas lavráveis, teor de 0,103%, com 627 toneladas de metal contido;
- Vale S.A.: 17,2 mil toneladas de reservas medidas e indicadas, contendo 57% de monazita, equivalente a 9,7 mil toneladas.

A produção de monazita vem caindo no Brasil. Em 2008, a produção foi de 834 toneladas; em 2010, a produção foi de 249 toneladas de monazita.

A importação e exportação de compostos químicos e produtos manufaturados de terras-raras, de 2008 a 2010, são mostradas, respectivamente, nas Tabelas 4.1 e 4.2 (Andrade, 2010).

¹³ Óxido natural de ferro e titânio.

¹⁴ Silicato de zircônio.

¹⁵ Mineral composto de dióxido de titânio.

Tabela 4.1 Importação de terras-raras pelo Brasil

Produto	Importação					
	2008		2009		2010	
	Massa (ton)	Valor (US\$)	Massa (ton)	Valor (US\$)	Mass (ton)	Valor (US\$)
Compostos químicos (outros compostos de cério, óxido de praseodímio, cloretos dos demais metais das terras raras, outros compostos dos metais das terras raras)	2.274	11.240.000	1.306	6.340.000	1.156	6.062.000
Produtos manufaturados (liga de cério, com teor de ferro inferior ou igual a 5%, em peso ("mischmetal"), metais de terras raras, escândio e ítrio, mesmo misturados ou ligados entre si, ferrocério e outras ligas pirofóricas ¹⁶)	635	5.840.000	327	2.927.000	686	8.092.000
Total	2.909	17.080.000	1.633	9.267.000	1.842	14.154.000

Em 2010, o Brasil importou compostos químicos e produtos manufaturados de terras-raras no montante de US\$ 14,1 milhões. As importações dos produtos manufaturados foram originadas principalmente dos seguintes países: China (82%), Estados Unidos (5%), Bulgária (7%), Austrália (2%) e Bélgica (2%); nos compostos químicos, China (93%), Estados Unidos (2%), Espanha (2%) e França (2%).

¹⁶ Ligas pirofóricas são aquelas que soltam faíscas quando atritadas.

Tabela 4.2 Exportação de terras-raras pelo Brasil

Produto	Exportação					
	2008		2009		2010	
	Massa (ton)	Valor (US\$)	Massa (ton)	Valor (US\$)	Mass (ton)	Valor (US\$)
Compostos químicos (óxido cérico, outros compostos dos metais das terras raras)	36	659.000	21	386.000	21	365.000
Produtos manufaturados (ferrocério e outras ligas pirofóricas)	421	895.000	321	735.000	506	1.083.000
Total	457	1.554.000	342	1.121.000	527	1.448.000

O Brasil exportou, em 2010, compostos químicos e produtos manufaturados no montante de US\$ 1,4 milhão. O principal país de destino dos compostos químicos exportados foi a Espanha (99%). Para os produtos manufaturados, os principais países de destino foram Reino Unido (27%), Canadá (21%), Angola (21%), Estados Unidos (17%) e Países Baixos (4%).

Observa-se, então, que o mercado brasileiro de terras-raras é pouco expressivo, tanto em termos de importação quanto de exportação.

Com relação aos requerimentos para pesquisa mineral de terras-raras, observou-se uma grande mudança. Em 2010, foram apresentados 65 requerimentos, enquanto nos cinco anos anteriores eles foram praticamente inexistentes.

A Figura 4.1 (Chemale, 2011) mostra as áreas requeridas ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) para terras-raras como substância principal e como subproduto.

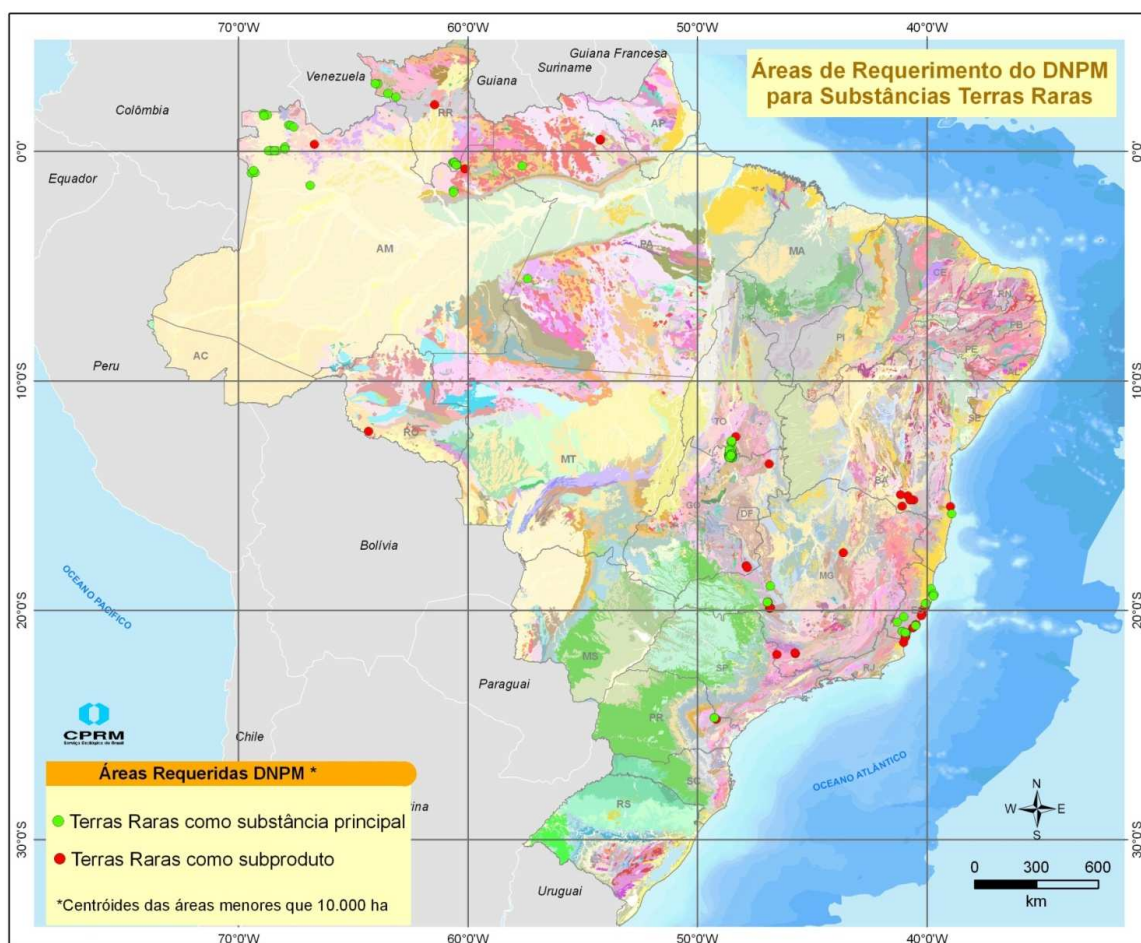


Figura 4.1 Áreas requeridas para terras-raras

4.3 Potencial brasileiro

Além das areias monazíticas situadas ao longo da costa, principalmente no litoral sul da Bahia, Espírito Santo e Rio de Janeiro, dispõe o Brasil de grande potencial de terras-raras em aluviões fluviais, no vale do Sapucaí no Sul de Minas Gerais, na mina do Pitinga, associado à cassiterita¹⁷, e nos complexos alcalinos de Araxá (MG), Catalão (GO), Tapira (MG), Poços de Caldas (MG) e Seis Lagos (AM). As reservas de minério de terras-raras em Catalão superam 15 milhões de toneladas, com teores acima de 4% óxido de cério mais óxido de lantânio (Carvalho e Bressan, 1997; Tassinari e Khan, 2001).

Segundo Loureiro (2011), o Brasil tem enorme potencial para produzir terras-raras, conforme indicam os depósitos e ocorrências mostrados na Figura 4.2. Ele cita três depósitos e trinta e seis ocorrências de terras-raras no Brasil. Os depósitos citados são: Catalão I, Araxá – Área Zero¹⁸ e Poços de Caldas – Morro do Ferro.

¹⁷ Dióxido natural de estanho.

¹⁸ A área central do depósito com maiores teores de óxidos de terras-raras.

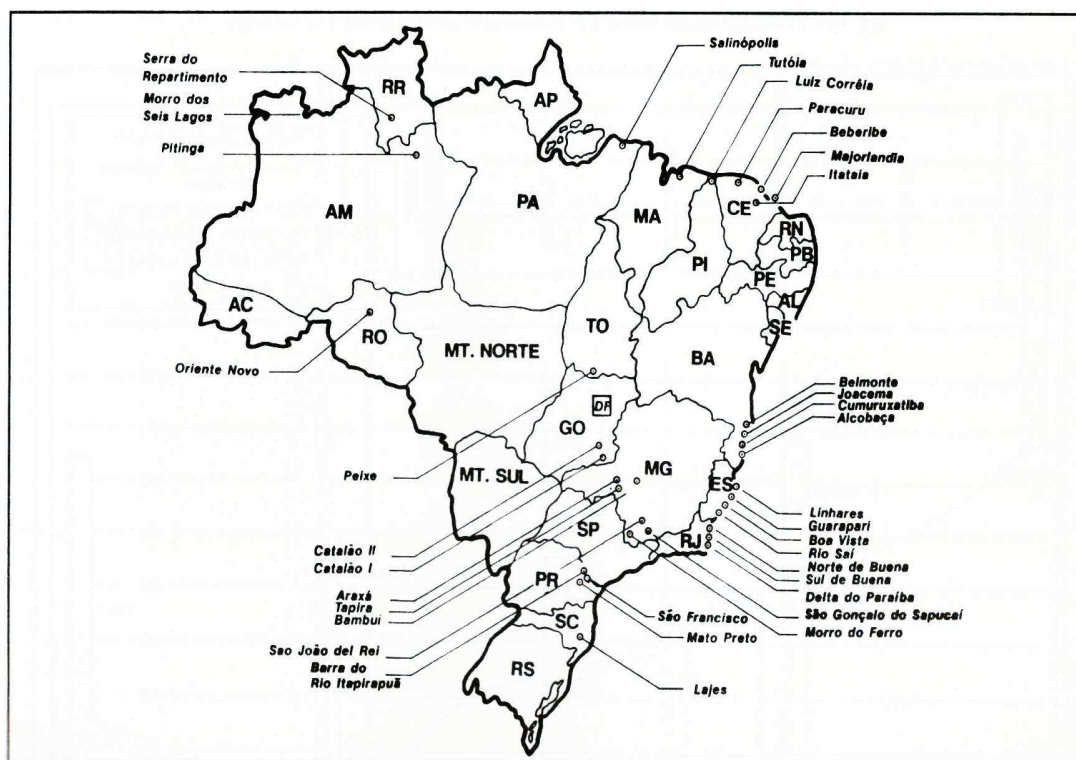


Figura 4.2 Depósitos e ocorrências de terras-raras no Brasil.

De acordo com Loureiro (2011), somente nos depósitos de Lagoa Seca Norte e Córrego do Garimpo em Catalão I, os recursos identificados seriam de 119,7 milhões de toneladas, para um teor de corte de 2%. A Tabela 4.3 mostra esses recursos.

Tabela 4.3 Recursos de terras-raras de Córrego do Garimpo e Lagoa Seca Norte

Categoria	Teor de corte = 2% de ETR		Teor de corte = 5% de ETR	
	Tonelagem	Teor médio (%)	Tonelagem	Teor médio (%)
Medidos	41.406.880	5,39	6.789.050	8,20
Indicados	65.202.580	5,49	26.063.877	8,48
Medidos + Indicados	106.609.460	5,45	32.852.928	8,42
Inferido	13.113.720	5,98	13.211.034	9,27
Totais	119.723.180	5,51	46.063.962	8,67

Segundo Loureiro (2011), nos depósitos de Araxá – Área Zero, as reservas acumuladas de óxidos de terras-raras podem ser de 1,296 milhão de toneladas e as reservas indicadas pelo DNPM em Poços de Caldas – Morro do Ferro, com base em um número muito restrito de furos de sonda e análises, são de 6 milhões de toneladas de minério, com um teor de 5% de óxidos de terras-raras, o que corresponde a 300 mil toneladas.

O serviço geológico dos Estados Unidos (USGS, 2010) mostra as reservas e os recursos de depósitos de terras-raras em vários países, divididos em três categorias:

- primeira: depósitos suficientemente explorados para serem estimados por um plano de mina;
- segunda: recursos inferidos, indicados e medidos por depósitos bem explorados, mas que ainda estão sujeitos a estudo de viabilidade que inclua um projeto de mina;
- terceira: recursos não classificados, improváveis de serem explorados.

O Brasil consta desse documento apenas com recursos não classificados. A Tabela 4.4 mostra esses recursos.

Tabela 4.4 Recursos não classificados de terras-raras no Brasil

Local do depósito	Quantidade (toneladas)	Teor de óxidos de terras-raras (%)	Quantidade de óxidos de terras-raras (toneladas)	Fonte
Araxá (área da CBMM)	450.000.000	1,80	8.100.000	Filho, Hiffel e Sousa (2005)
Mineralização de nióbio de Catalão I	10.000.000	0,90	90.000	Hirano et al. (1990)
Pitinga	164.000.000	13,60	246.000	Bastos Neto e Pereira (2009)
Poço de Caldas – Morro do Ferro	-	-	115.000	Wedow (1967)
Depósito de nióbio no Morro dos Seis Lagos	2.900.000.000	1,50	43.500.000	De Sousa (1996)
Tapira	5.200.000	10,50	546.000	Hirano et al. (1990)
Total	3.529.200.000		52.597.000	

Observa-se, então, que pelos dados do serviço geológico dos Estados Unidos (USGS, 2010), os recursos minerais não classificados no Brasil são de 3,5 bilhões de toneladas, contendo cerca de 52,6 milhões de toneladas de óxidos de terras-raras.

Os diferentes resultados para reservas e recursos de terras-raras no Brasil apontam para a necessidade da realização de estudos para melhorar a quantificação. Daí a importância de o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) desenvolver o projeto Avaliação do Potencial dos Minerais Estratégicos do Brasil¹⁹.

¹⁹ Informação obtida no endereço eletrônico

<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1472&sid=48>. Página acessada no dia 25 de janeiro de 2012.

4.4 Novos projetos

Muito tem se falado acerca de novos projetos de produção de terras-raras no Brasil. Neste estudo serão citados três novos projetos: Projeto Araxá, Pitinga e Patrocínio.

4.4.1 Projeto Araxá

A MBAC Fertilizer Corp. – MBAC anunciou, em julho de 2011, que adquiriu uma opção de compra de 100% do Projeto Araxá, que compreende quatro áreas que cobrem 214 hectares no município de mesmo nome, localizado na região oeste do Estado de Minas Gerais. Em setembro de 2011, a MBAC exerceu essa opção de compra.

Muitas atividades exploratórias na área do Projeto Araxá levaram à descoberta de importantes mineralizações de nióbio, fosfato e óxidos de terras-raras. As ocorrências de fosfato no carbonatito Barreiro foram descobertas pela primeira vez na década de 1950 e as áreas da MBAC foram exploradas, ao longo dos últimos 50 anos, pelo DNPM, Instituto de Pesquisas Radioativas (IPR), hoje Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), CBMM, Rhône-Poulenc e Extramil.

O carbonatito Barreiro, além de hospedar o Projeto Araxá, hospeda a grande mina de nióbio da Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração – CBMM, que supre cerca de 85% da demanda mundial dessa substância. A Figura 4.3 mostra a localização do Projeto Araxá entre duas operações de grande porte: Vale S.A. e CBMM.

Os dados históricos de pesquisa mostram um depósito com um dos maiores teores do mundo, atingindo em alguns pontos teor de óxidos de terras-raras de 12%. A área central do depósito, que continha os maiores teores de óxidos de terras-raras, foi classificada como Área Zero. Trabalhos anteriores indicaram potencial de 2 a 4 milhões de toneladas com teores de 8 a 10% de óxidos de terras-raras. Os dados históricos também indicam recursos minerais de 112 milhões de toneladas com 10,2% de óxido de fósforo e 70 milhões de toneladas com 0,75% de óxido de nióbio (MBAC, 2011).

O principal mineral encontrado é a monazita, com distribuição equilibrada nas frações granulométricas. A Tabela 4.5 mostra a composição de cada mineral.



Figura 4.3 Localização do Projeto Araxá

Na monazita, encontra-se uma distribuição típica de terras-raras, embora o teor de európio seja anômalo em algumas amostras. A Tabela 4.6 mostra a distribuição em massa de óxidos de terras-raras na monazita.

A estimativa de recursos minerais inferidos do Projeto Araxá (MBAC NI 43-101, 2011), com dados recebidos até dezembro de 2011, baseia-se em 35 furos com broca de diamante de 3.485m de extensão, 68 pelo método do furo do trado de 381m e 43 cavas perfuradas com espaçamento de aproximadamente 40m por 40m. A MBAC continua realizando um programa de perfurações.

Tabela 4.5 Composição do mineral do Projeto Araxá

Mineral	Composição (%)
Monazita	15
Pirocloro	2
Gorceixita-goiazita	31
Óxido/hidróxido de Ferro	8
Ilmenorutilo	2
Rutilo	1
Óxido de MnFeBa	1
Quartzo	39
Zircão ²⁰	0
Outros	0
TOTAL	100

A área de maior interesse mede 480m por 240m, onde foram feitas a maioria das perfurações com 40m de espaçamento. Outras perfurações com maior espaçamento não foram incluídas na estimativa por não assegurarem confiança geológica.

Em sua maioria, os dados da amostra foram finalizados em mineralizações entre 10m e 50m de profundidade, apesar de haver furos com broca de diamante com profundidade vertical acima de 40m. Todas mineralizações são contidas em material saprolítico²¹ e foram interpoladas como um único domínio horizontal mineralizado. As mineralizações de óxidos de terras-raras permanecem abertas em todas as direções.

²⁰ Silicato de zircônio.

Tabela 4.6 Distribuição em massa de óxidos de terras-raras na monazita

Óxidos de terras-raras	Distribuição de massa (%)
Lantânio	29,46
Cério	48,64
Praseodímio e neodímio	18,06
Samário	1,59
Európio	0,33
Gadolínio	0,64
Disprósio	0.30
Itérbio	0,04
Ítrio	0.94

Os dados históricos foram avaliados quanto à sua precisão e acurácia quando possível. Somente as séries da Extramil de furos com diamante estavam disponíveis para re-amostra, mas esses furos não tinham influência imediata sobre os atuais recursos inferidos da área.

A maioria das amostras apresentam certificados e foram analisadas por laboratórios respeitadas. Além disso, a MBAC realizou 36 avaliações pelo método do furo do trado que foram analisadas pelo Laboratório SGS Geosol. Os resultados dessas avaliações foram comparados com de furos anteriores de até 15m e moderada precisão foi encontrada. Esses resultados foram submetidos a dois padrões de óxidos de terras-raras do Geostats Pty Ltd. e obtida uma acurácia aceitável.

Os recursos minerais foram classificados pelo principal geólogo da Amazon Geoservices Ltda, de acordo com as exigências do NI 43-101, de 2 de dezembro de 2011. A estimativa de recursos minerais inferidos, conforme mostrado na Tabela 4.7, é de 2,7 milhões de toneladas com teor médio de óxidos de terras-raras de 8,39%, corte de 6%, teor médio de óxido de nióbio de 1,41% e teor médio de óxido de fósforo de 9,91%.

²¹ Resultante de um processo natural de decomposição ou desintegração de rochas e solos, e seus minerais constituintes, por ação de efeitos químicos, físicos e biológicos que resultam de fatores ambientais.

Tabela 4.7 Recursos minerais inferidos do Projeto Araxá

Teor de corte (óxidos de terras- raras) (%)	Recursos inferidos ¹ (milhões de toneladas)	Óxidos de terras-raras (%)	Óxido de fósforo (%)	Óxido de nióbio (%)
0	8,0	5,90	9,75	1,00
2	8,0	5,90	9,75	1,00
4	6,9	6,25	9,70	1,05
6	2,7	8,39	9,91	1,41
8	1,0	10,90	11,78	1,95
10	0,5	13,03	13,01	2,25

¹ Recursos minerais inferidos não são reservas e não demonstram viabilidade econômica

Os graus mostrados na Tabela 4.7 colocam os depósitos de Araxá como um dos mais elevados do mundo. Os altos teores de terras-raras e nióbio tornam esses depósitos um dos mais valiosos do mundo por tonelada de minério.

Com base nos últimos ensaios da MBAC, os óxidos mais pesados de terras-raras (Tb_2O_3 , Dy_2O_3 , Ho_2O_3 , Er_2O_3 , Tm_2O_3 , Eu_2O_3 , Gd_2O_3 , Lu_2O_3) representam 2,22% do total de óxidos de terras-raras.

Recursos totais inferidos atingem 8 milhões de toneladas com teor de óxidos de terras-raras de 5,9%. Adicionalmente, há um potencial geológico a ser determinado de 28 a 34 milhões de toneladas de recursos minerais com teor de óxidos de terras-raras de 4% a 6%.

O minério de nióbio e o minério de fosfato podem ser processados utilizando tecnologias conhecidas (MBAC, 2011). O minério de terras-raras é passível de ser lixiviado²² por solução de ácido sulfúrico ou por fusão alcalina e isolado para produzir óxidos de alta pureza, por meio de extração por solvente ou processos de trocas iônicas²³. Dessa forma, testes metalúrgicos estão em andamento.

²² Lixiviação é o processo de extração de uma substância presente em componentes sólidos por meio de sua dissolução em um líquido.

²³ Processo de remoção dos íons presentes em um meio aquoso, por meio de resinas catiônicas e aniônicas.

Uma planta piloto entrará em operação no segundo quadrimestre de 2012 e, no período de 6 a 8 meses, vai gerar os parâmetros técnico-operacionais do projeto. O fluxograma simplificado do tratamento do minério do Projeto Araxá é mostrado na Figura 4.4. O cronograma do Projeto Araxá está mostrado na Figura 4.5.

Conforme pode ser observado na Figura 4.4, o Projeto Araxá apresenta os seguintes produtos finais: óxido de nióbio, fosfato bicálcico, óxido de cério, óxido de lantânio, óxido de neodímio, óxido de praseodímio, óxido de samário, óxido de európio, óxido de gadolínio e óxido de ítrio. Conforme mostrado na Figura 4.5, o Projeto Araxá deverá entrar em operação plena em 2015.

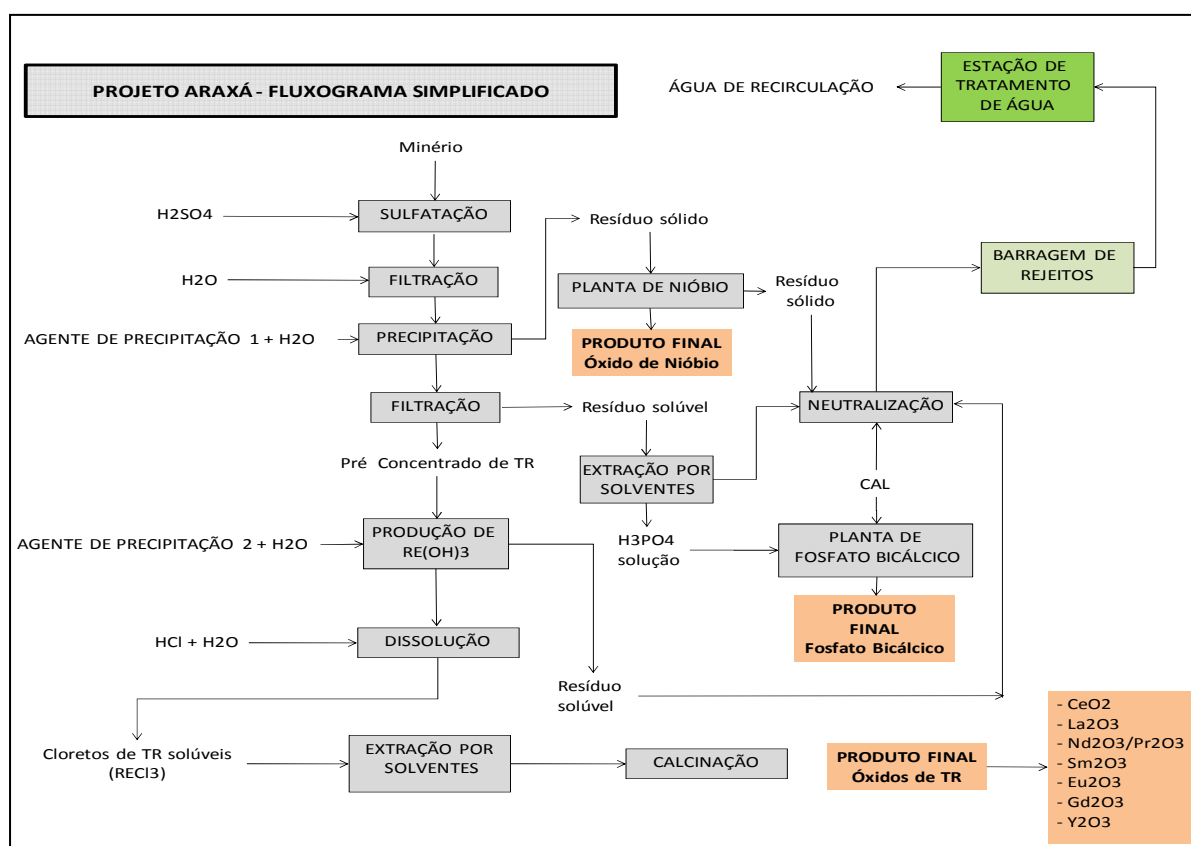


Figura 4.4 Fluxograma simplificado do tratamento do minério do Projeto Araxá

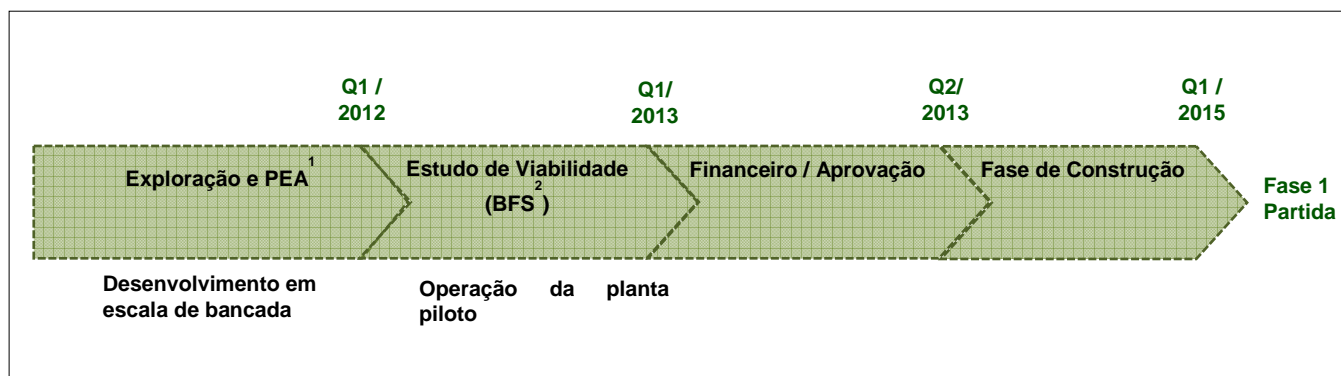


Figura 4.5 Cronograma do Projeto Araxá

4.4.2 Pitinga

A mina de Pitinga, localizada na Província de Presidente Figueiredo (AM), no Estado do Amazonas é explorada desde 1982 pela Mineração Taboca S.A., sendo um dos maiores depósitos de cassiterita do mundo (Vieira e Lins, 1997). Individualmente, é a maior produtora brasileira de cassiterita.

A Mineração Taboca atua na mineração e metalurgia de estanho e outros minerais industriais. Em 1973, o grupo controlador da empresa incorporou a empresa Mamoré Mineração e Metalurgia e verticalizou a produção. Na planta localizada no Estado de São Paulo, o concentrado de cassiterita proveniente de Pitinga é fundido para obtenção do estanho refinado com 99,9% de pureza. É uma das poucas empresas do mercado mundial de estanho a possuir mina própria, sendo a mina de Pitinga uma das mais ricas do mundo, com longevidade estimada em 100 anos.

A empresa também atua nos mercados de nióbio e tântalo, por meio de sua liga metálica ferro-nióbio-tântalo, produto obtido da fundição do minério de columbita²⁴ presente na mina de Pitinga.

A história da província de Pitinga teve início com a descoberta, por geólogos da CPRM, de mineralizações estaníferas na região do rio Pitinga, bacia do rio Uatumã, no Estado do Amazonas, durante a realização de projeto de mapeamento geológico básico (Veiga Jr. et al., 1979).

Após as primeiras notícias dessas ocorrências, ainda em 1979, a mineradora Paranapanema S.A. iniciou trabalhos de pesquisa em áreas adquiridas da própria CPRM, abrangendo da margem direita do médio rio Pitinga até as cabeceiras do igarapé Queixada, e apresentou requerimento de pesquisa em outras áreas mais a oeste, até a divisa com a área indígena Waimiri-Atroari.

²⁴ Mineral que consiste em niobato e tantalato de ferro e manganês, no qual o percentual de nióbio é maior que o de tântalo.

Em 1982, já eram conhecidas reservas aluvionares e iniciava-se o ciclo produtivo de estanho aluvionar. Ainda em 1982, trabalhos intensos culminaram com a descoberta das mineralizações aluvionares do igarapé Madeira, que drena a Serra do Madeira, que viria a se constituir mais tarde, na maior reserva de minério primário de estanho do Brasil e a maior reserva de tântalo do mundo, contendo também criolita²⁵ e outros minerais portadores de nióbio, ítrio, zircônio, rubídio, tório e urânio.

Diante das expectativas geradas pelas descobertas de jazimentos primários de grande monta, na Serra do Madeira, relacionados à mineralização disseminada de estanho em rocha granítica, a Paranapanema iniciou, em 1983, no rio Pitinga, a construção de uma usina hidrelétrica, e, em 1984, a construção da vila Pitinga e do acesso rodoviário até a BR-174.

Com o avanço das pesquisas geológicas, em 1988 foram descobertas as mineralizações de criolita associadas ao granito Madeira. Várias outras atividades foram implantadas a partir de então, como o início da lavra de minério primário intemperizado em 1989, e o início de operação em 1991 de planta de beneficiamento constituída por unidades de separação.

Em 1996, um grupo de fundos de pensão, adquiriu o controle acionário da Mineração Taboca e da Mamoré Mineração e Metalurgia, adotando o nome Paranapanema para denominar o novo conglomerado de empresas voltadas para a produção de metais não ferrosos.

Em 2001, deu-se início à operação de lavra no granito Madeira. Em 2002, deu-se início à operação de planta metalúrgica com forno elétrico de redução e processo aluminotérmico para o aproveitamento de nióbio e tântalo contidos em columbita e niobatos associados à rocha sã.

O fato de esta área estar, desde o início de sua exploração sob o controle de empresa privada, com acesso restrito e controlado, fez com que poucos trabalhos objetivando a geologia regional com enfoque mais científico fossem realizados ou divulgados, pois, a partir do início dos anos 80 os esforços se voltaram quase que exclusivamente para o conhecimento e detalhamento dos corpos graníticos relacionados às mineralizações de interesse (Ferron, 2006).

Nos anos 90, os poucos trabalhos realizados na região, tiveram enfoque exclusivo nas mineralizações e ficaram basicamente centrados nos mesmos alvos: granitos Madeira e Água Boa e, com menos peso, o granito Europa, por serem esses granitos especializados, com maior afinidade geoquímica para a concentração de mineralizações de interesse.

As restrições que naturalmente eram impostas por parte da empresa, que se reservava o direito de manter sigilo sobre suas atividades prospectivas, aliado às limitações impostas pela Funai, impedindo o acesso para a pesquisa nas áreas indígenas Waimiri-Atroari e Trombetas- Mapuera circunvizinhas, fizeram com que aspectos da geologia regional

²⁵ Fluoreto duplo natural de sódio e alumínio.

permanecessem desconhecidos sob o ponto de vista de investigação direta em campo, não só por parte de empresas privadas, como também por parte de instituições governamentais.

No ano 1998, foi criada a Reserva Biológica do Uatumã, tornando impeditivo o acesso às áreas a sul da Província. Para completar o quadro restritivo, em 2001, foram ampliados os limites dessa reserva biológica para norte, em cerca de 10 km, e para leste-sudeste, por cerca de 100 km, fazendo com que áreas antes acessíveis se tornassem de acesso restrito.

Ainda segundo Ferron (2006), as limitações impostas durante cerca de 26 anos, provocadas por um lado pela empresa privada que detinha os direitos minerários e, por outro lado, por impedimentos legais de acesso, fez com que poucos pesquisadores tivessem trabalhos realizados e publicados sobre a geologia da área, sobretudo no que tange ao aspecto da geologia regional, seu entendimento e enquadramento no contexto geológico.

No entanto, no final dos anos 90, houve substancial mudança nos conceitos gerenciais, de forma a se permitir acesso e maior participação de entidades de pesquisa públicas ou privadas. Por meio do Convênio de Cooperação Técnica firmado entre o DNPM e a Agência para o Desenvolvimento da Indústria Mineral Brasileira – ADIMB, algumas universidades e a Mineração Taboca S.A., na época pertencente ao Grupo Paranapamena, foram realizados trabalhos que envolviam equipes multidisciplinares desenvolvidos nas áreas de geologia de campo, geoquímica, geologia isotópica, inclusões fluidas, sensoriamento remoto e geologia estrutural.

No âmbito desse Convênio, foram estudados dez distritos mineiros na Amazônia Brasileira buscando-se definições de modelos genéticos e prospectivos com vistas a subsidiar a exploração em outras regiões da Amazônia. Na Província Pitinga foram desenvolvidos os projetos estanho e criolita, respectivamente orientados pelos Professores Roberto Dall'Agnol da Universidade Federal do Pará e Artur Bastos Neto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Ensaio de concentração em escala piloto, efetuados pela Mineração Taboca, mostraram a possibilidade de se obter concentrados de xenotímio, com um teor de 20% de ítrio, como subproduto da produção de cassiterita (Vieira e Lins, 1997). Além de xenotímio, outros minerais também podem ser obtidos como subprodutos: zircão (40% Zr), niobatantalatos (40% Nb₂O₅ e 4% Ta₂O₅) e um misto contendo 90% de xenotímio e 10% de zircão (Torem e Scorzelli, 1995).

Um estudo de separação de xenotímio do zircão foi realizado por Torem e Scorzelli (1995). Vieira e Lins (1997) mencionam que os resultados de ensaios de microflotação permitiram concluir que na faixa de pH entre 2 e 3, os minerais em questão, tratados previamente com HCl ou com HNO₃, apresentavam alguma seletividade na presença de ácido oleico ou de um ácido graxo denominado comercialmente de DP1-6256; no entanto, os teores dos produtos obtidos não foram considerados satisfatórios.

Loureiro (2011) apresentou a composição química do concentrado de xenotímio da mina de Pitinga, conforme mostrado na Tabela 4.8, e a distribuição dos elementos terras-raras, conforme mostrado na Tabela 4.9.

Tabela 4.8 Composição química do concentrado de xenotímio da mina de Pitinga

Constituintes	Teor (% peso)
Óxidos de terras-raras	61,60
Óxido de zircônio	6,20
Óxido de silício	3,70
Óxido de tório	0,59
Óxido de urânio	0,07
Óxido de fósforo	27,60
Óxidos de ferro, alumínio, nióbio e estanho	0,24

Observa-se, na Tabela 4.8, que o teor de óxidos de terras-raras é bastante alto, correspondendo a 61,60%. Já a distribuição de terras-raras mostra a predominância dos elementos pesados, que totalizam 98,4%.

Em 2006, a Mineração Taboca iniciou o processo de substituição do aluvião pela extração da rocha primária, projeto denominado “Rocha-Sã”. A cassiterita e a columbita são concentradas em vários equipamentos, como espirais, mesas e separadores eletrostáticos e magnéticos.

Uma questão adicional em relação à mina de Pitinga é a contaminação radioativa na planta de redução aluminotérmica, onde é produzida a liga ferro-nióbio a partir do resíduo da planta de concentração da cassiterita, que acumula minerais desses elementos, provenientes do minério primário granítico. Como o granito matriz da jazida primária também contém urânio e tório, além da zirconita, essa parcela radioativa é segregada na escória da produção da liga Fe-Nb. A solução técnica do descarte da escória radioativa, enterrada e armazenada em trincheiras abertas no solo, foi definida pela CNEN, que fiscaliza o cumprimento da norma de proteção ambiental (Relatório Técnico 27, 2009).

Tabela 4.9 Distribuição dos elementos terras-raras

Elemento	(%)
Lantânio	---
Cério	0,07
Praseodímio	0,01
Neodímio	0,04
Promécio	---
Samário	0,25
Európio	0,04
Gadolínio	1,20
Total de leves	1,61
Térbio	1,41
Disprósio	10,64
Holmio	3,27
Érbio	14,27
Túlio	2,98
Itérbio	20,97
Lutécio	2,73
Ítrio	42,13
Total de pesados	98,40

A Mineração Taboca realiza a fundição do concentrado de cassiterita em sua filial, no interior do Estado de São Paulo, para onde é enviada toda a produção de concentrado de cassiterita obtida no Complexo de Pitinga. A retirada do estanho é feita por meio de fornos elétricos de redução²⁶.

Em 2008, o grupo minerador peruano Minsur, adquiriu da Paranapanema o controle acionário da Mineração Taboca e da Mamoré Mineração e Metalurgia. Ao assumir a mina, a Minsur resolveu reavaliar a rota técnica do projeto “Rocha Sã”, tendo como foco não somente o estanho, mas também a recuperação de outros minerais associados na jazida (Relatório Técnico 27, 2009).

²⁶ Informação obtida no endereço eletrônico <http://www.mtaboca.com.br/port/empresa/historico.asp>. Página acessada no dia 24 de janeiro de 2012.

Na área de terras-raras, a Mineração Taboca assinou, em 2009, um acordo de desenvolvimento com a Neo Material, que dava a esta empresa acesso à mina de Pitinga para avaliar se concentrados de terras-raras pesados podiam ser comercialmente produzidos²⁷. Esse acordo fez parte da estratégia da Neo Material de garantir o suprimento de matérias-primas fora da China.

Um ano e meio foram gastos para processamento dos “rejeitos” da mina de Pitinga, que foram acumulados durante 30 anos de mineração aluvial e de rocha primária. O processo para recuperar terras-raras pesados permitiram a recuperação de estanho, nióbio e tântalo.

Segundo a presidente da Neo Material, já que o concentrado de mineral pesado pode ser produzido economicamente, o foco deve ser a recuperação de xenotímio e terras-raras, tendo como coprodutos estanho, nióbio e tântalo. Dois laboratórios estão focados na recuperação de concentrados magnéticos dos resíduos. O trabalho continuaria, até o final de 2011, relativo ao processo de rocha primária, que poderia gerar mais xenotímio a ser isolado e processado.

Ela também fez referência ao fato de que a Neo Material, na área de terras-raras leves, está trabalhando com duas companhias que contam com recursos de atrativa mineralogia, grau, peso, distribuição de terras-raras e coprodutos.

Também é importante registrar que essa empresa tem um acordo com a Mitsubishi, no qual a empresa japonesa financiará custos associados com o desenvolvimento de terras-raras pesados relativos à mina de Pitinga.

Como parte desse acordo, a Neo Material compromete-se a usar seus melhores esforços para incluir a participação da Mitsubishi na fase comercial do projeto com a Mineração Taboca e para alocar parte dos concentrados de terras-raras produzidos a partir de Pitinga para uso próprio da Mitsubishi²⁸.

4.4.3 Patrocínio

A Vale Fertilizantes S.A., antiga Fosfertil, confirmou investimentos no Projeto Salitre, no município de Patrocínio (MG), de aproximadamente R\$ 2 bilhões até 2013²⁹. O Projeto compreende a abertura de uma mina de rocha fosfática e a construção de novas unidades industriais para a produção de ácidos sulfúrico e fosfórico, além de fertilizantes fosfatados de alta concentração.

²⁷ Informação obtida no endereço eletrônico <http://www.raremetalblog.com/2011/08/neo-material-technologies-pitinga-hree-project-still-a-work-in-progress.html#tp>. Página acessada no dia 24 de janeiro de 2012.

²⁸ Informação obtida no endereço eletrônico <http://boards.fool.co.uk/neo-materials-technologies-12056427.aspx?sort=threaded>. Página acessada no dia 24 de janeiro de 2012.

²⁹ Informação obtida no endereço eletrônico <http://simineral.org.br/novo/noticia/detalhe/?nId=2119>. Página acessada no dia 24 de janeiro de 2012.

Somente para a abertura da mina, a Vale deveria destinar US\$ 345 milhões em 2011. Do local serão extraídas 2,2 milhões de toneladas anuais. Segundo a empresa, o total de reservas seria superior a 250 milhões de toneladas, o que garantiria pelo menos 24 anos de produção.

No final de novembro de 2011, a empresa divulgou que descobriu terras-raras, ao lado das jazidas de rochas fosfáticas em Patrocínio (MG), e que pretende explorá-las. O projeto entrou no planejamento estratégico da Vale, mas ainda não tem um cronograma definido³⁰.

4.5 Instituições de pesquisa

O Brasil conta grupos de pesquisa distribuídos em muitas universidades e centros de pesquisa governamentais. Instituições de pesquisa da área nuclear têm importante atuação na área de terras-raras, pois, associada à monazita até então explorada no Brasil, há ocorrência de tório e urânio.

Entre as instituições de pesquisas brasileiras, podem ser destacados o Centro de Tecnologia Mineral – Cetem, a Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, a Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, a Universidade Federal de Sergipe – UFS, a Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, a Universidade de São Paulo – USP, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, a Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras – CERTI, o Instituto de Pesquisas Nucleares – IPEN, o Instituto de Energia Nuclear – IEN e o Centro de Desenvolvimento e Tecnologia Nuclear – CDTN.

Segundo Santos³¹, “está no momento de reforçar que há competência e o problema maior agora é o Brasil pensar as terras raras como um assunto prioritário, e preparar a mão de obra especializada para isso. Os especialistas e pesquisadores estão se aposentando, e há falta de engenheiros de minas e geólogos, por exemplo”.

4.6 Necessidade de uma política industrial

A elevação nos preços e a redução no fornecimento global dos terras-raras podem gerar problemas em algumas cadeias produtivas do Brasil. A Fábrica Carioca de Catalisadores – FCC, única fabricante no Brasil de catalisadores para o craqueamento do petróleo nas refinarias, já está sentindo os efeitos do cenário restritivo dos terras-raras. Segundo Menezes³², o Brasil corre risco de abastecimento.

³⁰ Informação obtida no endereço eletrônico

http://www.em.com.br/app/noticia/economia/2011/11/28/internas_economia,264427/vale-vai-explorar-terras-raras-em-minas-gerais.shtml. Página acessada no dia 24 de janeiro de 2012.

³¹ Informação obtida no endereço eletrônico <http://advivo.com.br/blog/luisnassif/os-problemas-das-terras-raras>. Página acessada no dia 24 de janeiro de 2012.

³² Informação obtida no endereço eletrônico <http://www.valor.com.br/arquivo/900737/falta-de-produto-coloca-em-risco-operacao-das-refinarias>. Página acessada no dia 24 de janeiro de 2012.

O óxido de lantânio, matéria-prima utilizada nas atividades da FCC, subiu, em dois anos, de US\$ 5 por quilograma para US\$ 140 por quilograma. A empresa consome uma média de 900 toneladas desse óxido por ano. O mercado espera que as cotas de exportação dos chineses possam ser alteradas. Se não tiver catalisador, o Brasil não tem como produzir gasolina, afirmou Menezes. A FCC iniciou um projeto de construção de uma nova unidade para fabricar outro tipo de catalisador, que não depende dos terras-raras e é voltado para a produção de óleo diesel.

É importante ressaltar que, a partir de 2015, a MBAC, com a implantação do Projeto Araxá, poderá vir a ser uma fornecedora de óxido de lantânio para a FCC.

Além da cadeia do refino de petróleo, a metalurgia voltada para o setor automobilístico, também está enfrentando dificuldades. A empresa Ligas Gerais, que produz ligas de terras-raras para empresas de fundição, que, por sua vez, abastecem as indústrias de autopeças não tem conseguido comprar matéria-prima da China. De acordo com o diretor da empresa, a China está enviando para o Brasil o material já pronto, com valor agregado. Está em análise a interrupção da produção para só revender o produto chinês³³.

A WEG S.A., tradicional fabricante de motores elétricos, também pode enfrentar problemas. Segundo Nau (2011), em 2010, a empresa consumiu 1.175 quilogramas de ímãs ferrite e 2.366 quilogramas de ímãs NdFeB. Em 2011, o consumo de ímãs ferrites caiu para 997 quilogramas e o consumo de ímãs NdFeB aumentou para 2.863 quilogramas. Além disso, houve um aumento de 250% no preço desse ímã, que ainda não se estabilizou. Nesse cenário, é interessante que se pesquise tecnologias de motores que não dependam de terras-raras (Nau, 2011).

O aumento dos preços de ímãs que contêm terras-raras abre a possibilidade da fabricação em outros países, que não a China, inclusive no Brasil. Nesse sentido, a Fundação CERTI vem desenvolvendo estudos para a implantação de uma cadeia produtiva de ímãs de terras-raras no Brasil.

O cenário atual evidencia a necessidade de uma política industrial para se implantar uma cadeia produtiva de terras-raras no Brasil. Nesse sentido, foi muito adequada a publicação da Portaria Interministerial nº 614, de 30 de junho de 2010, que instituiu o Grupo de Trabalho Interministerial sobre Minerais Estratégicos – GTI-ME, com a finalidade de elaborar propostas de integração, coordenação e aprimoramento das políticas, diretrizes e ações voltadas para minerais estratégicos, conduzidas pelo Ministério de Minas e Energia – MME e pelo Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação – MCTI, cujas recomendações para terras-raras foram apresentadas por Lins (2011):

- criar um grupo de trabalho de coordenação;

³³ Informação obtida no endereço eletrônico <http://www.valor.com.br/arquivo/900737/falta-de-produto-coloca-em-risco-operacao-das-refinarias>. Página acessada no dia 24 de janeiro de 2012.

- realizar um estudo prospectivo;
- fazer um levantamento geológico;
- formatar programas de P,D&I;
- realizar a integração em projetos inovadores;
- promover articulações público-privadas.

5. CONCLUSÕES

A demanda por terras-raras no mundo já é significativa e deve se tornar mais importante ainda no futuro, especialmente nas áreas de alta tecnologia. Atualmente, os elementos terras-raras estão presentes em vários produtos comerciais, como, por exemplo: catalizadores; monitores; ímãs permanentes e baterias. Na área de defesa, podem-se destacar as aplicações de terras-raras em caças, sistemas de controle de mísseis, defesa antimísseis e sistemas de comunicação.

O mundo é farto em terras-raras, sendo muito grande o potencial de produção de seus óxidos em vários países. No entanto, a China, além de dominar o mercado mundial de óxidos de terras-raras, domina também o mercado de metais e de ligas desses elementos. A posição dominante da China tem causado uma grande dependência por parte de muitos países, inclusive do Brasil.

Um plano estratégico parece ter sido concebido e implementado na China ao longo das últimas décadas, com o objetivo de se construir uma cadeia produtiva integrada no país. As políticas de pesquisa e desenvolvimento, de proteção do mercado interno e de construção de uma cadeia para agregação de valor parecem ser pontos importantes desse plano.

Até 2015, estima-se que a demanda global de óxidos de terras-raras deverá ser de 185 mil a 210 mil toneladas métricas por ano. A oferta da China deverá atingir 140 mil toneladas métricas. Com base nessas estimativas, para atender a demanda de óxidos de terras-raras em 2015, a oferta desses óxidos fora da China deverá ser de 45 mil a 70 mil toneladas métricas.

Apenas os projetos Mount Weld, na Austrália, e Mountain Pass, nos Estados Unidos, têm capacidade para produzir 60 mil toneladas métricas por ano até 2013. Apesar de ser possível atender a demanda de alguns óxidos de terras-raras, muitas previsões indicam a possibilidade de haver escassez de outros, como disprósio, térbio, neodímio e de európio.

Os preços da maioria dos terras-raras caíram para seus níveis mais baixos entre 2002 e 2003, antes de começarem a subir depois desse período, havendo um primeiro pico

de preços em 2008 e um grande pico em 2011. Mesmo com o grande aumento de preços dos óxidos de terras-raras nos últimos anos, o mercado mundial ainda é muito pequeno quando comparado com outros mercados, como, por exemplo, o do petróleo e do minério de ferro.

O Brasil já foi produtor de terras-raras, mas não apresenta, oficialmente, grandes reservas desses elementos. Apresenta, no entanto, depósitos com grande potencial de produção de óxidos de terras-raras. Atualmente, existem alguns projetos minerários em andamento ou em análise.

Merecem destaque os Projetos Araxá, da empresa canadense MBAC, e a mina de Pitinga, explorada pelo grupo peruano Minsur. O primeiro poderá ser uma importante fonte de óxidos de terras-raras em 2015; o segundo poderá ser uma fonte de óxidos de terras-raras, principalmente pesados.

Mais importante que a atividade de mineração de terras-raras no Brasil é a construção de uma cadeia produtiva para se agregar valor ao recurso natural. Apesar de importantes iniciativas, é clara a falta de uma política industrial para os terras-raras no Brasil. Muitas empresas brasileiras correm risco de desabastecimento, caso não haja mudança no atual cenário mundial.

Apesar de muito importantes, as iniciativas não devem se limitar à produção de mais uma mercadoria mineral para exportação, mas devem incluir atividades de pesquisa e desenvolvimento e de processamento dos terras-raras, de forma a construir uma indústria de alta tecnologia e de alto valor agregado no Brasil, a exemplo do que ocorreu e ocorre na China.

Nesse sentido, foi importante a constituição, no âmbito do Poder Executivo, do Grupo de Trabalho Interministerial sobre Minerais Estratégicos, com a finalidade de elaborar propostas de integração, coordenação e aprimoramento das políticas, diretrizes e ações voltadas para minerais estratégicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, R. H. P. **TERRAS RARAS** – DNPM, 2010.

BASTOS NETO, A.C.; e PEREIRA, V.P. **The world-class Sn, Nb, Ta, F (Y, REE, Li) deposit and the massive cryolite associated with the albite-enriched facies of the Madeira A-type granite, Pitinga mining district, Amazonas State, Brazil.** *The Canadian Mineralogist*, v. 47, 2009,

BRITISH GEOLOGICAL SURVEY – BGS. **Rare Earth Elements.** London, 2011.

BURTON, M. 2011. **China's rare earth oxide, metal shipments could drop 40%.** *Metal Bulletin*, 15 August, 2011.

CAIFENG, W. **Global Rare Earth Demand to Rise to 210,000 Metric Tons by 2015.** *Bloomberg News*, October 18, 2010.

CARVALHO, W.T.; BRESSAN, S.R.. **Depósitos de fosfato, nióbio, titânio, terras-raras e vermiculita de Catalão I – Goiás.** *In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil.* Brasília, v. 4, parte C, cap. 6, p. 69 – 93, 1997.

DE SOUSA, M.M. **The niobium deposit in Morro dos Seis Lagos, North-Brazil.** *International Geological Congress Abstracts*, v. 30, n° 2, 1996.

DOE – UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. **Critical Materials Strategy,** 2010.

FERRON, J. M. T. M. *Geologia regional, geoquímica e geocronologia Pb-Pb de rochas graníticas e vulcânicas paleoproterozóicas da província Pitinga, Craton Amazônico.* Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

FILHO, A.I.; RIFFEL, B.F.; e FARIA SOUSA, C.A. **Some aspects of the mineralogy of CBMM niobium deposit and mining and pyrochlore ore processing, Araxá, MG.** Brazil: Araxá, Brazil, Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração, 2005.

GAO – UNITED STATES GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE. **Rare Earth Materials in the Defense Supply Chain,** GAO,-10-617R, April 1, 2010.

GLOBAL TRADE ALERT. **China: Neodymium rare earth export tariff increase in 2011.** 2011.

HIRANO, H.; KAMITANI, M.; SATO, T., e SUDO, S. **Niobium mineralization of Catalão I carbonatite complex.** *Goiás, Brazil: Bulletin of the Geological Survey of Japan*, v. 41, no. 11, 1990,

HOCQUARD, C. **Les matières premières comme enjeu stratégique majeur : le cas des terres rares.** I Seminário Brasileiro de Terras-Raras. Rio de Janeiro, 2011.

HUMPHREYS, D.. **Unravelling the causes of the mineral price boom.** Resources Policy, v. 34, 2009.

HUMPHRIES, M. **Rare Earth Elements: The Global Supply Chain.** Congressional Research Service, 2011.

HURST, C. **China's Rare Earth Elements Industry: What Can the West Learn?** Institute for the Analysis of Global Security, March 2010.

_____ **The great metals boom: A perspective.** Resources Policy, v. 35, 2010.

ICE, R. **Briefing at Molycorp Metals and Alloys.** August 9, 2011.

INDUSTRIAL MINERALS COMPANY OF AUSTRALIA – IMCOA. **Meeting Rare Earth Demand in the Next Decade.** March 2011.

KORINEK, J. e KIM, J. **Export restrictions on strategical raw materials and their impact on trade.** OECD Publishing, 2010.

LANDGRAF, F. J. G. **Visão do IPT e USP sobre a cadeia produtiva das terras raras.** I Seminário Brasileiro de Terras-Raras. Rio de Janeiro, 2011

LIFTON, J. **Is The Rare Earth Supply Crisis Due to Peak Production Capability or Capacity.** michaelperelman.worldpress.com, 2009.

_____ **Implications for Investors of the Dramatically Increasing Chinese Demand for Rare Earths.** Technology Metals Research, June 15, 2011.

LINS, F. A. F. **Grupo de Trabalho Interministerial MME-MCT Minerais Estratégicos.** I Seminário Brasileiro de Terras-Raras, Rio de Janeiro, 2011.

LOUREIRO, F. E. V. L. **Terras-raras no Brasil: depósitos, recursos identificados, reservas.** MCT, CNPq, CETEM, 1994.

_____ **Terras-Raras- Tipos de Depósitos, Recursos Identificados e Alvos Prospectivos no Brasil.** I Seminário Brasileiro de Terras-Raras, Rio de Janeiro, 2011.

LYNAS CORPORATION LTD. **Rare earths: we touch them everyday.** Investor Presentation, May 2011.

MARIANO, A.N. **The Nature of Economic REE and Y Minerals on a World Level.** MIT Energy Initiative Workshop, April 29, 2010.

MBAC FERTILIZER CORP. **Crescendo na área de maior desenvolvimento agrícola.** I Seminário Brasileiro de Terras-Raras. Rio de Janeiro, 2011.

MBAC Reports NI 43-101. **Resource Estimate for World Class Araxá Rare Earth Oxide/Niobium/Phosphate Deposit.** 2011.

MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. **Resource revolution: meeting the world's energy, materials, food, and water needs.** November 2011.

MIT – Massachusetts Institute of Technology. Energy Initiative Workshop, April 29, 2010.

NAU, S. L. **Technologies for Energy-Efficient Electric Motors.** I Seminário Brasileiro de Terras-Raras, Rio de Janeiro, 2011.

RELATÓRIO TÉCNICO 27. **Perfil da Mineração do Estanho.** Ministério de Minas e Energia, 2009.

RHODIA, 2011. **Market and products, rare earth, mixed oxides and aluminas.** 2011.

ROSENAL, S. **Terras Raras.** CETEM, CT2008-188-00. Rio de Janeiro, 2008.

TASSINARI, M.M.M.L., KAHN, H. **Caracterização tecnológica do depósito de terras raras de Catalão I. Áreas: Córrego do Garimpo e Lagoa Seca.** Boletim Técnico do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica, BT/PMI/149 , 2001.

TAVARES, A. M. **I Seminário Brasileiro de Terras-Raras.** Rio de Janeiro, 2011.

TOREM, M.L. e SCORZELLI, I.B. **Influência do pré-tratamento com HF na flotabilidade de xenotima e zirconita.** Anais do XVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia, Rio de Janeiro, 1995.

TSE, P-K. **China's Rare-Earth Industry,** USGS Open-File Report 2011-1042.

USGS – UNITED STATES GEOLICAL SURVEY. **Minerals Yearbook,** vol. 1, 2007.

_____ **The Principal Rare Earth Elements Deposits of the United States – A Summary of Domestic Deposits and a Global Perspective.** Scientific Investigations Report, 2010.

_____ **Mineral Commodity Summaries.** 2011.

VIEIRA, E. V.; LINS, F. F. **Concentração de minérios Terras-raras: uma revisão.** Rio de Janeiro: CETEM/CNPQ, 1997.

WEDOW JR., H. **The Morro de Ferro thorium and rare-earth ore deposit, Pocos de Caldas District, Brazil.** U.S. Geological Survey Bulletin 1185-D, 1967.



MINERAIS ESTRATÉGICOS PARA O BRASIL

Paulo César Ribeiro Lima
Consultor Legislativo da Área XII
Recursos Minerais, Hídricos e Energéticos

ESTUDO

MAIO/2012



Câmara dos Deputados
Praça 3 Poderes
Consultoria Legislativa
Anexo III - Térreo
Brasília - DF

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	4
2. MINERAIS METÁLICOS.....	5
2.1 Alumínio.....	5
2.2 Chumbo.....	6
2.3 Cobalto.....	6
2.4 Cobre.....	7
2.5 Cromo.....	8
2.6 Estanho.....	9
2.7 Ferro.....	10
2.8 Gálio.....	11
2.9 Índio.....	12
2.10 Lítio.....	12
2.11 Manganês.....	14
2.12 Molibdênio.....	14
2.13 Nióbio.....	15
2.14 Níquel.....	17
2.15 Ouro.....	17
2.16 Paládio.....	18
2.17 Platina.....	19
2.18 Tântalo.....	19
2.19 Terras-raras.....	20
2.20 Titânio.....	23
2.21 Tungstênio.....	24
2.22 Vanádio.....	25
2.23 Zinco.....	26
2.24 Zircônio.....	27
3. MINERAIS NÃO-METÁLICOS.....	28
3.1 Carvão mineral.....	28
3.2 Diamante.....	29
3.3 Enxofre.....	30
3.4 Grafita.....	30
3.5 Quartzo.....	31



3.6 Telúrio	33
4. AGROMINERAIS.....	34
4.1 Fósforo	34
4.2 Potássio.....	35
4.3 Calcário agrícola	37
5. VALOR ESTRATÉGICO.....	38
6. CONCLUSÕES.....	41

© 2012 Câmara dos Deputados.

Todos os direitos reservados. Este trabalho poderá ser reproduzido ou transmitido na íntegra, desde que citados o autor e a Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados. São vedadas a venda, a reprodução parcial e a tradução, sem autorização prévia por escrito da Câmara dos Deputados.

Este trabalho é de inteira responsabilidade de seu autor, não representando necessariamente a opinião da Câmara dos Deputados.

MINERAIS ESTRATÉGICOS PARA O BRASIL

Paulo César Ribeiro Lima

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem por objeto analisar a exploração e a cadeia produtiva de minerais e materiais estratégicos para o Brasil. A produção e a demanda por minerais vêm se intensificando devido, principalmente, ao grande consumo na China e de outros países emergentes. Neste trabalho, serão examinados os minerais que podem ser considerados fundamentais para o Brasil e, também, em termos mundiais. Será analisada, ainda, a importância de alguns minerais e materiais para o desenvolvimento sustentável.

Os minerais podem ser divididos em três grandes grupos: metálicos, não-metálicos, e agrominerais.

O aumento dos preços internacionais dos bens metálicos tem provocado novos posicionamentos de países e de empresas. É importante ressaltar que a restrição da oferta de alguns minerais pode afetar o emprego e desenvolvimento de importantes tecnologias que depende dos bens metálicos. Em geral, a cadeia produtiva desses bens pode ser decomposta em várias etapas. Após extraído, o minério é triturado e moído. Em seguida, ocorre o processo de concentração; depois da concentração, ocorre a separação dos materiais de interesse. Esses materiais são refinados e convertidos em metais, que depois podem ser combinados com outros metais para se produzir as ligas. Os metais e as ligas são usados em centenas de aplicações.

O grupo dos minerais não-metálicos é muito heterogêneo no Brasil. Nesse segmento são muito diferentes os padrões de produção. Existem empresas organizadas que operam dentro de modernos padrões. Entretanto, determinados bens minerais não-metálicos são lavrados de modo rudimentar, com processos produtivos muito simplificados. Alguns minerais não-metálicos deverão ter grande importância no desenvolvimento tecnológico mundial, principalmente em um contexto de mudanças climáticas.

Os agrominerais, pelas características de sua aplicação, serão analisados em um tópico específico. O Brasil é um grande consumidor de agrominerais, sendo dependente de importações para os principais insumos da cadeia de fertilizantes. De 1998 a 2008, o consumo

de fertilizantes no Brasil teve um crescimento de 70%. Assim como os minerais metálicos, os agrominerais tiveram um grande aumento de preços nos últimos anos.

Os hidrocarbonetos (petróleo e gás natural) e os minerais radioativos, cuja pesquisa e lavra são monopólios da União, não serão analisados neste trabalho.

2. MINERAIS METÁLICOS

Os minerais metálicos são aqueles que possuem metais na sua composição. Os metais são classificados como bens industriais, sendo utilizados em bens de produção e em bens de consumo. Os minerais metálicos são encontrados em estruturas geológicas muito antigas da era pré-cambriana, que representam cerca de 4% do território nacional¹. O Brasil conta com uma grande diversidade e quantidade de minerais metálicos.

Neste trabalho, serão analisados os seguintes minerais: alumínio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, estanho, ferro, gálio, índio, lítio, manganês, molibdênio, nióbio, níquel, ouro, paládio, platina, tântalo, terras-raras, titânio, tungstênio, vanádio, zinco e zircônio.

2.1 Alumínio

O minério de alumínio (Al) mais importante na crosta terrestre é a bauxita, que contém em sua composição química o óxido de alumínio. Esse óxido é a mais importante matéria-prima para a produção do alumínio metálico, que tem um uso bastante diversificado. Com ele fabrica-se desde latas de cerveja até componentes estruturais de aviões. No futuro, espera-se que os fabricantes de veículos passem a utilizar materiais leves, como o alumínio, em substituição ao aço, o que pode reduzir o consumo de combustíveis. As ligas escândio-alumínio são muito adequadas na construção de estruturas leves. O Departamento de Energia dos Estados Unidos financia pesquisa com ligas nanocristalinas manganês-alumínio.

O Al também é usado na fabricação de um tipo de bateria de íons de lítio para veículos elétricos: lítio, níquel, cobalto, alumínio e grafita (Li-NCA-G). Além disso, aluminatos de magnésio de cério ou bário são importantes na fabricação de lâmpadas fluorescentes compactas e podem vir a ser importantes na fabricação de nanotubos fotoluminescentes. Registre-se, ainda, que metais de terras-raras podem ser obtidos da lama vermelha gerada na produção de alumínio.

As reservas mundiais de bauxita, em 2010, somaram 27,4 bilhões de toneladas. O Brasil detém 9,5% desse total. As reservas brasileiras mais expressivas (95%) estão no Estado do Pará. O valor da produção mundial de bauxita é de cerca de US\$ 5,4 bilhões. A Austrália é líder em produção, com 31% do total, seguida pela China com 18%.

¹ <http://educacao.uol.com.br/geografia/minerais-metlicos-ocorrencia-e-exploracao-no-brasil.jhtm>

Em 2010, o Brasil foi o terceiro maior produtor de minério de bauxita, com produção de 31,7 milhões de toneladas. Esse volume representa 15% da produção mundial de 211 milhões de toneladas. O valor da produção nacional de bauxita é de aproximadamente US\$ 805 milhões. Em 2010, o Brasil foi exportador de bauxita, tendo sido gerada uma receita de US\$ 270 milhões.

A produção brasileira de alumina, em 2010, foi de 8,0 milhões de toneladas, enquanto a produção brasileira de alumínio primário permaneceu no patamar de 1,5 milhão de toneladas. Segundo a Associação Brasileira do Alumínio, a indústria brasileira do alumínio terá que investir R\$ 63 bilhões para atender ao crescimento projetado do consumo até 2025, que deve chegar a 4,5 milhões de toneladas.

2.2 Chumbo

O chumbo (Pb) é um metal conhecido e usado desde a antiguidade. É tóxico, pesado, macio, maleável e não conduz bem a eletricidade. É usado na construção civil, em soldas, em munições, para proteção contra emissão de raios-X, e forma parte de ligas metálicas para a produção de soldas, fusíveis, revestimentos de cabos elétricos, materiais antifricção, metais de tipografia etc.

Em 2010, as reservas mundiais atingiram 80 milhões de toneladas e as brasileiras somaram 86 mil toneladas, o que representa 0,11% das reservas globais. A produção mundial de minério e concentrado de chumbo alcançou 4,1 milhões de toneladas de metal contido. Os principais produtores de Pb primário são também os países detentores das maiores reservas do mundo: China, Austrália e Estados Unidos.

A produção brasileira de concentrado de chumbo em 2010, oriunda da Mina de Morro Agudo, Paracatu (MG), foi de 19,6 mil toneladas; em metal contido atingiu 12,8 mil toneladas, o que representou cerca de 0,29% da produção mundial. Toda a produção do concentrado de chumbo é exportada. O Brasil não tem produção primária de chumbo metálico refinado, sendo sua produção obtida a partir de reciclagem de material usado, especialmente a partir de baterias automotivas, industriais e das telecomunicações.

2.3 Cobalto

O cobalto (Co) pode ser produzido como principal produto ou como coproduto. A maior parte da produção de Co ocorre como subproduto da mineração de níquel ou cobre. Assim, a diminuição na oferta de níquel ou cobre afetaria a oferta de cobalto. Essa diminuição poderia ser compensada pela produção na República Democrática do Congo (RDC) e Marrocos. O Co é utilizado para a produção de superligas usadas em turbinas de aviões, ligas resistentes a corrosão, aços rápidos, carbetos e ferramentas de diamante.

As ligas, com aplicação em turbinas, são responsáveis por grande parte da demanda por Co. Aplicações em catalizadores e outros produtos químicos têm aumentado a demanda. No caso dos veículos elétricos, ele é usado nas baterias de níquel hidreto metálico e em um tipo de bateria de íons de lítio que contém lítio, níquel, cobalto alumínio e grafita. A produção de baterias para veículos elétricos pode aumentar muito a demanda por cobalto. O cobalto também é usado na fabricação de ímã juntamente com o samário. No entanto, não deve ser grande a utilização desse tipo de ímã. O Co-60, radioisótopo, é usado como fonte de radiação gama em radioterapia, inspeção e esterilização de alimentos.

A oferta de cobalto cresceu muito ao longo da última década e novos projetos devem entrar em operação. A posição dominante da RDC, que é responsável por cerca de 40% da oferta global, tem sido motivo de preocupação no curto prazo. No longo prazo, a entrada em operação de novos projetos vai diminuir o risco político. Além da RDC, nove outros países contam com importante produção e reservas.

A Comissão Europeia relata que cerca de 16% do Co utilizado na União Europeia vem de materiais reciclados. A demanda por baterias de íons de lítio e de níquel hidreto metálico para equipamentos eletrônicos portáteis tem aumentado muito.

Em 2010, a produção estimada de Co foi de 89,5 mil toneladas. Estima-se que, em 2015, a capacidade global de produção chegue a 180 mil toneladas. O Brasil contribui com apenas 1,6% na produção mundial, mas essa quantidade é suficiente para atender a demanda interna. Os Estados produtores, como subproduto da mineração do níquel, são Goiás, com 97% da produção nacional, e Minas Gerais, com 3% da produção nacional.

2.4 Cobre

O cobre (Cu), conhecido desde a antiguidade, é utilizado para a produção de materiais condutores de eletricidade, como fios e cabos, e em ligas metálicas como latão e bronze. Atualmente, o Cu refinado é produzido a partir de minérios a uma taxa de 16 milhões de toneladas por ano. Dados de 2010 indicam um consumo anual da China da ordem 6 milhões de toneladas, sendo a produção desse país de apenas 1 milhão de toneladas. Dessa forma, a China era obrigada a importar o equivalente a toda produção da América do Sul. Estima-se que a China poderia ser capaz de consumir toda nova produção anual de cobre até 2020, o que pode levar a um cenário de preços crescentes.

A ênfase que se tem dado aos metais críticos tem obscurecido as limitações de produção de alguns metais comuns, como o Cu. Isso é particularmente importante em um cenário de alto crescimento também de outros países como Índia, Indonésia e Brasil. Na opinião de muitos autores, a economia verde vai gerar uma grande demanda por Cu.

As reservas mundiais de minério de cobre registraram, em 2010, um total de 630 milhões de toneladas em metal contido. As reservas brasileiras somaram 9,8 milhões de toneladas de Cu contido, com destaque para os estados do Pará, Goiás e Bahia.

A produção mundial de concentrado de cobre, em metal contido, alcançou, em 2010, 16,1 milhões de toneladas. O valor da produção mundial de Cu foi de aproximadamente US\$ 136 bilhões. A China (24%), o Chile (17%), o Japão (8,1%) e os Estados Unidos (5,7%) foram os principais produtores do metal. A produção brasileira registrou 224,3 mil toneladas de cobre primário, atingindo o patamar de 1,2% do total mundial de refinado.

Em 2010, o valor da produção nacional de Cu foi de cerca de US\$ 1,8 bilhão. Participaram da produção brasileira os Estados do Pará, Bahia e Goiás. Em 2010, o Brasil foi exportador e importador de Cu, apresentando um superávit de US\$ 286 milhões. Recentemente, a Vale S.A., em sua mina de cobre em Carajás (PA), descobriu depósitos de terras-raras. O Estado do Pará detém cerca de 83% das reservas brasileiras de cobre.

Segundo o International Cooper Study Group, o mercado mundial do cobre apresentou, em 2010, um déficit de produção frente ao consumo da ordem de 252 mil toneladas.

2.5 Cromo

O cromo (Cr) é um metal bastante raro na crosta terrestre, encontrado, normalmente, na cromita. Ele tem a propriedade de ser bastante resistente à corrosão e oxidação. Por essa razão é usado no revestimento de objetos metálicos e, juntamente com o níquel, na produção de aços especiais, como os aços inoxidáveis. O Departamento de Energia dos Estados Unidos está investindo em baterias ferro-cromo para estocagem de energia.

As reservas mundiais de minério de cromo, em Cr_2O_3 contido, foram objeto de reavaliação e estão concentradas, principalmente, no Cazaquistão (180 milhões de toneladas), África do Sul (130 milhões de toneladas) e Índia (44 milhões de toneladas). As reservas brasileiras são da ordem de 6,77 milhões de toneladas, com 2,17 milhões toneladas de Cr_2O_3 contido. As reservas medida e indicada em metal contido totalizaram 2,8 milhões de toneladas.

A produção mundial de cromita, em 2010, foi de 22,52 milhões de toneladas, destacando-se como países produtores a África do Sul, Índia e Cazaquistão. O Brasil, praticamente o único produtor de cromo no continente americano, continua com uma participação modesta, da ordem de 1,02% das reservas e de 2,31% da oferta mundial de cromita.

A produção beneficiada brasileira de cromita, em 2010, atingiu 520 mil toneladas, equivalente a 258 mil toneladas de Cr_2O_3 contido. O Estado da Bahia, com participação de 82,34%, produziu 428 mil toneladas, com 38,86% de Cr_2O_3 . Em termos de

produção de concentrado, o Estado do Amapá produziu 91 mil toneladas, com 100% de Cr_2O_3 , participando com 17,66% da produção nacional. A capacidade nominal instalada de produção nacional de concentrado de cromo em Cr_2O_3 , da ordem de 767 mil toneladas por ano, está distribuída entre a Bahia (69%) e o Amapá (31%).

Em 2010, o Brasil importou 94,6 mil toneladas de produtos de cromita, no valor de US\$ 125 milhões, destacando-se como principal fornecedor a África do Sul, com 87%. A receita verificada com as exportações atingiu US\$ 24,8 milhões entre bens primários, produtos semimanufaturados, manufaturados e compostos químicos. Foram exportadas no total 87 mil toneladas de cromita.

2.6 Estanho

O estanho (Sn) é um metal maleável, pouco dúctil, de baixo ponto de fusão e altamente cristalino. Esse metal resiste à corrosão quando exposto à água do mar e à água potável, porém pode ser atacado por ácidos fortes, bases e sais ácidos. O Sn age como um catalisador quando o oxigênio se encontra dissolvido, acelerando o ataque químico. O estanho é um elemento relativamente escasso. A maior parte do estanho é produzida a partir de depósitos *placer*. O único mineral de importância comercial como uma fonte de estanho é a cassiterita (SnO_2), embora pequenas quantidades de estanho sejam recuperadas de sulfetos complexos. A sucata também é uma fonte importante de estanho.

O Sn liga-se prontamente com o ferro e foi muito usado na indústria automotiva para revestimento e acabamento da lataria. Faz uma ótima liga com chumbo e é usado como revestimento misturado ao zinco no aço para impedir a corrosão e evitar a eletrólise. Também é muito usado em telhas, correntes e âncoras. Os recipientes de aço blindados com estanho (folhas de flandres) são usados extensivamente para a conservação de alimentos e constituem um grande mercado para o estanho metálico. O Sn é também usado para soldar juntas de tubulações ou de circuitos elétricos e eletrônicos.

Na forma de ligas, o Sn é usado para a fabricação de molas, fusíveis, tubos e peças de fundição como mancais e bronzinas. Sais de estanho são usados em espelhos e na produção de papel, remédios e fungicidas. Devido à sua grande maleabilidade, é possível produzir lâminas muito finas utilizadas para acondicionar vários produtos como, por exemplo, maços de cigarros e barras de chocolate.

O estanho transforma-se num supercondutor abaixo de $3,72^\circ\text{K}$ e foi um dos primeiros supercondutores a ser estudado. Os eletroímãs supercondutores que pesam alguns quilogramas são capazes de produzir campos magnéticos comparáveis a toneladas de eletroímãs convencionais.

As reservas mundiais de estanho em 2010, segundo a publicação do Mineral Commodity Summaries (2011), eram de aproximadamente 5,2 milhões de toneladas de Sn-contido, associadas à cassiterita. A China é o país que detém as maiores reservas de estanho e também é o principal produtor do minério. Em 2010, foi responsável por mais de 44% da produção mundial. A Indonésia vem em seguida com 22% do total. Nas Américas, o destaque fica por conta do Peru, principal produtor da região e terceiro maior do mundo. O valor da produção mundial é de cerca de US\$ 7 bilhões.

O Brasil tinha, em 2010, cerca de 13% das reservas mundiais de estanho contido e a terceira maior reserva mundial. Era o quinto maior produtor mundial, com 10,4 mil toneladas. O valor da produção nacional é de aproximadamente US\$ 320 milhões. As reservas brasileiras estão localizadas em sua maior parte na região Amazônica: Província Mineral do Mapuera, no Amazonas (mina de Pitinga), e na Província Estanífera de Rondônia. Em 2010, a receita verificada com as exportações de estanho foi de US\$ 7,6 milhões. A despesa com importação foi de US\$ 1,2 milhão.

2.7 Ferro

O ferro (Fe) é um dos elementos mais abundantes na Terra. Do ponto de vista econômico, é o mais importante dos recursos minerais encontrados na crosta terrestre, pois é utilizado como insumo básico na siderurgia, setor industrial responsável pela produção da liga metálica mais usada pela humanidade que é o aço.

Em 2010, as reservas mundiais de minério de ferro eram da ordem de 180 bilhões de toneladas. As reservas brasileiras eram de 20,4 bilhões de toneladas, localizadas, em sua quase totalidade, nos Estados de Minas Gerais (teor médio de 43.6% de Fe), Pará (teor médio de 67.6%) e Mato Grosso do Sul (teor médio de 55.6%). O Brasil tinha a sexta maior reserva de minério de ferro do mundo e foi o terceiro produtor mundial, atrás da China e Austrália.

A produção mundial de minério de ferro, em 2010, foi de cerca de 2,4 bilhões de toneladas. O valor dessa produção foi de cerca de US\$ 336 bilhões. A produção brasileira foi de 372 milhões de toneladas. Minas Gerais (69,9%) e Pará (27,2%) foram os principais Estados produtores. O valor da produção nacional foi de aproximadamente US\$ 52 bilhões. As exportações brasileiras de minério de ferro e pelotas totalizaram 310,9 milhões de toneladas, com um valor de US\$ 28,9 bilhões.

No Brasil, as duas principais empresas de exploração de recursos naturais são a Petrobras e a Vale, cujos principais produtos são, respectivamente, petróleo e minério de ferro. No ano de 2011, o lucro líquido da Petrobras foi de R\$ 33,3 bilhões, enquanto o da Vale foi de R\$ 37,8 bilhões. Levando-se em consideração que a Petrobras foi responsável por pouco mais de 90% da produção de petróleo e gás natural no Brasil e que a Vale é responsável por cerca de

40% do valor da produção mineral brasileira, conclui-se que o lucro líquido do setor mineral foi maior que o do setor de produção de petróleo. Em 2011, a Vale produziu 322,6 milhões de toneladas de minério de ferro e alcançou o maior nível de sua história, sendo 4,8% acima do recorde anterior em 2010.

Observa-se, então, que o minério de ferro pode gerar grande compensação financeira para o Estado e ser o grande financiador das atividades de pesquisa e desenvolvimento nas áreas de exploração e transformação de outros bens minerais estratégicos.

A atual escassez de recursos para pesquisa e desenvolvimento do Fundo CT-Mineral não é compatível com a exploração mineral brasileira. Em 2009, o orçamento desse fundo foi de cerca de R\$ 15 milhões, proveniente de 2% da compensação financeira pela exploração de recursos minerais. Esse valor é muito inferior ao fundo setorial para a área de petróleo e gás natural – CT-Petro, que apresentou, nesse mesmo ano, um orçamento de R\$ 804 milhões.

Além dos recursos do CT-Petro, destaque-se que, em 2009, a Petrobras investiu cerca de R\$ 1,5 bilhão em atividades de desenvolvimento tecnológico em seu Centro de Pesquisas (Cenpes). Nas atividades de pesquisa exploratória, a empresa investiu aproximadamente R\$ 8,8 bilhões.

As atividades de transformação mineral, assim como as de agregação de valor aos minerais estratégicos, não recebem recursos de nenhum fundo setorial. Se for criada uma participação especial, a ser cobrada como um percentual da receita líquida das jazidas de minério de ferro de alta rentabilidade, para prover recursos para um fundo setorial que estimule essas atividades, pode haver uma “revolução” no Brasil.

2.8 Gálio

O gálio (Ga) é um metal fraco usado em dispositivos eletrônicos, principalmente em semicondutores, diodos emissores de luz (LED), células fotovoltaicas, micro-ondas e infravermelho. O Ga não ocorre em concentrações suficientes para justificar uma mineração exclusiva. Ele é extraído a partir de minérios de bauxita e de zinco, onde ocorre como um sal em concentrações inferiores a 50 ppm. O refino da alumina extrai somente 10% de Ga do minério e somente 15% dos refinadores podem recuperar o Ga.

Nos próximos anos, a demanda por células fotovoltaicas de alta eficiência pode aumentar a demanda por Ga. A taxa de crescimento da demanda vai depender do desenvolvimento da tecnologia de diselenieto de cobre, índio e gálio (CIGS) e da demanda global por sistemas fotovoltaicos. A tecnologia CIGS é apenas uma das tecnologias fotovoltaicas, que contempla, entre outras, a tecnologia de silício cristalino. Os preços do silício têm caído, o que

tem tornado a tecnologia de silício mais competitiva em relação às outras. A redução da espessura da célula e o aumento da eficiência reduziria a intensidade de consumo de materiais.

Aplicações em semicondutores que requerem Ga em alta pureza podem ter grande aumento. A demanda de curto prazo decorre de telefones celulares e *smart phones*. Os aparelhos de vídeo *blu-ray* usam nitreto de Ga. Outras aplicações são coletores fotovoltaicos de alta concentração, coletores de neutrino, aplicações biomédicas, células a combustível e pós de fósforo ativados por ultra-violeta.

Os depósitos de Ga estão distribuídos pelo mundo e não há escassez de matéria-prima. Sua produção ocorre na China, Alemanha, Cazaquistão, Ucrânia, Hungria, Japão, Rússia e Eslováquia.

2.9 Índio

O índio (In) é um metal macio, obtido como subproduto do zinco. Metade da demanda está associada com seu uso em coberturas de óxido de estanho para *displays* planos de alta eficiência. É também usado em detectores infra-vermelho, transistores de alta velocidade e células fotovoltaicas de alta eficiência. O In é usado com cobre, gálio e diselenieto em filmes finos para essas células. Outros abundantes materiais, tais como cobre, zinco, estanho e enxofre, estão sendo pesquisados com vistas a aplicação em células fotovoltaicas.

Espera-se que a demanda por coberturas para *displays*, *smart phones* e *tablets* aumente no curto prazo. O In é também um elemento de liga para semicondutores em LEDs e diodos laser. Novos usos incluem lâmpadas sem eletrodo, liga de mercúrio e barras de controle para centrais nucleares.

O aumento da oferta de In está limitado ao aumento da demanda por zinco. A China é o principal produtor, mas minas no Canadá, Japão, Coreia do Sul, Peru, Bélgica e Rússia podem também produzir e aumentar a oferta.

2.10 Lítio

O lítio (Li) é um metal leve com propriedades de reatividade eletroquímica únicas. Suas aplicações incluem o uso em cerâmicas e vidros, baterias, graxas, instalações de tratamento de ar, fundição contínua e produção de alumínio. É geralmente produzido a partir de processos evaporíticos de salmoura, mas também pode ser produzido a partir de rocha e de depósitos de espodumene.

As baterias de íons de Li são vistas por muitos como as mais viáveis para uso em veículos elétricos e híbridos. Os desenvolvimentos tecnológicos podem aumentar muito a densidade energética dessas baterias e reduzir o consumo específico de Li. As baterias ar-zinco, enxofre-sódio, células a combustível e super-capacitores podem substituir as aplicações das

baterias de íons de Li em instalações estacionárias. Para a maioria das aplicações em cerâmicas, vidros e lubrificantes, existem substitutos para o Li.

O uso de baterias de íons de Li em veículos elétricos e híbridos, *smart phones*, *tablets* e outros dispositivos compactos pode gerar um grande aumento da demanda. Estima-se também que essas baterias têm grande potencial de uso em sistemas de estocagem de energia.

Em 2010, as reservas mundiais de lítio, em óxido de lítio contido, eram de 12,5 milhões de toneladas, tendo como destaques mundiais o Chile (59,8%) e a China (27,9%). Estima-se que a Bolívia pode ter reservas de 5,4 milhões de toneladas. As reservas brasileiras eram de apenas 46 mil toneladas.

No Brasil, as reservas estão localizadas nos Estados de Minas Gerais, que possui reservas de espodumênio, amblygonita, lepidolita e petalita nos municípios de Araçuaí e Itinga, no Vale do Jequitinhonha. Há relatórios finais de pesquisa no Ceará, nos Municípios de Quixeramobim (lepidolita) e Solonópole (amblygonita), mas ainda se encontram em fase de análise e por isso não foram considerados.

Os Estados Unidos são os maiores produtores e consumidores mundiais de compostos de lítio, mas seus dados não estão disponíveis. Excluídos os Estados Unidos, a produção mundial de lítio, em 2010, foi estimada em 25,6 mil toneladas. Os principais produtores foram Chile, Austrália, China e Argentina.

Em 2010, verificou-se o início da entrada no Brasil de cerâmicas chinesas enriquecidas com lítio, o que teve impacto significativo na produção nacional. Por conta disso, a produção de minério com lítio contido para esse fim caiu 5,83% em relação ao ano anterior, ficando em 8,4 mil toneladas. Desse total, 1,38 mil toneladas foram produzidas em Araçuaí e Itinga, com teor médio de Li_2O de 4,53% (62,5 toneladas).

A maior parte do minério com lítio contido, 7,08 mil toneladas, foi produzida diretamente como pó grosso ou fino pela Companhia Brasileira de Lítio (CBL), a partir de pegmatitos da mina subterrânea da Cachoeira, em Araçuaí (MG), com teor médio de Li_2O de 0,90% (63,7 toneladas). As vendas de minério com lítio em pó da CBL, em 2010, foram de 6,8 mil toneladas, caindo 18,3% na comparação com 2009.

Nesse ano, a produção de concentrados de lítio destinados à fabricação de compostos químicos, hidróxidos e carbonatos de lítio, foi realizada integralmente pela CBL. O concentrado de Li_2O para esse fim apresentou um teor médio de 5%, o que representou 363,1 toneladas de Li_2O contido. Toda a produção foi transferida para a fábrica da CBL em Divisa Alegre (MG), onde foram produzidos 614,5 toneladas de compostos, sendo 143,5 toneladas de carbonato de lítio seco e 471 toneladas de hidróxido de lítio mono-hidratado.

2.11 Manganês

O manganês (Mn) é um metal duro e frágil muito abundante na crosta terrestre. É muito importante na produção de ligas metálicas fabricadas pelo setor siderúrgico, pois tem a propriedade de tornar o aço mais duro, tenaz e resistente ao desgaste.

Na economia verde, seu principal uso é em baterias para veículos elétricos. A demanda por essas baterias deve aumentar muito no médio prazo. Para essa aplicação, utiliza-se o dióxido de manganês (MnO_2), normalmente sintetizado química ou eletroliticamente. Também estão sendo realizadas pesquisas visando ao uso do Mn em células fotovoltaicas. O MnO_2 grau bateria é responsável por 3% a 5% da produção global de Mn; a maior parte do Mn é consumido na produção de ferro e aço. Outros usos do Mn incluem a fabricação de tijolos, produtos químicos e fertilizantes. As baterias carbono-zinco também usam MnO_2 grau bateria, mas essas baterias estão tendo seu uso diminuído.

A concentração das reservas mundiais de minério de manganês está em um grupo de sete países, que juntos somam praticamente 98% dos depósitos mundiais, quais sejam Ucrânia, África do Sul, Austrália, Brasil, Índia, Gabão e China.

A produção mundial de minério de manganês, em 2010, foi de 14,7 milhões de toneladas, com valor estimado de US\$ 2,3 bilhões. A produção brasileira de concentrado de manganês foi de 2,62 milhões de toneladas, o que representou cerca de 17,8% da produção mundial. O valor da produção nacional foi de aproximadamente US\$ 409 milhões.

O Estado do Pará foi responsável por 84% da produção nacional, seguido por Mato Grosso do Sul, com pouco mais de 7%. O Município de Parauapebas (PA) foi o maior produtor, com mais de 1,5 milhões de toneladas, o que equivale a 60% da produção nacional.

2.12 Molibdênio

O molibdênio (Mo) é um metal de transição essencial sob o ponto de vista biológico, e na indústria é muito usado na forma de ligas metálicas, principalmente no aço. Na temperatura ambiente, o molibdênio encontra-se no estado sólido. O Mo não é encontrado livre na natureza, sendo obtido como subproduto da mineração do cobre, estando presente nos minérios em proporção de 0,01% a 0,5%. Em termos geológicos, ocorre principalmente como sulfeto de molibdênio. Outras formas de mineralizações com expressão econômica podem estar associadas a greisens ou escarnitos.

Aproximadamente dois terços do molibdênio consumido são empregados em ligas metálicas de alta resistência, que suportam temperaturas elevadas e resistem à corrosão. Essas

ligas são usadas na construção de peças para aviões e automóveis. Na indústria petroquímica, é usado como catalisador. O Mo-99 é empregado na indústria de isótopos nucleares.

É empregado em diversos pigmentos para pinturas, tintas, plásticos e compostos de borracha. O dissulfeto de molibdênio é um bom lubrificante e pode ser empregado em altas temperaturas. O molibdênio pode ser empregado em algumas aplicações eletrônicas, como nas telas de projeção do tipo transistor de tela fina. Na forma de fios podem ser utilizados para usinagem por eletroerosão de corte a fio.

Em 2010, as reservas mundiais de Mo totalizaram 9,8 milhões de toneladas. China, Estados Unidos e Chile responderam por cerca de 81% da oferta global. Aproximadamente metade da produção mundial de Mo ocorre nos Estados Unidos. A China impôs cotas de exportação para o Mo.

Oficialmente não há produção de Mo em minas no Brasil. Há registros de uma produção informal de concentrado de molibdenita proveniente de atividade garimpeira que é recuperada artesanalmente como subproduto da exploração de esmeralda e berilo verde na região de Carnaíba, em Campo Formoso (BA). Trabalhos de pesquisa realizados na região de Currais Novos (RN) indicam recursos geológicos, sem demonstração de viabilidade técnico-econômica, da ordem de 300 mil toneladas de minério de Mo, com teores abaixo de 1%.

2.13 Nióbio

O nióbio (Nb) é um metal dúctil utilizado na composição de ligas metálicas que apresentam resistência e leveza. Ele é considerado estratégico em certos setores como a indústria aeronáutica, naval e espacial, além da automobilística. O Nb nunca foi encontrado livre na natureza. É encontrado em minerais tais como niobita (columbita), niobita-tantalita, pirocloro e euxenita. Minerais que contêm Nb geralmente contêm também o tântalo.

O Nb apresenta numerosas aplicações, sendo usado em alguns aços inoxidáveis e até em ligas de metais não ferrosos. Ligas com Nb, devido à resistência, são usadas para a fabricação de tubos transportadores de água e petróleo a longas distâncias. Outras aplicações incluem o uso em indústrias nucleares devido a sua baixa captura de nêutrons térmicos e em soldas elétricas. Grandes quantidades de Nb são utilizadas em superligas para fabricação de componentes de motores de jatos e subconjuntos de foguetes. Pesquisas avançadas com Nb foram realizadas no âmbito do programa Gemini². O Nb está sendo avaliado como uma alternativa ao tântalo para a utilização em capacitores.

O Nb converte-se em supercondutor quando submetido a temperaturas criogênicas. Na pressão atmosférica e quando puro, tem a mais alta temperatura crítica entre os

² O Projeto Gemini foi o segundo projeto de exploração espacial realizado pela Nasa, antecedido pelo Projeto Mercury, e ao qual se seguiu o Projeto Apollo.

supercondutores de tipo I³. Além disso, é um elemento presente em ligas de supercondutores que são do tipo II.

Em 2010, o Brasil tinha 98,43% das reservas mundiais de Nb, seguido pelo Canadá (1,11%) e Austrália (0,46%); sendo também o maior produtor mundial da substância, representando 97,08% do total mundial. O valor da produção mundial de Nb foi de aproximadamente US\$ 1,9 bilhão. O Estado de Minas Gerais e de Goiás são os maiores produtores. As principais reservas de Nb estão localizadas nos Estados de Minas Gerais, Amazonas e Goiás.

Em Minas Gerais, a cidade de Araxá detém uma reserva lavrável de 188 milhões de toneladas de pirocloro, com teor médio de 1,23% Nb₂O₅. No Estado do Amazonas existem reservas em São Gabriel da Cachoeira e em Presidente Figueiredo, onde há uma reserva lavrável de 175 milhões de toneladas de columbita-tantalita, com teor médio de 0,23% de Nb₂O₅ contido. Na cidade de Ouvidor, no Estado de Goiás, localiza-se uma reserva lavrável de 100 milhões de toneladas de pirocloro com teor médio de 0,4% de Nb₂O₅. Em Catalão (GO), há uma reserva lavrável de 3,6 milhões de toneladas de pirocloro com teor médio de 1,25% de Nb₂O₅.

O Estado de Goiás tem uma capacidade de produção de 8,25 mil toneladas por ano de concentrado de pirocloro e de 8,0 mil toneladas da liga FeNb. Em 2010, o Estado de Minas Gerais produziu 139 mil toneladas de concentrado de Nb₂O₅, 46,4 mil toneladas de Nb contido na liga FeNb padrão (66% de teor de nióbio e 30 % de ferro) e 4,3 mil toneladas de óxido de nióbio de alta pureza.

O Estado de Goiás não comercializa sua produção no mercado interno, tendo exportado, em 2010, 6,1 toneladas de liga Fe-Nb, com 4,1 toneladas de nióbio contido. A receita auferida foi de US\$ 150,9 milhões. Os principais países e blocos econômicos importadores foram: União Europeia/Holanda, Japão, Estados Unidos, China e Coreia do Sul.

Toda a demanda brasileira é atendida pelo Estado de Minas Gerais que, em 2010, destinou o Nb contido na liga FeNb padrão à Usiminas, Cosipa, Grupo Gerdau e CSN, o que representou aproximadamente 5% de sua produção. Nesse ano, os principais países importadores da liga FeNb foram Holanda, China, Estados Unidos, Cingapura e Japão, sendo gerada uma receita de US\$ 1,4 bilhão. Os Estados Unidos importaram 70% do óxido de nióbio de alta pureza, sendo o restante importado pelos países da União Europeia. O Japão importou 95% do óxido de nióbio grau ótico.

³ Existem dois tipos de supercondutor. Nos supercondutores do tipo I, o efeito Meissner é total, enquanto nos supercondutores do tipo II há uma pequena penetração das linhas de campo magnético para dentro do material.

2.14 Níquel

O níquel (Ni) é um metal raro na crosta terrestre. É um metal de transição condutor de eletricidade e calor, dúctil e maleável, porém não pode ser laminado, polido ou forjado facilmente, apresentando certo caráter ferromagnético. É encontrado em diversos minerais e em meteoritos.

É resistente a corrosão, sendo utilizado como revestimento por eletrodeposição. O metal e algumas de suas ligas metálicas, como o metal Monel, são utilizados em motores marítimos e na indústria química. Aproximadamente 65% do Ni produzido são empregados na fabricação de aço inoxidável e 12% em superligas e cerca de 23% na produção de outras ligas metálicas, baterias recarregáveis, cunhagens de moedas, revestimentos metálicos e fundição. A liga níquel-titânio (nitinol-55) apresenta o fenômeno memória de forma e é usado em robótica. Também existem ligas que apresentam alta elasticidade.

O Ni é usado em baterias para veículos elétricos, incluindo a bateria NiMH e um tipo de bateria de íons de lítio que contém lítio, níquel, cobalto alumínio e grafita. O Ni também é utilizado em catalisadores.

Em 2010, as reservas mundiais de Ni eram de 75 milhões de toneladas, localizadas em muitos países, mas com destaque para a Austrália. Os principais países produtores de Ni são Canadá, Rússia, Austrália e países do Sudeste da Ásia. Nesse ano, a produção mundial de 1,59 milhões de toneladas teve valor da ordem de US\$ 36 bilhões.

Estima-se que, em 2010, o Brasil tinha cerca 10% das reservas mundiais, tendo sido responsável por 6,8% da produção global, cujo valor da produção foi de US\$ 2,46 bilhões. Os principais Estados produtores são Goiás (74,0%), Pará (16,7%), Minas Gerais (5,1%) e Piauí (4,2%). Novas minas e instalações no Brasil e Sudeste da Ásia devem garantir o atendimento da demanda mundial.

2.15 Ouro

O ouro (Au) é um metal de transição brilhante, amarelo, pesado, maleável e dúctil que não reage com a maioria dos produtos químicos. Ele é encontrado em estado puro e em forma de pepitas e depósitos aluvionais. O Au e suas diversas ligas metálicas são muito empregados em joalherias, fabricação de moedas e como padrão monetário em muitos países. Devido à sua boa condutividade elétrica, resistência à corrosão e uma boa combinação de propriedades físicas e químicas, apresenta diversas aplicações industriais.

O ouro exerce funções críticas em computadores, comunicações, naves espaciais, motores de reação na aviação, e em diversos outros produtos. A sua elevada condutividade elétrica e resistência à oxidação têm permitido um amplo uso em eletrodeposição. O ouro coloidal (nano-partículas de ouro) é uma solução intensamente colorida que está sendo

pesquisada para fins médicos e biológicos. É empregado para o recobrimento de materiais biológicos, permitindo a visualização através do microscópio eletrônico de varredura. Também é utilizado como cobertura protetora em muitos satélites porque é um bom refletor de luz infravermelha.

Em 2010, a produção mundial de ouro foi da ordem de 2,652 mil toneladas, mantendo a tendência de elevação observada em 2009, quase atingindo o nível recorde de 2001 de 2,654 mil toneladas. A China atingiu novo recorde com 340,88 toneladas.

Devido à extração e comércio ilegal, é difícil chegar-se a um registro preciso da produção nacional de ouro. O Brasil conta, segundo números oficiais, com 5,1% das reservas e 2,3% da produção mundial. Em 2010, o Brasil produziu cerca de 62 toneladas, posicionando-se como 13º maior produtor mundial. O valor da produção brasileira, em 2010, foi de aproximadamente US\$ 2,72 bilhões. O Estado de Minas Gerais foi destaque na produção nacional com 49%. Os outros Estados produtores foram Goiás (15%), Bahia (10%), Pará (7%) e Mato Grosso (6%). A produção oficial de garimpos, calculada a partir do recolhimento de tributos, atingiu cerca de 6,45 toneladas.

2.16 Paládio

O paládio (Pd) é um metal branco prateado parecido com a platina que não se oxida com o ar. É o elemento do grupo da platina de menor densidade e menor ponto de fusão. É macio e dúctil quando aquecido, aumentando consideravelmente sua dureza e resistência quando trabalhado a frio, sendo utilizado na odontologia.

O Pd pode, à temperatura ambiente, absorver grandes quantidades de hidrogênio molecular. Acredita-se que o processo forme Pd₂H. Na indústria elétrica, é utilizado na fabricação de contatos em sistemas eletromecânicos, como por exemplo *relays*. Na indústria química, é usado como catalisador de reações de hidrogenação e na catálise de frações de petróleo destilado.

Muitos cientistas estão pesquisando o uso do Pd em células a combustível, pois ele é mais abundante e barato que outros metais utilizados. O Pd seria mais ativo, o que significa ser necessária menos energia na catálise.

As reservas brasileiras de paládio, em 2010, eram de 8,21 toneladas de minério contido, localizadas no Estado do Pará. A produção brasileira de metais do grupo platina restringe-se à exploração de Pd como subproduto do beneficiamento de ouro, que, por sua vez, também é subproduto da produção de minério de ferro realizado pela Vale S.A. na mina Conceição (MG). No entanto, em 2010, não ocorreu produção de platinóides.

Nesse ano, a produção global de Pd foi de 197 toneladas. A Rússia foi o maior produtor mundial, com participação de 44%, seguida pela África do Sul, com 37,1%.

2.17 Platina

A platina (Pt) é um metal de transição precioso, maleável e dúctil. É resistente à corrosão, sendo só solubilizada com ácidos de altíssimo potencial de redução. Dependendo das condições, pode reagir com haletos, halogênios, enxofre, ferro, níquel e outros elementos. É empregada na fabricação de eletrodos e joias. Também, é muito utilizada em reações químicas como catalisador. Os veículos com célula a combustível normalmente usam uma membrana eletrolítica polimérica, que pode ter materiais como a Pt.

As reservas mundiais dos Metais do Grupo Platina (MGP), grupo formado pelos elementos platina (Pt), paládio (Pd), ródio (Rd), rutênio (Rh), irídio (Ir) e ósmio (Os), estão estimadas em, aproximadamente, 66 mil toneladas. As maiores reservas concentram-se na África do Sul (95,5%). A segunda maior reserva mundial encontra-se na Rússia e representa cerca de 1,7% do total.

As reservas brasileiras de Pt, em 2010, eram de 5,58 toneladas de minério contido, localizadas no Estado do Pará. Não se tem registro de produção de platina no Brasil.

2.18 Tântalo

O tântalo (Ta) é um metal de transição raro, pesado, dúctil, muito duro, resistente à corrosão por ácidos e bom condutor de calor e eletricidade, encontrado principalmente no mineral tantalita, euxenita e outros minerais como a samarskita e a fergusonita. A tantalita é encontrada, na maioria das vezes, misturada com a columbita.

Em temperaturas abaixo de 150 °C, o tântalo é quase completamente imune ao ataque químico. Somente é atacado pelo ácido fluorídrico ou mediante fusão alcalina. O elemento tem um ponto de fusão apenas menor que o do tungstênio e o rênio. O tântalo tem a maior capacitância por volume entre todas as substâncias. Seu principal uso é na produção de componentes eletrônicos, principalmente capacitores, que são muito pequenos em relação a sua capacidade. Por causa da vantagem do tamanho e do peso, os principais usos incluem telefones, computadores pessoais e produtos eletrônicos automotivos.

O Ta também é usado para produzir uma série de ligas que possuem altos pontos de fusão, alta resistência e boa ductilidade. O tântalo de carbono, um tipo de carbetto muito duro, é usado para produzir ferramentas de cortes, furadeiras e máquinas trefiladoras. Em superligas, é usado para produzir componentes de motores de jatos, equipamentos para processos químicos, peças de mísseis e reatores nucleares. Filamentos de Ta são usados para a evaporação de outros metais como o alumínio.

Por ser não irritante e imune à ação dos fluidos corporais, é usado em equipamentos e implantes cirúrgicos na medicina e odontologia. Seu óxido é usado para elevar o índice de refração de vidros especiais para lentes de câmera.

As reservas mundiais de Ta, em 2010, eram de aproximadamente 130 mil toneladas de metal contido. As reservas de tântalo contido estão estimadas em 87 mil toneladas. Brasil e Austrália são os países com as maiores reservas com, respectivamente, 59% e 36%.

As reservas brasileiras de tântalo estão localizadas principalmente na mina de Pitinga, localizada no município de Presidente Figueiredo (AM), operada pelo grupo peruano Minsur S.A. As reservas nessa mina são de cerca 175 mil toneladas de minério columbita-tantalita, com 35 mil toneladas de Ta₂O₅ contido, ocorrendo ainda criolita e outros minerais portadores de lítio, ítrio, urânio, tório, terras-raras e zircônio.

O Brasil é o principal produtor de Ta, com uma produção de 176 toneladas, que corresponde a 26,6% da produção mundial. Moçambique é o segundo produtor mundial, com 16,6% do total. No mercado global, destacam-se, ainda, as produções da Austrália e Canadá.

As importações de produtos industrializados de tântalo somaram 28 toneladas, sendo provenientes, principalmente, da China, Coreia do Sul e Estados Unidos.

2.19 Terras-raras

São denominados terras-raras o conjunto de dezessete elementos químicos da tabela periódica formado pelos quinze lantanídeos mais o escândio e o ítrio, que também são considerados terras-raras por ocorrerem, normalmente, nos mesmos depósitos minerais que os lantanídeos e exibirem propriedades químicas similares. O número atômico⁴ dos lantanídeos varia de 57 (lantânio) a 71 (lutécio); o número atômico do escândio é 21 e o do ítrio 39.

Os lantanídeos podem ser classificados em:

- leves (57-60): lantânio (La), cério (Ce), praseodímio (Pr) e neodímio (Nd);
- médios (61-64): promécio (Pm), samário (Sm), európio (Eu) e gadolínio (Gd);
- pesados (65-71) : térbio (Tb), disprósio (Dy), hólmio (Ho), érbio (Er), túlio (Tm), itérbio (Yb) e lutécio (Lu).

Os terras-raras também costumam ser classificados apenas em leves e pesados. Os leves seriam os elementos do lantânio (57) ao európio (63), e os pesados do gadolínio (64) ao lutécio (71), incluindo-se o ítrio.

Apesar de o ítrio ser mais leve que os lantanídeos, ele é normalmente incluído no grupo de pesados por causa de suas associações químicas e físicas com os elementos

⁴ Termo usado para designar o número de prótons encontrados no núcleo de um átomo.

pesados em depósitos naturais. O escândio, por sua vez, nem sempre é classificado como terras-raras, talvez por seu menor potencial econômico.

Os terras-raras estão presentes em mais de duzentas e cinquenta espécies minerais conhecidas. Entretanto, somente em algumas dessas espécies ocorrem terras-raras em concentração suficiente para justificar sua exploração. Dessa forma, elas respondem praticamente pela totalidade da produção dos terras-raras. Depois de serem processados, os óxidos de terras-raras são refinados e convertidos em metais, que depois são combinados com outros metais para se produzir as ligas contendo terras-raras. Essas ligas são usadas em centenas de aplicação, principalmente na área de alta tecnologia.

As principais espécies minerais que contêm terras-raras são monazita⁵, bastnaesita⁶, xenotima⁷ (ou xenotímio) e argilas portadoras de terras-raras adsorvidos sob forma iônica. Essas argilas, exploradas apenas na China, e a xenotima são as principais fontes de terras-raras pesados. A monazita e a bastnaesita são também importantes fontes de terras-raras, principalmente leves.

Grandes depósitos de bastnaesita são encontrados na China e nos Estados Unidos. No Brasil, Austrália, Índia, África do Sul, Tailândia e Sri Lanka, os elementos terras-raras ocorrem em monazita e em areias com outros minerais pesados. Também é importante destacar a ocorrência, no Brasil, de importantes concentrações de terras-raras na monazita, encontrada tanto em depósitos do tipo *placer*⁸ quanto em carbonatitos⁹, e na xenotima.

A China possui 36,5% das reservas mundiais de terras raras, seguida pela Comunidade dos Estados Independentes e Estados Unidos. A China continua na liderança da produção mundial, com mais de 97%. Em 2010, a produção da China foi de 133 mil toneladas. É importante registrar que a redução das cotas de exportação de terras-raras pela China, que começaram a ser implantadas no final de 2010, levou a uma elevação dos preços internacionais. Isso provocou um maior interesse na pesquisa mineral e na produção de terras-raras em outros países. Para atender a demanda mundial de óxidos de terras-raras, em 2015, a oferta fora da China deverá ser de 45 mil a 70 mil toneladas. Os projetos Mount Weld, na Austrália, e Mountain Pass, nos Estados Unidos, têm capacidade para produzir 60 mil toneladas por ano até 2013. Apesar de ser possível atender a demanda de alguns óxidos de terras-raras, muitas previsões indicam a possibilidade de haver escassez de outros, como disprósio, térbio, neodímio, európio e ítrio.

O Brasil já foi produtor de terras-raras a partir de areias monazíticas. Oficialmente, o Brasil não tem grandes reservas de terras-raras. Conta, no entanto, com depósitos

⁵ Mineral fosfatado no qual predominam as terras-raras leves e com presença de tório.

⁶ Fluorcarbonato no qual as terras-raras leves predominam.

⁷ Fostato de ítrio com presença de terras-raras pesados.

⁸ Concentração mecânica superficial de partículas minerais provenientes de detritos de intemperismo.

⁹ Rochas ígneas ricas em minerais carbonáticos.

com grande potencial para produção de óxidos de terras-raras. Atualmente, existem alguns projetos minerários em andamento ou em análise.

O Projeto Araxá, da empresa canadense MBAC, e a já citada mina de Pitinga merecem destaque. O primeiro poderá ser uma importante fonte de óxidos de terras-raras em 2015; a segunda poderá ser uma fonte de óxidos de terras-raras pesados. No entanto, mais importante que a atividade de mineração de terras-raras no Brasil é a construção de uma cadeia produtiva para se agregar valor ao recurso natural.

Atualmente, os elementos terras-raras estão presentes em vários produtos comerciais, como, por exemplo: carros; catalizadores para refino do petróleo; fósforos em telas de televisão, monitores e *laptops*; ímãs permanentes; baterias recarregáveis para veículos híbridos ou elétricos e diversos equipamentos médicos. Os ímãs permanentes de neodímio-ferro-boro, que também podem conter praseodímio, disprósio e térbio, são usados em vários componentes elétricos e eletrônicos e nos modernos geradores para turbinas eólicas e nos motores para veículos elétricos.

Na área de defesa, podem-se destacar as aplicações de terras-raras em caças, sistemas de controle de mísseis, sistemas de defesa antimísseis e sistemas de comunicação e satélites. Nessa área, é importante registrar o uso dos terras-raras em dois materiais para ímãs permanentes: samário-cobalto (SmCo) e o já citado neodímio-ferro-boro (NdFeB).

Os ímãs NdFeB são considerados os ímãs permanentes mais fortes do mundo e são essenciais para muitos armamentos militares. Já os ímãs SmCo retêm sua resistência magnética em elevadas temperaturas e são ideais para tecnologias militares como mísseis guiados de precisão, bombas inteligentes e aeronaves.

A Tabela 2.19.1 mostra os terras-raras mais usados e alguns exemplos de aplicação.

Tabela 2.19.1 Exemplos de aplicação de terras-raras

Terras-raras leves	Aplicação	Terras-raras pesados	Aplicação
Lantânio	Motores híbridos, ligas metálicas	Térbio	Fósforos, ímãs permanentes
Cério	Catalizadores para carro e para refino de petróleo, ligas metálicas	Disprósio	Ímãs permanentes, motores híbridos
Praseodímio	Ímãs	Érbio	Fósforos

Neodímio	Catalizadores para carro e para refino de petróleo, discos rígidos para <i>laptops</i> , fones de ouvido, ímãs, motores híbridos	Hólmio	Corantes de vidro, lasers
Samário	Ímãs	Túlio	Equipamentos médicos de raio X
Európio	Cor vermelha para televisão e telas de computadores	Lutécio	Catalizadores para refino de petróleo
		Itérbio	Lasers, ligas de aço
		Gadolínio	Ímãs
		Ítrio	Cor vermelha, lâmpadas fluorescentes, cerâmicas, agente de ligas metálicas

2.20 Titânio

O titânio (Ti) é um elemento metálico muito conhecido por sua excelente resistência à corrosão e por sua grande resistência mecânica. Possui baixa condutividade térmica e elétrica e é um metal leve, tendo 40% da densidade do aço. Quando puro é bem dúctil e fácil de trabalhar. O ponto de fusão relativamente alto faz com que seja útil como um metal refratário. O Ti é 60% mais pesado que o alumínio, porém duas vezes mais resistente.

Não é encontrado livre na natureza, porém é o nono em abundância na crosta terrestre e está presente na maioria das rochas ígneas e sedimentos derivados dessas rochas. É encontrado principalmente na ilmenita, leucoxena e rutilo. Também ocorre como titanato em minas de ferro.

Na forma de metal e suas ligas, cerca de 60% do Ti é utilizado nas indústrias aeronáutica e aeroespacial. Na indústria naval, o Ti é empregado em equipamentos submarinos e de dessalinização de água do mar; na indústria aeronáutica, é usado na fabricação das pás da turbina dos turbofans, turbojatos e turbo-hélice; na indústria nuclear, é empregado na fabricação de recuperadores de calor; na indústria bélica, é sempre empregado na fabricação de

mísseis e peças de artilharia; na indústria metalúrgica, o Ti é usado em ligas com cobre, alumínio, vanádio e níquel. O rutilo é usado na fabricação de revestimento para eletrodos de soldar.

As reservas de Ti na forma de ilmenita e rutilo totalizaram, em 2010, aproximadamente 650 mil toneladas, sendo que mais da metade dessas reservas estavam concentradas em três países: China (30,77%), Austrália (15,38%) e Índia (13,08%). As reservas brasileiras de ilmenita e rutilo eram de 3 mil toneladas e representavam apenas 0,5% das reservas globais.

Em 2010, a produção mundial de concentrado de Ti foi de 6,4 mil toneladas, com valor de produção da ordem de US\$ 2 bilhões. Aproximadamente 91% da produção mundial de titânio é obtida da ilmenita, mineral de titânio de ocorrência mais comum, enquanto que o restante vem do rutilo, mineral com maior teor de titânio, porém mais raro. Os maiores produtores mundiais de Ti foram Austrália (21,1%), África do Sul (19,5%), Canadá (10,9%) e China (9,4%).

O Brasil é o maior produtor da América Latina, tendo produzido, em 2010, aproximadamente 2% da produção mundial de Ti. Os principais municípios produtores no Brasil são Mataraca (PB), Santa Bárbara de Goiás (GO), Floresta (PE) e São Francisco de Itabapoana (RJ).

2.21 Tungstênio

O tungstênio (W) é um metal encontrado na natureza apenas combinado com outros elementos. Os seus minérios mais importantes são a volframita e a scheelita. O elemento livre é notável pela sua robustez, especialmente pelo fato de possuir o mais alto ponto de fusão de todos os metais e o segundo mais alto entre todos os elementos, a seguir ao carbono. Também notável é a sua alta densidade, 19,3 vezes maior que a da água, comparável às do urânio e ouro, e mais alta que a do chumbo. O W com pequenas quantidades de impurezas é frequentemente frágil e duro, tornando-o difícil de trabalhar. Quando puro é mais dútil e pode ser cortado com uma serra de metais.

A forma elementar não combinada é usada, sobretudo, em aplicações eletrônicas. As ligas de W têm numerosas aplicações, destacando-se os filamentos de lâmpadas incandescentes, tubos de raios X e superligas. Sua dureza e elevada densidade tornam-no útil em aplicações militares como projéteis penetrantes. Os compostos de W são geralmente usados industrialmente como catalisadores.

Embora existam substitutos, o W é utilizado na fabricação de caixas pretas de avião, nas brocas das sondas de perfuração de petróleo em águas profundas, na indústria metalúrgica, em lâmpadas e até na esfera da caneta esferográfica.

O básico substrato de arame para semicondutores de alta temperatura é o níquel e o W. Os semicondutores de alta temperatura podem substituir os arames de cobre convencionais encontrados em enrolamentos de eletroímãs, motores e geradores elétricos. O W é paramagnético, entretanto resultados teóricos sugerem grande melhoria nas propriedades magnéticas quando adicionado ao ferro e cobalto.

A China detinha, em 2010, 65% das reservas mundiais. Também existem reservas na Rússia (9%), nos Estados Unidos (5%) e no Canadá (4%). As reservas mundiais são de aproximadamente 2,9 milhões de toneladas.

Em 2010, as reservas brasileiras de W eram de cerca de 42 mil toneladas. Desse total, aproximadamente 70% ocorrem em recursos de scheelita no Estado do Rio Grande do Norte e são caracterizadas pelo elevado teor de WO_3 . As reservas oriundas dos depósitos de wolframita estão nos Estados do Pará (17%) e Rondônia (13%).

A produção chinesa representou 85% do total produzido em 2010. Além disso, a China é o país de maior consumo no mundo. No ano de 2010, os controles chineses sobre a produção e exportação, bem como a suspensão temporária de vendas, resultaram na redução da oferta e aumento dos preços.

Em 2010, a produção brasileira de concentrado de scheelita foi de 290 toneladas, equivalente a 166 toneladas de W contido, sendo registrado um declínio de 14% em relação ao ano anterior, principalmente porque não houve produção do concentrado de wolframita, cujo teor médio apresenta 65% de WO_3 .

2.22 Vanádio

O principal uso do vanádio (V) é como liga em ações de alta resistência e como catalizador na produção de ácido sulfúrico. Também é usado no eletrólito para baterias redox vanádio. Essas baterias representam uma tecnologia emergente, com grande potencial para aplicação em estocagem de energia da rede. O V usado em eletrólitos para bateria tem que ser na forma de vanádio puro. Esse vanádio representa a maior parte do custo da bateria.

O V pode ser obtido de uma grande variedade de depósitos naturais, incluindo rochas fosfáticas, magnetita titanífera e areias uraníferas. Grandes quantidades de V também são encontradas na bauxita e em materiais carboníferos. Contudo, o V normalmente é um subproduto ou coproduto de outras operações.

Em 2010, as reservas brasileiras de V, em metal contido, eram de 175 mil toneladas de V_2O_5 , com teor médio de 1,34%. O município de Maracás (BA) concentra a principal reserva de vanádio no Brasil, o qual ocorre associado a ferro e titânio. Nesse ano, as reservas mundiais, em termos de metal contido, eram de 13,8 milhões de toneladas, sendo que as

reservas brasileiras representavam 1,27% deste total. As maiores reservas no mundo, que estão sendo lavradas, estão localizadas na China, Rússia e África do Sul.

A produção mundial foi de 56 mil toneladas em 2010. A África do Sul, China e Rússia abastecem o mercado mundial com 98,21% do total produzido. No Brasil, não há registro de produção de minério ou concentrado de V. Está previsto para 2013 o início da produção comercial de 5 mil toneladas por ano de ferro-vanádio, no Município de Maracás (BA).

2.23 Zinco

O zinco (Zn) é um metal, às vezes classificado como metal de transição, que apresenta semelhanças com o magnésio e o berílio, além dos metais do seu grupo. Esse elemento é pouco abundante na crosta terrestre, porém pode ser obtido com facilidade. As jazidas mais ricas contêm cerca de 10% de ferro e entre 40% e 50% de zinco. Os minerais dos quais se extrai o Zn são esfalerita, blenda, smithsonita, hemimorfita e franklinita.

Na presença de umidade, forma uma capa superficial de óxido ou carbonato básico que isola o metal e o protege da corrosão. O metal apresenta uma grande resistência à deformação plástica a frio que diminui com o aquecimento, obrigando a laminá-lo acima dos 100 °C. O Zn é empregado na fabricação de ligas metálicas como o latão e o bronze, além de ser utilizado na produção de telhas e calhas residenciais. É, ainda, utilizado como metal de sacrifício para preservar o ferro da corrosão em algumas estruturas, na produção de pilhas secas e como pigmento em tinta de coloração branca.

Destaca-se, contudo, sua aplicação no processo de galvanização de peças metálicas, principalmente aço, para conferir-lhe resistência à corrosão. Cerca de 49% do consumo nacional é destinado a esse processo. O Zn também é utilizado como matéria-prima para a produção de ligas metálicas, pigmentos, pilhas secas, entre outros produtos.

As pilhas não recarregáveis e as células a combustível recarregáveis mecanicamente de zinco-ar são baterias eletrolíticas que funcionam por meio da oxidação do zinco ao ar atmosférico. Possuem em regra altas densidades energéticas, são relativamente fáceis de produzir e de baixo custo. Aplicações futuras desse tipo de bateria incluem seu emprego em carros elétricos e em sistemas de estocagem de energia em grande escala.

As reservas de zinco estão distribuídas por mais de quarenta países e são da ordem 250 milhões de toneladas. Apenas Austrália, China, Peru, Cazaquistão, México, Estados Unidos e Índia detêm mais de 68% das reservas mundiais. No Brasil, as principais ocorrências de zinco estão localizadas nos Estados de Minas Gerais e Mato Grosso. As reservas brasileiras são de aproximadamente 2,6 milhões de toneladas.

A produção mundial de concentrado de zinco, em termos de metal contido, atingiu 12 milhões de toneladas em 2010. Os maiores produtores são China (29,2%),

Peru (12,7%), Austrália (12,1%), Índia (6,3%), Estados Unidos (6,0%) e Canadá (5,6%), que respondem por mais de 70,0% da produção mundial. A produção brasileira de 211 mil toneladas representou 1,7% do total.

2.24 Zircônio

O zircônio (Zr) é um metal muito resistente à corrosão. É mais leve que o aço, com uma dureza similar ao cobre. Quando está finamente dividido pode arder espontaneamente em contato com a atmosfera. Não é encontrado na natureza como metal livre, porém formando numerosos minerais. A principal fonte de zircônio é proveniente do zircão (silicato de zircônio). O zircão é obtido como subproduto de mineração e processamento de metais pesados de titânio, a ilmenita e o rutilo, e também do estanho. Também é encontrado em outros minerais, como na badeleyita.

Cerca de 90% do consumo decorre do uso como revestimento de reatores nucleares, devido sua seção de capturas de nêutrons ser muito baixa. Como aditivo em aço, aumenta sua resistência. Também é empregado em ligas com o níquel na indústria química, devido a sua resistência à corrosão.

O óxido de zircônio impuro é utilizado na fabricação de utensílios de laboratório que suportam mudanças bruscas de temperaturas, revestimentos de fornos e como material refratário em indústrias cerâmicas e de vidro. Também é empregado em trocadores de calor, tubos de vácuo e filamentos de lâmpadas. Pode ser usado como agente incendiário para fins militares. A liga com o nióbio apresenta supercondutividade a baixas temperaturas, podendo ser empregado para construir ímãs supercondutores.

Em 2010, as reservas globais eram de 57,3 milhões de toneladas. Austrália e África do Sul contam as maiores reservas. As reservas brasileiras de minério de zircônio, de 4,04 milhões de toneladas, referem-se às mineralizações primárias, aluviões mineralizados e areias com minerais pesados. Essas reservas encontram-se distribuídas nos Estados do Amazonas, Rio de Janeiro, Minas Gerais, São Paulo, Paraíba e, de forma menos expressiva, nos estados de Tocantins e Bahia.

Com relação à produção mundial de concentrado de Zr, não foi possível realizar inferências completas. Informações da produção doméstica dos Estados Unidos não estão disponíveis por razões de sigilo e proteção da propriedade intelectual da empresa produtora daquele país.

A produção brasileira, em 2010, foi de 23,2 mil toneladas. Os principais Estados produtores são Amazonas, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Paraíba e, de forma menos expressiva, Tocantins e Bahia.

3. MINERAIS NÃO-METÁLICOS

Os minerais não-metálicos são aqueles cuja exploração não é motivada por seu conteúdo metálico, ainda que possuam metais em sua composição. Entre os minerais não metálicos estão o diamante, o enxofre e o carbono sob a forma de grafita, o silício e o telúrio. As pedras preciosas e semi-preciosas usadas em joias também são classificadas como minerais não metálicos, mas não serão analisadas neste estudo.

3.1 Carvão mineral

O carvão mineral é uma rocha sedimentar combustível, que ocorre em estratos chamados camadas de carvão. As formas mais duras, como o antracito, podem ser consideradas rochas metamórficas devido à posterior exposição a temperatura e pressão elevadas. É composto primeiramente por carbono e quantidades variáveis de enxofre, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio e elementos vestigiais. Existem quatro tipos principais de carvão mineral: turfa, linhito, hulha e antracito, em ordem crescente do teor de carbono. É extraído do solo por mineração a céu aberto ou subterrânea. Entre os diversos combustíveis produzidos e conservados pela natureza sob a forma fossilizada, acredita-se ser o carvão mineral o mais abundante. O coque e o alcatrão de hulha, seus subprodutos, são importantes para muitas indústrias modernas.

China (44,5%), Estados Unidos (13,5%), Índia (7,8%), Austrália (5,8%) e Rússia (4,4%) foram os principais produtores em 2010. Na geração de energia elétrica no mundo, o carvão mineral, com 40,6% de participação, foi a principal fonte. Em seguida vieram o gás natural (21,4%), hídrica (16,2%), nuclear (13,4%), derivados do petróleo (5,1%) e outras fontes (3,3%).

Para o Brasil, os dados de 2010 indicaram uma matriz energética formada por petróleo (38,0%), derivados da cana (17,7%), hídrica (14,2%), lenha e carvão vegetal (9,6%), gás natural (10,2%), carvão mineral (5,1%) e nuclear (1,4%) e outras fontes renováveis (3,9%). Com relação à oferta interna de energia elétrica, o ranking é o seguinte: hidráulica (74,9%), importação (6,3%), biomassa (5,5%), derivados do petróleo (3,1%), gás natural (5,8%), nuclear (2,6%), carvão mineral (1,3%) e eólica (0,4%).

Em 2010, a produção brasileira de carvão mineral foi de 6,31 milhões de toneladas. O valor dessa produção foi da ordem de US\$ 1,1 bilhão. O fator estimulante para esse resultado foi o avanço na demanda por energia elétrica de cerca de 9,4% devido ao crescimento da atividade econômica no país em relação ao ano de 2009. No ranking nacional, o Estado do Rio Grande do Sul (RS) permanece sendo o maior produtor, com 54,8% da produção total, ficando Santa Catarina (SC) com 43,6% e o Paraná apenas com 1,5%.

A importação de bens primários do carvão mineral, em 2010, foi de US\$ 3,58 bilhões. Os principais fornecedores foram: Estados Unidos (37%), Austrália (27%), Colômbia (10%), Canadá (8%), China (5%) e outros (13%).

3.2 Diamante

O diamante é uma forma alotrópica do carbono (C). O diamante pode ser convertido em grafite, o alotropo termodinamicamente estável em baixas pressões, aplicando-se temperaturas acima de 1.500°C sob vácuo ou atmosfera inerte. Em condições ambientes, essa conversão é extremamente lenta. Sendo carbono puro, o diamante arde quando exposto a uma chama, transformando-se em dióxido de carbono. É solúvel em diversos ácidos e infusível, exceto a altas pressões.

O diamante é o mais duro material de ocorrência natural que se conhece. Isso significa que não pode ser riscado por nenhum outro mineral ou substância, exceto o próprio diamante, funcionando como um importante material abrasivo.

O interesse popular nos diamantes centra-se no seu valor como gemas, mas os cristais têm ainda uma maior importância como ferramentas industriais. As variedades negras e microcristalinas são utilizadas na indústria como abrasivos de alta qualidade ou como ferramentas de talha ou como perfuradores para materiais de dureza elevada. Podem ser usados para cortar, torneiar e furar alumina. O pó de diamante é usado para polir aços e outras ligas.

Atualmente, existe a possibilidade de fazer diamantes sintéticos, submetendo grafite a pressões elevadas. No entanto, o resultado são quase sempre cristais de dimensões reduzidas para poderem ser comercializados como gemas. A chance de adquirir um diamante sintético no lugar de um natural é quase nula. A estabilidade térmica do diamante sintético é menor do que o natural. Em ambiente oxidativo, como ao ar, o diamante sintético oxida (grafitiza) a temperaturas em torno de 850 °C. Em atmosfera controlada, sua temperatura de resistência à grafitação é próxima aos 1200°C.

Em 2010, a reserva mundial foi estimada em 589,5 milhões de quilates. De acordo com os dados do Mineral Commodity Summaries (2011), a República Democrática do Congo detém as maiores reservas, seguida de Botsuana e Austrália. O Brasil contribuiu com 1,6% da reserva mundial, considerando a reserva declarada pelos detentores de concessões de lavra. O Estado de Mato Grosso detém cerca de 62% das reservas nacionais, seguindo por Minas Gerais (37%) e Paraná (1%).

Dados do Kimberley Process Certification Scheme indicam que, em 2010, a produção mundial foi da ordem de 133 milhões de quilates. O Brasil contribuiu com apenas 0,02% dessa produção. Os principais produtores são a Rússia, Botsuana, República Democrática do Congo e África do Sul, que juntos contribuíram com 68% da produção mundial.

3.3 Enxofre

O enxofre (S) é frágil, leve, desprende um odor característico de ovo podre ao misturar-se com o hidrogênio. Em todos os estados, sólido, líquido e gasoso apresenta formas alotrópicas cujas relações não são completamente conhecidas. O enxofre é usado em múltiplos processos industriais como, por exemplo, na produção de ácido sulfúrico para baterias, fabricação de pólvora e vulcanização da borracha. Após ser oxidado em forno, formando o gás sulfito, é utilizado na clarificação do caldo de cana-de-açúcar, numa das etapas para obtenção do açúcar refinado. O enxofre também tem usos como fungicida e na fabricação de fosfatos fertilizantes e em processamento de minérios, como os elementos terras-raras.

Praticamente 90% do enxofre produzido mundialmente são utilizados na fabricação do ácido sulfúrico, enquanto 60% deste são usados na fabricação de fertilizantes fosfatados. O ácido sulfúrico pode ser produzido também como subproduto do beneficiamento de sulfetos metálicos. Em meados de 2007 e boa parte de 2008, a alta demanda por fertilizantes e metais fez com que os preços de enxofre e ácido sulfúrico disparassem.

O maior produtor mundial são os Estados Unidos, onde 91% da produção foram oriundas de enxofre recuperado de refinarias de petróleo, processamento de gás natural e coquerias, enquanto que o restante foi produzido em plantas metalúrgicas.

No Brasil, 63% de nossa produção são na forma de ácido sulfúrico como subproduto do tratamento e metalurgia de ouro, cobre, níquel e zinco, enquanto que 37% são enxofre elementar recuperado do refino do petróleo e processamento do gás natural. O enxofre recuperado de petróleo e gás natural provém de dez refinarias de petróleo e xisto, que produziram, em 2010, cerca de 168 mil toneladas. Como subproduto de sulfetos, o enxofre é produzido em Camaçari (BA), Nova Lima, Juiz de Fora, Três Marias e Fortaleza de Minas, cidades localizadas no Estado de Minas Gerais.

3.4 Grafita

Grafite ou grafita é um mineral, um dos alótropos do carbono (C). A grafita pode ser natural ou sintética. A grafita natural é de origem metamórfica, normalmente encontrada em xistos, gnaisses e filitos, como veios, lentes, bolsões ou disseminações. Representa uma das três formas alotrópicas encontradas na natureza, juntamente com o carvão e o diamante. Já a grafita sintética é produzida industrialmente a partir do uso de altas temperaturas e pressão, e de materiais como o coque de petróleo e a antracita. A grafita natural pode ser encontrada em mais de uma forma na natureza. A microcristalina, conhecida comercialmente como "grafite amorfo"; a forma cristalina é conhecida como grafite cristalino tipo "flocos" ou "flake" ou grafite de veio ou "lump".

A grafita é utilizada em diversas aplicações industriais. É utilizada principalmente na produção de tijolos e peças refratárias, catodo de baterias alcalinas, aditivo na re-carburação do ferro e do aço, lubrificantes sólidos ou a base de óleo e água, escovas de motores elétricos, minas de lápis e lapiseiras, gaxetas de vedação, etc. Ao contrário do diamante, a grafita é condutora, podendo ser usada, por exemplo, como eletrodo de uma lâmpada elétrica. Novas aplicações como dissipadores de calor em computadores, baterias de íons de lítio, células a combustível e centrais solares são grandes consumidores de grafita.

As reservas mundiais de grafita são relativamente pouco detalhadas, mas as informações oficiais totalizam 131,4 milhões de toneladas; reservas de 59,5 milhões de toneladas estão localizadas no Brasil. A China e Índia são os principais produtores mundiais, respondendo por 84,5% da produção mundial em 2010.

Os produtores de grafita natural têm recuperado seu poder de elevar os preços de comercialização do produto, devido à ampliação da aplicação da substância nas áreas siderúrgica, indústria aeroespacial, energia nuclear, produtos eletrônicos, fundição, lubrificantes e pilhas. Os preços da grafita estão em ascensão e passaram de US\$ 1,35 mil por tonelada para mais de US\$ 2,0 mil por tonelada durante o quarto trimestre de 2010.

A produção brasileira, em 2010, foi de 88 mil toneladas, o que corresponde a 8% da produção mundial, permanecendo em 3º lugar entre os principais produtores mundiais. Há ocorrência de grafita natural em quase todos os estados brasileiros, mas as reservas de maior economicidade estão localizadas, principalmente, nos Estados de Minas Gerais, Ceará e Bahia. No Estado de Minas Gerais, ficam localizadas as principais reservas lavráveis. Uma das maiores reservas e com maior grau de cristalinidade localiza-se no Município de Pedra Azul (MG).

3.5 Quartzo

O quartzo é o mais abundante mineral da Terra. Alguns autores consideram mais abundantes os feldspatos, que, no entanto, constituem um grupo formado de várias espécies. O quartzo tem uma estrutura cristalina composta por tetraedros de dióxido de silício. Ocorre geralmente em pegmatitas graníticas e veios hidrotermais. Cristais bem desenvolvidos podem atingir vários metros de extensão e pesar centenas de quilogramas. Pode também ter origem metamórfica ou sedimentar. Geralmente associado aos feldspatos e micas. É constituinte essencial de granito, arenito, quartzitos por exemplo. Adicionalmente, pode ocorrer em camada, particularmente em variedades como a ametista.

O quartzo pode ser usado em moldes de fundição, vidro, esmalte, saponáceos, dentifrícios, abrasivos, lixas, fibras ópticas, refratários, cerâmica, produtos eletrônicos, relógios, indústria de ornamento, instrumentos ópticos e de vasilhas químicas. Alguns cristais de quartzo são piezoelétricos e podem ser usados como osciladores em aparelhos

eletrônicos tais como relógios e rádios. Dos diversos semicondutores utilizados para a produção de células fotovoltaicas, destacam-se o silício cristalino, o silício policristalino, o silício amorfo hidrogenado, o telureto de cádmio CdTe e os compostos relacionados com o cobre, índio e selênio.

O cristal de quartzo, além de poder ser obtido na natureza, pode ser obtido por crescimento hidrotérmico na indústria de quartzo cultivado (*cultured quartz*). Desde os anos 1930 até o final da década de 1970, o Brasil destacava-se como fornecedor do quartzo natural. No entanto, o quartzo natural passou a ser substituído pelo quartzo cultivado, que passou a obter ampla aceitação na maioria das aplicações. Os fabricantes nacionais de cristais osciladores e filtros de cristal continuam importando as barras de cristais cultivados. Os principais setores de utilização dos cristais osciladores e filtros de quartzo são as indústrias de relógios eletrônicos, jogos eletrônicos, automóveis, equipamentos de telecomunicações, computadores e equipamentos médicos.

Em 2010, a produção de cristal cultivado no Brasil foi bem limitada, continuando, assim, a dependência brasileira desse produto de importância estratégica para a indústria eletrônica nacional. O continente asiático continua sendo a região que concentra os maiores produtores mundiais de quartzo cultivado.

As reservas mundiais de grandes cristais naturais ocorrem quase exclusivamente no Brasil e, em quantidades menores, em Madagascar, Namíbia, China, África do Sul, Canadá e Venezuela. Em 2010, o consumo de cristais piezoelétricos pela indústria dos Estados Unidos foi atendido pelas importações.

Os recursos e reservas de quartzo no Brasil estão associados a dois tipos de jazimentos: quartzo de veios hidrotermais (primários) e de pegmatitos e quartzo em sedimentos eluviais, coluviais e aluviões (secundários). Nos depósitos primários, é extraído na forma de lascas que pesam menos de 200 gramas e na forma de cristais bem formados ou blocos naturais.

Em 2010, a produção nacional de cristal de quartzo foi de 13 mil toneladas, com destaque para os Estados da Bahia, Goiás, Minas Gerais e Espírito Santo. Na produção brasileira de cristais predomina o pequeno minerador e o minerador informal. Os cristais usados na indústria de cristal cultivado (cristais de grau eletrônico) são mais raros e de produção esporádica.

O Brasil é o único produtor de blocos de quartzo natural com propriedades piezoelétricas, especialmente nos Estados de Goiás, Minas Gerais e Bahia, que são usados, principalmente, na produção de ligas de silício para a indústria metalúrgica e para uma pequena produção de silício metálico.

Em 2010, as importações de cristal de quartzo em todas as suas formas totalizaram US\$ 28,3 milhões. As importações de cristal de quartzo não industrializados, em relação a 2009, cresceram 39,93%. As principais importações de quartzo no Brasil são de produtos manufaturados: cristais piezoelétricos montados e suas partes e, em menor quantidade, cristal cultivado bruto e usinado. O dispêndio com importações de manufaturados foi de US\$ 27,5 milhões.

Os principais países exportadores de manufaturados de quartzo para o Brasil foram: China (56%), Coréia do Sul (14%), Taiwan (11%), Japão (8%) e Malásia (4%). Em 2010, a quase totalidade das importações de manufaturados (99,9%) foi de cristais piezoelétricos para a indústria eletroeletrônica.

O Brasil, como um dos maiores produtores mundiais de silício grau metalúrgico, com capacidade de produção de aproximadamente 200 mil toneladas por ano, tem possibilidade de agregar valor a este produto que atualmente é comercializado a preços de aproximadamente US\$ 1,5 por quilograma, podendo passar para cerca de US\$ 30 a US\$ 60 por quilograma, dependendo da qualidade do produto produzido.

Com o estabelecimento de uma indústria produtora de silício grau solar para a produção de células fotovoltaicas, haverá condições favoráveis para projetos de implantação e expansão de indústrias fabricantes de células e painéis solares no Brasil.

3.6 Telúrio

O telúrio (Te) pode ser considerado semi-metal. À temperatura ambiente, o telúrio encontra-se no estado sólido. O Te é raramente encontrado na forma nativa. Frequentemente é encontrado na forma de telureto de ouro (calaverita) ou, em pequena quantidade, combinado com outros metais constituindo os minérios altaíta, coloradoíta, ricardíta, pedzíta, silvaníta e tetradímíta. A principal fonte comercial de telúrio é a lama anódica obtida a partir da refinação eletrolítica do cobre.

O Te é um subproduto cujo suprimento pode ser limitado pelas concentrações encontradas no principal minério, por limitações na capacidade de refino e pela dinâmica do mercado do produto principal. Normalmente, o Te ocorre em baixas concentrações no minério que contém o produto principal, geralmente cobre. Um valor típico de produção é de 2,5 kg de Te por 500 toneladas de cobre processado.

A maior parte do Te é usado em ligas com outros metais. É adicionado ao chumbo para aumentar a sua resistência mecânica, durabilidade e diminuir a ação corrosiva do ácido sulfúrico. Quando adicionado ao aço inoxidável e cobre, torna esses materiais mais facilmente usináveis. Outros usos incluem o ferro para molde, cerâmicas, adição à borracha e pigmentação azul de vidro. O Te é utilizado na camada refletora de discos compactos, sob a

forma de uma liga com a prata, o estanho e o índio. O Te coloidal tem ação fungicida, inseticida e germicida. O telureto de bismuto apresenta uso em dispositivos termoelétricos.

O Te apresenta potenciais aplicações células fotovoltaicas de filme fino que consomem telureto de cádmio (CdTe). Apesar do aumento da eficiência na geração de energia elétrica a partir da energia solar, ainda não houve um aumento significativo na demanda de Te, pois as células convencionais de silício cristalino continuam sendo as mais utilizadas, respondendo por cerca de 90% do mercado global. Ressalte-se, contudo, que a fatia de mercado das células de filme fino deve crescer, pois os filmes finos requerem menos material, podem ser fabricados em rolos contínuos e podem ser depositados em substratos flexíveis.

Austrália, Bélgica, China, Alemanha, Casaquistão, Filipinas, Rússia e Reino Unido detém cerca de 73% das reservas globais de Te no minério de cobre. O refino de Te a partir do cobre está bem distribuído pelo mundo, com Japão, Canadá, Estados Unidos e China sendo os principais refinadores. Estima-se que, em 2010, foram produzidas 630 toneladas.

4. AGROMINERAIS

Os mais importantes agrominerais estão relacionados ao fósforo, potássio, enxofre e calcário agrícola. O enxofre já foi citado anteriormente no item sobre não metálicos.

4.1 Fósforo

O fósforo (P) não é encontrado nativo na natureza, porém forma parte de numerosos minerais. A apatita é uma importante fonte de fósforo. Pelas funções que desempenha na vida animal ou vegetal, não tem sucedâneo. Na forma de fosfatos, o P é encontrado em jazidas que ocorrem por todo o mundo. Está contido em rochas de depósitos sedimentares, ígneos e biogénéticos. Os depósitos sedimentares e os depósitos de origem ígnea são os mais importantes do ponto de vista econômico.

Em 2010, O International Fertilizer Development Center realizou um estudo de reavaliação das reservas e recursos mundiais de fosfato. Nesse estudo, concluiu-se que as reservas de fosfato são muito maiores do que se estimava. As reservas do Marrocos e da Saara Ocidental tiveram suas reservas aumentadas de 5,7 bilhões de toneladas para 50 bilhões de toneladas.

Estima-se que, em 2010, foram produzidas 176 mil toneladas de fosfato. A produção nacional foi de 6,19 mil toneladas. No ritmo atual da produção, as reservas mundiais serão suficientes por vários séculos. Em 2010, a China dominou a produção mundial com

praticamente 37% de participação, mais que o dobro da soma dos 2º e 3º colocados, os Estados Unidos, Marrocos e Saara Ocidental, com 14,8% de participação cada.

No Brasil, o minério de rocha fosfática tem sido extraído há alguns anos de forma expressiva nos Estados de Minas Gerais, Goiás, São Paulo e Bahia. O concentrado de rocha fosfática apresenta um teor médio de 35% de P_2O_5 , produto que é utilizado na fabricação do ácido fosfórico.

A produção em 2010 foi ligeiramente maior que a de 2009, sendo que o complexo de Tapira (MG) respondeu por 33,4% da produção nacional, seguido de Catalão (GO), com 20,7% da produção, e de Araxá (MG), com 19%. Outras participações importantes foram as de Cajati (SP), Lagamar (MG), Angico dos Dias (PI) e Irecê (BA). Em Irecê, a extração é realizada no rejeito, estando as reservas esgotadas.

Segundo a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), em 2010, a produção nacional de ácido fosfórico teve um aumento de 17,3% em relação a 2009. Entre os produtos intermediários com fins fertilizantes, o superfosfato simples e o triplo tiveram altas de 18,9% e 17,7% em relação a 2009, respectivamente. As entregas de fertilizantes, em 2010, foram 9,4% maiores que em 2009.

As importações brasileiras de bens primários, ácido fosfórico e produtos intermediários de fosfato cresceram em 2010 em relação a 2009. No entanto, as quantidades e os dispêndios ainda ficaram distantes do recorde do ano de 2008, quando o Brasil gastou US\$ 4 bilhões só nesses produtos, contra US\$ 1,6 bilhão de dólares, em 2010.

Os bens primários foram oriundos do Marrocos (50%) e Argélia (24%), entre outros, enquanto que os produtos intermediários vieram do Marrocos (25%), Estados Unidos (19%), Rússia (15%) entre outros.

Os projetos em implantação no Brasil estão localizados na região de Patrocínio-Serra do Salitre (MG) e Itataia-Santa Quitéria (CE), previstos para iniciarem a produção em 2013/2014.

Em 2010, teve início a operação da jazida de fosfato de Bayovar, no Peru, uma *joint venture* das empresas Vale (40% do capital total e 51% do capital votante), Mosaic (35% do capital) e Mitsui (25% do capital), cuja estimativa de produção é de 3,9 milhões de toneladas de concentrado por ano.

4.2 Potássio

O potássio (K) é o segundo metal mais leve. É um elemento muito maleável, tem um ponto de fusão muito baixo, arde com chama violeta e apresenta uma coloração prateada nas superfícies não expostas ao ar, já que se oxida com rapidez. Assim como os demais

metais alcalinos, reage violentamente com a água, desprendendo hidrogênio, podendo inflamar-se espontaneamente em presença desta substância.

O K é o sétimo elemento mais abundante. Devido a sua insolubilidade, é muito difícil obter o metal puro a partir dos seus minerais. Ainda assim, em antigos leitos marítimos e lagos existem grandes depósitos de minerais de potássio (carnalita, langbeinita, polihalita e silvina), dos quais é economicamente viável a extração do metal e seus sais.

A principal fonte de potássio é a potassa, extraída nos Estados Unidos e Alemanha. Em Saskatchewan, no Canadá, há grandes depósitos de potassa a 900 metros de profundidade, que no futuro podem converter-se em importantes fontes de potássio e sais de potássio. Atualmente o metal puro é obtido por eletrólise do hidróxido de potássio.

Em 2010, as reservas mundiais de óxido de potássio (K_2O) eram de 9,2 bilhões de toneladas. O Canadá com 47,7% e a Rússia com 35,8% detinham as maiores reservas e eram os maiores produtores mundiais com cerca de 48,7%. As reservas brasileiras eram de 17,6 milhões de toneladas de K_2O . A produção brasileira era de 418 mil toneladas. Nesse ano, o Brasil ocupava a 11ª colocação em termos de reservas e a 9ª posição em relação à produção mundial.

As reservas de sais de potássio no Brasil estão localizadas em Sergipe e no Amazonas. No Estado de Sergipe, nas regiões de Taquari/Vassouras e Santa Rosa de Lima, as reservas medidas de silvinita ($KCl + NaCl$) totalizaram em 2010, 485,1 milhões de toneladas, com teor médio de 9,7% de K_2O equivalente. Dessas, 78,9 milhões de toneladas de minério *in situ* (teor de 22,41% de K_2O), correspondendo a 17,7 milhões de toneladas de K_2O equivalente, representam a reserva da mina de Taquari/Vassouras.

Trabalhos de reavaliação de reservas de silvinita na região de Santa Rosa de Lima, a 16 km de Taquari-Vassouras, apontam como reserva minerável, por métodos convencionais, 66,9 milhões de toneladas de minério *in situ*, o que equivale a 15,48 milhões de toneladas de K_2O .

Ainda em Sergipe, são conhecidos importantes depósitos de carnalita. As reservas totais de carnalita em Sergipe (medida + indicada + inferida), com teor médio de 8,31% de K_2O equivalente, alcançam cerca de 12,9 bilhões de toneladas. A viabilidade de aproveitamento econômico dessas reservas depende da realização de testes tecnológicos, já em andamento, em área piloto. No Amazonas, nas localidades de Fazendinha e Arari, na região de Nova Olinda do Norte. As reservas oficiais de silvinita (medida + indicada) somam 1,008 bilhão de toneladas, com teor médio de 18,47% de K_2O equivalente. Não há, ainda, projeto de exploração dessas reservas da silvinita do Amazonas.

Também é importante registrar a renovação de arrendamento de ativos e direitos minerários de potássio no Estado de Sergipe. O contrato foi firmado entre a Petrobras e a Vale S.A. De acordo com o contrato, a Petrobras permitirá que a Vale S.A., por mais 30 anos,

explora as reservas de carnalita. Quando entrar em operação, o Projeto Carnalita será a maior planta de potássio do país. Em seu primeiro estágio, a previsão é de adicionar um volume de 1,2 milhão de toneladas por ano à produção de potássio em Sergipe. Num segundo estágio, a produção chegará a 2,4 milhões de toneladas por ano. Anualmente são produzidas 600 mil toneladas de cloreto de potássio, a partir dos sais de silvinita na mina que é arrendada da Petrobras desde 1992.

4.3 Calcário agrícola

Os calcários são rochas sedimentares que contêm minerais com quantidades acima de 30% de carbonato de cálcio (aragonita ou calcita). Quando o mineral predominante é a dolomita, a rocha calcária é denominada calcário dolomítico. As principais impurezas que contêm o calcário são as sílicas, argilas, fosfatos, carbonato de magnésio, gesso, glauconita, fluorita, óxidos de ferro e magnésio, sulfetos, siderita, sulfato de ferro dolomita e matéria orgânica. Os calcários, na maioria das vezes, são formados pelo acúmulo de organismos inferiores, como cianobactérias, ou pela precipitação de carbonato de cálcio na forma de bicarbonatos, principalmente em meio marinho. Também podem ser encontrados em rios, lagos e no subsolo (cavernas). Todas as rochas carbonáticas compostas predominantemente por carbonato de cálcio ou carbonato de cálcio e magnésio são fontes para a obtenção de corretivos de acidez dos solos.

O Mineral Commodity Summaries (2011) sugere que as reservas mundiais de calcário e dolomito, mesmo não sendo estimadas especificamente, seriam adequadas para atender a demanda mundial durante muitos anos. Estima-se que as maiores reservas estejam com os maiores produtores mundiais.

As reservas brasileiras de calcário agrícola podem ser consideradas como as mesmas reservas brasileiras de calcário, independentemente de sua aplicação. A análise de relatórios de lavra de 194 empresas produtoras indica reservas medidas de calcário agrícola (calcários dolomíticos, calcários magnesianos e dolomitos) superiores a 2 bilhões de toneladas.

A produção nacional oficial, em 2010, foi de cerca 19 milhões de toneladas. Segundo dados da Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola, a produção de calcário agrícola no país em 2010 foi de 24,7 milhões de toneladas.

Em 2010, a região Centro-Oeste foi a maior produtora, com 37,9% do total produzido, seguida da região Sul, com 27,8%, Sudeste, com 24,2%, Norte com 5,5% e Nordeste, com 4,7%. Os principais Estados produtores, responsáveis por mais de 60% da produção nacional, foram Mato Grosso, com 19,2%, Paraná, 17,2%, São Paulo, 13,4% e Goiás, 12,4%.

5. VALOR ESTRATÉGICO

Neste trabalho, o valor estratégico de cada mineral foi determinado a partir dos seguintes itens: criticidade geológica, concentração da oferta, crescimento da demanda, receitas e margens de lucro e importância para o desenvolvimento sustentável.

Para analisar o valor estratégico de cada mineral, os minerais foram divididos em quatro classes: metálicos, terras-raras, não-metálicos e agrominerais. Para cada uma dessas classes foi construída uma matriz de valor estratégico, conforme mostrado nas Tabelas 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4.

Conforme mostrado na Tabela 5.1, que trata dos minerais metálicos, com exceção dos terras-raras, o cobre foi considerado o mineral mais estratégico, pois os cinco itens receberam avaliação “alta”. Em seguida, vieram o cromo, o índio, o molibdênio, o nióbio e o paládio com quatro avaliações “altas”. Com três avaliações “alta” ficaram o ferro, o gálio, o manganês, o níquel, a platina, o tântalo, o titânio e o vanádio.

A Tabela 5.2 trata, especificamente dos terras-raras. Nessa Tabela, merecem destaque o neodímio, o európio, o disprósio, o térbio e o ítrio, todos com cinco avaliações “alta”. Em seguida, tem-se o lantânio, o cério, o praseodímio com três avaliações “alta”. É importante ressaltar que no item concentração da oferta, todos os elementos terras-raras receberam avaliação “alta”.

A matriz de valor estratégico dos minerais não-metálicos é mostrada na Tabela 5.3. Nessa Tabela, a grafita e o telúrio, com quatro avaliações “alta” e o quartzo com três avaliações “alta”.

No caso dos agrominerais, tanto o fósforo quanto o potássio ficaram com quatro avaliações “alta”, conforme mostrado na Tabela 5.4.

Tabela 5.1 Tabela de valor estratégico dos minerais metálicos

Bem mineral	Criticalidade geológica	Concentração da oferta	Crescimento de demanda	Receitas ou lucros	Importância para o desenvolvimento sustentável
Alumínio	média	média	alta	alta	média
Chumbo	alta	média	alta	baixa	baixa
Cobalto	alta	alta	alta	baixa	alta
Cobre	alta	alta	alta	alta	alta
Cromo	alta	alta	alta	média	alta
Estanho	média	média	média	média	baixa
Ferro	média	alta	alta	alta	média
Fósforo	alta	alta	alta	baixa	média
Gálio	baixa	média	alta	baixa	alta
Índio	média	alta	alta	baixa	alta
Lítio	média	média	alta	média	alta
Manganês	média	média	alta	média	alta
Molibdênio	alta	alta	alta	média	alta
Nióbio	alta	alta	alta	alta	média
Níquel	média	média	alta	alta	alta
Ouro	média	média	média	alta	média
Paládio	alta	alta	alta	média	média
Platina	alta	alta	alta	média	alta
Tântalo	alta	alta	alta	média	média
Titânio	média	alta	alta	média	média
Vanádio	alta	alta	alta	baixa	média
Tungstênio	alta	alta	alta	baixa	média
Zinco	baixa	baixa	média	alta	alta
Zircônio	média	baixa	média	baixa	média

Tabela 5.2 Tabela de valor estratégico dos terras-raras

Bem mineral	Criticalidade geológica	Concentração da oferta	Crescimento de demanda	Receitas ou lucros	Importância para o desenvolvimento sustentável
Cério	baixa	alta	alta	alta	média
Disprósio	alta	alta	alta	alta	alta
Érbio	média	alta	média	média	baixa
Escândio	baixa	alta	baixa	média	baixa
Európio	alta	alta	alta	alta	alta
Gadolínio	média	alta	média	baixa	média
Hólmio	média	alta	baixa	baixa	baixa
Itérbio	média	alta	média	baixa	alta
Ítrio	alta	alta	alta	alta	alta
Lantânio	baixa	alta	alta	alta	média
Lutécio	média	alta	baixa	baixa	baixa
Neodímio	alta	alta	alta	alta	alta
Praseodímio	baixa	alta	alta	média	alta
Promécio	média	alta	média	baixa	baixa
Samário	média	alta	alta	média	média
Térbio	alta	alta	alta	alta	alta
Túlio	média	alta	alta	baixa	baixa

Tabela 5.3 Tabela de valor estratégico dos minerais não-metálicos

Bem mineral	Criticalidade geológica	Concentração da oferta	Crescimento de demanda	Receitas ou lucros	Importância para o desenvolvimento sustentável
Carvão	baixa	baixa	alta	alta	baixa
Diamante	alta	média	média	média	baixa
Enxofre	baixa	baixa	baixa	média	média
Grafita	alta	alta	alta	baixa	alta
Quartzo	baixa	baixa	alta	baixa	alta
Telúrio	alta	alta	alta	baixa	alta

Tabela 5.4 Tabela de valor estratégico dos agrominerais

Bem mineral	Criticalidade geológica	Concentração da oferta	Crescimento de demanda	Receitas ou lucros	Importância para o desenvolvimento sustentável
Calcário	baixa	baixa	alta	média	alta
Fósforo	média	alta	alta	alta	alta
Potássio	média	alta	alta	alta	alta

6. CONCLUSÕES

O Brasil é rico em minerais estratégicos. No entanto, ao contrário do que ocorre no setor petrolífero, esses minerais geram pouquíssimos benefícios para a sociedade brasileira.

Nesse trabalho, ficaram em posição de destaque nas matrizes de valor estratégico os seguintes bens minerais:

- metálicos: cobre, cromo, índio, molibdênio, nióbio, paládio, ferro, gálio, manganês, níquel, platina, tântalo, titânio e vanádio;
- terras-raras: neodímio, európio, disprosio, térbio, ítrio, lantânio, cério e praseodímio;
- não-metálicos: grafita, telúrio e quartzo; e
- agrominerais: fósforo e potássio.

A demanda por minerais estratégicos no mundo já é significativa e deve se tornar mais importante ainda no futuro, especialmente em tecnologias com foco no desenvolvimento sustentável. Atualmente, os minerais estratégicos estão presentes em vários produtos comerciais, como, por exemplo: catalizadores, aviões, veículos e computadores. Na área de defesa, podem-se destacar as aplicações de minerais estratégicos em caças, sistemas de controle de mísseis e sistemas de comunicação.

O mundo tem importantes reservas e depósitos de minerais estratégicos, sendo muito grande o potencial de produção desses minerais em vários países. A China tem buscado ter controle sobre parte da produção e, principalmente, da cadeia produtiva desses minerais. A posição dominante da China tem causado a dependência de bens estratégicos por parte de muitos países, inclusive do Brasil.

Um plano estratégico parece ter sido concebido e implementado na China ao longo das últimas décadas, com o objetivo de se construir uma cadeia produtiva integrada no país. O Brasil, ao contrário, não tem desenvolvido pesquisa e não tem uma política de construção de uma cadeia produtiva para os minerais estratégicos.

Com o grande aumento de preço de muitos minerais, empresas, como a Vale S.A., têm obtido grandes lucros. Os lucros decorrentes da produção de minério de ferro, por exemplo, podem gerar receitas para que o Brasil invista na pesquisa mineral e na construção de uma cadeia produtiva para os minerais estratégicos.

Mais importante que a atividade de mineração de elementos estratégicos é a construção de uma cadeia produtiva para se agregar valor ao recurso natural. Apesar de importantes iniciativas governamentais, é clara a falta de uma política industrial para minerais estratégicos no Brasil.

As políticas públicas brasileiras não devem se limitar à produção de mais um bem mineral primário para exportação, mas devem incluir atividades de pesquisa e desenvolvimento e de transformação mineral, de forma a construir uma indústria de alta tecnologia e de alto valor agregado no Brasil, a exemplo do que ocorreu e ocorre na China e em outros países, como Estados Unidos, Japão, Coreia do Sul e países da União Europeia.



TECNOLOGIAS E MINERAIS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Paulo César Ribeiro Lima
Consultor Legislativo da Área XII
Recursos Minerais, Hídricos e Energéticos

ESTUDO
JUNHO/2012



Câmara dos Deputados
Praça 3 Poderes
Consultoria Legislativa
Anexo III - Térreo
Brasília - DF



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	3
2 TURBINAS EÓLICAS	4
3 CARROS ELÉTRICOS.....	10
3.1 Motores elétricos	10
3.2 Baterias	13
4 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	15
5 CÉLULAS A COMBUSTÍVEL.....	17
6 CATALISADORES PARA VEÍCULOS	19
7 ILUMINAÇÃO EFICIENTE	20
8 CONCLUSÕES.....	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

© 2012 Câmara dos Deputados.

Todos os direitos reservados. Este trabalho poderá ser reproduzido ou transmitido na íntegra, desde que citados o autor e a Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados. São vedadas a venda, a reprodução parcial e a tradução, sem autorização prévia por escrito da Câmara dos Deputados.

Este trabalho é de inteira responsabilidade de seu autor, não representando necessariamente a opinião da Câmara dos Deputados.

TECNOLOGIAS E MINERAIS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem por objeto analisar tecnologias, bens minerais e cadeias produtivas importantes para a economia verde que poderão ser apresentadas na Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, a ser realizada no Brasil em junho de 2012 (RIO +20).

O desenvolvimento de tecnologias e a produção de novos materiais, que dependem dos recursos minerais estratégicos, vêm se intensificando, principalmente na China, Estados Unidos, Japão, Coreia e países da União Europeia. O Brasil pode contribuir no esforço global rumo a uma economia verde, pois conta com recursos naturais e humanos de grande qualidade.

É importante ressaltar que a restrição da oferta de alguns minerais estratégicos pela China pode afetar o emprego e desenvolvimento de importantes tecnologias em outros países. Em geral, a cadeia produtiva dos bens minerais pode ser decomposta em várias etapas. Após extraído, o minério é triturado e moído. Em seguida, ocorre o processo de concentração; depois da concentração, ocorre a separação dos materiais de interesse. Esses materiais são refinados e convertidos em metais, que combinados com outros metais produzem ligas. Os metais e as ligas são usados em novas tecnologias fundamentais para o desenvolvimento sustentável.

As novas tecnologias, e os respectivos minerais nelas empregados, que serão analisadas neste trabalho são: turbinas eólicas, carros elétricos, células fotovoltaicas, células a combustível, catalisadores e iluminação eficiente.

2 TURBINAS EÓLICAS

A geração de energia elétrica a partir dos ventos, energia eólica, tem crescido muito em todo o mundo. A capacidade de energia eólica global cresceu 21% em 2011, passando de 197 mil MW para 238 mil MW, o que equivale à potência de dezessete hidrelétricas de Itaipu. Mais de 40% do aumento total ocorreu na China, cuja capacidade instalada aumentou para 62 mil MW. No Brasil, o crescimento foi de 62%, passando de 927 para 1509 MW¹.

O segundo maior crescimento na capacidade instalada foi verificado nos Estados Unidos, que chegou a 52 mil MW em 2011. A Índia aparece em terceiro lugar, atingindo 16 mil MW. Já na Europa, o aumento da capacidade instalada representou 25% do total mundial. Em termos da capacidade final disponível em 2011, o continente europeu ocupa o primeiro lugar no mundo, com 96 mil MW.

No Brasil, a marca de 1 mil MW foi alcançada em junho de 2011. A maioria dos parques eólicos nacionais encontram-se nas regiões Nordeste e Sul do país. Segundo o Diretor Executivo da Associação de Energia Eólica, o Brasil terá um crescimento ainda mais expressivo nos próximos anos. O país conta com uma carteira de novos projetos já contratados de mais de 7 mil MW para serem entregues até 2016. O potencial de geração de energia eólica no Brasil é superior a 143 GW².

Os geradores para aplicação em turbinas eólicas podem ser classificados quanto ao tipo (síncrono ou assíncrono), controle de potência e formas de conexão elétrica. O gerador síncrono pode ter circuito de excitação independente ou usar ímãs permanentes. A regulação de tensão gerada é relativamente simples neste tipo de máquina, pois consiste no

¹ Informação obtida no endereço eletrônico <http://www.ecodebate.com.br/2012/02/10/energia-eolica-no-brasil-cresce-62-em-2011-com-acrescimo-de-cerca-de-600-mw>. Página acessada no dia 30 de maio de 2012.

² Informação obtida no endereço eletrônico <http://www.energiabrasil.com.br/website/artigo.asp?cod=559&id=567>. Página acessada no dia 30 de maio de 2012.

monitoramento da tensão de saída e controle da corrente de excitação. O gerador assíncrono pode ter rotor gaiola de esquilo ou rotor bobinado. São máquinas mais robustas, relativamente fáceis de construir, conseqüentemente mais baratas. Possuem também alta relação entre potência e peso. O sistema de regulação de potência usado nesses geradores é muito importante, pois é ele que determina o grau de estabilidade e qualidade da energia entregue à rede elétrica.

Outra classificação está relacionada com a forma de conexão do sistema à rede elétrica, que pode ser direta ou por intermédio de conversor eletrônico. Na maioria das configurações, são usados multiplicadores de velocidade para compensar a baixa rotação das turbinas eólicas. Para não utilizar estes multiplicadores, o gerador deve ser construído com um número maior de pólos no rotor.

As modernas turbinas eólicas com rotores de três pás são as mais comuns em todo o mundo, devido ao menor peso e pela disposição simétrica das mesmas. O material tradicionalmente utilizado para a fabricação de hélices é a fibra de vidro. Existe uma tendência para a utilização de epóxi reforçado com fibra de vidro ou carbono. Outra possibilidade é utilizar aramida como material de reforço.

Os sistemas conectados diretamente à rede elétrica e com velocidade fixa apresentam problemas com a qualidade de energia, principalmente devido às variações de frequência e tensão resultantes de qualquer tipo de perturbação. Variações de velocidade na turbina aparecem na potência elétrica de saída.

Nesse caso, os geradores são fabricados de uma forma simples, de baixa potência e com poucos polos no rotor. Dessa forma, necessitam de multiplicador de velocidade.

O gerador síncrono deve trabalhar com rotação constante, tornando o grupo rígido, exigindo sincronização com a rede e, conseqüentemente, não permitindo nenhuma regulação de velocidade. Já o gerador assíncrono permite uma pequena variação de velocidade devido ao escorregamento, fazendo com que o grupo seja um pouco mais

flexível, sendo também mais robusto, de menor custo e não emite componentes harmônicos.

Os sistemas conectados à rede elétrica por meio de conversor de velocidade mantêm o torque do gerador constante. A potência elétrica de saída é praticamente constante, sem quaisquer variações significativas. Esses sistemas usam conversores eletrônicos para “isolar” as perturbações recebidas pela turbina, garantindo, assim, uma boa interação do sistema eólico com o sistema elétrico.

Tanto na solução com gerador síncrono quanto na solução com gerador assíncrono, o conversor eletrônico apresenta um grande impacto no custo, já que toda a potência do grupo passa para a rede através do conversor.

No caso do gerador assíncrono conectado diretamente à rede elétrica com rotor bobinado duplamente alimentado e velocidade variável, o controle de velocidade é feito através de conversor conectado ao circuito do rotor. Essa configuração permite uma ampla faixa de regulação de velocidade, aproximadamente 30 % abaixo e acima de sua velocidade síncrona. Nesse caso, o conversor eletrônico necessita ser dimensionado para no máximo 30% da potência do gerador, pois a potência do rotor é a potência do gerador multiplicado pelo escorregamento. Essa é uma grande vantagem de custos, fazendo com que esta solução seja bastante competitiva. São usados geradores de poucos polos, mas exige-se um multiplicador de velocidade. Essa configuração é largamente utilizada para potências de até 5 MW, por apresentar custo inicial baixo, robustez e grande eficiência na transformação eletromecânica da energia dos ventos.

No caso do gerador síncrono conectado à rede elétrica por meio de conversor, sem multiplicador de velocidade e velocidade variável, utiliza-se excitação independente ou rotor de ímãs permanentes. O gerador requer grande número de polos, não utiliza multiplicador de velocidade, gera potência em frequência baixa e variável, de acordo com a velocidade da turbina. No lugar do multiplicador de velocidade, é necessário apenas um planetário de um único estágio com custo e manutenção menores.

As turbinas eólicas com ímãs permanentes no rotor são as que apresentam maior rendimento, pois praticamente não tem perdas no rotor. Esse conceito é bastante utilizado por apresentar uma grande eficiência na transformação eletromecânica da energia dos ventos e por não necessitar do multiplicador de vários estágios de velocidade. Essas turbinas são robustas e boas candidatas para aplicações offshore, e têm gerado um aumento na demanda de ímãs permanentes de neodímio. Segundo Fairley (2010), as turbinas com ímãs de neodímio, um dos elementos terras-raras, já representam 14% do mercado.

A principal tendência nesse mercado é o aumento do tamanho e da potência das turbinas. Em 2009, as turbinas com potência inferior a 2,5 MW eram responsáveis por mais de 90% do mercado. Em 2012, a fatia de mercado dessas turbinas deve cair para 62% (Troedson 2011). O aumento das turbinas tende a aumentar o uso de ímãs permanentes de terras-raras, pois esses ímãs reduzem o tamanho e o peso dos geradores. A China produz 75% dos ímãs do neodímio³.

Outra tendência é a redução da velocidade das turbinas, o que permite a geração de energia elétrica com menores velocidades do vento. As turbinas de menor velocidade tendem a ter acionamento direto. Além de mais eficientes, a ausência de multiplicador reduz os custos de manutenção. Essas turbinas, no entanto, exigem maiores ímãs permanentes, o que significa maior teor de terras-raras.

Constantinides (2011) estima que turbinas de acionamento direto demandem 600 quilogramas de materiais de ímã permanente por megawatt. Isso implica consumir algumas centenas de quilogramas de terras-raras por megawatt (GE, 2011).

O Brasil prevê um aumento da geração eólica de 10 mil MW nos próximos 10 anos. Considerando um consumo de 600 quilogramas de ímãs neodímio-ferro-boro (NdFeB) por MW, e que as máquinas geradores com ímãs representem 5% do mercado, a demanda por ímãs para geradores eólicos instalados no Brasil seria de 30 toneladas por ano.

³ Informação obtida no endereço eletrônico <http://www.asm-indy.org/richardson.htm>. Página da internet acessada no dia 31 de maio de 2012.

As empresas GE e a IMPSA possuem fábricas no Brasil que usam tecnologias de geradores com ímãs permanentes. A IMPSA destaca-se nesse sentido, sendo responsável pela implantação de grandes parques de geração de energia que utilizam geradores com ímãs de terras-raras. Além dessas empresas, existem outros fabricantes no Brasil que são potenciais consumidores de ímãs de terras-raras.

Atualmente, há evidências de que as cotas de exportação de terras-raras impostas pela China tem levado a uma grande diferença entre as tecnologias dentro e fora do país. As turbinas com ímã permanente fora da China representam 5% do mercado (Constantinides, 2011). Na China, elas representam 25% ou mais do mercado (Hu, 2010).

A maioria dos ímãs permanentes de neodímio contém, aproximadamente, de 65% a 70% de ferro, 1% de boro, 30% de uma mistura de neodímio e praseodímio, 3% de disprósio e, algumas vezes, térbio (Oakdene Hollins, 2010). Segundo Constantinides (2011), o disprósio responde por 4,1% do peso do ímã.

A função do disprósio é aumentar a coercitividade, que é a intensidade do campo magnético aplicado para reduzir a magnetização do material a zero, e, com isso, aumentar a temperatura de tolerância. Isso é necessário para aplicações com temperaturas mais altas (Oakdene Hollins, 2010). O uso do disprósio também tende a aumentar a resistência dos ímãs à corrosão (Avalon, 2010).

A função do térbio é semelhante à do disprósio, mas seu uso é limitado pela escassez e alto preço. Uma característica particular do térbio é que ele tem menor impacto sobre a remanescência, magnetização deixada depois que um campo magnético externo é removido, que o disprósio (Oakdene Hollins, 2010).

Devido aos riscos de suprimento de disprósio e térbio, empresas e pesquisadores estão em busca de alternativas. Segundo Benecki (2009), os fabricantes de ímãs podem ser forçados a oferecer ímãs NdFeB com diferentes composições, mesmo que haja prejuízo no desempenho, pois a redução de disprósio ou térbio pode resultar em uma redução da coercitividade de 10% a 30%.

Especialistas europeus em ímãs têm mostrado que ainda não existem substitutos comerciais para o disprosio nos ímãs de neodímio.

O neodímio, praseodímio, disprosio e térbio fazem parte do grupo dos elementos terras-raras. O mundo é farto em terras-raras, sendo muito grande o potencial de produção de seus óxidos no Brasil. No entanto, a China, além de dominar o mercado mundial de óxidos de terras-raras, domina também o mercado de ímãs permanentes. A posição dominante da China tem causado uma grande dependência por parte de muitos países, inclusive do Brasil.

Um plano estratégico parece ter sido concebido e implementado na China ao longo das últimas décadas, com o objetivo de se construir uma cadeia produtiva de ímãs permanentes no país. As políticas de pesquisa e desenvolvimento, de proteção do mercado interno e de construção de uma cadeia integrada parecem ser pontos importantes desse plano.

O Brasil já foi produtor de terras-raras, mas não apresenta, oficialmente, grandes reservas desses elementos. Apresenta, no entanto, depósitos com grande potencial de produção de óxidos de terras-raras. Atualmente, existem alguns projetos minerários em andamento ou em análise.

Merecem destaque os Projetos Araxá, da empresa canadense MBAC, e a mina de Pitinga, explorada pelo grupo peruano Minsur S.A.. O primeiro poderá ser uma importante fonte de óxidos de terras-raras em 2015; o segundo poderá ser uma fonte de óxidos de terras-raras, principalmente de disprosio e térbio.

Mais importante que a atividade de mineração de terras-raras no Brasil é a construção de uma cadeia produtiva de ímãs permanentes. Apesar de importantes iniciativas, é clara a falta de uma política industrial para isso. Muitas empresas brasileiras correm risco de desabastecimento, caso não haja mudança no atual cenário mundial.

3 CARROS ELÉTRICOS

A eletricidade pode ser considerada a fonte de energia para os carros do futuro e pode promover a substituição dos atuais motores de combustão interna por motores elétricos. Existem, basicamente, três tipos de carros elétricos: carros elétricos puros, carros híbridos e carros híbridos carregáveis (Hickman, 2009).

Os carros elétricos puros usam bateria para alimentar o motor elétrico em vez de usar motor de combustão interna. A autonomia, que é limitada pelas baterias, é da ordem de 30 a 50 milhas. Os carros híbridos são projetados para usar um motor elétrico e um motor de combustão interna. Os carros híbridos requerem menores baterias que os carros elétricos puros e têm maior autonomia. Os híbridos carregáveis usam a combinação da energia elétrica da rede, energia regenerativa das frenagens e da energia de um motor de combustão ou célula a combustível.

Muitos governos têm incentivado o desenvolvimento tecnológico e o mercado por meio de subsídios. Estima-se que, em 2025, os carros elétricos serão responsáveis por 35% do mercado, sendo 10% de carros elétricos puros e 25% de carros híbridos (Harrop e Das, 2009). Sem políticas de incentivos, as montadoras trazem para o Brasil apenas algumas unidades como estratégia de marketing.

Analisa-se, a seguir, os dois componentes vitais para os carros elétricos: motores elétricos e baterias. Esses componentes dependem de minerais estratégicos para a sua fabricação.

3.1 Motores elétricos

Os motores de carros elétricos puros e de carros híbridos usam ímãs permanentes de terras-raras. Esses motores devem ser pequenos e de pouco peso para se encaixarem dentro das necessidades de projeto. Isso é particularmente importante para os

híbridos, onde os motores elétricos são instalados juntos com um motor a combustão interna ou com um gerador em um pequeno espaço.

Os carros elétricos puros não tem motor a combustão interna, como os híbridos, o que diminui bastante as restrições de espaço e facilita a sua refrigeração. Esses fatores dão maior flexibilidade para se alterar o tamanho do motor e as condições de operação.

Os fabricantes têm explorado várias opções para substituir os motores com ímãs permanentes⁴. Alguns deles têm reconsiderado a opção dos motores de indução, que são maiores que os motores com ímãs permanentes, mas são mais difíceis de resfriar e potencialmente mais eficientes. Alguns nichos de carros elétricos, como os do Tesla Roadster e do Mini-E, já usam motores de indução. Em 2011, a Toyota anunciou o desenvolvimento de um motor de indução para ser usado em carros elétricos.

A demanda de ímãs de terras-raras para uso em carros elétricos vai depender da produção futura de carros híbridos e de carros elétricos puros, da futura tecnologia dos motores elétricos e demanda de ímãs para cada tipo de motor.

Byron Capital Markets (2010) fez uma projeção que incluiu os principais fabricantes de carros e também de bicicletas elétricas, que têm grande uso na China. Ele estimou um crescimento anual de 50%. Foi assumida uma demanda de 193 gramas de neodímio por motor. Angerer *et al* (2009) estima uma demanda de neodímio de 500 gramas a 1 quilograma por carro híbrido. Outros analistas esperam um consumo de até 1,8 quilogramas por motor, como no caso do Toyota Prius. Byron estimou, ainda, que 1,2 milhões de híbridos e carros elétricos puros serão vendidos em 2014. Cenários otimistas da IEA (2009) e Fraunhofer ISI (2009) preveem vendas de 9 a 14 milhões em 2015. As projeções para 2020 ficam na faixa de 9 a 33 milhões de carros híbridos e elétricos puros. De acordo

⁴ Informação obtida no endereço eletrônico http://www.economist.com/blogs/babbage/2011/04/induction_motors. Página acessada no dia 31 de maio de 2012.

com o IEA (2009), serão vendidas de 25 a 33 milhões de bicicletas elétricas em 2014, principalmente na China. Segundo Byron, uma demanda de 1,2 mil toneladas de óxido de neodímio pode ocorrer em 2015.

Oakdene Hollins (2010) estimou uma demanda de 875 toneladas em 2020, para um cenário pessimista de apenas 1 milhão de carros híbridos ou elétricos puros. Para um cenário otimista de 20 milhões de carros híbridos ou elétricos puros, a demanda seria de 23 mil toneladas em 2020.

O consumo de disprósio em carros elétricos vai depender das operações de temperatura e dos diferentes tipos de veículos. Esforços para reduzir o teor de disprósio estão focados na redução da temperatura de operação e em materiais com menor teor de disprósio.

Pesquisadores japoneses estão trabalhando no sentido de reduzir o tamanho do grão dos pós magnéticos, de modo a modificar a maneira como o disprósio é introduzido na estrutura magnética, e usando um processo de difusão de neodímio e cobre, em vez de disprósio, no contorno dos grãos (NIMS, 2010).

A empresa Molycorp, produtora de terras-raras, anunciou uma parceria com a Daido Steel e com a Mitsubishi Corporation para desenvolver e vender ímãs de terras-raras de alto desempenho com menos dependência de disprósio (Molycorp, 2011). O Brasil, atualmente, não produz óxidos de terras-raras. A xenotima da já citada mina de Pitinga, localizada no Estado do Amazonas, pode conter altos teores de disprósio.

Samário e cobalto são potenciais substitutos para os terras-raras neodímio, praseodímio e disprósio, utilizados em ímãs permanentes para carros elétricos. Os ímãs SmCo (samário-cobalto) são os ímãs de primeira geração, enquanto os ímãs NdFeB são de segunda geração.

Estima-se que em 2012 a oferta de samário será de 4 a 5 mil toneladas (Oakdene Hollins, 2010) e não há perspectivas de que o suprimento de samário permita uma significativa substituição de neodímio. Além disso, os altos custos e as reservas limitadas de

cobalto contribuem para um alto preço dos ímãs SmCo. Nesse cenário, é pouco provável que os ímãs NdFeB sejam substituídos pelos ímãs SmCo. O Brasil não produz óxidos de samário.

Em 2010, as reservas mundiais de cobalto eram de 7,3 milhões de toneladas; as reservas brasileiras eram de apenas 89 mil toneladas. A produção mundial de cobalto foi de 89,5 mil toneladas. Estima-se que, em 2015, a capacidade global de produção chegue a 180 mil toneladas. O Brasil contribui com apenas 1,6% na produção mundial, mas esse percentual é suficiente para atender a demanda interna. Os Estados produtores, como subproduto da mineração do níquel, são Goiás, com 97% da produção nacional, e Minas Gerais, com 3% da produção nacional.

3.2 Baterias

As baterias são componentes fundamentais dos carros elétricos híbridos e puros, pois todos eles precisam de baterias para estocar energia para mover o carro. Os carros híbridos atuais usam baterias níquel-hidreto metálico (NiMH), enquanto as baterias de íons de lítio são geralmente usadas nos carros híbridos carregáveis e nos carros elétricos puros, que exigem maior capacidade de estocagem de energia e maiores potências (National Research Council, 2010). As baterias NiMH consomem terras-raras, como o lantânio, cério, neodímio e praseodímio, além de níquel, cobalto, manganês e/ou alumínio (Kopera, 2004).

A demanda por lítio, cobalto, níquel e grafita deve aumentar substancialmente com o emprego em larga escala de carros híbridos carregáveis e elétricos puros, em razão do uso das baterias de íons de lítio. Até os carros híbridos não carregáveis podem migrar para baterias de íons de lítio.

As baterias de íons de lítio não usam terras-raras, mas usam cobalto, grafita, níquel ou manganês, além de lítio. Essas baterias são muito adequadas para carros elétricos,

especialmente as que usam grafita como anodo e alguma forma de sais de lítio tanto no anodo quanto no catodo.

O teor de cada material varia muito em razão dos projetos de cada fabricante. Pesquisadores do Argonne National Laboratory estimam que baterias capazes de oferecer uma autonomia de 100 milhas para um carro elétrico puro conterà de 3,4 a 12,7 quilogramas de lítio (Gaines e Nelson, 2010).

Os Estados Unidos são os maiores produtores e consumidores mundiais de compostos de lítio, mas seus dados não estão disponíveis. Excluídos os Estados Unidos, a produção mundial de lítio, em 2010, foi estimada em 25,6 mil toneladas. Os principais produtores foram Chile, Austrália, China e Argentina.

No Brasil, a maior parte do minério com lítio contido, 7,08 mil toneladas, foi produzida diretamente como pó grosso ou fino pela Companhia Brasileira de Lítio (CBL), a partir de pegmatitos da mina subterrânea da Cachoeira, em Araçuaí (MG), com teor médio de Li_2O de 0,90% (63,7 toneladas). As vendas de minério com lítio em pó da CBL, em 2010, foram de 6,8 mil toneladas, caindo 18,3% na comparação com 2009.

No caso da grafita, as reservas mundiais são relativamente pouco detalhadas, mas as informações oficiais totalizam 131,4 milhões de toneladas; reservas de 59,5 milhões de toneladas estão localizadas no Brasil. A China e a Índia são os principais produtores mundiais, respondendo por 84,5% da produção mundial em 2010.

Os produtores de grafita natural têm recuperado seu poder de elevar os preços de comercialização do produto, devido à ampliação da aplicação da substância. Os preços da grafita estão em ascensão, passando de US\$ 1,35 mil por tonelada para mais de US\$ 2,0 mil por tonelada durante o quarto trimestre de 2010.

A produção brasileira, em 2010, foi de 88 mil toneladas, o que corresponde a 8% da produção mundial, permanecendo em 3º lugar entre os principais produtores mundiais. Há ocorrência de grafita natural em quase todo o país, mas as reservas de maior economicidade estão localizadas, principalmente, nos Estados de Minas Gerais, Ceará e

Bahia. No Estado de Minas Gerais, ficam localizadas as principais reservas lavráveis. Uma das maiores reservas e com maior grau de cristalinidade localiza-se no Município de Pedra Azul (MG).

4 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Célula fotovoltaica é um método de geração de energia elétrica pela conversão da radiação solar diretamente em eletricidade pelo uso de semicondutores que exibem o efeito fotovoltaico. Para a geração de eletricidade são empregados painéis solares compostos de células contendo material fotovoltaico.

A capacidade fotovoltaica está crescendo, rapidamente, de uma pequena base para uma capacidade global, em 2011, de 67,4 mil MW. A energia gerada no ano foi de 80 bilhões de kWh, o que representou 0,5% da demanda mundial de eletricidade. Isso é suficiente para atender a demanda de 20 milhões de residências. As instalações fotovoltaicas podem ser montadas no chão, nas paredes ou nos tetos de uma construção. Os custos de geração estão caindo muito desde que foram construídas as primeiras células fotovoltaicas.

As células fotovoltaicas convencionais são à base de silício, enquanto as de filme fino usam gálio, índio e telúrio. As células à base de silício responderam por cerca de 90% da oferta global em 2011(NREL, 2011).

No entanto, as células de filme fino apresentam uma série de vantagens em relação às células à base de silício, também chamadas de “filme grosso”. As células de filme fino requerem menos material funcional, podem ser fabricadas em rolos ou folhas contínuas e podem ser depositadas sobre substratos flexíveis.

Duas tecnologias de filme fino são consideradas estratégicas: cádmio-telúrio (CdTe) e diselenieto de cobre, índio e gálio (CIGS). A tecnologia CIGS responde por uma parcela de apenas 1% do mercado. Apesar de a tecnologia CdTe estar mais consolidada, ela

não tem perspectivas tão boas quanto a tecnologia CIGS. Pesquisas realizadas na Alemanha atingiram uma eficiência recorde de 20,3% com a tecnologia CIGS.

É importante ressaltar que a queda dos preços do silício tem significado grande redução nos preços das células fotovoltaicas convencionais, tornando-as mais competitivas em relação às células de filme fino. Os preços do silício no mercado a vista caíram de US\$ 75 por quilograma para US\$ 45 por quilograma do início de 2011 até outubro de 2011 (Stuart, 2011).

O Brasil é rico em recursos naturais e pode atuar na geração de energia solar fotovoltaica. No entanto, são tímidas as iniciativas para inserir energia fotovoltaica na matriz elétrica nacional. O Brasil não pode permanecer ausente de investimentos vultosos em pesquisa tecnológica e desenvolvimento industrial, a exemplo de China, Alemanha, Espanha, EUA, Japão, Índia e outros.

Existem importantes reservas de quartzo de qualidade no Brasil, além de indústrias que produzem silício grau metalúrgico. A tradicional forma de purificação do silício para obtenção do silício grau eletrônico utiliza a rota química⁵. Para o silício grau solar, pode ser adotada a rota metalúrgica, que necessita menos energia e reduz a agressão ao meio ambiente. A consequente redução de custos apresentada por essa tecnologia é uma promissora vantagem. Entretanto, pesquisas devem ser feitas na rota metalúrgica, visto que é uma tecnologia emergente e ainda não possui pleno domínio tecnológico. O investimento pesquisas na rota metalúrgica pode permitir a entrada do Brasil no mercado.

A rota química convencional apresenta disponibilidade tecnológica imediata, além de possibilitar o desenvolvimento da indústria de microeletrônica no Brasil. As duas tecnologias podem atuar em conjunto, com produção de silício grau solar e eletrônico pela rota química e pesquisas paralelas na rota metalúrgica.

⁵ Informação obtida no endereço eletrônico <http://www.cgee.org.br/busca/ConsultaProdutoNcomTopo.php?f=1&idProduto=5605>. Página da internet acessada no dia 30 de maio de 2012.

A sustentabilidade ambiental de projetos de produção do silício é fator crítico de sucesso, devendo ser estrategicamente tratada para que o meio ambiente possa ser beneficiado pelo uso da energia solar fotovoltaica. A utilização de carvão para a redução do quartzo emite dióxido de carbono. Outras etapas do processo de purificação do silício também geram impacto ambiental. Apesar de a rota metalúrgica não utilizar os produtos tóxicos e corrosivos empregados na rota química, grande atenção ambiental deve ser dada aos processos produtivos.

Uma grande elevação de valor agregado ocorre na purificação do silício, pois o valor do silício grau solar chega a ser cem vezes maior que o valor do silício grau metalúrgico, atualmente exportado pelo Brasil. É fundamental, então, que sejam estabelecidas políticas públicas visando à produção nacional de silício grau solar e à construção de um parque industrial fotovoltaico.

5 CÉLULAS A COMBUSTÍVEL

Uma célula de combustível ou célula a combustível é uma célula eletroquímica em que são consumidos um agente redutor (combustível) e um agente oxidante (comburente), com o objetivo de gerar energia elétrica. Na célula a combustível, ao contrário das baterias ou das pilhas, estes agentes químicos são fornecidos e consumidos continuamente.

As células a combustível têm a vantagem de ser altamente eficientes e pouco poluentes. O modelo que se encontra mais desenvolvido tecnologicamente utiliza como reagentes o hidrogênio e o oxigênio. O uso do hidrogênio como combustível é polêmico em várias aplicações, já que ele não constitui uma fonte primária de energia. No entanto, pode ser facilmente produzido a partir de outras fontes de energia, como a eletricidade, o gás natural e o etanol. O hidrogênio pode ser gerado pela eletrólise da água e pela conversão do metano. Esse último processo gera gases de efeito estufa.

As células a combustível são muito promissoras para uso em sistemas de propulsão, de energia auxiliar e de energia distribuída. Os gastos globais com células a combustível podem crescer 10,9%, anualmente, chegando a US\$ 10,3 bilhões, em 2015, e a US\$ 19,2 bilhões, em 2020⁶. Os ganhos de fatia de mercado serão gerados pelos avanços tecnológicos, que reduzirão os custos para patamares competitivos com várias aplicações, e pela economia de escala, quando os fabricantes aumentarem sua produção.

Apesar de o uso das células a combustível em veículos representar menos de 0,5% do número total de sistemas a serem vendidos em 2020, essa aplicação deverá representar a maior fatia do mercado em valor. Muitos fabricantes já anunciaram planos de oferecer veículos com célula a combustível em 2015. As vendas para sistemas de geração de energia deverão crescer em um ritmo veloz até 2020, beneficiando-se da redução de custos e da maior eficiência energética em relação aos métodos convencionais.

Os terras-raras são usados em diferentes tipos de células a combustível. As células a combustível de óxido sólido (SOFCs) para geração distribuída usam ítrio em seu eletrólito e podem usar, ainda, lantânio, cério, níquel e cobalto em seus componentes. Estima-se que os projetos de SOFCs podem necessitar de 21 gramas de óxido de ítrio por cada quilowatt de capacidade da célula (J. Thijssen, LLC 2011). Outras células a combustível para geração distribuída não necessitam de terras-raras. As células a combustível para veículos normalmente usam membranas poliméricas que não dependem de terras-raras, mas de platina.

A já citada mina de Pitinga, localizada no Estado do Amazonas, pode ser uma importante fonte de ítrio. Segundo Lorenzi e Andrade (2011), a falta de políticas públicas gera uma desarticulação entre o setor governamental, o setor empresarial e o setor de pesquisa e desenvolvimento em células a combustível no Brasil.

⁶ Informação obtida no endereço eletrônico <http://www.marketresearch.com/Freedomia-Group-Inc-v1247/Fuel-Cells-6428826>. Página da internet acessada no dia 30 de maio de 2012.

6 CATALISADORES PARA VEÍCULOS

Um conversor catalítico é um mecanismo de controle de emissões que converte produtos químicos tóxicos emitidos por motores de combustão interna em substâncias menos tóxicas. Dentro do conversor, um catalisador estimula a reação química de conversão. Nos veículos a gasolina, uma reação, de oxidação, converte monóxido de carbono e hidrocarbonetos não queimados; outra reação, de redução, converte óxidos de nitrogênio para produzir monóxido de carbono, nitrogênio e água. Além do uso em carros, os conversores catalíticos são utilizados em conjuntos geradores, empilhadeiras, equipamentos de mineração, caminhões, ônibus, locomotivas, motocicletas, aviões etc.

Os conversores catalíticos usam cério para facilitar a oxidação do monóxido de carbono. A quantidade de cério requerida por veículo é muito baixa, mas, como é muito grande o número de veículos, o consumo total de cério acaba sendo alto. Os catalisadores automotivos, principalmente cério, além de reduzir as emissões, são responsáveis por uma maior estabilidade térmica (Hykawy, 2010).

Estima-se que a taxa de aumento do número de veículos vai se reduzir a médio prazo, passando de uma taxa de crescimento anual de 5%, na primeira década deste século, para 2% até o ano de 2025 (IEA, 2010a). No entanto, a taxa de substituição de veículo deve continuar alta, o que vai manter forte a demanda por cério.

Atualmente, não há materiais substitutos para os terras-raras usados como catalisadores para veículos. O Brasil conta com grandes depósitos de cério, mas não há produção nacional. O mercado de óxidos de cério e de todos os outros óxidos de terras-raras é dominado pela China.

7 ILUMINAÇÃO EFICIENTE

A iluminação artificial é responsável por 17% do consumo de energia elétrica no Brasil (Souza, 2010). Nos Estados Unidos, a iluminação é responsável por 18% do consumo de energia elétrica nos edifícios, ficando atrás apenas do consumo energia para aquecimento (DOE, 2009).

Modernas tecnologias oferecem grandes oportunidades para a redução do consumo de energia elétrica para iluminação, tais como iluminação fluorescente, diodos emissores de luz (LEDs), diodos orgânicos emissores de luz (OLEDs) e lâmpadas de halogênio.

Muitos países estão limitando ou proibindo o uso de lâmpadas incandescentes convencionais. A demanda por lâmpadas fluorescentes deve crescer muito nos próximos anos. Daqui a alguns anos, deverá crescer a demanda por LEDs e por lâmpadas de halogênio.

As lâmpadas fluorescentes dependem de fósforos feitos dos terras-raras térbio, európio e ítrio. A escassez desses terras-raras pode afetar a disponibilidade de lâmpadas fluorescentes. As lâmpadas tipo LEDs usam muito menos terras-raras que as lâmpadas fluorescentes. As lâmpadas de halogênio e tipo OLEDs não usam terras-raras. Segundo a empresa GE, o teor total de terras-raras nas lâmpadas tipo LEDs é bem menor que nas lâmpadas fluorescentes de mesma potência⁷.

Existe, então, uma transição de lâmpadas incandescentes convencionais para lâmpadas fluorescentes ou de halogênio. A próxima transição será para novas tecnologias, como, por exemplo, LEDs e OLEDs. O ritmo dessas transições vai depender da disponibilidade, preço e desempenho de cada tecnologia. Lâmpadas tipo LED para uso residencial já estão disponíveis, mas a preços bem mais altos que as lâmpadas fluorescentes

compactas. No entanto, a maior duração e eficiência das lâmpadas tipo LED tornam essa tecnologia mais competitiva se computado todo o ciclo de vida.

Apesar de ter grandes depósitos de terras-raras, o Brasil não é produtor. A China detinha, em 2011, cerca de 97% do mercado mundial desses elementos.

No Brasil, o consumo de lâmpadas incandescentes está caindo, mesmo sem programa específico de incentivo⁸. Desde 2001, quando ocorreu o racionamento de energia nacional, houve um aumento do uso de modelos fluorescentes, cujas vendas, desde então, crescem 20% ao ano. Hoje, o Brasil importa cerca de 80 milhões de lâmpadas fluorescentes, das quais mais de 70% vêm da China. Diante dessa competição, três das quatro fábricas de lâmpadas incandescentes que operavam no país fecharam as suas portas.

Na China, aproximadamente 70% da produção de lâmpadas fluorescentes compactas eram para exportação (UNDP, 2008). A produção aumentou de aproximadamente 100 milhões de lâmpadas em 1996 para cerca de 3 bilhões em 2007, tornando a China responsável por cerca de 80% da produção mundial. O Brasil não produz lâmpadas fluorescentes compactas, sendo todas importadas da China⁹.

⁷ Informação obtida no endereço eletrônico

<http://energy.gov/sites/prod/files/edg/news/documents/criticalmaterialsstrategy.pdf>. Página da internet acessada no dia 30 de maio de 2012.

⁸ Informação obtida no endereço eletrônico

<http://www.ecocidades.com/2011/01/06/adeus-lampadas-incandescentes>. Página da internet acessada no dia 31 de maio de 2012.

⁹ Informação obtida no endereço eletrônico

http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/conselhos_comite/cgiee/Relatorio_CGIEE_2002-2008.pdfhttp://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/conselhos_comite/cgiee/Relatorio_CGIEE_2002-2008.pdf. Página da internet acessada no dia 31 de maio de 2012.

8 CONCLUSÕES

O Brasil conta com grandes depósitos de minerais estratégicos como terras-raras, grafita e quartzo de qualidade. Neste trabalho, concluiu-se que se deve construir uma cadeia produtiva integrada para esses bens minerais, em razão de sua importância para a economia verde.

Os elementos terras-raras são estratégicos para a fabricação de lâmpadas fluorescentes e ímãs de terras-raras, que são usados em turbinas eólicas e motores elétricos para carros. A China controla cerca de 97% do mercado de terras-raras e 75% do mercado de ímãs de terras-raras. O Brasil não produz terras-raras nem ímãs com esses elementos. Dada a importância estratégica desses bens minerais e desses ímãs, deveria ser concebida e implementada uma política pública com vistas à implantação de uma cadeia produtiva no Brasil. A matriz elétrica brasileira é limpa, o que pode facilitar a introdução dos carros elétricos no mercado brasileiro. O Brasil também conta com grande potencial para fabricação e instalação de turbinas eólicas.

As baterias são componentes fundamentais dos carros elétricos híbridos e puros, pois todos eles precisam de baterias para estocar energia. Os carros híbridos atuais usam baterias níquel-hidreto metálico, enquanto as baterias de íons de lítio são geralmente usadas nos carros híbridos carregáveis e nos carros elétricos puros, que exigem maior capacidade de estocagem de energia e maiores potências.

A demanda por grafita deve aumentar substancialmente com o emprego em larga escala desses carros, em razão do uso das baterias de íons de lítio. Até os carros híbridos não carregáveis, que usam baterias níquel-hidreto metálico, podem migrar para baterias de íons de lítio. Essas baterias que usam grafita como anodo são muito adequadas para aplicação em carros elétricos.

As reservas mundiais de grafita são relativamente pouco detalhadas, mas as informações oficiais totalizam 131,4 milhões de toneladas. Reservas de 59,5 milhões de

toneladas estão localizadas no Brasil. A China e a Índia são os principais produtores mundiais, respondendo por 84,5% da produção mundial em 2010. A produção brasileira, em 2010, foi de 88 mil toneladas, o que corresponde a 8% da produção mundial, permanecendo em 3º lugar entre os principais produtores mundiais. Recomenda-se a concepção e a implementação de uma cadeia produtiva da grafita no Brasil, com foco nas baterias para carros elétricos.

O Brasil conta com reservas de quartzo de qualidade e já é produtor de silício grau metalúrgico, mas não produz silício grau solar. Para o grau solar, pode ser adotada uma rota metalúrgica, que consome menos energia e reduz a agressão ao meio ambiente. O investimento em pesquisas nessa rota pode permitir a entrada do país no mercado fotovoltaico. Esse mercado tem grande potencial de crescimento, principalmente em países com grande incidência de radiação solar como o Brasil.

O Brasil, em razão da qualidade de seus recursos naturais e humanos, pode, então, desenvolver cadeias produtivas de ímãs permanentes de terras-raras, de silício grau solar e de grafita para baterias. Essas cadeias produtivas estão em plena sintonia com o desenvolvimento sustentável e são importantes propostas a serem levadas à RIO +20.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGERER, G., *et al.* **ISI, Karlsruhe in cooperation with Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung IZT gGmbH.** 15 de maio de 2010.

AVALON RARE METALS INC. **Rare metals information.** Endereço eletrônico http://avalonraremetals.com/rare_earth_metal/rare_earths. Acesso em 2010.

BYRON CAPITAL MARKETS. **The Rare Earths. Pick your Spots carefully.** Março de 2010.

CONSTANIDES, S. **Rare Earth Materials Update.** Apresentação na Conferência “Spring 2011 Management Conference”, em 10 de maio de 2011.

DOE U.S. Department of Energy. **Buildings Energy Data Book.** 2009.

FAIRLEY, P. **Windkraft ohne Umwelt,** Technology Review, 20 de abril de 2010.

FRAUNHOFER ISI. **Lithium für Zukunftstechnologien. Nachfrage und Angebot unter besonderer Berücksichtigung der Elektromobilität.** Dezembro de 2009.

GAINES, L. e. NELSON. **Lithium-Ion Batteries: Possible Material Demand Issues.** Argonne National Laboratory. 2009.

HARROP, P. & DAS, R. **Hybrid and pure electric cars 2009-2019.** Relatório de pesquisa de 2009.

HICKMAN, J. **Clean vehicles.** Renewable Energy Focus de março/abril de 2009.

HU, B. P. **China’s Rare-Earth Permanent Magnet Industry.** Apresentação na ICRE 2010.

HYKAWY, J.: **Report on the 6th International Rare Earths conference.** Endereço eletrônico <http://www.techmetalsresearch.com/2010/11/6th-international-rareearth-conference>. Acesso em 5 de dezembro de 2010.

IEA International Energy Agency. **Technology Roadmap. Electric and plugin hybrid electric vehicles.** 2009.

IEA International Energy Agency. **World Energy Outlook.** 2010.

KOPERA, J. **Inside the Nickel Metal Hydride Battery**. Endereço eletrônico www.cobasys.com/pdf/tutorial/InsideNimhBattery/inside_nimh_battery_technology.htm
Acesso em 2004.

LORENZI, B. R. e ANDRADE, T. H. N. **As pesquisas no Brasil em células a combustível: alguns problemas estruturais**. Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Sociedade, v.2, n.1. Janeiro e junho de 2011.

MOLYCORP. **Molycorp, Daido Steel, and Mitsubishi Corporation Announce Joint Venture To Manufacture Sintered NdFeB Rare Earth Magnets**. 28 de novembro de 2011.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Transitions to Alternative Transportation Technologies – Plug-in Hybrid Electric Vehicles**. 2010.

NIMS Japanese National Institute for Material Science. **High Coercivity Neodymium Magnet Without Using Heavy Rare Earth Element Dysprosium**. Agosto de 2010.

NREL National Renewable Energy Laboratory. **Silicon Materials and Devices R&D**. PV Magazine, 14 de outubro de 2011.

OAKDENE HOLLINS. **Research & Consulting: Lanthanide Resources and Alternatives**. Relatório para o Department for Transport and Department for Business, Innovation and Skills. Março de 2010.

SOUZA, M. A. **Estratégias para redução e conservação de energia elétrica em iluminação**. Monografia submetida à Universidade Federal de Mato Grosso. 2010

THIJSEN, J. **Solid Oxide Fuel Cells and Critical Materials: A Review of Implications**. 10 de maio de 2011.

TROEDSON, A. **Permanent Magnet Generators for Wind Turbines**. Apresentação na Conferência “Metals for Energy and Environment Conference”. Las Vegas, NV, 1 a 3 de junho de 2011.



OS MINERAIS ESTRATÉGICOS E AS CADEIAS PRODUTIVAS NA CHINA

Paulo César Ribeiro Lima
Consultor Legislativo da Área XII
Recursos Minerais, Hídricos e Energéticos

ESTUDO
AGOSTO/2012



Câmara dos Deputados
Praça 3 Poderes
Consultoria Legislativa
Anexo III - Térreo
Brasília - DF

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	4
2. MINERAIS METÁLICOS NÃO-FERROSOS.....	5
2.1 Cobre	7
2.2 Cromo.....	9
2.3 Níquel	11
2.4 Metais do Grupo Platina.....	14
2.5 Gálio.....	16
2.6 Índio.....	18
2.7 Manganês.....	19
2.8 Molibdênio.....	20
2.9 Nióbio.....	24
2.10 Tântalo.....	28
2.11 Titânio	30
2.12 Vanádio	33
3. MINERAIS E ÓXIDOS DE TERRAS-RARAS.....	35
3.1 Pesquisa e Desenvolvimento.....	47
3.2 Política de proteção	48
3.3 Política de agregação de valor e de exportação	49
3.4 Dependência do Japão e Estados Unidos em relação à China.....	52
4. MINÉRIO DE FERRO.....	52
4.1 Dados gerais sobre a produção e consumo na China.....	54
4.2 Qualidade do minério de ferro chinês	59
4.3 Política de mineração e siderurgia	60
4.4 Pesquisa e produção mineral	61
4.5 Infraestrutura	62
4.6 Previsões para o mercado chinês.....	63
4.7 Preços	63
5. MINERAIS NÃO-METÁLICOS ESPECIAIS	65
5.1 Grafita.....	66
5.2 Quartzo.....	68
5.3 Telúrio	69
6. AGROMINERAIS.....	70
6.1 Fosfato.....	71
6.2 Potássio.....	73



7. POSIÇÃO RELATIVA DA CHINA	74
8. CONCLUSÕES.....	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

© 2012 Câmara dos Deputados.

Todos os direitos reservados. Este trabalho poderá ser reproduzido ou transmitido na íntegra, desde que citados o autor e a Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados. São vedadas a venda, a reprodução parcial e a tradução, sem autorização prévia por escrito da Câmara dos Deputados.

Este trabalho é de inteira responsabilidade de seu autor, não representando necessariamente a opinião da Câmara dos Deputados.

OS MINERAIS ESTRATÉGICOS E AS CADEIAS PRODUTIVAS NA CHINA

Paulo César Ribeiro Lima

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem por objeto analisar a exploração de minerais estratégicos e as cadeias produtivas na China, tendo como foco o desenvolvimento sustentável. A demanda por minerais estratégicos para a construção de uma economia sustentável deve se intensificar nas próximas décadas. Atualmente, os minerais estratégicos estão presentes em vários produtos comerciais, como, por exemplo: catalizadores, aviões, veículos e computadores. Na área de defesa, podem-se destacar as aplicações de minerais estratégicos em caças, sistemas de controle de mísseis e sistemas de comunicação.

Os recursos minerais são parte de praticamente todos os produtos consumidos. Suas propriedades únicas são fundamentais para a produção de alimentos, residências, infraestrutura, transporte, comunicação, defesa etc. A chamada “economia verde” deve criar uma grande demanda por novos recursos minerais. A era da informação está criando uma demanda muito diversificada de minerais para funções essenciais em telefones celulares e microcomputadores (terras-raras), *displays* de cristal líquido (índio) e células fotovoltaicas (silício, gálio, telúrio e índio). Já a indústria siderúrgica demanda grandes quantidades de minério de ferro e o setor elétrico é muito demandante de cobre.

Como se sabe, os minérios podem se exaurir ou tornarem-se difíceis de serem extraídos sustentavelmente. Alguns minerais são fornecidos por um número limitado de minas, de empresas ou de países, o que pode levar a uma restrição na oferta. Outros podem ter grande aumento de preço, em razão do crescimento da demanda. O índio, por exemplo, que é usado na fabricação de telas planas, teve seu preço aumentado em cerca de nove vezes de 2003 a 2006.

Neste trabalho, a escolha dos recursos minerais a serem abordados foi feita em razão da criticalidade geológica, da concentração da oferta, do crescimento da demanda, das receitas e lucros gerados e da importância para o desenvolvimento sustentável.

A China tem buscado ter controle sobre parte da produção e, principalmente, sobre a cadeia produtiva desses minerais. A posição dominante da China tem causado a dependência de bens estratégicos por parte de muitos países, inclusive do Brasil. Um plano estratégico parece ter sido concebido e implementado nesse país ao longo das últimas décadas, com o objetivo de se construir uma cadeia produtiva integrada. Mais importante que a atividade de mineração de elementos estratégicos é a construção dessa cadeia, com o objetivo de agregar valor ao recurso natural.

Neste trabalho, será abordada a cadeia produtiva dos seguintes recursos naturais:

- minerais metálicos não-ferrosos: cobre, cromo, índio, molibdênio, nióbio, gálio, manganês, metais do grupo platina, níquel, tântalo, titânio e vanádio;
- minerais e óxidos de terras-raras;
- minério de ferro;
- minerais não-metálicos: grafita, quartzo e telúrio; e
- agrominerais: fósforo e potássio.

2. MINERAIS METÁLICOS NÃO-FERROSOS

A indústria dos minerais não-ferrosos metálicos abrange uma série de atividades ao longo de várias fases da cadeia produtiva, que incluem a mineração, fundição, reciclagem, refino, processamento e fabricação de produtos finais.

Os metais não-ferrosos são, normalmente, mais resistentes à corrosão que os metais ferrosos. Muitos metais não-ferrosos são bons condutores de eletricidade. Em razão disso, eles são estratégicos para uma grande variedade de produtos e setores, como, por exemplo, químico, automotivo, eletrônico, de embalagem, de construção, de joalheria, aeroespacial, de energia, de radares militares, de controle de mísseis etc.

Os minerais não-ferrosos metálicos a serem analisados neste trabalho serão divididos em subgrupos:

- básicos (cobre, cromo, níquel)
- metais do grupo platina; e
- de menor produção (gálio, índio, manganês, molibdênio, nióbio, paládio, tântalo, titânio e vanádio).

Existem importantes variações estruturais e nas características e na competitividade dos vários setores. A indústria dos não-ferrosos é parte de uma indústria global, em geral aberta e altamente competitiva. As matérias-primas, os metais primários e os metais são importantes produtos dessa indústria.

A competitividade dessa indústria depende muito do custo do capital, das matérias-primas e da energia. A indústria de reciclagem tem apresentado, a cada dia, maiores taxas de recuperação. A China tem sido o principal produtor global, principalmente na produção de minérios, concentrados e metais refinados. Recentemente, o país tem apresentado grandes avanços na fabricação de produtos finais.

Nesse país, o setor de não-ferrosos tem uma grande presença do Estado. Em 2010, as receitas das grandes empresas estatais foram de aproximadamente 20% do total. Com base em dados do China Statistical Yearbook de 2010¹, o Estado como um todo ficou com 45% da receita bruta em 2009.

Na China, o Instituto de Pesquisa de Metais Não-ferrosos - GRINM, de propriedade do Estado, foi fundado em novembro de 1952, sendo a maior instituição de pesquisa e desenvolvimento na área da indústria de metais não-ferrosos². Ele foi formalmente transformado em um centro de alta tecnologia em janeiro de 2006, quando obteve a licença de negócios a partir de uma iniciativa do governo central. O instituto conta com três mil empregados, sendo trezentos doutores ou mestres.

Suas atuais áreas de pesquisa são: microeletrônica e fotoeletrônica, metais preciosos e raros, terras-raras, materiais e tecnologia para a área de energia, materiais para pós e ligas

¹ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2010/indexeh.htm>

especiais, materiais para supercondutor, nanotecnologia, materiais para infravermelho, processamento de metais não-ferrosos, metalurgia e processamento de minerais avançados, compósitos de metais não-ferrosos, ensaio e análise de materiais.

2.1 Cobre

O cobre, conhecido desde a antiguidade, é utilizado para a produção de materiais condutores de eletricidade, como fios e cabos, e em ligas metálicas como, por exemplo, latão e bronze. Ele é essencial para a atual civilização e pode vir a ser mais importante ainda no futuro, pois o cobre é utilizado na maior parte das aplicações da energia elétrica.

No entanto, não é só nos sistemas de energia elétrica que o cobre está presente. Em um carro elétrico, por exemplo, estão presentes muitos quilogramas de cobre. Até 2020, cerca de 10% dos carros fabricados no mundo poderão ser elétricos ou híbridos. Em 2011, foram fabricados 80 milhões de carros. Assim, em 2020, poderão ser produzidos cerca de 10 milhões de carros elétricos, cada um consumindo 45 quilogramas de cobre, o que geraria uma demanda de 450 mil toneladas.

De acordo com o DNPM (2011), em 2009, as reservas globais de cobre eram de 630 milhões de toneladas, conforme mostrado na Tabela 2.1. As reservas da China, nesse ano, eram de apenas 30 milhões de toneladas. Em 2010, a produção chinesa foi de 1,18 milhão de toneladas, ano em que a produção global foi de 16 milhões de toneladas.

Tabela 2.1 Reservas e produção de cobre

Discriminação Países	Reservas ⁽¹⁾ (10 ³ t)	Produção ⁽²⁾ (10 ³ t)		
	2009	2009 ^(r)	2010 ^(p)	(%)
Brasil	9.800	211,7	213,6	1,3
Chile	150.000	5.390,0	5.520,0	34,3
Peru	90.000	1.275,0	1.285,0	8,0
Estados Unidos	35.000	1.180,0	1.120,0	7,0
China	30.000	995,0	1.150,0	7,1
Austrália	80.000	854,0	900,0	5,6
Outros países	235.200	6.044,3	5.908,4	36,7
TOTAL	630.000	15.950,0	16.097,0	100,0

Fontes: DNPM\DIPLAM; ICSG; USGS: *Mineral Commodity Summaries - 2011*; Vale; Mineração Caraíba S.A.; BNDES; Mineração Maracá; Votorantim Metais Níquel; Caraíba Metais S.A. Sindicel-ABC. Notas: Dados em metal contido; (1) Reservas lavráveis; (2) Concentrado; (r) Revisado; (p) Preliminar.

² Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://en.grim.com/>

Apesar das pequenas reservas, a China é o maior consumidor mundial de cobre. Em 2009, a China consumiu cerca de 6,4 milhões de toneladas, o que representa cerca de 40% da produção mundial. Esse consumo foi maior que a produção do Chile de 4 milhões de toneladas. Em 2011, a demanda chinesa foi de 7,38 milhões de toneladas, um aumento de 8,5% em relação à demanda de 2010.

Segundo Lifton³, a indústria de cobre não está aumentando sua oferta de acordo com o crescimento da demanda. Pode-se chegar a um ponto onde não haja matéria-prima para a construção dos fios e cabos de cobre.

Em 2009, a maior parte do cobre importado pela China foi na forma de metal bruto. Assim, é necessário purificá-lo, antes de transformar 6,4 milhões de metal bruto em fios, cabos, folhas e barras. Nessa purificação, muitas “impurezas” podem ser produzidas, tais como molibdênio, ouro, prata, platina, paládio, selênio, telúrio e rênio.

Nos últimos anos, a capacidade global de processamento de cobre tem se transferido para a China. O país consumiu mais de 30% do cobre refinado no mercado global, mesmo tendo apenas 5% das reservas. Em 2010, a China foi o maior produtor mundial de fios e barras de liga de cobre, respondendo, respectivamente, por 19,96% e 43,10% do total global.

A indústria chinesa de cobre cresceu 56,8% na última década e gerou US\$ 8 bilhões no ano de 2011⁴. Tudo indica que, no futuro, haverá um grande aumento da demanda e que as políticas públicas levarão a um aumento da produção interna, atualmente pouco superior a 1 milhão de toneladas por ano. As companhias Xinjiang Xinxin Mining Industry, Yunnan Copper e Jiangxi Copper são as principais indústrias chinesas de cobre. Todas essas companhias são estatais.

Em um contexto de pequenas reservas e baixa produção interna, as companhias chinesas investiram mais de US\$ 5 bilhões em aquisições de reservas de cobre do Afeganistão à

³ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.northernminer.com/news/lifton-describes-copper-as-nerve-of-civilization/1001411930/>

⁴ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.businesswire.com/news/home/20120208005741/en/Research-Markets-Copper-Industry-China-Grew-56.8>

Zâmbia⁵. Essas aquisições têm potencial de produção de 1,6 milhões de toneladas por ano. A China deve absorver essa produção até o ano de 2014. A Figura 2.1 mostra as aquisições feitas pelas companhias chinesas.

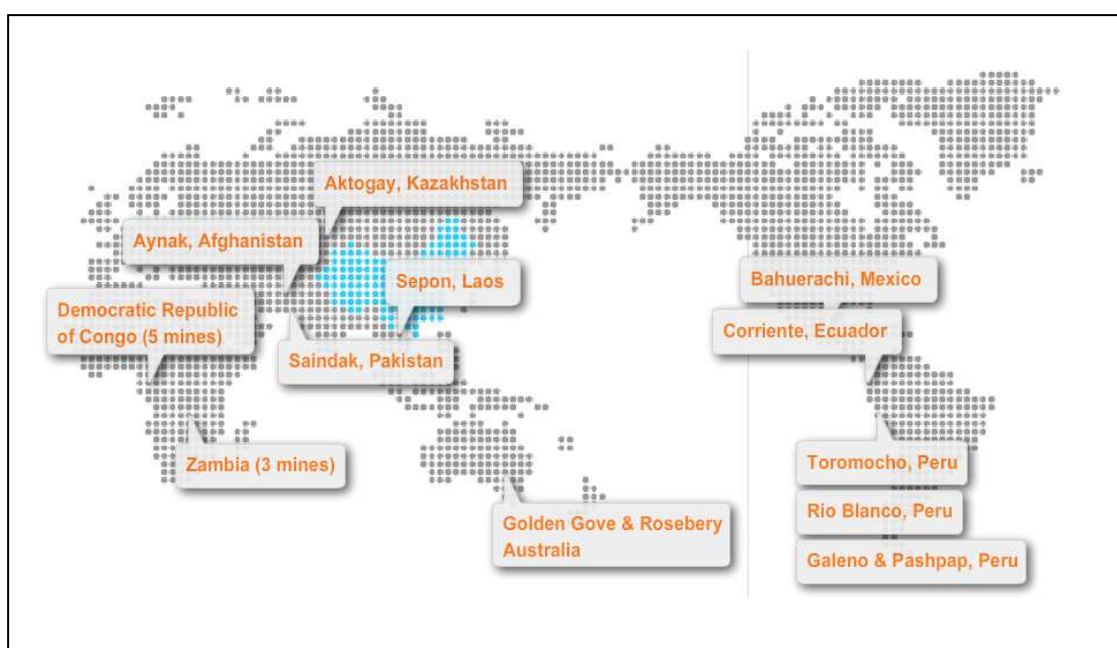


Figura 2.1 Aquisições de reservas de cobre de companhias chinesas.

2.2 Cromo

O cromo é um metal bastante raro na crosta terrestre, encontrado, normalmente, na cromita. A concentração do cromo nas rochas varia de 5 mg por quilograma, nas rochas graníticas, a 1800 mg por quilograma nas rochas ultramáficas/básicas. Os depósitos mais importantes de cromo possuem esse elemento no estado elementar ou na forma trivalente. Na maioria dos solos, o cromo ocorre em baixas concentrações, mas valores de aproximadamente 4 gramas por quilograma já foram vistos em solos não contaminados. O cromo é obtido

⁵ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.businessweek.com/magazine/copper-china-redgold/>

comercialmente aquecendo a cromita, mediante processo de redução em presença de alumínio ou silício.

Ele tem a propriedade de ser bastante resistente à corrosão e oxidação. Por essa razão é usado no revestimento de objetos metálicos e, juntamente com o níquel, na produção de aços especiais, como os aços inoxidáveis. O Departamento de Energia dos Estados Unidos está investindo em baterias ferro-cromo para estocagem de energia.

De acordo com o DNPM (2011), as reservas mundiais de minério de cromo foram objeto de reavaliação e estão concentradas, principalmente, no Cazaquistão (180 milhões de toneladas), África do Sul (130 milhões de toneladas) e Índia (44 milhões de toneladas), conforme mostrado na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 Reservas e produção de cromo

Discriminação	Reservas ¹ (10 ³ t)	Produção (10 ³ t) ³			
		2010(p)	2009	2010(p)	(%)
Países					
Brasil	2170	365	520	2,31	
África do Sul	130.000	9.600	8.500	37,74	
Índia	44.000	3.900	3.800	16,87	
Cazaquistão	180.000	3.600	3.400	15,10	
Estados Unidos	620	nd	nd	nd	
Outros países	nd	5.322	6.300	27,98	
TOTAL	356.790	22.787	22.520	100,0	

Fonte: Brasil – DNPM/DIPLAM USGS- *Mineral Commodity Summaries*-2011.

Notas: (1) Inclui reservas em metal contido (reservas lavráveis); (2) Teores médios de Cr₂O₃ no Brasil: Reservas- BA=33,53%, AP=32%, MG=20%. Produção de cromita:BA=39,15%; AP=45,17. (3) No Brasil: Produção Beneficiada; nd: dado não disponível; (r) revisado; (p) dados preliminares

Grande parte da produção mundial de cromo, cerca de 37,7%, ocorre na África do Sul. A China, que praticamente não tem reservas próprias, é o maior parceiro comercial da África do Sul. Dos 8 milhões de toneladas de minério de cromo importado pela China em 2010, 3,1 milhões foram oriundos da África do Sul⁶.

O crescimento econômico chinês gerou grande crescimento na indústria de cromo, principalmente pelo fato de o cromo ser utilizado na fabricação de aços inoxidáveis. O

⁶ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://chromiuminvestingnews.com/480-south-africa-leads-world-in-chromium-but-china-fears-growing.html>

crescimento industrial chinês exige a construção de plantas e equipamentos industriais que são intensivos em aços que contêm cromo.

A China, que tem uma pequena mineração de cromita, é grande fabricante de ferro-cromo a partir de cromita importada. O país tem expandido sua indústria de aços inoxidáveis pela construção de modernas unidades de produção de grande capacidade, tornando-se um grande consumidor de cromita e de ferro-cromo.

Analistas acreditam que a China está se posicionando como um produtor de ferro-cromo de baixo custo, a partir de importações de minério, de baixo custo, da África do Sul⁷. O país importa grande quantidade de matéria-prima e exporta produtos manufaturados que contêm cromo. Existem receios de que a China esteja estocando grandes quantidades de cromo.

2.3 Níquel

O níquel é um metal de transição raro na crosta terrestre. É condutor de eletricidade e calor, dúctil e maleável, porém não pode ser laminado, polido ou forjado facilmente, apresentando certo caráter ferromagnético. É encontrado em diversos minerais e em meteoritos.

É resistente a corrosão, sendo utilizado como revestimento a partir da eletrodeposição. O metal e algumas de suas ligas metálicas, como o monel, são utilizados em motores marítimos e na indústria química. Aproximadamente 65% do níquel produzido são empregados na fabricação de aço inoxidável, 12% em superligas e cerca de 23% na produção de outras ligas metálicas, baterias recarregáveis, cunhagens de moedas, revestimentos metálicos e fundição. A liga níquel-titânio (nitinol-55) apresenta o fenômeno memória de forma e é usado em robótica. Também existem ligas que apresentam alta elasticidade.

Na economia verde, pode-se destacar o uso de níquel em baterias para veículos elétricos, incluindo-se a bateria NiMH e um tipo de bateria de íons de lítio que contém lítio, níquel, cobalto, alumínio e grafita. O níquel também é utilizado em catalisadores.

De acordo com o DNPM (2011), em 2010, as reservas mundiais eram de aproximadamente 75 milhões de toneladas, localizadas em vários países, com destaque para a Austrália, conforme mostrado na Tabela 2.3. Nesse ano, os principais países produtores foram

Canadá, Rússia, Austrália e países do Sudeste da Ásia. A produção mundial de 1,59 milhões de toneladas, com valor da ordem de US\$ 36 bilhões.

Tabela 2.3 Reservas e produção de níquel

Discriminação Países	Reservas (10 ³ t)		Produção (10 ³ t)		
	2010	2008 ^(r)	2009 ^(r)	2010 ^(p)	%
Brasil	7.532.310	67.116	41.059	108.983	6,8
Rússia	6.000.000	277.000	262.000	265.000	16,6
Indonésia	3.900.000	193.000	203.000	232.000	14,6
Filipinas	1.100.000	83.900	137.000	156.000	9,8
Canadá	3.800.000	260.000	137.000	155.000	9,7
Austrália	24.000.000	200.000	165.000	139.000	8,7
Nova Caledônia	7.100.000	103.000	92.800	138.000	8,7
China	3.000.000	68.400	79.400	77.000	4,8
Cuba	5.500.000	67.000	67.300	74.000	4,6
Colômbia	1.600.000	76.400	72.000	70.200	4,4
África do Sul	3.700.000	31.700	34.600	41.800	2,6
Botswana	490.000	38.000	28.600	32.400	2,0
Venezuela	490.000	13.000	13.200	14.300	0,9
Madagascar	1.300.000	-	-	7.500	0,5
República Dominicana	960.000	31.300	-	3.100	0,2
Outros países	4.500.000	46.000	51.700	77.800	4,9
TOTAL	74.972.310	1.555.816	1.384.659	1.592.083	100,0

Fontes: DNPM/DIPLAM, USGS: *Mineral Commodity Summaries-2011*

Notas: (1) Inclui reservas lavrável. Vide apêndice, (2) Dados de produção de Ni contido no minério. (p) Dados preliminares (r) Dados revisados

Em 2010, a China apresentava limitados depósitos de níquel, sendo 90% deles encontrados em depósitos de sulfeto de cobre-níquel (USGS, 2010). Os depósitos de níquel foram descobertos na Região Autônoma de Xinjiang e nas províncias de Gansu, Hubei, Jilin, Sichuan e Yunnan. Em 2010, o país produziu menos de 100 mil toneladas por ano e consumiu cerca de 580 mil toneladas por ano.

Devido ao alto valor do níquel refinado e à expansão da produção de aço inoxidável, a China importou grandes volumes de minério em substituição ao níquel refinado. Em 2010, as importações de níquel refinado foram de 181,5 mil toneladas; as exportações totalizaram 53,2 mil toneladas.

A produção chinesa de aço inoxidável aumentou de 4,6 milhões de toneladas em 2005 para 8,8 milhões de toneladas em 2009. Em 2010, estima-se que a produção de aço

⁷ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://chromiuminvestingnews.com/504-brazil->

inoxidável tenha atingido 10 milhões de toneladas. Na China, cerca de 70% do níquel são consumidos pela indústria de aço inoxidável.

Em 2010, a China importou aproximadamente 24,5 milhões de toneladas de minério da Indonésia e Filipinas, o que representou cerca de 90% das importações. Admitindo-se que esse minério tenha um teor médio de níquel de 1,5%, cerca de 360 mil toneladas de níquel foram fornecidas para o mercado doméstico. Apesar de não ter um relatório confiável sobre a produção de barras ferro gusa com níquel, analistas domésticos estimam que a quantidade de níquel em ferro gusa foi de 160 mil toneladas.

Na China, o ferro gusa com níquel é produzido em alto-forno e em forno a arco submerso. No alto-forno, o coque é usado como agente redutor, com o produto apresentando elevados teores de fósforo e enxofre. Esse processo pode ser usado para minérios com alto teor de ferro e baixos teores de magnésio. Se o minério tiver 1,5% de níquel e 35% de ferro, o ferro gusa apresentará um teor de aproximadamente 4%. O coque também é usado como agente redutor em fornos a arco submersos, indicados para minérios com alto teor de magnésio e baixo teor de ferro. Nesse caso, o teor de níquel pode chegar a 20%.

A estagnação das empresas produtoras de aço inoxidável na América e na Europa fez com que essa indústria fosse transferida para outros países, especialmente para a China. Em 2011, a produção chinesa de aço inoxidável representou 49% do total mundial, conforme mostrado na Figura 2.2⁸. A indústria de aço é mostrada em maior detalhe no Capítulo 4.

[seeks-to-increase-ferrochrome-production-as-china-threat-looms.html](http://www.researchinchina.com/htmls/report/2012/6353.html)

⁸ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.researchinchina.com/htmls/report/2012/6353.html>

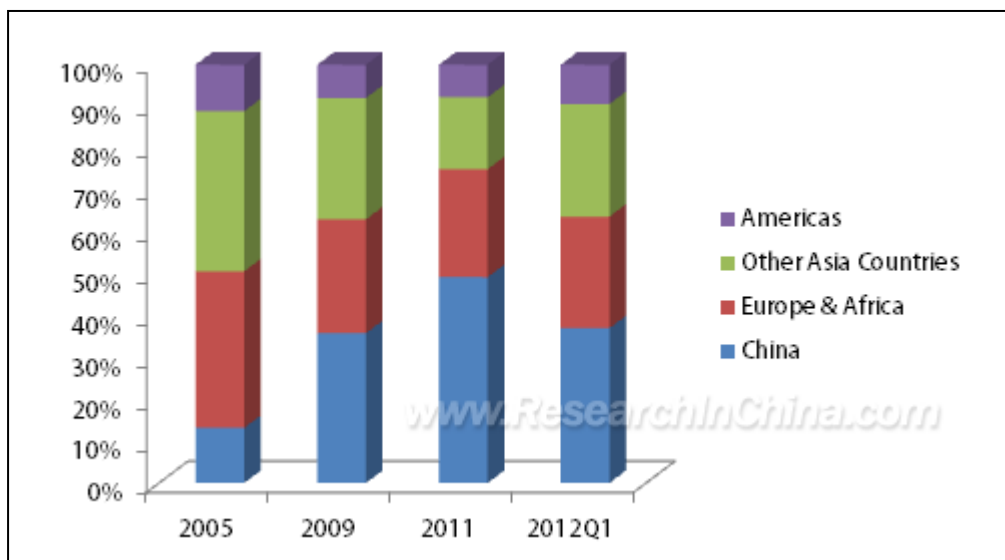


Figura 2.2 Produção de aço inoxidável na China e em outras regiões

2.4 Metais do Grupo Platina

Os Metais do Grupo Platina (MGP) referem-se a um grupo de 6 elementos da tabela periódica: rutênio, ródio, paládio, ósmio, irídio e platina. Eles apresentam propriedades físicas e químicas similares, e tendem a ocorrer nos mesmos depósitos minerais. A produção dos MGP normalmente inicia-se a partir de resíduos da produção de outros metais. Um produto típico é o resíduo de anodo da produção de ouro, cobre ou níquel.

De acordo com o DNPM (2011), o consumo mundial de platina teve como principais mercados consumidores, em 2010, os setores de catalisadores automotivos, joalheria e uso industrial, incluindo eletro-eletrônicos, indústria química e de vidros. A platina é mais dura e durável que o ouro. No consumo global de paládio, destacam-se os setores de catalisadores automotivos, joalheria, eletro-eletrônicos e materiais odontológicos. O mercado internacional de ródio teve como maiores consumidores os setores de catalisadores automotivos, indústria de vidros e indústria química. O paládio é usado no ouro branco; o rutênio e o irídio também são usados em ligas para joalheria. Todos os MGP são usados em aplicações industriais.

Em 2010, as reservas mundiais dos MGP eram estimadas em, aproximadamente, 66 mil toneladas, conforme mostrado na Tabela 2.4. As maiores reservas concentram-se na África do Sul (95,5%), localizadas no Complexo de Bushveld, totalizando dez minas em atividade. A

segunda maior reserva mundial encontra-se na Rússia, em Noril'sk-Talnakh, e representa cerca de 1,7% do total.

Tabela 2.4 Reservas e produção de metais do grupo platina

Discriminação	Reservas de MGP ⁽¹⁾ (kg)	Produção de MGP (kg)					
		Platina			Paládio		
Países	2010 ^(p)	2009 ^(r)	2010 ^(p)	%	2009 ^(r)	2010 ^(p)	%
África do Sul	63.000.000	141.000	138.000	75,4	75.100	73.000	37,1
Rússia	1.100.000	21.000	24.000	13,1	83.200	87.000	44,2
Canadá	310.000	4.600	5.500	3,1	6.500	9.400	4,7
Estados Unidos	900.000	3.830	3.500	1,9	12.700	11.600	5,9
Outros países	690.000	10.570	12.000	6,5	14.500	16.000	8,1
TOTAL	66.000.000	181.000	183.000	100	192.000	197.000	100

Fontes: DNPM/DIPLAM; UGSS: *Mineral Commodity Summaries 2010*

Notas: (1) Dados em metal contido de todos MGPs (Pt,Pd,Rd,Rh,Ir e Os). (r) Revisado; (p) Dados preliminares.

Em 2010, a produção mundial de platina totalizou 183 toneladas, representando um acréscimo de 1,1%. A produção de paládio foi de 197 toneladas, ocasionando também acréscimo de 2,5% em relação ao mesmo período anterior. A África do Sul foi o principal produtor mundial de platina, tendo ficado com 75% do volume total. A Rússia foi o maior produtor de paládio com participação de 44% na produção global.

Em 2011, a China manteve-se como o maior consumidor mundial de platina. A demanda líquida chinesa foi de 1,325 milhões de onças, 10% maior que no ano anterior⁹. As importações chinesas de platina foram muito fortes nesse ano. O mercado da joalheria chinesa de platina cresceu substancialmente. Um mesmo percentual da demanda de platina veio da indústria automobilística, que usa o metal para reduzir emissões de carbono e de gases de efeito estufa nos conversores catalíticos. Estima-se que 75% da demanda da joalheria, em 2010, vieram desse país. Em 2012, poderá haver um déficit de oferta¹⁰.

Na China, o crescimento da classe média está levando ao aumento da produção de automóveis, que usam platina, paládio e ródio em catalizadores para sistemas de exaustão¹¹.

⁹ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.mineweb.co.za/mineweb/view/mineweb/en/page35?oid=146320&sn=Detail&pid=102055>

¹⁰ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.mineweb.com/mineweb/view/mineweb/en/page35?oid=154047&sn=Detail>

¹¹ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.tradersgame.com/articles/invest-platinum.html>

Apesar da ênfase no desenvolvimento de carros elétricos e de novos catalisadores, padrões de emissão mais rígidos estão levando a um maior consumo dos MGPs. Estima-se que, na China, metade dos veículos convencionais produz-se com motores a gasolina, sendo a outra metade produzida com motores a diesel. Nos motores a gasolina, usa-se mais paládio, enquanto mais platina é usada nos catalisadores para motores a diesel. Os veículos com célula a combustível normalmente usam uma membrana eletrolítica polimérica que pode necessitar de platina.

2.5 Gálio

O gálio é um metal que não ocorre em concentrações suficientes para justificar uma mineração exclusiva. Estima-se que 95% do suprimento mundial de gálio sejam obtidos da produção de alumina, a partir da bauxita, e que cerca de 5% sejam obtidos dos resíduos no processamento do zinco. Estima-se que o refino da alumina extraia somente 10% de gálio contido no minério e somente 15% dos refinadores podem recuperar o elemento. A concentração de gálio na bauxita varia de 30 a 80 ppm.

Seu uso inclui circuitos integrados, semicondutores, diodos emissores de luz (LEDs), células fotovoltaicas, micro-ondas, telefones celulares e *smart phones*. Os aparelhos de vídeo *blu-ray* usam nitreto de gálio. Outras aplicações são coletores de neutrino, aplicações biomédicas, células a combustível e pós de fósforo ativados por ultravioleta. Aplicações em semicondutores, que requerem gálio em alta pureza, também podem gerar grande aumento no consumo.

De acordo com USGS (2011), em resposta a uma demanda sem precedentes por LEDs de alto brilho, muitos produtores de trimetil-gálio (TMG) expandiram sua capacidade de produção em 2010 e 2011.

O valor de mercado do diselenieto de cobre, índio e gálio (CIGS), usado na tecnologia fotovoltaica de filme fino, foi estimado em US\$ 613 milhões, em 2011, e pode chegar a US\$ 5,4 bilhões, em 2018. No entanto, a tecnologia CIGS está demorando a entrar no mercado comercial devido à complexidade do processo de fabricação. A redução dos preços das células solares a base de silício também tem impedido a fabricação em massa de painéis CIGS. Esses dois fatores resultaram em uma superoferta de módulo CIGS, o que causou uma redução de 20% nos preços.

Governos asiáticos investiram pesadamente nas tecnologias LED em 2010 e 2011. A República da Coreia iniciou um programa de iluminação do tipo LED com o objetivo de alcançar taxa de adoção de 100% no setor público e 60% no setor privado até 2020.

Na China, grandes incentivos foram definidos pelo governo para que se crie uma indústria com base na tecnologia LED. O governo chinês também implementou um programa de iluminação pública, a fim de criar uma demanda doméstica para a tecnologia. Para atender a grande demanda de gálio para LEDs, a capacidade de produção desse mineral deve ter crescido muito no ano de 2011.

As reservas mundiais de bauxita, em 2010, somaram 27,36 bilhões de toneladas, conforme mostrado na Tabela 2.5. A produção mundial somou 207 milhões de toneladas, com valor de cerca de US\$ 5,4 bilhões. A Austrália detém as maiores reservas de bauxita, com cerca de 5,4 bilhões de toneladas, sendo líder em produção, com 33,7% do total, o equivalente a 70 milhões de toneladas. Em seguida vem a China, com uma produção de cerca de 40 milhões de toneladas.

Tabela 2.5 Reservas e produção de bauxita

Discriminação Países	Reservas (10 ⁶ t)* 2010 ^(p)	Produção (10 ³ t)		
		2009 ^(r)	2010 ^(p)	%
Brasil ^(t)	2.600	28.060	29.000	14,0
Austrália	5.400	65.200	70.000	33,7
China	750	40.000	40.000	19,3
Índia	900	16.000	18.000	8,7
Guiné	7.400	15.600	17.400	8,4
Jamaica	2.000	7.820	9.200	4,4
Kazaquistão	360	5.130	5.300	2,5
Venezuela	320	2.500	2.500	1,2
Suriname	580	4.000	3.100	1,5
Rússia	200	5.780	4.700	2,3
Grécia	600	2.100	2.000	1,0
Guiana	850	1.760	1.800	0,9
Vietnam	2.100	30	30	-
Outros países	3.300	10.310	4.440	2,1
TOTAL	27.360	201.000	207.470	100,0

Fontes: DNPM/DIPLAM; USGS- *Mineral Commodity Summaries-2010*; *International Aluminium Institute (IAI)*; Associação Brasileira do Alumínio (ABAL); Empresas produtoras de bauxita. Notas: (p) dados preliminares, exceto Brasil; (r) revisado. * Reservas Lavráveis

Em 2011, a produção primária de gálio foi estimada em 216 toneladas métricas. China, Alemanha, Kazaquistão e Ucrânia foram os principais produtores. China, Japão, Reino

Unido e Estados Unidos foram os principais produtores de gálio refinado. O gálio tem sido reciclado a partir de sucata nova no Canadá, Alemanha, Japão, Reino Unido e Estados Unidos.

A China é o maior produtor de gálio virgem. Estima-se que país tenha aumentado sua capacidade de produção de 141 toneladas por ano, em 2010, para 206 toneladas por ano, em 2011¹².

Uma significativa parcela de gálio vem da produção secundária, principalmente de reciclagem de lâminas (*wafers*) de arseneto de gálio e de resíduos de epitaxia fase líquida. Os principais centros para produção secundária são Japão e América do Norte. No entanto, há evidências de que efetiva reciclagem ocorre na China, apesar do fato de o país estar se tornando um grande consumidor.

Na China, cerca da metade do consumo identificado de gálio é em materiais magnéticos NdFeB, coisa que não ocorre em nenhum outro lugar do mundo, mas que tem potencial para ocorrer no Japão.

Estima-se que a demanda por gálio vai crescer a uma taxa de 15% ano até 2015. Essa demanda será atendida tanto por capacidade já existente, principalmente de refino secundário, e por nova capacidade primária planejada para a China e, possivelmente, América do Norte. Enquanto a reciclagem permanecer em baixos níveis, reservas de material secundário vão ser acumuladas na China.

2.6 Índio

O índio é um metal macio, obtido como subproduto do zinco. Metade da demanda está associada ao uso em coberturas de óxido de estanho para *displays* planos de alta eficiência. É também usado em detetores infra-vermelho, transistores de alta velocidade e células fotovoltaicas de alta eficiência. O In é usado com cobre, gálio e diselenieto em filmes finos para essas células.

Em razão do uso em *smart phones* e *tablets*, a demanda por índio deve aumentar no curto prazo. Registre-se, ainda, que o índio pode ser um elemento de liga para semicondutores em LEDs e diodos laser. Novos usos desse elemento incluem lâmpadas sem eletrodo, liga de mercúrio e barras de controle para centrais nucleares.

De acordo com o USGS (2012), os maiores produtores de índio em 2011 foram China, Japão, Canadá, República da Coreia, Peru e Bélgica. Estima-se que a produção mundial em 2010 foi de 574 toneladas. A China controla mais de 50% da produção de índio refinado. Existem grande produtores na China, mas também muitos produtores pequenos, que confiam na compra de concentrados de grandes indústrias de refino de metal.

A China produz cerca de 300 a 350 toneladas de índio por ano. O governo chinês restringiu as exportações de índio por meio de tributos. Além disso, em dezembro de 2009 a China estabeleceu uma cota de exportação de 139,8 toneladas de índio para o primeiro semestre de 2010. Em outubro de 2010, anunciou uma cota de exportação, para 2011, igual à de 2010, que foi de 233 toneladas.

A empresa International Metal Material é a maior fornecedora de índio e de lingote de índio na China, o que significa que é a maior companhia de índio do mundo¹³. As exportações chinesas restringem-se a dezesseis empresas produtoras e a duas comercializadoras. Elas são as únicas que detêm licenças de exportação. Estima-se que somente 50% da cota anual de exportação têm sido atingidos.

2.7 Manganês

O manganês é um metal duro e frágil muito abundante na crosta terrestre. É muito importante na produção de ligas metálicas fabricadas pelo setor siderúrgico, pois tem a propriedade de tornar o aço mais duro, tenaz e resistente ao desgaste. A maior parte do manganês é consumida na produção de ferro e aço.

Na economia verde, seu principal uso é em baterias para veículos elétricos. A demanda por essas baterias deve aumentar muito no médio prazo. Para essa aplicação, utiliza-se o dióxido de manganês, normalmente sintetizado química ou eletroliticamente. Também estão sendo realizadas pesquisas visando ao uso do manganês em células fotovoltaicas. O dióxido de manganês grau bateria é responsável por 3% a 5% da produção global de manganês. Outros usos do manganês incluem a fabricação de tijolos, produtos químicos e fertilizantes.

¹² Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.roskill.com/reports/minor-and-light-metals/gallium>

As reservas de minério de manganês estão localizadas, principalmente, na Ucrânia, África do Sul, Austrália, Brasil, Índia, Gabão e China, conforme mostrado na Tabela 2.6. A produção mundial de minério de manganês, em 2010, foi de 14,7 milhões de toneladas, com valor estimado de US\$ 2,3 bilhões.

A China é considerada a líder no consumo de manganês e uma grande importadora de manganês de alta qualidade¹⁴. Estima-se que a China consuma 35% do minério cru produzido no mundo. As instalações internas não estão prontas para atender a demanda e, no momento, produzem apenas material de baixa qualidade.

Tabela 2.6 Reservas e produção de manganês

Discriminação Países	Reservas* (10 ³ t) 2010 ^(p)	Produção (10 ³ t)		
		2009 ^(r)	2010 ^(p)	%
Brasil*	60.000	2.320	2.620	17,81
Ucrânia	140.000	375	580	3,94
África do Sul	120.000	1.900	2.200	14,96
Austrália	93.000	2.140	2.400	16,32
Índia	56.000	980	1.100	7,48
Gabão	52.000	881	1.400	9,52
China	44.000	2.400	2.800	19,03
México	4.000	169	210	1,43
Outros países	11.000	1.240	1.400	9,52
TOTAL	580.000	12.405	14.710	100

Fontes: DNPM/DIPLAM, Relatórios de produção das principais empresas produtoras de manganês e USGS: *Mineral Commodity Summaries – 2011*. (r) Indica que os dados foram revisados. (p) – preliminar. *Reserva Lavrável

2.8 Molibdênio

O molibdênio é um metal de transição muito usado na forma de ligas metálicas, principalmente no aço. Em termos geológicos, o molibdênio ocorre principalmente como sulfeto de molibdênio (molibdenita), com teores de 0,01% a 0,5% em depósitos tipo molibdênio pórfiro ou como subproduto de minérios de cobre pórfiro. Outras formas de mineralizações com expressão econômica podem estar associadas a greisens ou escarnitos.

¹³ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.indiumsupplier.com/company-news/164-china-indium-exporters-become-largest-indium-factory>

¹⁴ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://manganeseinvestingnews.com/2270/china-leads-manganese-mining-and-production/>

Aproximadamente dois terços do molibdênio consumido são empregados em ligas metálicas de alta resistência, que suportam temperaturas elevadas e resistem à corrosão, usadas, por exemplo, na fabricação de peças para aviões e automóveis. Na indústria petroquímica, é usado como catalisador. O Mo-99 é empregado na indústria de isótopos nucleares.

O molibdênio também é empregado em diversos pigmentos para pinturas, tintas, plásticos e compostos de borracha. O dissulfeto de molibdênio é um bom lubrificante e pode ser empregado em altas temperaturas. O molibdênio pode ser empregado em algumas aplicações eletrônicas, como nas telas de projeção do tipo transistor de tela fina. Na forma de fios podem ser utilizados para usinagem por eletroerosão de corte a fio.

Segundo Roskill¹⁵, os principais indutores do consumo de molibdênio tem sido os seguintes:

- aumento do uso de aços inoxidáveis e de outros tipos de aço com molibdênio em unidades de geração de energia e de dessalinização;
- maior uso em aços de alta resistência em dutos e motores veiculares;
- uso de molibdênio em aços usados em colunas e brocas de perfuração de poços de petróleo a grandes profundidades;
- aumento do uso em componentes de usinas nucleares que demandam aços inoxidáveis especiais;
- demanda por catalisadores de níquel-molibdênio e cobalto molibdênio usados na produção de óleo diesel de baixo teor de enxofre.

De acordo com o DNPM (2011), em 2010 foi registrado um aumento da ordem de 13% nos valores de reservas mundiais de molibdênio, totalizando-se 9,8 milhões de toneladas. De acordo com a Tabela 2.7, China, Estados Unidos da América e Chile respondem por cerca de 81% da oferta global.

Em 2010, a China classificou o molibdênio com um “recurso mineral nacional”, limitando a mineração e as exportações desse metal¹⁶. Em 2007, a China já tinha estabelecido

¹⁵ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet http://www.mmta.co.uk/uploaded_files/Molybdenum.%20Roskill.pdf

cotas de exportação para o molibdênio, mas com essa classificação, será maior ainda o controle sobre sua mineração.

Tabela 2.7 Reservas e produção de molibdênio

Discriminação	Reservas (10 ³ t)	Produção (t)		
		2009	2010 ^(p)	%
Países	2010	2009	2010 ^(p)	%
Brasil ⁽¹⁾	-	-	-	-
China ⁽³⁾	4.300	93.500	94.000	40,2
Estados Unidos	2.700	47.800	56.000	23,9
Chile	1.100	34.900	39.000	16,7
Peru	140	12.300	12.000	5,1
Canadá	200	8.840	9.100	3,9
México	130	7.800	8.000	3,4
Outros países ⁽²⁾	1.230	12.860	15.900	6,8
TOTAL	9.800	221.000	234.000	100

Fontes: DNPM-DIPLAM, USGS: *Mineral Commodity Summaries 2011*.

Notas: (1) Reserva lavrável; (-) Dados nulos; (p) Dados preliminares.

A China tem, de acordo com a Tabela 2.1, cerca de 43% das reservas mundiais de molibdênio, além de ser o maior produtor mundial. Os projetos chineses de infraestrutura como pontes, dutos e unidades de geração de energia consomem grandes quantidades de molibdênio. As usinas nucleares também são grandes demandantes.

A Figura 2.3 mostra o crescimento do consumo de molibdênio por país entre 2000 e 2009. Conforme pode ser observado nessa figura, a partir de 2005 houve um grande crescimento do consumo de molibdênio pela China.

¹⁶ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://molyinvestingnews.com/3041-china-set-to-control-moly-production.html>

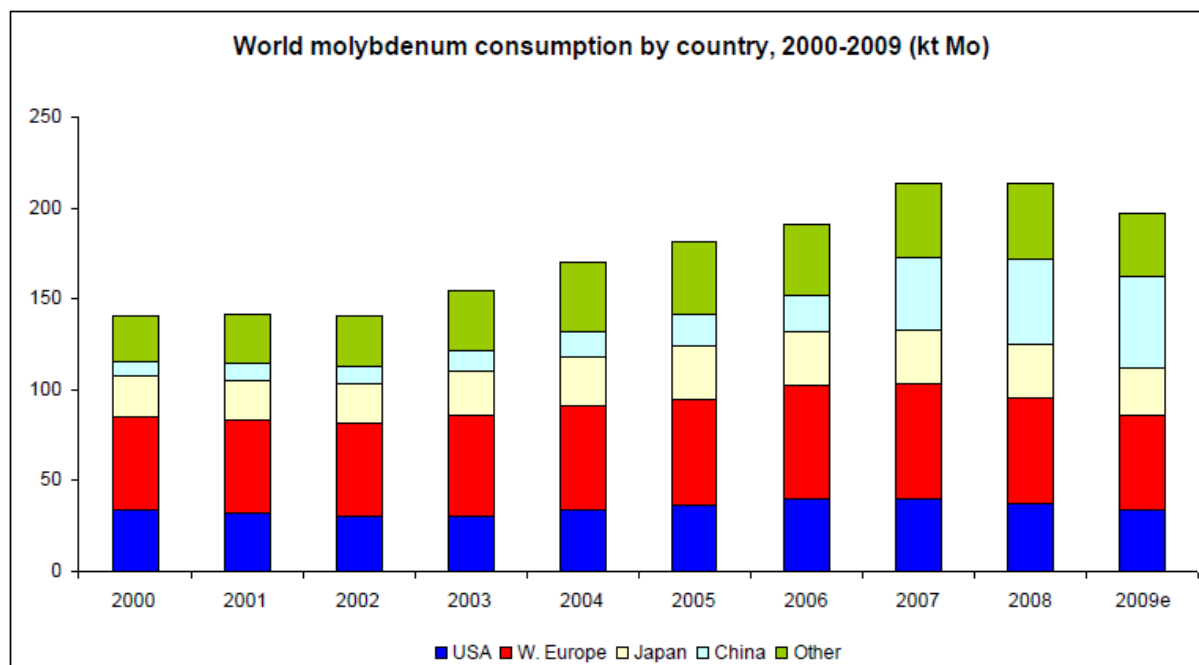


Figura 2.3 Evolução do consumo de molibdênio por país

Em 2011, a China produziu 85 mil toneladas de molibdênio, sendo responsável por 34,1% da produção mundial. O país consumiu 75 mil toneladas, o que representou 31% do total global. A China manteve-se como o maior produtor e consumidor mundial de molibdênio em 2011. A partir de 2008, a diferença entre a oferta e a demanda tem diminuído na China como consequência de um maior crescimento da demanda que da oferta. Em 2009, a China tornou-se um importador líquido devido, principalmente, à inversão dos preços domésticos e externos.

Produtos de alto valor agregado representam uma pequena parcela entre os produtos chineses contendo molibdênio. No momento, os produtos chineses são dominados por produtos primários tais como ferro-molibdênio e concentrado de molibdênio. Os produtos de alto valor agregado, como produtos químicos e metais representam uma parcela de 30%.

A empresa estatal China Molybdenum Company Limited é a maior produtora de molibdênio na China e também produtora de tungstênio. Em 2007, ela foi listada na Bolsa de Valores de Hong Kong, sendo a empresa com a maior valorização a partir do primeiro dia de negociação.

As empresas Jinduicheng Molybdenum Stock Co., Ltd. e Luoyang Molybdenum Industry Company, possuem suas próprias minas, com alta taxa de autossuficiência e com produtos cobrindo toda a cadeia produtiva, o que gera maior rentabilidade.

Os produtos de empresas como a Xinhualong Molybdenum Industry e a Wanxin Tungsten-Molybdenum, como não são autossuficientes, dedicam-se mais a produtos fundidos e ao *downtream*. Apesar do alto faturamento, apresentam menores rentabilidades, sendo a margem líquida de cerca de 2,7%.

Companhias como a Daheishan Mining Industry detêm abundantes reservas, mas são deficientes na fundição e no processamento. Apesar de estarem focadas no *upstream*, apresentam alta rentabilidade, com margem líquida de 19,6%.

2.9 Nióbio

O nióbio é um metal utilizado na composição de ligas metálicas que apresentam resistência e leveza. Ele é considerado estratégico em certos setores como a indústria aeronáutica, naval e espacial, além da automobilística. É encontrado em minerais tais como niobita (columbita), niobita-tantalita, pirocloro e euxenita. Minerais que contêm nióbio geralmente contêm também o tântalo.

O nióbio apresenta numerosas aplicações, sendo usado em alguns aços inoxidáveis e até em ligas de metais não ferrosos. Ligas com nióbio, devido à resistência, são usadas para a fabricação de tubos transportadores de água e petróleo a longas distâncias. Outras aplicações incluem o uso em indústrias nucleares devido a sua baixa captura de nêutrons térmicos e em soldas elétricas. Grandes quantidades de nióbio são utilizadas em superligas para fabricação de componentes de motores de jatos e subconjuntos de foguetes. Pesquisas avançadas com nióbio foram realizadas no âmbito do programa Gemini¹⁷. O nióbio está sendo avaliado como uma alternativa ao tântalo para a utilização em capacitores.

O nióbio converte-se em supercondutor quando submetido a temperaturas criogênicas. Na pressão atmosférica e quando puro, tem a mais alta temperatura crítica entre os

¹⁷ O Projeto Gemini foi o segundo projeto de exploração espacial realizado pela Nasa, antecedido pelo Projeto Mercury, e ao qual se seguiu o Projeto Apollo.

supercondutores de tipo I¹⁸. Além disso, é um elemento presente em ligas de supercondutores que são do tipo II.

Em 2010, o Brasil tinha 98,43% das reservas mundiais de nióbio, seguido pelo Canadá (1,11%) e Austrália (0,46%), sendo as reservas mundiais de aproximadamente 4,16 milhões de toneladas, conforme mostrado na Tabela 2.8. Nesse ano foram produzidas cerca de 170 mil toneladas de nióbio, sendo o Brasil o maior produtor mundial da substância, responsável por 97,08% da produção global.

Tabela 2.8 Reservas e produção de nióbio

Discriminação Países	Reservas ⁽²⁾ (t)		Produção ⁽¹⁾ (t)		
	2010 ^(p)	2008 ^(r)	2009 ^(r)	2010 ^(p)	(%)
Brasil	4.096.658	144.514	165.723	165.767	97,08
Canadá	46.000	4.380	4.330	4.400	2,57
Outros países	21.000	483	400	600	0,35
TOTAL	4.161.658	149.377	170.423	170.767	100

Fontes: DNPM / DIPLAM, USGS Mineral Commodity Summaries-2011

(1) Dados referentes à Nb₂O₅ contido no minério. (2) Reserva Lavrável, (p) Preliminar, (r) Revisado

O valor da produção mundial de nióbio foi de aproximadamente US\$ 1,9 bilhão. O Estado de Minas Gerais e de Goiás são os maiores produtores. As principais reservas estão localizadas nos Estados de Minas Gerais, Amazonas e Goiás.

A Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) é o maior complexo mineiro-industrial de nióbio de todo o mundo, localizado em Araxá (MG). A jazida de nióbio pertence à Codemig, empresa pública constituída na forma de sociedade anônima e controlada pelo Estado de Minas Gerais, e está arrendada à CBMM, por meio da Comipa, empresa criada para gerenciar jazidas de nióbio pertencentes às duas companhias¹⁹.

O nióbio produzido em Araxá responde por 75% de toda a produção mundial. Sua produção anual é de 70 mil toneladas da liga ferro-nióbio. O nióbio de Araxá tem reserva para ser explorado por mais de 400 anos.

A CBMM extrai, processa, fabrica e comercializa produtos à base de nióbio. Uma Conta de Participação nos Lucros entre a Codemig e a CBMM garante a exploração racional do

¹⁸ Existem dois tipos de supercondutor. Nos supercondutores do tipo I, o efeito Meissner é total, enquanto nos supercondutores do tipo II há uma pequena penetração das linhas de campo magnético para dentro do material.

¹⁹ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet http://www.comig.com.br/site/content/parcerias/parcerias_detalhe.asp?id=37

depósito de nióbio. O contrato concede 25% de participação nos lucros operacionais da CBMM ao Governo do Estado de Minas Gerais²⁰.

A empresa é a única produtora de nióbio com presença em todos os segmentos de mercado. As atividades de mineração são feitas a céu aberto e sem explosivos. A unidade de concentração possui uma capacidade de produção instalada de 84 mil toneladas por ano. Os seguintes processos de produção são utilizados nesta unidade: moagem úmida, separação magnética, deslame e flutuação.

Para atingir as especificações exigidas pela indústria, o concentrado de pirocloro é refinado através de um processo pirometalúrgico, desenvolvido pela CBMM, que inclui pelotização e sinterização do concentrado flutuado, seguido de fusão redutora (desfosforação). Água é utilizada apenas para granular o concentrado e para lavar os gases na fase de sinterização. Operando desde o início de 2000, a nova planta pirometalúrgica resultou em maior eficiência, em redução de emissões e em melhor qualidade de produto. A nova unidade apresenta uma capacidade instalada que permite a produção de 84 mil toneladas por ano de concentrado refinado. O concentrado não é comercializado, sendo usado como matéria-prima dos produtos de nióbio fabricados pela CBMM.

A CBMM desenvolveu um processo para a obtenção de óxido de nióbio a partir do pirocloro. Esse processo é um dos mais importantes avanços tecnológicos já feitos na área, especialmente do ponto de vista econômico. A partir de 1980, início de operação da unidade de produção de óxido de nióbio, esta unidade foi objeto de um programa de melhorias que levaram a ganhos de produtividade e qualidade. Atualmente, a produção independe de matérias-primas importadas.

A unidade de produção de óxido de nióbio especial, estabelecida em junho de 1998, destina-se à produção de óxido de nióbio puríssimo, usado sobretudo em aplicações ópticas. A planta representa um esforço em pesquisa e desenvolvimento, e evidencia o empenho da CBMM em desenvolver compostos de nióbio de alta pureza.

A CBMM também produz ferro-nióbio padrão desde 1965. Em 1994, foi introduzida a aluminotermia em forno elétrico, em um processo semicontínuo. Conforme mencionado, a

²⁰ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.cbmm.com.br/portug/index.html>

capacidade anual de produção é de 70 mil toneladas. Em uma planta auxiliar, é possível produzir 600 toneladas por mês de ferro-nióbio padrão pelo processo aluminotérmico convencional e com total proteção do meio ambiente. Esta planta está disponível para atender picos de demanda, especificações especiais, bem como para atender eventuais restrições no fornecimento de eletricidade.

Existe, ainda, a unidade de produção de nióbio metálico. Para fabricar nióbio metálico puro e a liga nióbio-1% zircônio, a CBMM utiliza um forno de feixe de elétrons. A capacidade instalada do forno é de 210 toneladas por ano de lingotes cilíndricos, fabricados de acordo com os padrões ASTM B-391.

Segundo Bethel e Ku²¹, a China ocupa um papel de destaque no crescimento das aplicações do nióbio, principalmente na produção de aços. A China é o principal mercado para o nióbio no mundo, consumindo cerca de 25% de todo o ferro-nióbio produzido, sendo um percentual baixíssimo produzido no próprio país. Assim, a China tem sido o principal importador de nióbio nos últimos anos. A Figura 2.4 mostra os principais países importadores de nióbio em 2009. A China importou cerca de 94% de suas necessidades de ferro-nióbio do Brasil

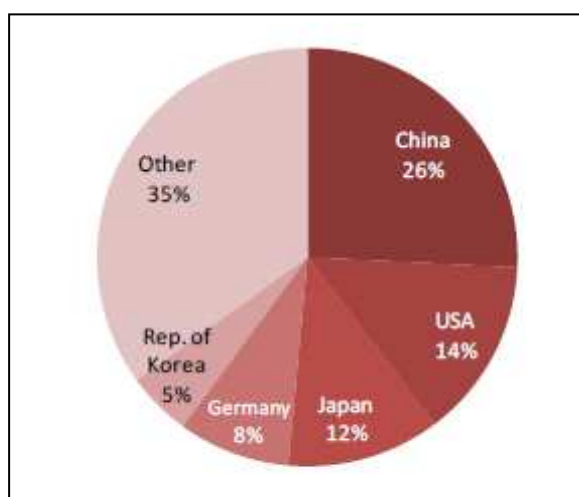


Figura 2.4 Principais países importadores de nióbio em 2009

²¹ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://seekingalpha.com/instablog/462107-erik-bethel/107295-niobium-a-bridge-between-brazil-and-china-part-2>

Em razão da importância estratégica do nióbio e da impossibilidade de ter uma cadeia produtiva desse elemento na China, um consórcio chinês adquiriu 15% do capital da CBMM, em setembro de 2011, por US\$ 1,95 bilhão²². O consórcio foi formado pelas empresas estatais Baosteel, Taiyuan Iron & Steel Group e Grupo CITIC.

Alguns analistas questionaram os interesses estratégicos brasileiros após o repasse dessa percentual para a China e recomendaram que o Brasil dê mais importância às suas reservas de tão estratégico metal.

Mas não é somente o consórcio chinês que está interessado no nióbio brasileiro. Em março de 2011, Japão e Coreia do Sul formaram um consórcio de companhias, composto pela JFE Holdings, Nippon Steel e Posco, entre outras, já havia adquirido 15% da CBMM por US\$ 1,8 bilhão²³.

2.10 Tântalo

O tântalo é um metal de transição raro, pesado, dúctil, muito duro, resistente a corrosão por ácidos e bom condutor de calor e eletricidade. É encontrado principalmente na tantalita, euxenita e outros minerais como a samarskita e a fergusonita. A tantalita é encontrada, na maioria das vezes, misturada com a columbita.

Em temperaturas abaixo de 150 °C, o tântalo é quase completamente imune ao ataque químico. Somente é atacado pelo ácido fluorídrico ou mediante fusão alcalina. O elemento tem um ponto de fusão apenas menor que o do tungstênio e o rênio. O tântalo tem a maior capacitância por volume entre todas as substâncias. Seu principal uso é na produção de componentes eletrônicos, principalmente capacitores, que são muito pequenos em relação a sua capacidade. Cerca de metade da produção mundial de tântalo destina-se à fabricação de capacitores. Por causa da vantagem do tamanho e do peso, os principais usos incluem telefones, computadores pessoais e produtos eletrônicos automotivos.

²² Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://riotimesonline.com/brazil-news/rio-business/chinas-stake-in-brazils-niobium-mining/>

²³ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.dealmaker.com.br/blog/index.php/2011/09/02/china-compra-15-da-brasileira-cbmm-maior-produtora-de-niobio-do-mundo/>

Também é usado para produzir uma série de ligas que possuem altos pontos de fusão, alta resistência e boa ductilidade. O tântalo de carbono, um tipo de carvão muito duro, é usado para produzir ferramentas de cortes, furadeiras e máquinas trefiladoras. Em superligas, é usado para produzir componentes de motores de jatos, equipamentos para processos químicos, peças de mísseis e reatores nucleares.

Por ser não irritante e imune à ação dos fluidos corporais, é usado em equipamentos e implantes cirúrgicos na medicina e odontologia. Seu óxido é usado para elevar o índice de refração de vidros especiais para lentes de câmera.

Segundo dados do DNPM (2011), em 2010, as reservas mundiais de tântalo eram de 131 mil toneladas, sendo 87,8 mil toneladas desse total localizadas no Brasil, conforme mostrado na Tabela 2.9. Nesse ano, o Brasil foi o maior produtor de minério de tântalo, atingindo cerca de 176 toneladas de metal contido, o que representou 26,6% da produção mundial.

Tabela 2.9 Reservas e produção de tântalo

Discriminação Países	Reservas ⁽¹⁾ (t)	Produção ⁽²⁾ (t)		
	2010 ^(p)	2009 ^e	2010 ^(p)	(%)
Brasil	87.782	142	176	26,6
Austrália	40.000	81	80	12,1
Moçambique	3.200	113	110	16,6
Ruanda	-	104	100	15,1
Canadá	-	25	25	3,8
Outros países	-	162	170	25,7
TOTAL	130.982	627	661	100

Fontes: DNPM/ DIPLAM, USGS: *Mineral Commodity Summaries- 2011.* Notas: (p) preliminar (e) estimada (r) revisado. (1) O total das reservas do *Mineral Commodity Summaries* (USGS, 2011) foi corrigido com a informação do DNPM, (2) Produção em metal contido nas Ligas.

A China importa cerca de 80% das matérias-primas com tântalo para atender seu consumo. O processamento doméstico de tântalo é restringido pelas incertezas de fornecimento de matérias-primas por parte de outros países.

Apesar disso, a China conta com a Ningxia Orient Tantalum Industry, que é um dos principais fabricantes de tântalo do mundo. A empresa estabeleceu uma relação de longo prazo com a Yichun Tantalum & Niobium Mine, que é a maior mina na China, e celebrou grandes acordos com mineradores na América do Sul e com fornecedores da África para suprir necessidades de curto prazo.

Estabeleceu-se como uma fundidora de tântalo, berilo e nióbio e como um centro de pesquisa, que antigamente pertencia à Beijing Non-ferrous Metals Research Institute, que é uma instituição nacional estratégica de alta tecnologia²⁴. Atualmente, é a maior base de produção de produtos de tântalo e nióbio na China e um Centro de Pesquisa em Nióbio e Tântalo.

As vendas da empresa de pó de tântalo grau capacitor e de arame de tântalo representam 70% do mercado chinês. Esses materiais, além de ligas de nióbio, materiais e produtos para processamento, entre outros, têm sido exportados para os Estados Unidos, Reino Unido, Alemanha, Japão e Coreia. Além disso, a companhia estabeleceu uma boa relação com os fabricantes de capacitores de tântalo.

2.11 Titânio

O titânio é um elemento metálico muito conhecido por sua excelente resistência à corrosão e por sua grande resistência mecânica. Possui baixa condutividade térmica e elétrica e é um metal leve, tendo 40% da densidade do aço. Quando puro, é bem dúctil e fácil de trabalhar. O ponto de fusão relativamente alto faz com que seja útil como um metal refratário. O titânio é 60% mais pesado que o alumínio, porém duas vezes mais resistente.

Não é encontrado livre na natureza, porém é o nono em abundância na crosta terrestre e está presente na maioria das rochas ígneas e sedimentos derivados dessas rochas. É encontrado principalmente na ilmenita, leucoxena e rutilo. Também ocorre como titanato em minas de ferro.

O titânio metálico é produzido comercialmente a partir da redução do tetracloreto de titânio com magnésio a 800°C em atmosfera de argônio. Em presença do ar reagiria com o nitrogênio e oxigênio. Este processo, desenvolvido por William Justin Kroll em 1946, é conhecido como "processo Kroll". Desse modo, é obtido um produto poroso conhecido como esponja de titânio que, posteriormente, é purificado para a obtenção do produto comercial.

Na forma de metal e suas ligas, cerca de 60% do titânio é utilizado nas indústrias aeronáutica e aeroespacial. Na indústria naval, é empregado em equipamentos submarinos e de dessalinização de água do mar; na indústria aeronáutica, é usado na fabricação das pás da turbina

²⁴ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://en.otic.com.cn/NOUM.asp?classid=290>

dos turbofans, turbojatos e turbo-hélice; na indústria nuclear, é empregado na fabricação de recuperadores de calor; na indústria bélica, é sempre empregado na fabricação de mísseis e peças de artilharia; na indústria metalúrgica, é usado em ligas com cobre, alumínio, vanádio e níquel.

De acordo com o DNPM (2011), as reservas de titânio na forma de ilmenita e rutilo totalizaram, em 2010, aproximadamente 610 milhões de toneladas, sendo que mais da metade dessas reservas estavam concentradas na China (30,77%), Austrália (15,38%) e Índia (13,08%), conforme mostrado na Tabela 2.10.

Tabela 2.10 Reservas e produção de ilmenita e rutilo

Discriminação	Reservas – 2010 ^{(p) (1)}		Produção – 2010 ^(p)			
	Ilmenita (10 ³ t)	Rutilo (10 ³ t)	Ilmenita (10 ³ t)	(%)	Rutilo (10 ³ t)	(%)
Países						
Brasil	3.000	50	123	2,1	3	0,5
África do Sul	63.000	8.300	1.120	19,3	130	22,5
Austrália	100.000	1.200	1.070	18,4	280	48,5
Canadá	31.000	nd	700	12,1	nd	nd
China	200.000	nd	600	10,3	nd	nd
Índia	85.000	7.400	420	7,2	20	3,5
Madagascar	40.000	nd	150	2,6	6	1,0
Moçambique	16.000	480	350	6,0	2	0,3
Noruega	37.000	nd	320	5,5	nd	nd
Vietnã	1.600	nd	410	7,1	nd	nd
Ucrânia	5.900	2.500	300	5,2	57	9,9
Estados Unidos	2.000	18.000	200	3,4	²	²
Serra Leoa	nd	3.800	nd	nd	67	nd
Sri Lanka	nd	nd	40	0,7	12	2,1
Outros países	26.000	400	nd	nd	nd	nd
TOTAL	610.500	42.130	5803	100%	575	100

Fontes: DNPM/DIPLAM – AMB; USGS – *Mineral Commodity Summaries 2011*.

Notas: (1) Reservas Lavráveis; (2) A produção do rutilo está inserida dentro da produção de ilmenita; (p) preliminar; (nd) dados não disponíveis

Em 2010, a produção mundial de concentrado de titânio foi de 6,4 mil toneladas, com valor de produção da ordem de US\$ 2 bilhões. Aproximadamente 91% da produção mundial de titânio é obtida da ilmenita, mineral de titânio de ocorrência mais comum, enquanto que o restante vem do rutilo, mineral com maior teor de titânio, porém mais raro.

A China é o maior produtor mundial de titânio²⁵. A produção chinesa de esponja de titânio atingiu 57,7 mil toneladas em 2010, o que representou 37,4% da produção mundial,

²⁵ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.researchinchina.com/htmls/report/2011/6237.html>

conforme mostrado na Figura 2.5. Já a capacidade de produtos manufaturados atingiu 38,3 mil toneladas, cobrindo 34,3% do total mundial. Em termos de esponja de titânio, Estados Unidos, Europa e Coreia do Sul são os principais destinos das exportações chinesas.

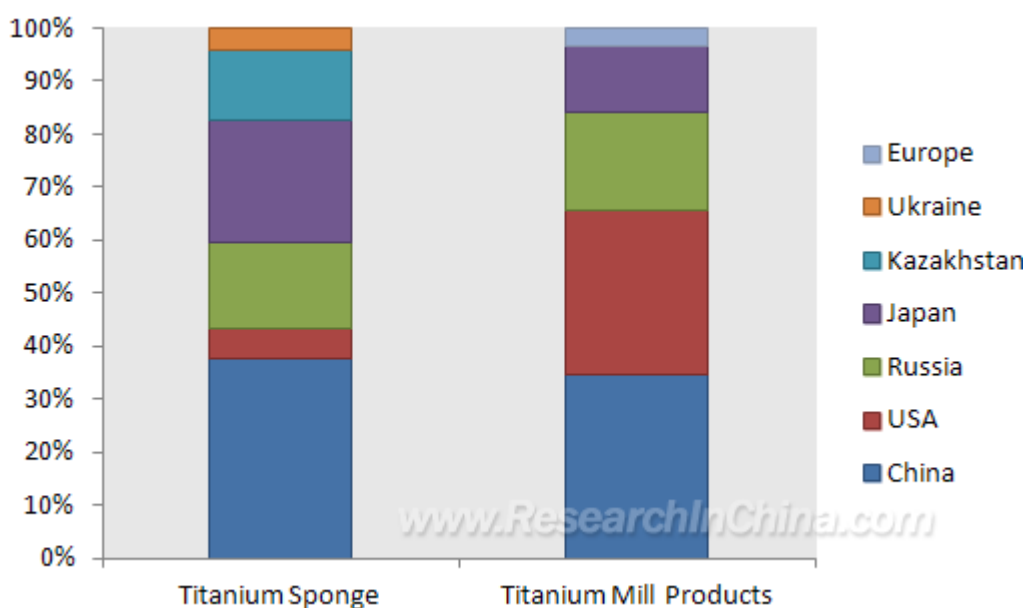


Figura 2.5 Produção de esponja e de produtos manufaturados de titânio em 2010

Produtos de titânio manufaturados contam com grande capacidade instalada na China, mas as capacidades de produção de chapas finas e de tubos soldados estão longe de serem suficientes. No caso dos produtos finais para a indústria aeroespacial, a empresa Baoji Titanium é o único fornecedor do mercado chinês. Ela também é a única exportadora de produtos espaciais.

A Baoji Titanium, uma das líderes mundiais de ligas de titânio, tem cerca de 40% do mercado doméstico e acima de 95% do mercado militar. Restringidas pela capacidade e por questões tecnológicas, outras empresas, como a Western Metal Materials, Western Superconducting Technologies, Beijing Zhongbei Titanium and Baosteel Special Steel, são menos competitivas.

A empresa é avaliada e aprovada pelas maiores empresas aeroespaciais, com a Boeing, Goodrich, Airbus, Rolls Royce, Aubert & Duval, Snecma e Bombardier. Seus produtos podem ser

fabricados e certificados de acordo com muitas normas, tais como ASTM, MAS, AME, JIS, ASME e também de acordo com exigências específicas.

2.12 Vanádio

O principal uso do vanádio é em ligas de alta resistência e como catalizador na produção de ácido sulfúrico. O vanádio pode ser obtido de uma grande variedade de depósitos naturais, incluindo rochas fosfáticas, magnetita titanífera e areias uraníferas. Grandes quantidades de vanádio também são encontradas na bauxita e em materiais carboníferos. Contudo, a maior parte da produção de vanádio ocorre como subproduto ou coproduto de outras operações.

O vanádio é predominantemente utilizado como aditivo para aumento da resistência do aço e de algumas formas de ferro²⁶. Aproximadamente 85% do vanádio é usado na indústria de aço de alto desempenho. Outros 10% são decorrem do uso como elemento de liga para o titânio. Outros usos de vanádio incluem a produção de catalisadores, ácido sulfúrico, cerâmica e vidros.

Ele também pode ser muito útil no avanço da tecnologia de baterias. Tanto as baterias de íons de lítio quanto as baterias redox, para uso em redes de energia, beneficiam-se muito do uso do vanádio. Como agente anticorrosivo, o vanádio pode ser usado em um grande conjunto de materiais como super-ímãs de terras-raras. Esses novos desenvolvimentos em energia alternativa e tecnologia limpa poderão ter um grande impacto na demanda de vanádio ao longo das próximas décadas.

De acordo com o DNPM (2011), em 2010, as reservas mundiais, em termos de metal contido, eram de 13,8 milhões de toneladas. As maiores reservas no mundo estão localizadas na China (5,1 milhões de toneladas), Rússia (5,0 milhões de toneladas) e África do Sul (3,5 milhões de toneladas), conforme mostrado na Tabela 2.11. Nesse ano, a produção mundial de minério, em que o vanádio ocorre como coproduto ou subproduto, atingiu 56 mil toneladas. África do Sul, China e Rússia abastecem o mercado mundial com 98,21% do total produzido. No Brasil, não há produção de vanádio na forma de metal.

Tabela 2.11 Reservas e produção de vanádio

Discriminação	Reservas (10 ³ t)		Produção (t)	
	2010 ^(p)	2009 ^(r)	2010 ^(p)	%
Países				
Brasil	175 ⁽¹⁾	-	-	-
Estados Unidos	45	-	-	-
China	5.100	21.000	23.000	41,07
África do Sul	3.500	17.000	18.000	32,14
Rússia	5.000	14.500	14.000	25,00
Outros países	...	1.000	1.000	1,79
TOTAL	13.820	53.500	56.000	100,00

Fontes: DNPM/DIPLAM; USGS-Mineral Commodity Summaries 2011.

Notas: (1) Reserva lavrável. (vide apêndice); (r) Dados revisados; (p) Dados preliminares; (...) Dados não disponíveis; (-) Nulo. Até o ano-base 2008 foram utilizados os dados de reservas medida + indicadas. A partir de 2009, os dados são das reservas lavráveis.

Em 2010, a China liderou a indústria de vanádio com uma parcela de 38,2% na produção mundial²⁷. A África do Sul ficou em segundo lugar, com parcela de 33,3%. Como o vanádio pode ser recuperado como subproduto ou coproduto, as reservas estimadas não são totalmente indicativas da oferta disponível²⁸.

O uso final do vanádio dita como ele é produzido: óxido de vanádio para aplicações químicas ou ferro-vanádio para aços. Estima-se que cerca de 70% do vanádio produzido seja derivado de escória como subproduto. Um terço da oferta é minerado como produto primário e a oferta restante é recuperada de cinza volante, proveniente da queima do carvão mineral, e do refino de petróleo, que são de cara extração.

Poucos grandes produtores controlam o mercado: Evraz, com operações na África do Sul por meio de sua subsidiária Highveld Steel and Vanadium; Xstrata, que opera a mina de vanádio de Rhovan na África do Sul; e a Panzhihua New Steel and Vanadium, que é parte da companhia Panzhihua Iron and Steel e opera na Província de Sichuan na China.

Na China, formou-se um polo industrial de vanádio que inclui dezessete empresas estatais e privadas. Uma grande variedade de produtos pode ser fornecida, tais como vanádio de escória, óxidos de vanádio, nitreto de vanádio, ferro-vanádio, o que torna Panzhihua a primeira

²⁶ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.crosshairenergy.com/i/pdf/Vanadium-Making-Clean-Energy-a-Reality.pdf>

²⁷ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.prweb.com/releases/2012/2/prweb9238155.htm>

²⁸ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.niplats.com.au/media/articles/Investor---Research/20110719-Ocean-Equities-Vanadium-Sector-Review---July-2011-261/Vanadium-Thematic-Ocean-Equities-Research-July-2011.pdf>

base de produção na China e a segunda no mundo, com uma parcela de 74% na China e 18% no mercado mundial. Cerca de 945 prêmios por atividades em ciência e tecnologia nos setores de vanádio e titânio foram conquistados. A Panzhihua New Steel and Vanadium é a terceira maior produtora mundial de trilhos para trens de alta velocidade²⁹.

3. MINERAIS E ÓXIDOS DE TERRAS-RARAS

São denominados terras-raras o conjunto de dezessete elementos químicos da tabela periódica formado pelos quinze lantanídeos mais o escândio e o ítrio, que também são considerados terras-raras por ocorrerem normalmente nos mesmos depósitos minerais que os lantanídeos e exibirem propriedades químicas similares. O número atômico³⁰ dos lantanídeos varia de 57 (lantânio) a 71 (lutécio); o número atômico do escândio é 21 e o do ítrio 39.

Os lantanídeos podem ser classificados em:

- leves (57-60): lantânio (La) cério (Ce) praseodímio (Pr) e neodímio (Nd);
- médios (61-64): promécio (Pm) samário (Sm) európio (Eu) e gadolínio (Gd);
- pesados (65-71) : térbio (Tb) disprósio (Dy) hólmio (Ho) érbio (Er) túlio (Tm) itérbio (Yb) e lutécio (Lu).

Os terras-raras também costumam ser classificados apenas em leves e pesados. Os leves seriam os elementos do lantânio (57) ao európio (63) e os pesados do gadolínio (64) ao lutécio (71) incluindo-se o ítrio.

Apesar de o ítrio ser mais leve que os lantanídeos ele é normalmente incluído no grupo de pesados por causa de suas associações químicas e físicas com os elementos pesados em depósitos naturais. O escândio por sua vez nem sempre é classificado como terras-raras, talvez por seu menor potencial econômico.

Os terras-raras estão presentes em mais de duzentas e cinquenta espécies minerais conhecidas. Entretanto somente em algumas dessas espécies ocorrem terras-raras em concentração suficiente para justificar sua exploração. Dessa forma elas respondem praticamente pela totalidade da produção dos terras-raras.

²⁹ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://english.cctv.com/20100129/102608.shtml>

³⁰ Termo usado para designar o número de prótons encontrados no núcleo de um átomo.

As principais espécies minerais que contêm terras-raras são monazita³¹ bastnaesita³² xenotima³³ (ou xenotímio) e argilas portadoras de terras-raras adsorvidos sob forma iônica. Essas argilas, exploradas apenas na China, e a xenotima são as principais fontes de terras-raras pesados. A monazita e a bastnaesita são importantes fontes de terras-raras, principalmente leves.

Grandes depósitos de bastnaesita são encontrados na China e nos Estados Unidos. No Brasil, Austrália, Índia, África do Sul, Tailândia e Sri Lanka os elementos terras-raras ocorrem em monazita e em areias com outros minerais pesados. Também é importante destacar a ocorrência no Brasil de importantes concentrações de terras-raras na monazita, encontrada tanto em depósitos do tipo *placer*³⁴ quanto em carbonatitos³⁵ e na xenotima.

A cadeia produtiva dos terras-raras pode ser decomposta em várias etapas. Inicialmente extrai-se o minério que contém esses elementos. Após extraído, o minério é triturado e moído. Em seguida, obtém-se o minério concentrado que contém terras-raras, em geral, por um processo de flotação³⁶. Depois da concentração ocorre a separação dos diferentes óxidos de terras-raras.

Depois desse processamento primário, os óxidos são refinados e convertidos em metais que depois são combinados com outros metais para se produzir as ligas contendo terras-raras. Essas ligas são usadas em centenas de aplicação principalmente na área de alta tecnologia. A Figura 3.1 ilustra a cadeia produtiva dos terras-raras.

³¹ Mineral fosfatado no qual predominam as terras-raras leves e com presença de tório.

³² Fluorcarbonato no qual as terras-raras leves predominam.

³³ Fostato de ítrio com presença de terras-raras pesados.

³⁴ Concentração mecânica superficial de partículas minerais provenientes de detritos de intemperismo.

³⁵ Rochas ígneas ricas em minerais carbonáticos.

³⁶ Processo para a separação dos componentes das misturas heterogêneas, com base nas massas específicas.

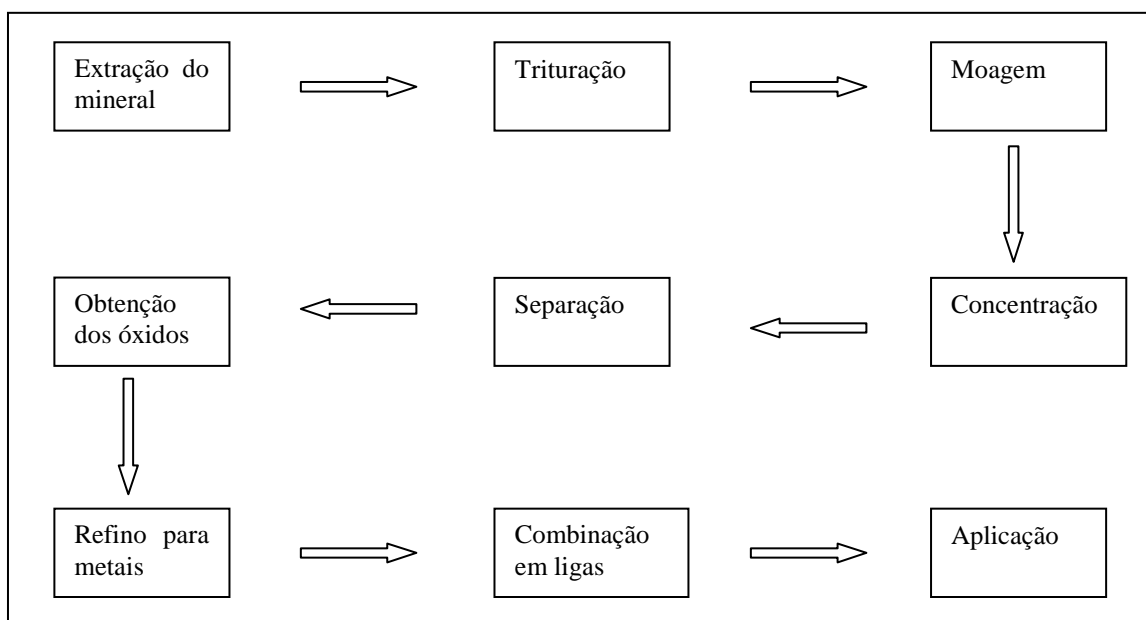


Figura 3.1 Cadeia produtiva dos terras-raras

Atualmente, os elementos terras-raras estão presentes em vários produtos comerciais como, por exemplo, carros; catalizadores para refino do petróleo; fósforos em telas de televisão monitores e *laptops*; ímãs permanentes; baterias recarregáveis para veículos híbridos ou elétricos e diversos equipamentos médicos. Os ímãs permanentes contendo neodímio, gadolínio, disprósio e itérbio são usados em vários componentes elétricos e eletrônicos, e nos modernos geradores para turbinas eólicas. Na área de defesa, podem-se destacar as aplicações de terras-raras em caças, sistemas de controle de mísseis, defesa antimísseis e sistemas de comunicação e satélites.

É importante registrar o uso dos terras-raras em dois materiais para ímãs permanentes: samário-cobalto (SmCo) e neodímio-ferro-boro (NdFeB). Os ímãs NdFeB são considerados os ímãs permanentes mais fortes do mundo e são essenciais para muitos armamentos militares. Já os ímãs SmCo retêm sua resistência magnética em elevadas temperaturas e são ideais para tecnologias militares como mísseis guiados de precisão, bombas inteligentes e aeronaves.

A Tabela 3.1 mostra os terras-raras mais usados e alguns exemplos de aplicação (Humphries, 2011).

Tabela 3.1 Exemplos de aplicação de terras-raras

Terras-raras leves	Aplicação	Terras-raras pesados	Aplicação
Lantânio	Motores híbridos ligas metálicas	Térbio	Fósforos ímãs permanentes
Cério	Catalizadores para carro e para refino de petróleo ligas metálicas	Disprósio	Ímãs permanentes motores híbridos
Praseodímio	Ímãs	Érbio	Fósforos
Neodímio	Catalizadores para carro e para refino de petróleo discos rígidos para <i>laptops</i> fones de ouvido ímãs motores híbridos	Hólmio	Corantes de vidro lasers
Samário	Ímãs	Túlio	Equipamentos médicos de raio X
Európio	Cor vermelha para televisão e telas de computadores	Lutécio	Catalizadores para refino de petróleo
		Ítérbio	Lasers ligas de aço
		Gadolínio	Ímãs
		Ítrio	Cor vermelha lâmpadas fluorescentes cerâmicas agente de ligas metálicas

O perfil da produção de óxidos de terras-raras passou por uma profunda transformação ao longo das últimas décadas. A Figura 3.2 mostra a evolução da produção de óxidos de terras-raras de 1950 a 2007 (Hocquard, 2011). Conforme mostrado na Figura 3.2 houve um decréscimo da produção nos Estados Unidos e em outros países e um aumento da produção da China. Registre-se que os Estados Unidos já foram autossuficientes na produção de terras-raras, mas ao longo dos últimos anos o país tornou-se totalmente dependente de importações da China.

Nos últimos quinze anos, o consumo de terras-raras aumentou cerca de três vezes e muitos novos produtos contendo esses elementos foram introduzidos no mercado. As atividades de pesquisa e desenvolvimento devem contribuir para a futura expansão do mercado de terras-raras, com crescimento de mercados antes marginais como, por exemplo, o de células solares e de supercondutores de alta-temperatura.

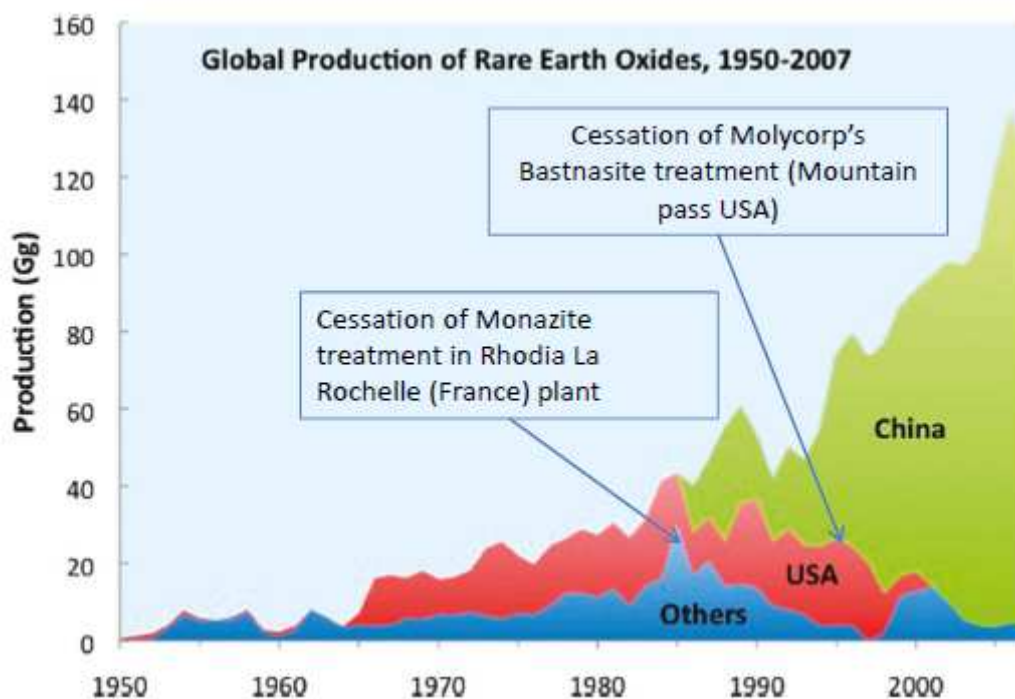


Figura 3.2 Evolução da produção de terras-raras desde 1950

Estima-se que no ano de 2011 o mercado global dos óxidos de terras-raras foi de 158 mil toneladas e que, em 2016, esse mercado deverá ser de aproximadamente 258 mil toneladas³⁷. O mercado de terras-raras pode ser dividido em seis segmentos conforme mostrado na Tabela 3.2. O mercado do segmento energia deve crescer de 27 mil toneladas métricas em 2011 para 62 mil toneladas métricas em 2016.

Tabela 3.2 Mercado mundial de óxidos de terras-raras

Segmento	Mercado em 2011 (mil toneladas métricas)	Mercado previsto em 2016 (mil toneladas métricas)
Mecânico/metalúrgico	51	77
Cerâmica e vidro	39	60
Químico	24	32
Energia	27	62
Eletrônica/ótica	12	21
Outros	4	5
Total	158	258

Estima-se que o mercado mundial de terras-raras, em valor, tenha aumentado de US\$ 1 bilhão, em 2009, para cerca de US\$ 11 bilhões, em 2011 (McKinsey, 2011). Apesar desse crescimento, o mercado de terras-raras ainda é muito pequeno quando comparado com o do petróleo, de cerca de US\$ 3 trilhões, e com o do minério de ferro, de cerca de US\$ 2 trilhões.

A demanda por massa de terras-raras por aplicação, em 2010, é mostrada na Figura 3.3 (Lynas, 2011). Nesse ano, os ímãs de terras-raras representaram 25% da demanda.

³⁷ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.electronics.ca/presscenter/articles/1607/1/GLOBAL-MARKET-FOR-RARE-EARTHS-TO-REACH-258-THOUSAND-METRIC-TONS-IN-2016/Page1.html>

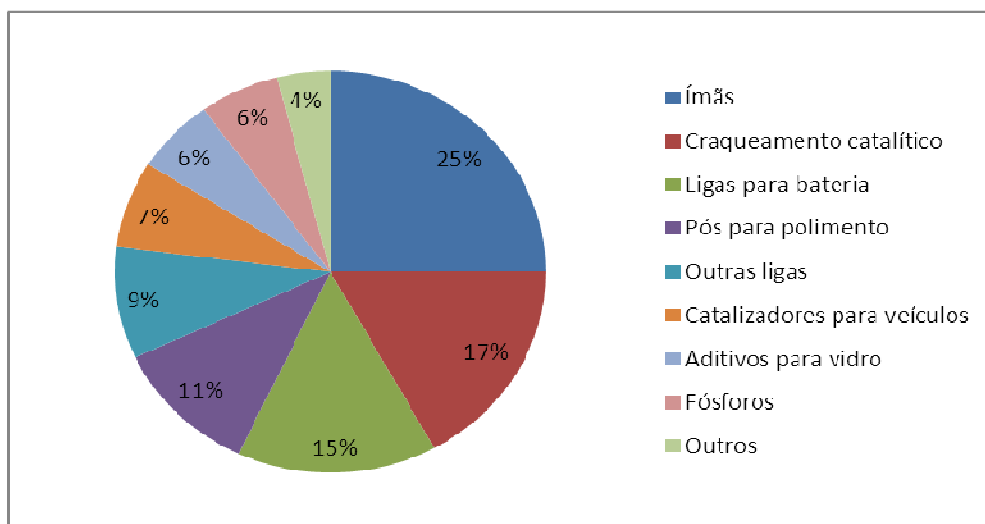


Figura 3.3 Demanda de terras-raras por aplicação em 2010

Os preços da maioria dos terras-raras caíram para seus níveis mais baixos entre 2002 e 2003 antes de começarem a subir gradualmente até 2006. A taxa de aumento acelerou-se a partir desse ano havendo um primeiro pico em 2008 e um grande pico de preços em 2011. A Tabela 2.2 mostra a evolução dos preços de alguns óxidos de terras-raras com pureza mínima de 99% do ano de 2002 ao segundo quadrimestre de 2011³⁸. A Figura 3.4 mostra graficamente os dados da Tabela 3.3.

³⁸ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet http://www.lynascorp.com/page.asp?category_id=1&page_id=25

Tabela 3.3 Evolução dos preços de alguns óxidos de terras-raras (pureza mínima de 99%)

Ano	Preço (US\$ por quilograma)							
	La	Ce	Nd	Pr	Sm	Dy	Eu	Tb
2002	23	23	44	39	30	200	2400	1700
2003	15	17	44	42	27	146	2354	1700
2004	16	16	58	80	27	303	3105	3000
2005	15	14	61	76	26	364	2862	3000
2006	22	17	111	107	24	704	2400	4340
2007	34	30	302	291	36	891	3239	5904
2008	87	46	319	295	52	1185	4819	7208
2009	49	39	191	180	34	1157	4929	3617
2010	224	216	495	480	144	2316	5598	5578
Q1 2011	759	775	1302	1197	728	4129	7192	7176
Q2 2011	1350	1383	2562	2201	1256	9212	18300	16590

Os óxidos de praseodímio e neodímio, que são terras-raras leves, apresentaram um aumento de preço superior a 600% entre 2002 e 2008. Os terras-raras pesados tornaram-se cada vez mais importantes e os preços dos óxidos de disprósio e térbio apresentaram um aumento de, respectivamente, 500% e 300% (BGS, 2011).

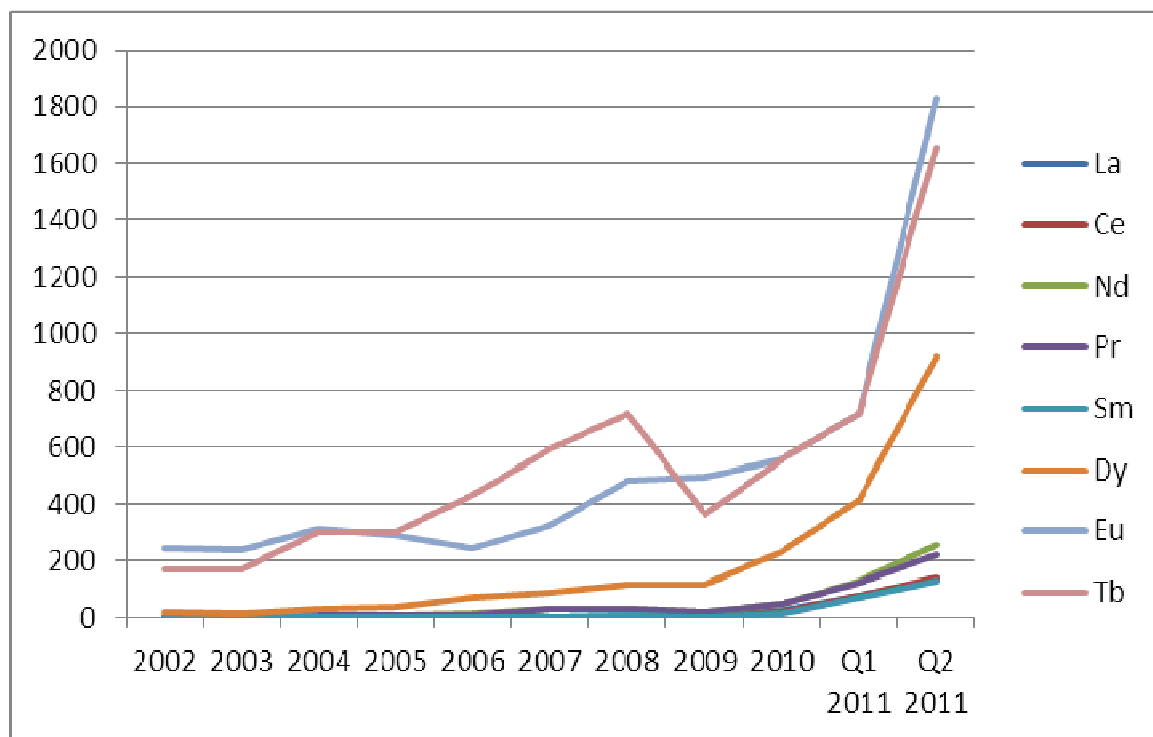


Figura 3.4 Evolução dos preços de alguns óxidos de 2002 ao segundo quadrimestre de 2011

Os preços dos metais de terras-raras são um pouco mais altos que os preços de seus respectivos óxidos. A Tabela 3.4 mostra os preços FOB³⁹ na China de alguns metais e óxidos de terras-raras no dia 16 de agosto de 2011. Os preços correspondem a uma pureza mínima de 99%. Nesse dia, os preços já estavam bem mais altos que os preços médios mostrados na Tabela 3.3.

É importante ressaltar as grandes diferenças entre os preços dos diversos elementos terras-raras. Em agosto de 2011 o óxido de cério, por exemplo, foi comercializado por cerca de US\$ 150 por quilograma enquanto o óxido de európio foi comercializado por US\$ 5.880 por quilograma.

³⁹ Free on board. Designação da cláusula de contrato segundo a qual o frete não está incluído no custo da mercadoria.

Tabela 3.4 Preços FOB na China no dia 16 de agosto de 2011

Terra-raras	Preço (US\$ por quilograma)	
	Óxido	Metal
Cério	149-151	168-170
Disprósio	2.580-2.600	3.400-3.420
Európio	5.860-5.880	6.600-6.620
Gadolínio	200-210	223-228
Ítrio	180-185	205-215
Lantânio	149-151	165-167
Neodímio	335-340	465-470
Praseodímio	247-250	280-282
Samário	127-130	189-192
Térbio	4.500-4.520	5.100-5.120

Os terras-raras pesados são geralmente mais caros que os leves em razão de sua menor abundância na maioria dos depósitos. Os custos de extração e os padrões de demanda também têm influência nos preços.

Apesar do aumento de preços observado nos últimos anos houve no final do ano de 2011 um recuo nas cotações dos terras-raras. A Figura 3.5 mostra graficamente os aumentos de preços FOB na China do ítrio de alguns terras-raras leves e do gadolínio metal com 99% de pureza de 2001 a 2011. Da mesma forma a evolução de preços do európio, disprósio e térbio é mostrada graficamente na Figura 3.6.

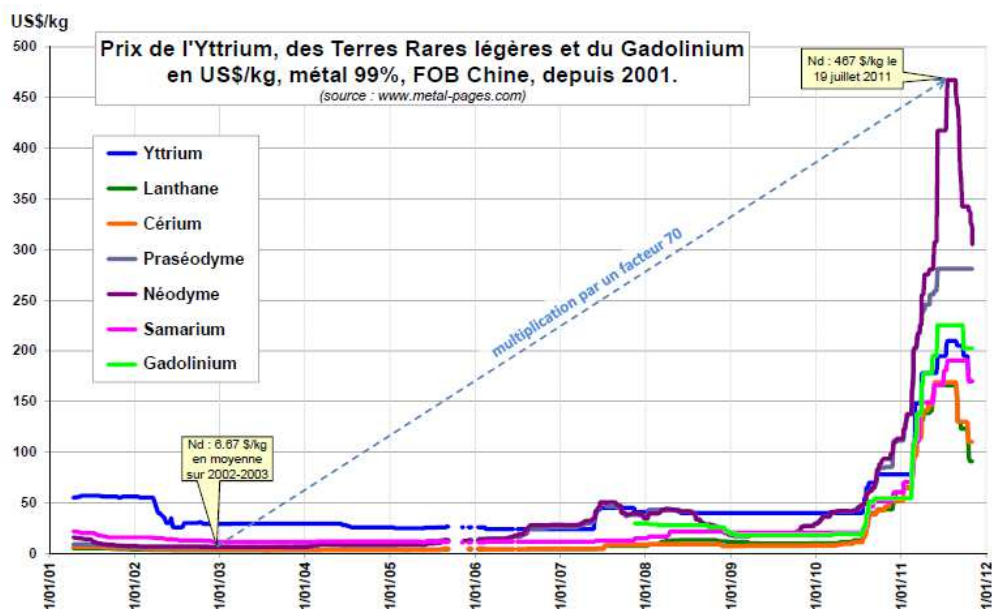


Figura 3.5 Evolução do preço do ítrio de alguns terras-raras leves e gadolínio de 2001 a 2011

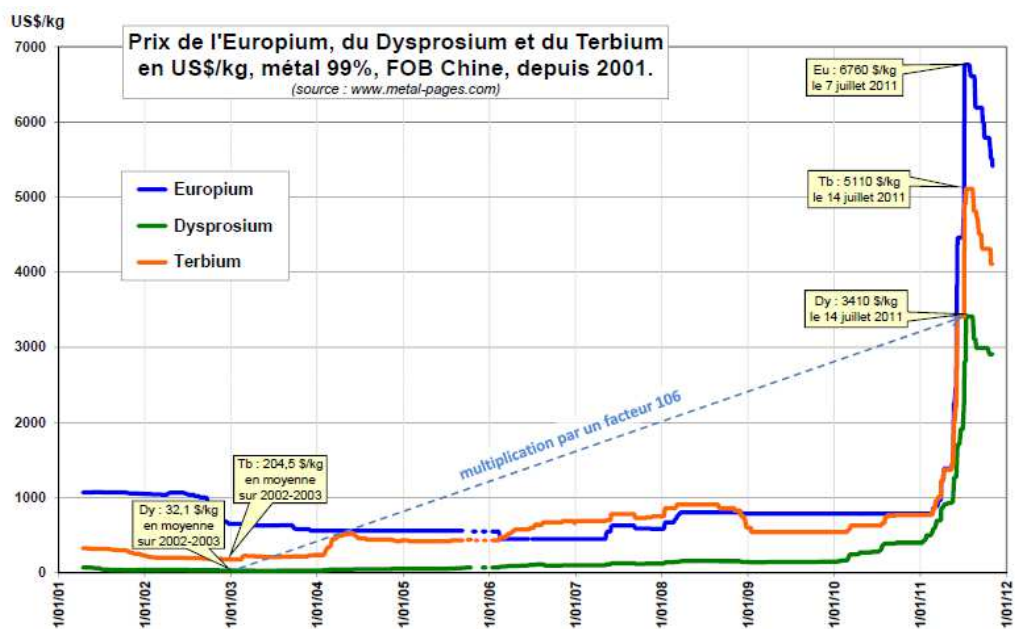


Figura 3.6 Evolução do preço do európio, disprósio e térbio de 2001 a 2011

A Tabela 3.5 mostra a previsão de demanda e oferta por óxido de terra-rara em 2014 (BGS, 2011). Apesar de ser possível atender a demanda de alguns óxidos de terras-raras mais leves muitas previsões indicam a possibilidade de haver escassez de alguns óxidos de terras-raras leves e de óxidos de terras-raras mais pesados como disprósio e térbio. É importante registrar que pode haver déficit também no suprimento de óxido de neodímio e de európio.

Tabela 3.5 Previsão de demanda e oferta em 2014 por óxido de terra-rara

Óxido de terra-rara	Demanda		Oferta		Superávit/ Déficit
	Toneladas	%	Toneladas	%	
Lantânio	51050	284	54092	265	3042
Cério	65750	365	79156	389	13406
Praseodímio	7950	44	9909	49	1959
Neodímio	34900	194	33665	165	-1235
Samário	1390	08	4596	23	3206
Európio	815	05	659	03	-156
Gadolínio	2300	13	3575	18	1275
Térbio	565	03	512	02	-53
Disprósio	2040	11	1830	09	-210
Érbio	940	05	1181	06	241
Ítrio	12100	67	12735	63	635
Ho Tm Yb Lu	200	01	1592	08	1392
Total	180000	100	203502	100	23502

De acordo com o DNPM (2011), em 2010, a China possuía 36,5% das reservas mundiais de terras-raras, seguida pela Comunidade dos Estados Independentes e Estados Unidos. A China continuava na liderança da produção mundial, com mais de 97%, conforme mostrado na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 Reservas e produção de terras-raras

Discriminação Países	Reservas (10 ³ t)	Produção (t)		
	2010 ^(p)	2009 ^(r)	2010 ^(p)	%
Brasil	31 ⁽¹⁾	303	249 ⁽³⁾	0,2
China	55.000	129.000	130.000	97,5
Índia	3.100	2.700	2.700	2,0
Austrália	1.600	-	-	-
Estados Unidos	13.000	-	-	-
CEI ⁽²⁾	19.000	nd	nd	nd
Malásia	30	350	350	0,3
Outros países	22.000	nd	nd	nd
TOTAL	113.761	132.353	133.299	100

Fontes: DNPM/DIPLAM; USGS – *Mineral Commodity Summaries 2011*.

Notas: (1) reservas lavráveis; (2) Comunidades dos Estados Independentes (Rússia) e outras repúblicas da ex-União Soviética; (3) Refere-se à produção de monazita no município de São Francisco do Itabapoana - RJ; (-) Dado nulo; (nd) Não disponível ou desconsiderado; (0,0) Menor que a unidade de referência; (r) Revisado; (p) Dados preliminares.

Os dados e informações sobre terras-raras indicam que a posição dominante da China na mineração e concentração (97%), na separação de minérios em óxidos (97%), no refino de óxidos para obtenção de metais (quase 100%), na conversão de metais em pós de ligas magnéticas (75% a 80%) e na fabricação de ímãs NdFeB (75% a 80%) não é obra do acaso. Um plano estratégico parece ter sido concebido e executado ao longo das últimas décadas. As atividades de pesquisa e desenvolvimento, e a política de proteção e agregação de valor parecem ser pontos importantes desse plano. A posição dominante da China tem causado uma grande dependência por parte dos países industrializados, especialmente do Japão e dos Estados Unidos.

3.1 Pesquisa e Desenvolvimento

A China realizou importantes trabalhos de pesquisa e desenvolvimento na área de terras-raras ao longo dos últimos cinquenta anos. Existem dois laboratórios estatais que se destacam nessa área: Laboratório de Aplicações e Química dos Materiais de Terras-Raras e Laboratório de Utilização de Recursos de Terras-Raras. O primeiro, afiliado à Universidade de Pequim, focou na área de técnicas de separação. O segundo é associado ao Instituto de Changchun de Química Aplicada.

Outros laboratórios na área de terras-raras incluem o Instituto Baotou de Pesquisa em Terras-Raras, que é a maior instituição de pesquisa em terras-raras do mundo e o Instituto de

Pesquisa em Metais Não-Ferrosos. A visão de longo prazo e os investimentos trouxeram significativos resultados para a indústria de terras-raras da China.

Os depósitos de minério de ferro em Bayan Obo, na Mongólia Interior, contêm grandes quantidades de elementos terras-raras que são recuperados como subproduto ou coproduto da extração desse minério. Dessa forma, Bayan Obo tornou-se o centro da produção e das atividades de pesquisa e desenvolvimento. Registre-se, contudo, que elementos terras-raras são produzidos em outras províncias da China tais como: Shangdong, Jiangxi, Guangdong, Hunan, Guangxi, Fujian e Sichuan.

De 1978 a 1989, a produção anual chinesa aumentou 40%. De 1996 a 2006, a produção aumentou de 26 mil para 39 mil toneladas. As exportações aumentaram muito na década de 1990, provocando uma queda nos preços. Em 2007, a China tinha 130 fabricantes de ímãs NdFeB, com uma capacidade total de 80 mil toneladas (Humphries, 2011).

A indústria de terras-raras é fundamental para o pico de demanda doméstica de produtos eletrônicos como telefones, celulares, *laptops* e tecnologias de energia limpa. De acordo com Hurst (2010), a capacidade de geração eólica da China deve aumentar de 12 gigawatts, em 2009, para 100 gigawatts, em 2020. Nesse cenário, os ímãs NdFeB são essenciais. Cerca de 75% da produção de ímãs permanentes está concentrada na China.

3.2 Política de proteção

Com o objetivo de proteger seus recursos de terras-raras e promover o desenvolvimento dessa indústria na China, a Comissão de Planejamento do Desenvolvimento desse país emitiu um documento intitulado *Interim Provisions on the Administration of Foreign-Funded Rare Earth Industry*, que entrou em vigor em 1º de agosto de 2002.

Esse documento dispõe que é proibido o estabelecimento de empresas para mineração de terras-raras na China por investidores estrangeiros. Nas etapas de separação e fundição, permite-se a atuação de empresas estrangeiras somente por meio de *joint ventures* de participação ou de cooperação.

Os investidores estrangeiros são estimulados a investir em três setores da indústria de terras-raras: processamento intensivo, novos materiais e produtos aplicados.

3.3 Política de agregação de valor e de exportação

De acordo com Hurst (2010), a China quer expandir e integrar totalmente sua indústria de terras-raras, sendo preferidas as exportações de materiais e produtos com valor agregado. O objetivo da China é construir uma indústria doméstica e atrair investidores estrangeiros para construir fábricas no país. Assim, as empresas terão acesso aos terras-raras e outras matérias-primas, metais e ligas, além de terem acesso ao emergente mercado chinês.

O Ministério da Terra e Recursos Naturais da China é responsável pelos planos de produção de terras-raras. Isso inclui o estabelecimento anual de cotas de produção e exportação (Tse, 2011), conforme mostrado na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 Cotas de produção, produção estimada e cotas de exportação da China

Ano	Cotas de produção (milhões de toneladas métricas)	Produção estimada (milhões de toneladas métricas)	Cotas de exportação (milhões de toneladas métricas)
2006	86,52	119,00	61,56
2007	87,02	120,00	60,17
2008	87,62	120,00	47,45
2009	82,32	129,00	50,15
2010	89,20	130,00	30,26
2011*	93,80	112,50 (estimada pela IMCOA)	30,25

* IMCOA é abreviatura de Industrial Minerals Company of Australia

A produção chinesa tem sido maior que as cotas estabelecidas pelo governo. Isso ocorre por causa da mineração ilegal, particularmente das argilas portadoras de terras-raras adsorvidos sob forma iônica, encontradas no sul da China. A quota de produção para 2011 foi de 93,80 mil toneladas métricas, o que representa um aumento de 5% em relação ao ano de 2010.

Além das cotas de produção, a China também estabeleceu cotas de exportação de terras-raras, definidas anualmente em duas fases e em cotas específicas para produtores e

comercializadores domésticos e para *joint ventures*, que exportam sob regime de licença (Tse, 2011). Essas cotas são alocadas para cada empresa.

As cotas totais de exportação têm caído continuamente desde 2006, quando eram 61,56 mil toneladas métricas. Em 2010, a cota de exportação foi de 30,26 mil toneladas. Esse declínio ocorre, principalmente, em razão do aumento da demanda interna.

Apesar de a cota de exportação de 2011 de 30,25 mil toneladas parecer praticamente igual à de 2010, não se deve fazer uma comparação direta, pois pela primeira vez incluiu-se ligas de ferro-liga na cota de 2011. Segundo Burton (2011), isso representou uma redução de 20% na quantidade de metais e óxidos de terras-raras exportados.

A China também impôs tarifas de exportação sobre os terras-raras. Neodímio, ítrio, európio, térbio e escândio têm uma tarifa de exportação de 25%, enquanto os outros terras-raras estão sujeitos a uma tarifa de 15%. A tarifa de exportação sobre ligas de neodímio e ligas de disprósio são de 20% (Global Trade Alert, 2011).

Também é importante ressaltar, que, em 2007, a China retirou os créditos do imposto de valor agregado de 16% sobre as exportações de terras-raras “não desenvolvidos”, enquanto manteve os créditos para exportações de mercadorias de maior valor agregado, como ímãs e fósforos. A Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OCDE estima que, na compra de matérias-primas de terras-raras, essa decisão, combinada com as tarifas de exportação, resultaram no pagamento pelos fabricantes de ímãs fora da China 31% maior que o doméstico (Korinek e Kim, 2010). Esse diferencial de preço estimula os fabricantes a se mudarem para a China.

A Tabela 3.7 mostra as tarifas de exportação sobre terras-raras de 2007 a 2011 (Tse, 2011).

Tabela 3.7 Tarifas de exportação sobre terras-raras

Mercadoria	2007 (%)	2008 (%)	2009 (%)	2010 (%)	2011 (%)
Óxido de ítrio	10	25	25	25	25
Óxido de lantânio	10	15	15	15	15
Óxido de cério hidróxido carbonato e outros	10	15	15	15	15
Praseodímio	ND	ND	ND	ND	ND
Óxido de neodímio	10	15	15	15	15
Európio e seus óxidos	10	25	25	25	25
Gadolínio	ND	ND	ND	ND	ND
Térbio e seus óxidos cloreto e carbonato	10	25	25	25	25
Óxido de disprósio cloreto e carbonato	10	25	25	25	25
Outros óxidos de terras-raras	10	15	15	15	15
Misturas de cloreto e fluoreto de terras-raras	10	15	15	15	15
Misturas de carbonatos de terras-raras	10	15	15	15	15
Misturas de metais e compostos de terras-raras ítrio e escândio (incluindo o grau bateria)	10	25	25	25	25
Carbonatos de terras-raras não misturados	10	15	15	15	15
Metais de minérios de terras-raras:					
Lantânio	ND	ND	ND	ND	25
Cério	ND	ND	ND	ND	25
Neodímio	10	15	15	15	15
Disprósio	ND	ND	ND	25	25
Outros metais misturados	ND	ND	ND	25	25

ND: não disponível

3.4 Dependência do Japão e Estados Unidos em relação à China

O Japão importa 82% de seus terras-raras da China, o que representa cerca de 40% das exportações desse país. As importações dos Estados Unidos representam 18% das exportações de terras-raras da China (Humphries, 2010). O valor das importações de terras-raras da China pelos Estados Unidos subiu de US\$ 42 milhões, em 2005, para US\$ 129 milhões, em 2010, o que representou um aumento de 207,1%. Nesse mesmo período a quantidade importada caiu de 24,2 mil toneladas métricas para 13,9 mil toneladas métricas, o que representou uma redução de 42,6%.

O governo japonês e o setor privado têm expressado preocupações com os controles das exportações que a China tem imposto em ferro ligas que contém disprósio e outros terras-raras pesados e com as cotas de mineração para a região sul, onde a maior parte dos terras-raras pesados são extraídos. Várias reuniões já foram realizadas entre representantes dos dois países para discutir a questão (Humphries, 2010).

O acesso do Japão e Estados Unidos, e de outros países de alta tecnologia, aos terras-raras é vital para seus parques industriais, que produzem uma grande variedade de peças e produtos finais com a presença desses elementos.

Nesse contexto, em março de 2012, Estados Unidos, Japão e União Europeia apresentaram junto à Organização Mundial do Comércio - OMC uma queixa contra as restrições impostas pela China à exportação de terras-raras⁴⁰. A UE requereu um processo de arbitragem, informou o comissário europeu do comércio.

4. MINÉRIO DE FERRO

O ferro é um dos elementos mais abundantes na Terra. Do ponto de vista econômico, é o mais importante dos recursos minerais encontrados na crosta terrestre, pois é utilizado como insumo básico na siderurgia, setor industrial responsável pela produção da liga metálica mais usada pela humanidade que é o aço.

⁴⁰ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.dw.de/dw/article/0,,15806534,00.html>

De acordo com o DNPM (2011), em 2010, as reservas mundiais de minério de ferro eram da ordem de 180 bilhões de toneladas. As reservas brasileiras totalizavam 20,4 bilhões de toneladas, conforme mostrado na Tabela 4.1. Nesse ano, a produção mundial de minério de ferro foi de cerca de 2,4 bilhões de toneladas. A produção brasileira representou 15,5% da produção mundial, cerca de 372 milhões de toneladas. A produção da China foi de 900 milhões de toneladas de minério de ferro. Essa produção chinesa baseia-se no minério cru, em vez do minério negociável, como registrado pelos outros países. A Figura 4.1 mostra a evolução da produção de minério de ferro em vários países (KPMG, 2011). Estima-se que o tamanho do mercado desse minério seja superior a US\$ 2 trilhões.

Tabela 4.1 Reservas e produção de minério de ferro

Discriminação Países	Reservas (10 ⁶ t)	Produção (10 ³ t)		
	2010 ^(e)	2009 ^(e)	2010 ^(e)	%
Brasil ⁽¹⁾	20.359	298.528	372.120	15,5
China	23.000	880.000	900.000	37,5
Austrália	24.000	394.000	420.000	17,5
Índia	7.000	245.000	260.000	10,8
Rússia	25.000	92.000	100.000	4,2
Ucrânia	30.000	66.000	72.000	3,0
Outros países	50.641	264.472	275.880	11,5
TOTAL	180.000	2.240.000	2.400.000	100,0

Fontes: DNPM/DIPLAM; USGS - *Mineral Commodity Summaries - 2011*.

Notas: (1) Reservas lavráveis - (e) Dados estimados, exceto Brasil

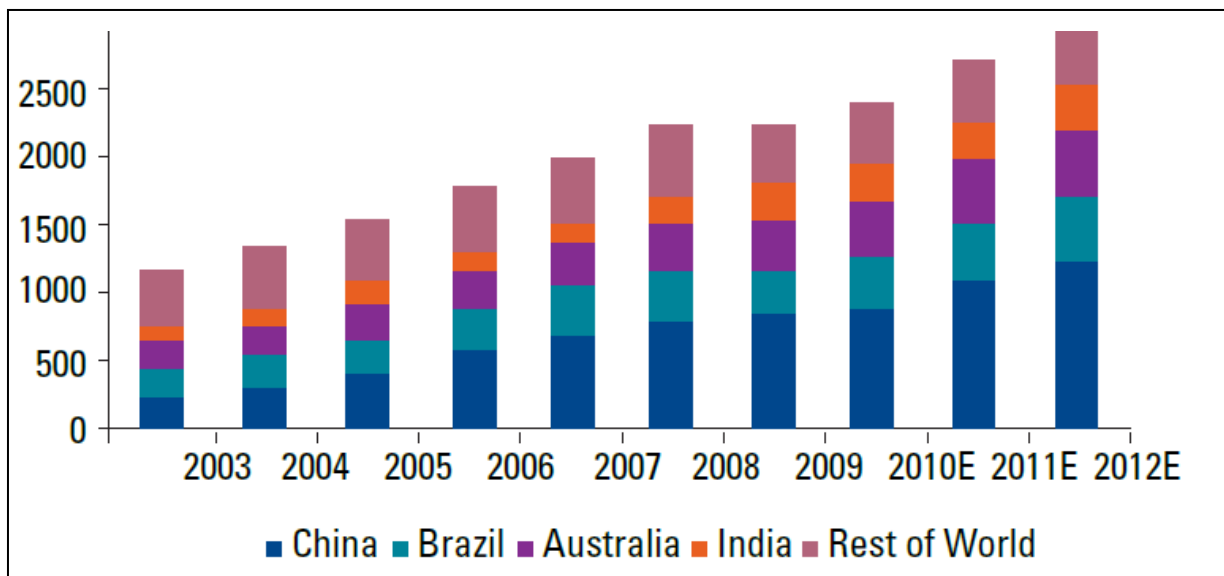


Figura 4.1 Evolução da produção de minério de ferro em vários países

4.1 Dados gerais sobre a produção e consumo na China

Como já citado, a China foi, em 2010, o maior produtor mundial de minério de ferro bruto, sendo responsável por cerca de 37,5% da produção mundial. A figura 4.2 mostra a evolução dessa produção.

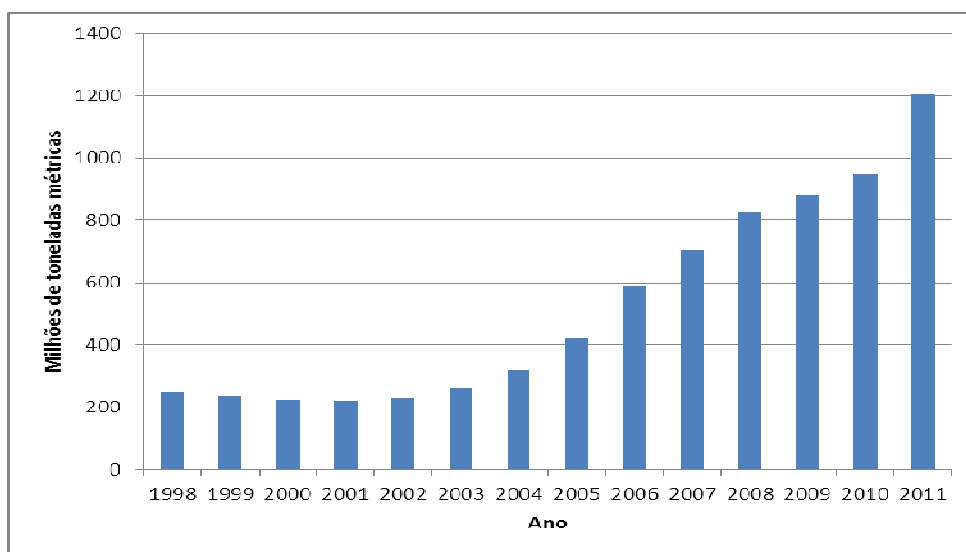


Figura 4.2 Evolução da produção de minério de ferro na China

Dentre as províncias, as maiores produtoras são Hebei (43,8%), Liaoning (15,4%) e Mongólia Interior (7,9%). Esses dados identificam a província de Hebei como a grande mineradora de ferro do país, produzindo quase a metade do total, e revelam uma relativa concentração da produção, já que a China possui 28 províncias e apenas três delas produzem 67,1% de todo o minério de ferro bruto explorado.

A Figura 4.2 mostra que a produção de minério de ferro na China cresceu muito a partir do ano 2002. Ressalte-se, no entanto, que o minério de ferro chinês apresenta baixo teor de ferro contido.

Estima-se que, em 2008, as pequenas minas eram responsáveis por 79% da produção. São minas privadas fortemente influenciadas pelo preço do minério de ferro. Os 21% restantes eram produzidos em minas de grande porte. Isso mostra a importância da pequena mineração no cenário produtivo da China e justifica os esforços do governo para regulamentar e controlar as atividades minerárias.

Existe uma forte tendência de as grandes empresas assumirem o controle dessas pequenas minas, seguindo a política implementada pelo governo de proteção e aproveitamento adequado dos recursos minerários. Ainda é difícil saber, com exatidão, a produção de ferro contido das pequenas mineradoras.

Em 2002, face ao crescimento da demanda doméstica, o governo chinês reduziu os impostos aplicados às empresas de mineração e siderurgia com processo verticalizado, ou seja, empresas atuam nas fases de mineração, beneficiamento e siderurgia. Hoje, muitas mineradoras chinesas são também siderúrgicas, ou vice-versa, muitas siderúrgicas utilizam minério por elas explorado, poucas, porém, são autossuficientes.

Pode-se dividir as empresas chinesas do setor extrativo de minério de ferro em três grupos:

- empresas integradas: são aquelas empresas com produção verticalizada, da mina à siderúrgica. Poucas destas minas produzem o suficiente para abastecer a siderurgia, fazendo-se necessária a importação de minério para blendagem. Algumas são autossuficientes, ou devido ao nível de produção elevado e qualidade aceitável do produto, ou por causa da distância dos portos, que

- torna anti-econômica a compra de minério importado. Existem mineradoras que são subsidiárias das siderúrgicas;
- mineradoras independentes: são aquelas que apenas exploram e beneficiam o minério de ferro. Muitas dessas mineradoras abastecem siderúrgicas afastadas da costa. A distância dos portos por onde o minério importado entra no país, faz com que seja mais econômico comprar minério doméstico, apesar da qualidade menor, que comprar e transportar minério importado. Geralmente são empresas estatais;
 - pequenas e médias mineradoras: são empresas privadas de pequeno e médio porte, responsáveis pela maior parte da produção chinesa de minério de ferro. Um grande problema enfrentado pelo governo chinês é a mineração ilegal: existem pequenas minas de ferro produzindo de forma irregular, sem controle e sem tecnologia, fazendo com que os recursos não sejam aproveitados de forma adequada, além da falta de segurança, que resulta em graves acidentes, sendo que grande parte dessas minas são subterrâneas.

Apesar da grande produção doméstica, a China, como maior produtor de aço do mundo, é grande importadora de minério de ferro. Em 2010, a China representou quase 60% do total das importações globais de minério de ferro e produziu cerca de 60% do ferro gusa mundial (USGS, 2011). Em 2011, a produção chinesa de aço bruto foi de 683 milhões de toneladas. Em 2012, essa produção pode atingir 700 milhões de toneladas. A Figura 4.3 mostra a evolução da produção de aço na China e no mundo (Chim, 2011).

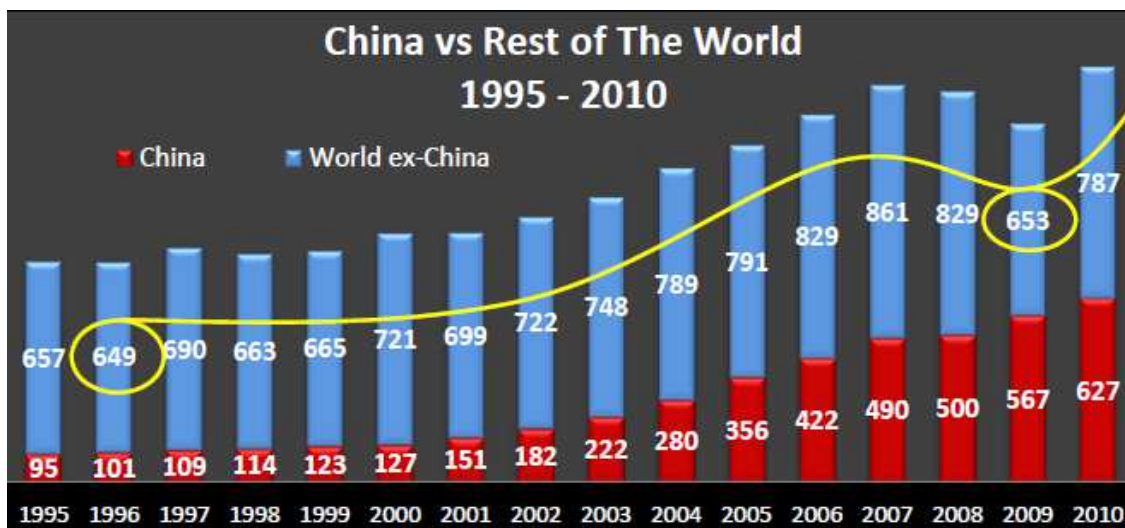


Figura 4.3 Evolução da produção de aço na China e no mundo

Estima-se que, atualmente, mais de 60% da demanda chinesa seja atendida por importação⁴¹. A evolução da importação de minério de ferro pela China é mostrada abaixo na Figura 4.4.

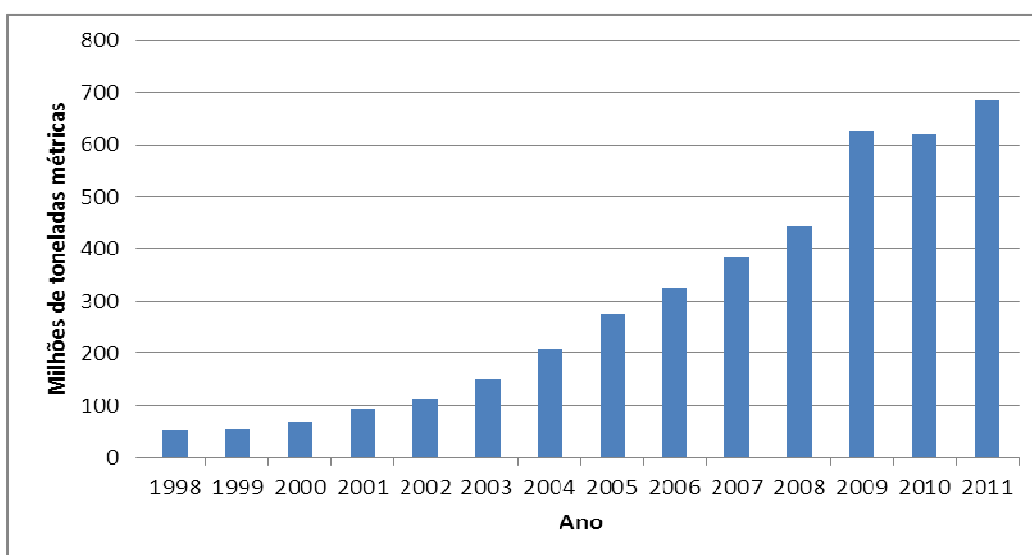


Figura 4.4 Evolução das importações de minério de ferro pela China

A Figura 4.5 (Horadam, 2010) mostra o fornecimento doméstico de concentrado e as importações de minério de ferro pela China por origem. Mais de 40 países exportaram para a China em 2009. A Austrália foi a maior exportadora de minério de ferro para a China, seguida pelo Brasil e Índia.

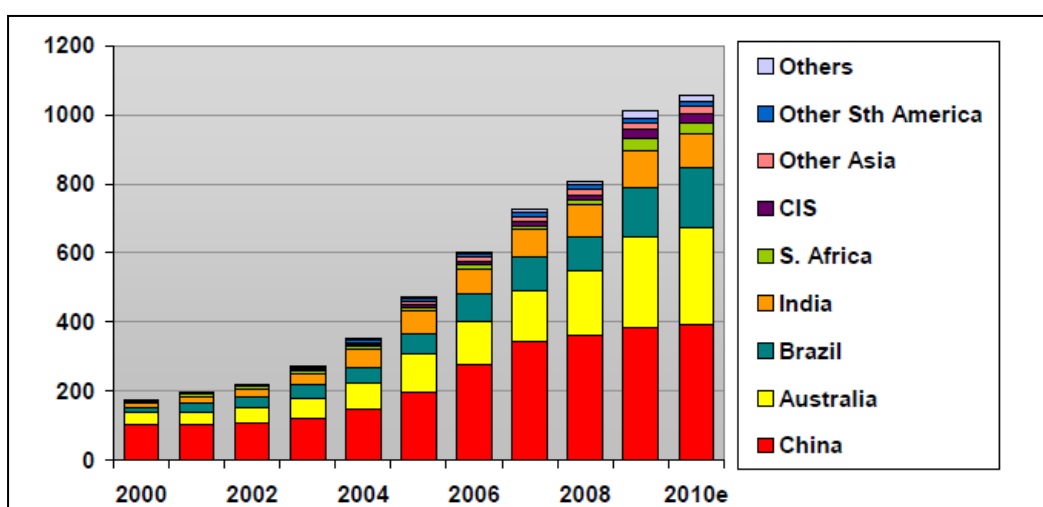


Figura 4.5 Produção doméstica de concentrado e origem do minério de ferro importado

Como se vê acima, o suprimento de minério de ferro importado pela China é muito concentrado em três países. Em 2011, Austrália, Brasil e Índia representaram 75% das importações chinesas de minério de ferro⁴².

Quanto à participação de minérios importados e domésticos no mercado chinês, a Figura 4.5 mostra a parcela da importação na oferta de minério de ferro negociável na China (Horadam, 2010).

⁴¹ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.valor.com.br/empresas/2609820/vale-mantem-confianca-no-crescimento-chines>

⁴² Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.platts.com/RSSFeedDetailedNews/RSSFeed/Metals/6891656>

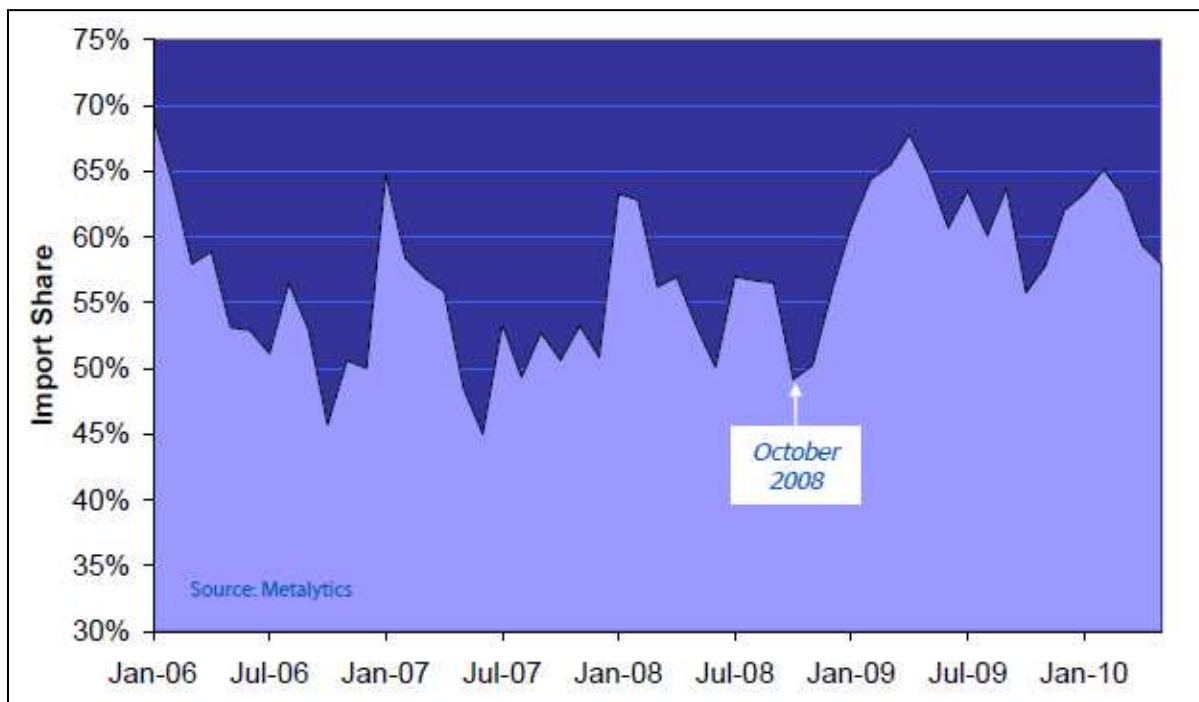


Figura 4.5 Percentual da importação na oferta de minério de ferro na China

Por problemas operacionais, a China Iron & Steel Association - CISA vem exigindo das siderúrgicas que elas importem apenas o minério necessário ao processo, evitando estocagens nos portos. A estocagem nos portos não apenas prolonga o tempo de espera dos navios, mas também tem efeitos econômicos, como o aumento do frete. Historicamente, têm sido observadas importações acima da necessidade do setor siderúrgico, causando congestionamento dos portos.

4.2 Qualidade do minério de ferro chinês

O minério de ferro chinês é de baixo teor, possuindo de 30% a 35% de ferro em média. Segundo Xun (2006), as reservas da China estão distribuídas em 30 províncias, municipalidades e regiões autônomas, excluindo-se Taiwan, das quais Liaoning, Hebei e Sichuan são as principais detentoras de reservas. Os principais distritos mineradores são: Anshang Benxi (Província de Liaoning), Leste de Hebei, Panzhuhua - Xichang (Província de Sichuan), Luliang - Wutai - Ningwu (Província de Shanxi), Bayan Obo (Inner Mongólia), Shangdong Central, Leste

de Hubei e Hanxing. Conforme mostrado na Tabela 4.1, a China apresenta 12,8% das reservas mundiais.

Na China, ocorrem depósitos dos mais variados tipos quanto à gênese, qualidade, contaminantes, teor, etc. Na maioria dos depósitos, mais de 90%, segundo Xun (2006), o ferro está associado a outros metais, constituindo depósitos polimetálicos e poligênicos, sendo essa uma das mais importantes características do minério de ferro chinês. Em razão da baixa qualidade, a maioria das siderúrgicas importa minério para misturar ao minério doméstico.

4.3 Política de mineração e siderurgia

No ano de 2005, o governo chinês publicou um documento acerca da política de desenvolvimento da indústria siderúrgica do país. Esse documento estabeleceu as diretrizes tanto para a mineração quanto para a indústria do aço. Foi estabelecido que a siderurgia era fundamental para a economia, sendo um dos pilares da industrialização chinesa.

O documento afirmava que o nível tecnológico e a gestão de recursos, à época, não eram satisfatórios, sendo, portanto, necessária a atualização tecnológica e estrutural, com destaque para a exploração das minas. As principais diretrizes desse documento foram:

- apoio do estado às siderúrgicas de grande porte com relação à exploração e exploração dos recursos minerais;
- proibição de explorações desordenadas e sem controle;
- intensificação da fiscalização pelos órgãos competentes;
- punição de infratores, caracterizada por cassação dos direitos minerários ou interrupção das atividades;
- todo projeto deve conter o planejamento da mina, assim como planos relacionados à segurança e preservação do meio ambiente;
- desenvolvimento de novas tecnologias de beneficiamento para minérios de baixo teor;
- desenvolvimento de equipamentos, e aperfeiçoamento dos processos existentes por meio de pesquisas desenvolvidas por empresas, universidades e centros tecnológicos, como, por exemplo: Wuhan University of Technology Development, Ganzhou Institute of Nonferrous Metallurgy, Anshan University of Science and Technology, Beijing University of Science and

Technology, Ma-an Shan Institute of Mining Research, Baotou Application Design Research Institute, Changsha Research Institute of Mining and Metallurgy;

- reforço na cooperação entre empresas chinesas e mineradoras estrangeiras;
- estabelecimento de bases estáveis de fornecimento de minérios de ferro, cromo, manganês, níquel, sucata de aço e coque no exterior, por meio de investimento na aquisição de reservas minerais em outros países ou formação de *joint ventures*;
- coordenação do setor por meio da CISA, com objetivo de estabilizar o mercado interno e externo de matérias-primas;
- em caso de concorrência desleal entre empresas, o estado pode adotar medidas administrativas, como unificar empresas ou escolher apenas uma para receber investimentos.

4.4 Pesquisa e produção mineral

O investimento em pesquisa e produção mineral na China nos últimos anos tem como consequência a descoberta de novas ocorrências de minério, das quais algumas se revelam economicamente lavráveis. Com isso, nos últimos anos, o número de empresas envolvidas na indústria mineral do minério de ferro tem aumentado, chegando a 2.533 empresas.

A China possui cerca de 66 mil minas, considerando-se todas as substâncias exploradas, a grande maioria delas localizadas na região Leste do país, sendo a região Oeste ainda pouco explorada, mostrando-se como uma área de grande potencial para futuras descobertas. Apesar do grande potencial em termos de reservas minerais, a China passou a figurar dentre os grandes países mineradores a partir da década de 1990.

Um dos aspectos importantes da atividade mineral, inclusive da produção de minério de ferro, é a capacidade chinesa de produção de uma tecnologia própria, o que, sem dúvida, diferencia a China cuja inovação abrange também a invenção de novos equipamentos de tratamento de minérios. Essa capacidade é importante para um país com minérios de baixo teor, e de mineralizações complexas, muitas vezes com ocorrências de reservas polimineriais.

4.5 Infraestrutura

Na China, cerca de 80% do minério de ferro explotado é transportado até as siderúrgicas por meio de ferrovias, sendo os 20% restantes transportados por rodovias ou hidrovias. O sistema rodoviário chinês está quase completo; a rede ferroviária, no entanto, ainda está em fase de construção. Assim, a China tem investido muito na construção e reforma de ferrovias.

De acordo com o Departamento de Desenvolvimento e Planejamento do Ministério das Ferrovias da China, 135 projetos estão em construção ou em fase de estudos de viabilidade e envolvem grandes investimentos. Até o ano de 2020, estima-se que a China deverá ter mais de 120 mil quilômetros de ferrovias em operação, cobrindo todas as cidades com população superior a 200 mil habitantes. Atualmente, a China conta com 91 mil quilômetros⁴³. Quanto ao transporte rodoviário e fluvial, a China possui 1,93 milhões de quilômetros de rodovias e 124 mil quilômetros de vias fluviais navegáveis.

Segundo informações da Embaixada da República Popular da China no Brasil, o investimento em ferrovias na China aumentou 37,5% entre janeiro e julho de 2008. Esse percentual decorre do rápido crescimento das linhas de alta velocidade e corresponde às expectativas de ligar as regiões necessitadas do país.

Observa-se uma boa relação entre a distribuição espacial das minas e a malha ferroviária chinesa. Porém, a capacidade de escoamento ainda não atende às necessidades de algumas regiões. Caso os planos de exploração geológica do oeste do país confirmem o potencial mineral dessa região, serão necessários grandes investimentos nessa região em razão da quase inexistência de ferrovias.

A construção da ferrovia ligando Golmud a Lhasa, a mais alta do mundo, pode ser um eixo de desenvolvimento da infraestrutura dessa região. Porém, as condições geográficas não favorecem este tipo de empreendimento. A construção dessa ferrovia tem enfrentado inúmeros

⁴³ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet http://pt.wikipedia.org/wiki/Anexo:Lista_de_pa%C3%ADses_por_dimens%C3%A3o_da_malha_ferovi%C3%A1ria

problemas, como a grande altitude, falta de oxigênio, condições climáticas extremas, além da presença de vários rios no trajeto da ferrovia.

4.6 Previsões para o mercado chinês

Existem diferentes previsões para o futuro da mineração e do suprimento de minério de ferro na China. Fontes chinesas parecem acreditar que o país será capaz de aumentar a produção interna e reduzir sua dependência em relação ao minério de ferro importado. Já fontes externas tendem a ver de outra forma.

Segundo a CISA, as importações de minério de ferro deverão crescer, porém a taxas poderão diminuir com o tempo. Segundo um de seus diretores, a longo prazo o minério importado deverá corresponder a 50% da demanda.

Segundo Toth (2005), existe uma tendência de substituição do minério de ferro doméstico pelo importado. Seu estudo analisa o potencial de expansão das minas domésticas e indica que elas não poderão suprir a demanda. Existe uma tendência de mudança de localização das siderúrgicas chinesas para a costa do país e para regiões ao longo do rio Yangtzé. Isso aumentaria a demanda por minério importado, devido à maior proximidade dos portos e maior distância em relação a muitas minas domésticas.

Limitações de vida útil de reservas, declínio do teor de ferro nas minas e aumento de custos, principalmente na lavra subterrânea, podem levar a uma diminuição da produção interna na China. A diminuição do teor de ferro já ocorre em todo o mundo nas minas em lavra há mais tempo, e, além disso, são cada vez mais raras descobertas de depósitos de alto teor. Como a China já lavra minério de baixo teor, tal fator pode influenciar ainda mais a produção futura.

4.7 Preços

De 2003 a 2012, as *commodities*, em geral, apresentaram um grande aumento de preço⁴⁴. Nesse período, o minério de ferro foi a *commodity* que apresentou o maior aumento, conforme mostrado na Figura 4.6.

⁴⁴ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://tomjconley.blogspot.com.br/2012/06/should-western-australia-secede.html>

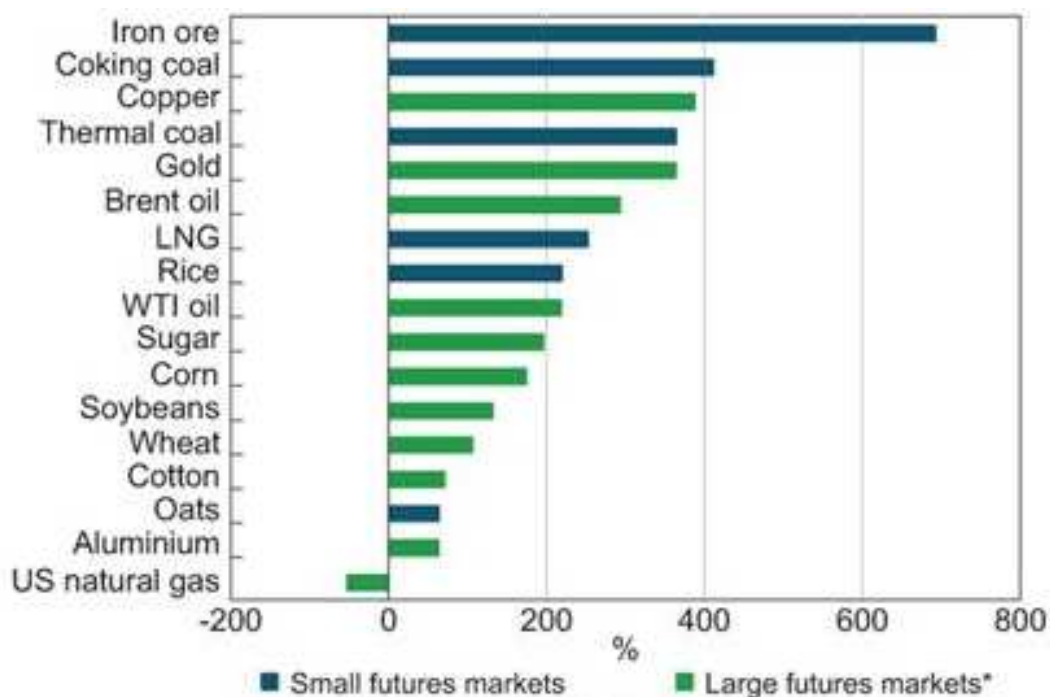


Figura 4.6 Aumento dos preços das commodities entre janeiro de 2003 e fevereiro de 2012

A Figura 4.7 mostra a evolução dos preços do minério de ferro, em US\$ milhões por tonelada, desde junho de 1982. De 1982 a 2004, o preço da tonelada permaneceu abaixo de US\$ 20. No entanto, a partir de 2005, verifica-se uma grande elevação do preço, em grande parte decorrente do crescimento do consumo chinês.

Para a empresa Vale S.A., o preço de referência do minério de ferro tem piso de US\$ 120 por tonelada⁴⁵. Segundo um executivo da empresa, a referência do preço é ditada por produtores da China. Em seminário sobre a crise internacional na sede da Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro, o executivo afirmou: "Constatamos que sempre que o preço cai abaixo de US\$ 120, ele retorna, acima desse valor. Boa parte dos produtores chineses tem custo nessa faixa". Ainda segundo o executivo da Vale, com o preço do minério entre US\$ 100 a US\$ 120 a tonelada, o negócio fica desvantajoso para os produtores chineses, que tendem a deixar o mercado, permitindo que os preços subam em seguida.

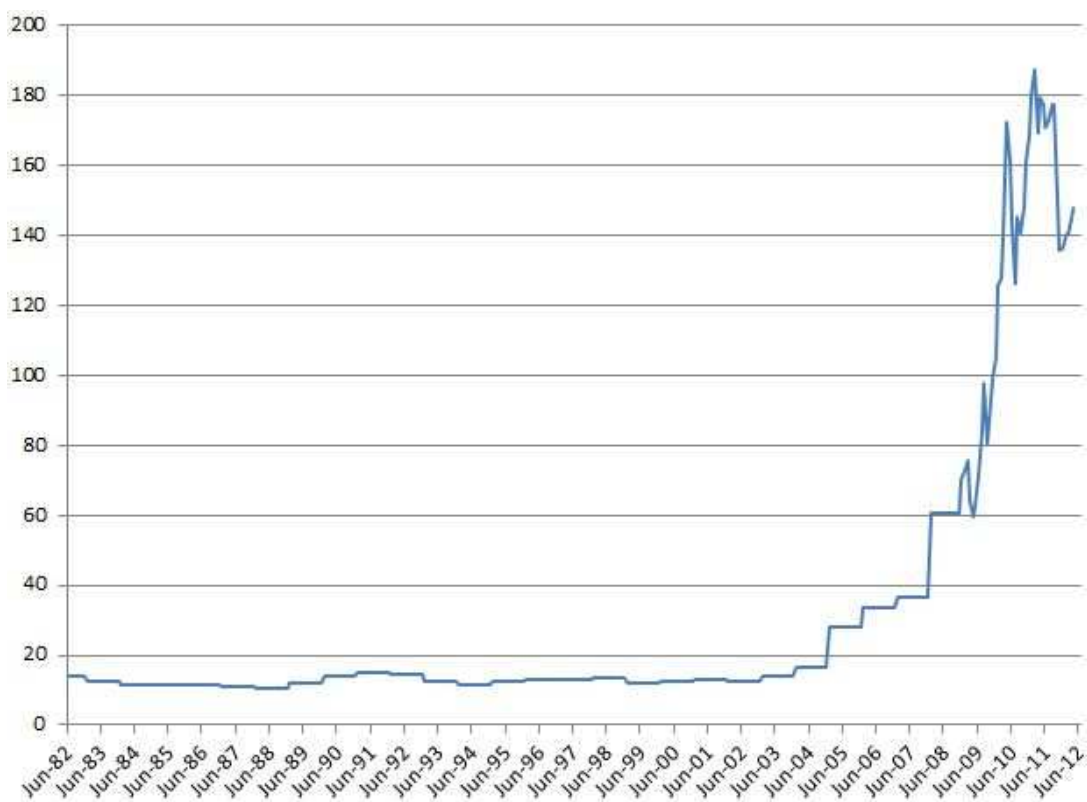


Figura 4.7 Evolução dos preços do minério de ferro (US\$/tonelada)

5. MINERAIS NÃO-METÁLICOS ESPECIAIS

Neste trabalho, foram considerados especiais os minerais não-metálicos grafita, quartzo e telúrio.

A grafita foi considerada um mineral especial por sua relação como o grafeno, que poderá ser a chave para a produção de transístores de apenas 0,01 micrometro, indo além do limite teórico de 0,02 micrometros, onde os transístores possuiriam apenas dois ou três átomos de espessura e poucas dezenas de átomos de comprimento, aproximando-se dos limites físicos da

⁴⁵ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://economia.estadao.com.br/noticias/negocios+geral,para-vale-minerio-de-ferro-tem-piso-de-us-120,117797,0.htm>

matéria. Recentemente, empresas de semicondutores realizaram testes a fim de substituir o silício pelo grafeno, devido à sua altíssima eficiência em comparação ao silício.

Na natureza, o silício só ocorre combinado. Ele é encontrado em praticamente todas as rochas, areias, barros e solos. Entre seus compostos naturais, alguns dos mais importantes são o quartzo, asbestos, zeolita e mica. O quartzo foi considerado especial por ser a principal matéria-prima bruta para a produção de lâminas de silício purificado para a produção de painéis solares.

Já o telúrio, um subproduto da indústria do cobre, foi considerado especial por sua utilização na produção de células de telureto de cádmio. Os baixos custos de produção em grande escala, quando comparado com as células de silício, são um atrativo, assim como a maior eficiência na conversão da energia solar em elétrica em comparação com os filmes finos de silício amorfo.

5.1 Grafita

A grafita ou grafite representa uma das formas alotrópicas do carbono encontradas na natureza, juntamente com o carvão e o diamante. A grafita pode ser natural ou sintética. A grafita natural é de origem metamórfica, normalmente encontrada em xistos, gnaisses e filitos, como veios, lentes, bolsões ou disseminações. A grafita natural pode ser encontrada em mais de uma forma na natureza: a microcristalina, conhecida comercialmente como "grafite amorfo"; a forma cristalina, conhecida como grafite cristalino tipo "flocos" ou "flake", e a grafite de veio ou *lump*. A grafita sintética é produzida industrialmente a partir de materiais como o coque de petróleo e a antracita, em processos que exigem alta temperatura e pressão.

A grafita é utilizada em diversas aplicações industriais como, por exemplo, na produção de tijolos e peças refratárias, catodo de baterias alcalinas, aditivo na re-carburação do ferro e do aço, lubrificantes sólidos ou a base de óleo e água, escovas de motores elétricos, lápis e lapiseiras, gaxetas de vedação etc. Ao contrário do diamante, a grafita é condutora de eletricidade, podendo ser usada, por exemplo, como eletrodo de uma lâmpada elétrica. Novas aplicações como dissipadores de calor em computadores, baterias de íons de lítio, células a combustível e centrais solares poderão gerar grande consumo de grafita.

As reservas mundiais de grafita são relativamente pouco detalhadas, mas, de acordo com o DNPM (2011), elas totalizavam 131,4 milhões de toneladas em 2010. Conforme mostrado na Tabela 5.1, China e Índia são os principais produtores mundiais, respondendo por 84,5% do total mundial nesse ano.

Tabela 5.1 Reservas e produção de grafita natural

Discriminação Países	Reserva (10 ³ t)	Produção(10 ³ t)		
	2010 ^(p)	2009 ^(r)	2010 ^(p)	%
Brasil ⁽¹⁾	59.500	59	88	8,0
China	55.000	800	800	72,7
Índia	5.200	130	130	11,8
Coréia do Norte	nd	30	30	2,6
Canadá	nd	25	25	2,3
México	3.100	5	5	0,4
Ucrânia	nd	6	6	0,5
Madagascar	940	5	5	0,4
Republica Tcheca	1.300	3	nd	0,3
Outros Países	6.400	37	11	1,0
TOTAL	131.440	1.100	1.100	100

Fontes: DNPM\DIPLAM ;USGS:Mineral Commodity Summaries – 2011. (1) Reservas Lavráveis; (e) Dados estimados, exceto Brasil; (r) Revisado; (p) Preliminar; (nd) Dado não Disponível.

A China conta com cerca de 400 minas de grafita⁴⁶. O país está investindo muito nas aplicações e na sua própria indústria e processamento. As últimas tecnologias em grafita e grafeno e suas aplicações estão recebendo especial atenção. A maior parte da grafita chinesa é produzida na província de Heilongjiang province, cujas minas ficam fechadas de novembro a março por causa do frio.

A maior parte da grafita chinesa é exportada, principalmente para fabricantes japoneses. Para estimular a construção de plantas na própria China, o governo estabeleceu uma alíquota de exportação de 20% e está investindo US\$ 1,6 bilhão na região de Jixi City. Essas plantas irão produzir grafita sintética e produtos especiais de grafita.

⁴⁶ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.graphiteblog.com/2012/06/china-spending-big-to-enter-downstream-graphite-sector.html>

5.2 Quartzo

O quartzo é o mais abundante mineral da Terra. Alguns autores consideram mais abundantes os feldspatos, que, no entanto, constituem um grupo formado de várias espécies. O quartzo tem uma estrutura cristalina composta por tetraedros de dióxido de silício. Ocorre geralmente em pegmatitas graníticas e veios hidrotermais. Cristais bem desenvolvidos podem atingir vários metros de extensão e pesar centenas de quilogramas. Pode também ter origem metamórfica ou sedimentar. Geralmente está associado aos feldspatos e micas. É constituinte essencial de granito, arenito, quartzitos por exemplo. Adicionalmente, pode ocorrer em camada, particularmente em variedades como a ametista.

O quartzo pode ser usado em moldes de fundição, vidro, esmalte, saponáceos, dentifrícios, abrasivos, lixas, fibras ópticas, refratários, cerâmica, produtos eletrônicos, relógios, indústria de ornamento, instrumentos ópticos e de vasilhas químicas. Alguns cristais de quartzo são piezoelétricos e podem ser usados como osciladores em aparelhos eletrônicos tais como relógios e rádios. Dos diversos semicondutores utilizados para a produção de células fotovoltaicas, destacam-se o silício cristalino, o silício policristalino, o silício amorfo hidrogenado, o telureto de cádmio e os compostos relacionados com o cobre, índio e selênio.

O cristal de quartzo, além de poder ser obtido na natureza, pode ser obtido por crescimento hidrotérmico na indústria de quartzo cultivado (*cultured quartz*). Desde os anos 1930 até o final da década de 1970, o Brasil destacava-se como fornecedor do quartzo natural. No entanto, o quartzo natural passou a ser substituído pelo quartzo cultivado, que passou a obter ampla aceitação na maioria das aplicações. Os fabricantes nacionais de cristais osciladores e filtros de cristal continuam importando as barras de cristais cultivados. Os principais setores de utilização dos cristais osciladores e filtros de quartzo são as indústrias de relógios eletrônicos, jogos eletrônicos, automóveis, equipamentos de telecomunicações, computadores e equipamentos médicos.

As reservas mundiais de grandes cristais naturais ocorrem quase exclusivamente no Brasil e, em quantidades menores, em Madagascar, Namíbia, China, África do Sul, Canadá e Venezuela. O Brasil é o único produtor de blocos de quartzo natural com propriedades piezoelétricas, especialmente nos Estados de Goiás, Minas Gerais e Bahia, que são usados,

principalmente, na produção de ligas de silício para a indústria metalúrgica e para uma pequena produção de silício metálico.

A produção de cristais de quartzo na China, com significativo impacto no mercado e na tecnologia, está transformando essa indústria nos Estados Unidos e Europa⁴⁷. É possível que grandes produtores do Japão e da Coreia mantenham sua produção por meio da liderança tecnológica. No entanto, a fatia de mercado desses países poderá ser reduzida pelos fabricantes chineses, que estão sendo encorajados a formar *joint ventures* com companhias estrangeiras e a desenvolver pesquisas junto com universidades. O governo chinês tem garantido subsídios para o desenvolvimento de produtos inovadores e de qualidade.

5.3 Telúrio

O telúrio pode ser considerado semi-metal. À temperatura ambiente, o telúrio encontra-se no estado sólido. O telúrio é raramente encontrado na forma nativa. Frequentemente, ele é encontrado na forma de telureto de ouro (calaverita) ou, em pequena quantidade, combinado com outros metais constituindo os minérios altaíta, coloradoíta, ricardíta, pedzíta, silvaníta e tetradímíta. A principal fonte comercial de telúrio é a lama anódica obtida a partir da refinação eletrolítica do cobre.

O suprimento de telúrio pode ser limitado pelas concentrações encontradas no principal minério, por limitações na capacidade de refino e pela dinâmica do mercado do produto principal. Normalmente, o telúrio ocorre em baixas concentrações no minério que contém o produto principal, geralmente cobre. Um valor típico de produção é de 2,5 kg de telúrio por 500 toneladas de cobre processado.

A maior parte do telúrio é usado em ligas com outros metais. É adicionado ao chumbo para aumentar a sua resistência mecânica, durabilidade e diminuir a ação corrosiva do ácido sulfúrico. Quando adicionado ao aço inoxidável e cobre, torna esses materiais mais facilmente usináveis. Outros usos incluem o ferro para molde, cerâmicas, adição à borracha e pigmentação azul de vidro. O telúrio é utilizado na camada refletora de discos compactos, sob a

⁴⁷ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5977764&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxp%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D5977764

forma de uma liga com a prata, o estanho e o índio. O telureto de bismuto apresenta uso em dispositivos termoelétricos.

O telúrio apresenta potenciais aplicações em células fotovoltaicas de filme fino que consomem telureto de cádmio. Apesar do aumento da eficiência na geração de energia elétrica a partir da energia solar, ainda não houve um aumento significativo na demanda de telúrio, pois as células convencionais de silício cristalino continuam sendo as mais utilizadas, respondendo por cerca de 90% do mercado global. Ressalte-se, contudo, que a fatia de mercado das células de filme fino deve crescer, pois os filmes finos requerem menos material, podem ser fabricados em rolos contínuos e podem ser depositados em substratos flexíveis.

Austrália, Bélgica, China, Alemanha, Casaquistão, Filipinas, Rússia e Reino Unido detém cerca de 73% das reservas globais de telúrio no minério de cobre. O refino de telúrio a partir do cobre está bem distribuído pelo mundo, com Japão, Canadá, Estados Unidos e China sendo os principais refinadores. Estima-se que, em 2010, foram produzidas 630 toneladas de telúrio.

Na China, a empresa Sichuan Xinlong Tellurium Industry & Technique Development é a primeira empresa especializada em recursos minerais e novos materiais no oeste da China. A companhia conta com onze minas, incluindo a primeira mina exclusiva de telúrio no mundo, e pode assumir dois projetos nacionais de alta tecnologia: telúrio purificado e liga de telúrio-cobre de fácil corte.

6. AGROMINERAIS

Nitrogênio, fósforo e potássio são os principais elementos envolvidos no processo do crescimento de um vegetal. Estes são os macroconstituintes dos vegetais e devem ser incorporados, periodicamente, ao solo na forma de adubos. Dentre esses três macronutrientes, apenas os compostos nitrogenados são produzidos industrialmente. Os demais são minerais.

O fosfato é um composto químico formado por fósforo e oxigênio. O fósforo é um mineral finito e insubstituível, cujas reservas conhecidas e de exploração economicamente viável podem se esgotar num prazo de 60 a 100 anos, se for mantido o ritmo atual de crescimento do

consumo mundial. Sem fósforo não haverá agricultura, nem biocombustível, nem vida. A humanidade acabará⁴⁸.

Já o cloreto de potássio e o nitrato de potássio são considerados fertilizantes essenciais para a humanidade. Além disso, o potássio é um metal empregado na produção de células fotovoltaicas.

6.1 Fosfato

Fósforo é um nome genérico dado a inúmeras combinações distintas de fosfatos, formando parte de numerosos minerais. A apatita, por exemplo, é uma importante fonte de fósforo. Na forma de fosfatos, o fósforo é encontrado em jazidas que ocorrem por todo o mundo. Está contido em rochas de depósitos sedimentares, ígneos e biogénéticos. Os depósitos sedimentares e os depósitos de origem ígnea são os mais importantes do ponto de vista econômico.

Em 2010, O International Fertilizer Development Center realizou um estudo de reavaliação das reservas e recursos mundiais de fosfato. Nesse estudo, concluiu-se que as reservas de fosfato são muito maiores do que se estimava. As reservas do Marrocos e da Saara Ocidental tiveram suas reservas aumentadas de 5,7 bilhões de toneladas para 50 bilhões de toneladas, conforme mostrado na Tabela 6.1 (DNPM, 2011).

Estima-se que, em 2010, foram produzidas 176 milhões de toneladas de fosfato. No atual ritmo atual da produção, as reservas mundiais serão suficientes para vários séculos. Em 2010, a China dominou a produção mundial com praticamente 37% de participação, mais que o dobro da soma dos 2º e 3º colocados, os Estados Unidos, Marrocos e Saara Ocidental, com 14,8% de participação cada.

⁴⁸ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet

Tabela 6.1 Reservas e produção de fosfato

Discriminação Países	Reservas (10 ³ t P ₂ O ₅)	Produção (10 ³ t)		
	2010 ^{(p) (1)}	2009 ^(r)	2010 ^(p)	%
Brasil ⁽²⁾	273.000	6.084	6.192	3,5
China	3.700.000	60.200	65.000	37,0
Estados Unidos	1.400.000	26.400	26.100	14,8
Marrocos e Saara Ocidental	50.000.000	23.000	26.000	14,8
Rússia	1.300.000	10.000	10.000	5,7
Tunísia	100.000	7.400	7.600	4,3
Jordânia	1.500.000	5.280	6.000	3,4
Egito	100.000	5.000	5.000	2,8
Israel	180.000	2.700	3.000	1,7
Síria	1.800.000	2.470	2.800	1,6
Austrália	82.000	2.800	2.800	1,6
África do Sul	1.500.000	2.240	2.300	1,3
Outros países	3.065.000	12.426	13.208	7,5
TOTAL	65.000.000	166.000	176.000	100

Fontes: DNPM/DIPLAM; USGS – *Mineral Commodity Summaries 2011*; ANDA.

Notas: (1) Nutrientes em P₂O₅; (2) Reservas lavráveis; (r) Revisado; (p) Dados preliminares.

O negócio dos fosfatos na China passou por uma grande transformação ao longo das últimas duas décadas em termos de balanço de oferta e demanda, produção e consumo, comércio exterior e cadeia de suprimento⁴⁹.

A demanda chinesa de fosfato cresceu de 5 a 6 milhões de toneladas em 1990 para o dobro desse valor nos últimos anos, enquanto o consumo global de fertilizantes de fosfato manteve-se praticamente estático. A produção de rocha fosfática aumentou de cerca de 30 milhões de toneladas, em 2000, para 65 milhões de toneladas em 2010.

A produção combinada de fosfato monoamônico e diamônico aumentou sete vezes e chegou a 22 milhões de toneladas. Assim, a exportação de fosfato diamônico, que era desprezível a dez anos atrás, chegou a 4 milhões de toneladas em 2010.

Altos impostos de exportação continuam em vigor em 2012, a fim de se garantir o suprimento do mercado interno de fertilizantes.

<http://revistaforum.com.br/blog/2011/10/agricultura-diante-da-grave-escassez-de-fosfato/>

⁴⁹ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.integer-research.com/2012/fertilizers-chemicals/news/chinas-phosphate-industry-major-supplydemand-shift/>

6.2 Potássio

O potássio é o segundo metal mais leve. É um elemento muito maleável, tem um ponto de fusão muito baixo, arde com chama violeta e apresenta uma coloração prateada nas superfícies não expostas ao ar, já que se oxida com rapidez. Assim como os demais metais alcalinos, reage violentamente com a água, desprendendo hidrogênio, podendo inflamar-se espontaneamente em presença dessa substância.

Devido a sua insolubilidade, é muito difícil obter o metal puro a partir dos seus minerais. Ainda assim, em antigos leitos marítimos e lagos existem grandes depósitos de minerais de potássio (carnalita, langbeinita, polihalita e silvina), dos quais é economicamente viável a extração do metal e seus sais.

A principal fonte de potássio é a potassa, extraída nos Estados Unidos e Alemanha. Em Saskatchewan, no Canadá, há grandes depósitos de potassa a 900 metros de profundidade, que no futuro podem converter-se em importantes fontes de potássio e sais de potássio. Atualmente o metal puro é obtido por eletrólise do hidróxido de potássio.

De acordo com o DNPM (2011), em 2010, as reservas mundiais de óxido de potássio eram de 9,2 bilhões de toneladas. O Canadá com 47,7% e a Rússia com 35,8% detinham as maiores reservas e eram os maiores produtores mundiais com cerca de 48,7%.

A China tem seus próprios depósitos, mas eles são muito pequenos quando comparados com os do Canadá e da Rússia. A província de Qingha, localizada no platô tibetano, respondeu por cerca de 80% dos 3 milhões de toneladas que foram produzidas na China em 2010⁵⁰.

No entanto, essa produção está muito longe de atender à demanda doméstica anual de aproximadamente 8 milhões de toneladas.

Como a China não conta com grandes reservas de potássio, ela tem buscado depósitos em outros países, mas sem sucesso. Com o constante aumento da demanda interna, a China ainda vai depender muito, nos próximos anos, do fertilizante de potássio importado⁵¹.

⁵⁰ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.theglobeandmail.com/news/world/chinas-passion-for-potash/article4389003/>

⁵¹ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.prweb.com/releases/2012/6/prweb9584425.htm>

Tabela 6.1 Reservas e produção de potássio

Discriminação Países	Reservas (10 ³ t K ₂ O)	Produção ^(e) (10 ³ t K ₂ O)		
	2010 ^(p)	2009 ^(r)	2010 ^(p)	(%)
Brasil	17.684 ⁽⁴⁾	453	418	1,2
Canadá	4.400.000	4.320	9.500	28,4
Rússia	3.300.000	3.730	6.800	20,3
Bielorrússia	750.000	2.490	5.000	15,0
Alemanha	150.000	1.800	3.000	9,0
China	210.000	3.000	3.000	9,0
Outros Países	397.000 ⁽²⁾	5.049	5.702	17,1
TOTAL	9.224.684	20.842	33.420	100

Fontes: DNPM/DIPLAM e USGS: *Mineral Commodity Summaries – 2011*.

Nota: Usa-se convencionalmente a unidade K₂O equivalente para expressar o potássio contido, embora essa unidade não corresponda à composição química da substância. ⁽¹⁾ Referente à reserva lavrável da mina de Taquari/Vassouras/Sergipe; ⁽²⁾ Inclui o total da reserva do Mar Morto, que é equitativamente dividido entre Israel e Jordânia; ⁽⁴⁾ Estimativa; ^(r) revisado; ^(p) Preliminar.

7. POSIÇÃO RELATIVA DA CHINA

Este capítulo tem por objetivo mostrar a posição relativa da China em relação à produção de minerais estratégicos e ao consumo minério de ferro e cobre. A China foi, em 2010, o maior produtor mundial de dez minerais estratégicos de um total de dezenove, conforme mostrado na Tabela 7.1.

Tabela 7.1 Posição relativa da China em 2010 na produção de minerais estratégicos

Recurso mineral	Uso de destaque	China	Mundo	Unidade	Posição
Bauxita	Alumínio e fonte de gálio	40,000	207,470	Milhões de toneladas	2
Cobre	Setor elétrico	1,200	16,097	Milhões de toneladas	3
Cromo	Aços inoxidáveis	0,200	22,520	Milhões de toneladas	ND
Ferro (teor de Fe)	Siderurgia	332,000	1.290,000	Milhões de toneladas	1
Fosfato (rocha)	Fertilizantes	65,000	176,000	Milhões de toneladas	1
Grafita	Baterias de íons de lítio	0,800	1,100	Milhão de toneladas	1
Índio	Células fotovoltaicas	300	574	Toneladas	1
Manganês	Baterias	2,800	14,710	Milhões de toneladas	1
Molibdênio	Aços especiais	0,094	0,234	Milhão de toneladas	1

Recurso mineral	Uso de destaque	China	Mundo	Unidade	Posição
Níquel	Aços inoxidáveis	0,077	1,592	Milhão de toneladas	7
Nióbio	Ligas especiais	-	0,176	Milhão de toneladas	ND
Platina	Catalisadores	-	183	Toneladas	ND
Potássio	Fertilizantes	3,000	33,480	Milhões de toneladas	4
Silício	Células fotovoltaicas	4,600	6,900	Milhões de toneladas	1
Terras-raras	Ímãs permanentes	0,120	0,130	Milhão de toneladas	1
Tântalo	Capacitores	-	661	Toneladas	ND
Telúrio	Células fotovoltaicas	-	630	Toneladas	ND
Titânio (esponja)	Indústria espacial	0,057	0,154	Milhão de toneladas	1
Vanádio	Baterias	0,023	0,056	Milhão de toneladas	1

ND: não disponível

A Tabela 7.2 mostra a evolução do consumo em milhões de toneladas métricas de cobre e de ferro na China no período de 2000 a 2010.

Tabela 7.2 Evolução do consumo na China de cobre e ferro

Recurso mineral	Consumo em 2000	Consumo em 2010
Cobre	1,941	7,594
Ferro	124,278	575,984

8. CONCLUSÕES

Os recursos minerais são parte de praticamente todos os produtos consumidos. A era da informação está criando uma demanda muito diversificada de minerais metálicos e não-metálicos, a indústria siderúrgica demanda grandes quantidades de minério de ferro, o setor elétrico é muito demandante de cobre e a agricultura é grande consumidora de fertilizantes à base

de fósforo e potássio. A chamada “economia verde” vai criar uma grande demanda por novos recursos minerais.

Alguns minerais são fornecidos por um número limitado de minas, de empresas ou de países, o que pode levar a uma restrição na oferta. Outros podem ter grande aumento de preço, em razão do aumento de demanda. O índio, por exemplo, que é usado na fabricação de telas planas, teve seu preço aumentado em cerca de nove vezes de 2003 a 2006.

Neste trabalho, a escolha dos recursos minerais estratégicos foi estabelecida em razão da criticalidade geológica, da concentração da oferta, do crescimento da demanda, das receitas e lucros gerados e da importância para o desenvolvimento sustentável.

A China tem buscado ter controle sobre parte da produção e, principalmente, sobre a cadeia produtiva desses minerais. A posição dominante da China tem causado a dependência de muitos países, inclusive do Brasil. Um plano estratégico parece ter sido concebido e implementado nesse país ao longo das últimas décadas, com o objetivo de se construir cadeias produtivas integradas.

Dos dezenove recursos minerais estratégicos abordados neste trabalho, a China é o maior produtor mundial de dez deles. No caso de o país não contar com produção doméstica suficiente para a construção de uma indústria local, são buscados direitos minerais, aquisições e parcerias estratégicas com outros países. No caso de o país ser grande produtor, são estabelecidos impostos, cotas de exportação, garantia de suprimento e incentivos do governo para a construção de uma cadeia produtiva local.

No caso do níquel, a China é apenas o sétimo produtor mundial. Nos últimos anos, o país produziu menos de 100 mil toneladas por ano e consumiu cerca de 300 mil toneladas por ano. Devido ao alto valor do níquel refinado e à expansão da produção de aço inoxidável, a China importou grandes volumes de minério em substituição ao níquel refinado. Em 2010, 90% das importações da China vieram da Indonésia e Filipinas.

A China também não é autossuficiente na produção de cobre. Apesar das pequenas reservas, a China é o maior consumidor mundial de cobre. Em 2009, a China consumiu cerca de 40% da produção mundial. Esse consumo foi maior que a produção do Chile. Nos últimos anos, a capacidade global de processamento de cobre tem se transferido para a China. O país consumiu

mais de 30% do cobre refinado no mercado global, mesmo tendo apenas 5% das reservas. Em 2010, a China foi o maior produtor mundial de fios e barras de liga de cobre. Em um contexto de pequenas reservas e baixa produção interna, as companhias chinesas investiram mais de US\$ 5 bilhões em aquisições de reservas de cobre do Afeganistão à Zâmbia.

Como a China não conta com grandes reservas de potássio, ela tem buscado, sem sucesso depósitos em outros países. Com o constante aumento da demanda interna, a China ainda vai depender muito, nos próximos anos, do fertilizante de potássio importado.

Em razão da importância estratégica do nióbio, da concentração da produção no Brasil e da impossibilidade de ter uma cadeia produtiva desse elemento na China, um consórcio chinês adquiriu 15% do capital da empresa brasileira CBMM, que é a única produtora de nióbio com presença em todos os segmentos de mercado e principal empresa global do setor.

No caso do minério de ferro, mesmo a China sendo o maior produtor mundial, são importados grandes volumes do Brasil e da Austrália. Em 2010, a China representou quase 60% do total das importações globais de minério de ferro e produziu cerca de 60% do ferro gusa mundial.

A China também é o maior produtor mundial de muitos minerais de menor produção, como, por exemplo: grafita, índio, molibdênio, terras-raras, titânio e vanádio. A maior parte da grafita chinesa é exportada, principalmente para fabricantes japoneses. Para estimular a construção de plantas na própria China, o governo estabeleceu um imposto de exportação de 20% e está investindo US\$ 1,6 bilhão.

No caso do índio, o governo chinês restringiu as exportações por meio de tributos. Além disso, em 2009, a China passou a estabelecer cota de exportação. Metade da capacidade de produção de índio refinado está concentrada nesse país.

Em 2010, a China classificou o molibdênio com um “recurso mineral nacional”, limitando a mineração e as exportações desse metal. Em 2007, a China já tinha estabelecido cotas de exportação para o molibdênio.

Os dados sobre terras-raras indicam que a posição dominante da China na mineração e concentração (97%), na separação de minérios em óxidos (97%), no refino de óxidos para obtenção de metais (quase 100%), na conversão de metais em pós de ligas magnéticas (75% a

80%) e na fabricação de ímãs NdFeB (75% a 80%) foi fruto de um plano estratégico muito bem concebido e implementado. A posição dominante da China tem causado uma grande dependência por parte dos países industrializados, especialmente do Japão e dos Estados Unidos.

A produção chinesa de esponja de titânio atingiu 57,7 mil toneladas em 2010, o que representou 37,4% da produção mundial. Já a capacidade de produtos manufaturados atingiu 38,3 mil toneladas, cobrindo 34,3% do total mundial. Estados Unidos, Europa e Coreia do Sul são os principais destinos das exportações chinesas.

No caso do vanádio, formou-se um polo industrial na China que inclui dezessete empresas estatais e privadas. Uma grande variedade de produtos pode ser fornecida, tais como vanádio de escória, óxidos de vanádio, nitreto de vanádio e ferro-vanádio. Nesse polo, muitos prêmios por atividades em ciência e tecnologia foram conquistados.

Em suma, a China é o principal produtor ou importador, e em alguns casos, o principal exportador de minerais estratégicos. Por essa razão, é possível que esse país venha a ser o principal detentor dos recursos, das tecnologias e das indústrias do futuro, com foco na chamada “economia verde”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BGS - BRITISH GEOLOGICAL SURVEY. **Rare Earth Elements**. London 2011.

BURTON, M. 2011. **China's rare earth oxide metal shipments could drop 40%**. Metal Bulletin 15 August 2011.

CAIFENG, W. **Global Rare Earth Demand to Rise to 210000 Metric Tons by 2015**.

CHIM, S. **A China Centric Global Iron Ore Market**. CIM Conference, Iron Ore Symposium, Montreal, 2011.

DNPM - DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Sumário Mineral 2011.

GLOBAL TRADE ALERT. **China: Neodymium rare earth export tariff increase in 2011**. 2011.

HOCQUARD, C. **Les matières premières comme enjeu stratégique majeur : le cas des terres rares.** I Seminário Brasileiro de Terras-Raras. Rio de Janeiro 2011.

HORADAM, D. **The Iron Ore Market.** 4th Annual Mining the Pilbara Conference, 2010.

HUMPHREYS, D.. **Unravelling the causes of the mineral price boom.** Resources Policy v. 34 2009.

HUMPHRIES, M. **Rare Earth Elements: The Global Supply Chain.** Congressional Research Service 2011.

HURST, C. **China's Rare Earth Elements Industry: What Can the West Learn?** Institute for the Analysis of Global Security March 2010.

_____ **The great metals boom: A perspective.** Resources Policy v. 35 2010.

IMCOA - INDUSTRIAL MINERALS COMPANY OF AUSTRALIA. **Meeting Rare Earth Demand in the Next Decade.** March 2011.

KPMG. **Quarterly Commodity Insights Bulletin,** August, 2011.

KORINEK, J.; KIM, J. **Export restrictions on strategical raw materials and their impact on trade.** OECD Publishing 2010.

LYNAS CORPORATION LTD. **Rare earths: we touch them everyday.** Investor Presentation May 2011.

MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. **Resource revolution: meeting the world's energy materials food and water needs.** November 2011.

TSE, P-K. **China's Rare-Earth Industry** USGS Open-File Report 2011-1042.

TOTH, P. **Chinese Iron ore Demand - "Stronger for Longer" An update on BHP Billiton's Expansion Plans.** BHP Billiton, 2005.

USGS - UNITED STATES GEOLICAL SURVEY. **Minerals Yearbook** vol. 1 2010.

_____ **Minerals Yearbook** vol. 1 2011.

XUN, Z. **Mineral facts of China.** 2. ed. Beijing: Geological Publishing House, 2006.



O CONTENCIOSO DE TERRAS-RARAS NA ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DO COMÉRCIO

Luciana Teixeira
Consultor Legislativo da Área IX
Economia

ESTUDO

AGOSTO/2012



Câmara dos Deputados
Praça 3 Poderes
Consultoria Legislativa
Anexo III - Térreo
Brasília - DF



SUMÁRIO

1. Restrição das Exportações de Terras Raras pela China.....	3
2. O Contencioso de Terras-Raras na OMC.....	7
3. A Adesão da China à OMC.....	11
4. O Contencioso de Matérias Primas.....	13
5. Cenários para o Contencioso de Terras-Raras	16
6. Cenários para o Mercado Global de Terras-Raras.....	18
7. Considerações Finais.....	19
8. Referências Bibliográficas.....	21

© 2012 Câmara dos Deputados.

Todos os direitos reservados. Este trabalho poderá ser reproduzido ou transmitido na íntegra, desde que citados(as) os(as) autor(a) e a Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados. São vedadas a venda, a reprodução parcial e a tradução, sem autorização prévia por escrito da Câmara dos Deputados.

Este trabalho é de inteira responsabilidade de seu(sua) autor(a), não representando necessariamente a opinião da Câmara dos Deputados.

O CONTENCIOSO DE TERRAS-RARAS NA ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DO COMÉRCIO

Luciana Teixeira

I - Restrição das exportações de terras-raras pela China

Nos últimos anos, a China vem implementando uma política de restrição das exportações de terras-raras. Essas restrições se manifestam por meio da imposição de cotas, licenças e tarifas para a exportação desses produtos.

De 2005 a 2010, as quantidades autorizadas pelo Ministério do Comércio chinês para a exportação desses elementos sofreram quedas expressivas. Entre 2009 e 2010, a queda foi de quase 40%, passando de 48.000 toneladas, em 2009, para apenas 30.258 toneladas, em 2010, quantidade mantida praticamente inalterada nos anos seguintes.

Tabela 1. Cotas de exportação chinesas de terras-raras – 2005/2012

Ano	Cota (ton)
2005	65.580
2006	61.070
2007	59.643
2008	49.990
2009	48.155
2010	30.259
2011	30.184
2012	31.130

Fonte: CRS Report for Congress, abr. 2012.
In Chinese rare-earth website (www.cre.net)

As alocações de cotas de exportação de terras-raras para 2012 anunciadas pelo Ministério do Comércio chinês na primeira rodada em 27 de dezembro de 2011, e posteriormente ajustadas, em maio de 2012, foram de 25.150 toneladas ou 80% das alocações para 2012, as quais, portanto, somarão 31.438 toneladas de terras-raras, número um pouco mais

alto do que o estabelecido em 2011. Convém destacar que, do total anunciado na primeira rodada, 87,1% das cotas são de terras-raras leves.

Além das quantidades permitidas, foi publicado um algoritmo para a alocação de cotas específicas para empresas individuais, baseado na participação de cada empresa no volume total e no valor total das vendas de exportação de terras-raras nos últimos três anos.

O anúncio do Ministério do Comércio chinês quanto às cotas de exportação de terras-raras para 2012 trouxe algumas novidades. Pela primeira vez, foram separadas as alocações entre produtos de terras-raras leves e pesados e anunciado o total de cotas para o ano inteiro. Além disso, as empresas foram separadas em dois grupos, em razão de seus progressos na implementação das novas regulamentações para o controle da poluição. O primeiro grupo, que se adequou às normas ambientais, recebeu cotas de exportação confirmadas e o segundo, apenas alocações provisionais equivalentes a 57,6% do total das cotas. Foi estabelecido, ainda, que as empresas que falharem em atender, até julho de 2012, os novos requisitos ambientais, terão suas cotas realocadas para outras companhias.

As empresas também foram classificadas em empresas de propriedade de chineses e joint-ventures de capital chinês e estrangeiro¹. Entre aquelas que tiveram as alocações de cotas de exportação confirmadas, apenas 18% das cotas foram direcionadas às joint-ventures; das que receberam alocações provisionais, 35% das cotas foram alocadas para as empresas de capital misto. Este elevado percentual decorre do fato de a maioria das joint-ventures terem sido classificadas na categoria provisional (HATCH, 2012).

Além das cotas de exportação, as empresas mineradoras de terras-raras também estão sujeitas a licenças para exportação, expedidas pelo Ministério do Comércio chinês. Desde 2006, a China vem reduzindo o número de companhias licenciadas por meio da adoção de regras de licenciamento e de regulações ambientais mais duras. Segundo o Serviço de Pesquisa do Congresso norte-americano, em 2006, 47 empresas chinesas e 12 joint-ventures receberam licenças de exportação. Em 2011, menos da metade (22) das empresas de capital exclusivamente chinês e apenas 9 joint-ventures foram licenciadas. Na primeira rodada de alocação de cotas de exportação em 2012, o governo assegurou cotas para 9 empresas e 17 deveriam esperar por resultados de inspeção ambiental. Em maio de 2012, as cotas provisionais dessas empresas foram aprovadas, totalizando, assim, entre empresas de capital chinês e joint-ventures, 26 empresas de terras-raras a receberem licenças de exportação em 2012, número inferior ao de 2011 (MORRISON; TANG, 2012).

A regulação do mercado de terras-raras chinês inclui ainda as tarifas de exportação. Essas tarifas variam, atualmente, de 15% a 25%. Em 2007, elas foram estabelecidas em 10% e eram aplicadas a menos itens.

¹ Empresas estrangeiras são proibidas de minerar terras-raras na China e de participar em projetos de fundição e separação, a não ser que formem joint-ventures com parceiros chineses.

Como consequência do domínio do mercado de terras-raras pelos chineses - 50% das reservas de terras-raras e 97% da produção mundial de óxidos de terras-raras (USGS, 2012) - aliado à estratégia de restrição das exportações, observou-se uma forte elevação dos preços dos terras-raras no primeiro semestre de 2011, acompanhada do anúncio de lucros substanciais auferidos por empresas chinesas que utilizam terras-raras como matéria-prima. Entre 2009 e 2011, como mostra a tabela a seguir, os preços dos terras-raras aumentaram quase seis vezes, no caso do európio, e até mais de 30 vezes, no caso do samário. Os aumentos dos preços do óxido de neodímio e de disprósio foram um pouco superior a doze vezes nesse mesmo período. O óxido de neodímio, por exemplo, que custava, em 2009, cerca de 19 dólares o quilograma, dois anos depois atingiu o valor de 234,40 dólares/quilo. Os valores apresentados na tabela a seguir referem-se ao preço médio anual dos terras-raras para um grau de pureza de 99%.

Tabela 2. Preços chineses de exportação de óxidos de terras-raras

Óxidos de terra-raras	2009	2010	2011	FOB US\$/Kg		
				Q4 2011	Q1 2012	30/7/2012
Óxido de lantânio	4,88	22,40	104,10	66,46	42,31	20,00
Óxido de cério	3,88	21,60	102,00	59,31	37,92	21,00
Óxido de neodímio	19,12	49,50	234,40	244,23	177,31	105,00
Óxido de praseodímio	18,03	48,00	197,30	209,62	163,08	110,00
Óxido de samário	3,40	14,40	103,40	95,31	73,85	70,00
Óxido de disprósio	115,67	231,60	1449,80	2032,31	1366,15	1000,00
Óxido de európio	492,92	559,80	2842,90	3800,00	3623,08	2020,00
Óxido de térbio	361,67	557,80	2334,20	2973,85	2658,46	2000,00

Fonte: Lynas/Metal Pages

Especialmente a partir do último quadrimestre de 2011, observou-se a redução dos preços dos óxidos de terras-raras, tendência que se manteve em 2012. Assim, entre 2011 e 2012, houve significativas reduções desses preços, especialmente para os óxidos de lantânio (queda de 59,3%) e de cério (diminuição de 62,8%). De acordo com a tabela, a tendência de queda dos preços dos óxidos de terras-raras se aprofundou até a última observação datada de 30 de julho do corrente ano. Esses preços, no entanto, continuam em níveis mais elevados que aqueles praticados em 2009, denotando a forte volatilidade dos preços dessas matérias-primas.

Os dados da tabela abaixo mostram os preços dos óxidos de terras-raras no mercado interno chinês, calculados a partir dos preços FOB subtraídos das tarifas de exportação – que, como mencionado, variam de 15% a 25% para os terras-raras – e dos custos das cotas de exportação, e somados ao imposto sobre valor agregado (*value added tax* –VAT).

Tabela 3. Preços internos chineses de óxidos de terras raras

Rare Earth Oxide	2009	2010	2011	Q4	Q1	30/7/2012	US\$/Kg
				2011	2012		
Óxido de lantânio	3,06	4,23	16,26	18,28	15,13	11,29	
Óxido de cério	2,13	3,55	19,58	20,65	15,99	11,29	
Óxido de neodímio	11,66	29,28	132,06	122,77	90,8	67,4	
Óxido de praseodímio	11,38	27,6	104,6	106,95	79,33	65,83	
Óxido de samário	2,05	2,47	11,85	14,49	12,69	9,87	
Óxido de disprósio	80,24	166,48	994,33	1085,35	776,79	595,61	
Óxido de európio	351,75	410,42	2025	2228,39	1598,8	1018,81	
Óxido de térbio	253,6	388,8	1596,82	1765,1	1257,07	862,07	

Fonte: Lynas (2012).

Observe-se que uma comparação entre os preços chineses internacionais (Tabela 2) e os domésticos (Tabela 3), praticados em 30 de julho de 2012, revela que os preços de exportação de terras-raras são significativamente mais elevados que os preços praticados no mercado interno chinês. No caso do samário, de acordo com a referida cotação, o preço internacional é mais de 600% superior ao preço doméstico, seguido pelo térbio, cuja variação alcança cerca de 130%. Para os óxidos dos demais elementos, a relação preço externo e interno varia entre 55% e 98%. Essa grande diferença entre preços internos e externos tem dado à China uma significativa vantagem no mercado à jusante, gerando reclamações quanto à concorrência desleal chinesa.

Várias são as especulações sobre as razões que levaram a China a restringir as exportações de terras-raras nos últimos anos. A competição com o Japão tem sido citada como um dos principais motivos para a limitação do suprimento dessas matérias-primas. A forte dependência do Japão em relação aos terras-raras chineses, haja vista o país não possuir reservas desses elementos, tem levado empresas japonesas de alta tecnologia, fabricantes de produtos que utilizam terras-raras, a se instalarem na China, agregando valor e gerando empregos em território chinês.

Outra razão para a restrição da exportação de terras-raras pelos chineses seria o aumento da demanda do país e a política de formação de estoques adotada pelo governo chinês, especialmente de terras-raras pesados. O aumento da demanda seria resultado da atração de empresas de tecnologia em território chinês à procura de um suprimento estável e mais barato de terras-raras e a implementação de uma estratégia verde. A China anunciou, em 2010, que sua indústria automobilística deverá fabricar um milhão de veículos elétricos e híbridos nos próximos

anos. Outro objetivo, anunciado nos dois últimos planos chineses, que cobrem o período de 2010 a 2020, é de ter 330 GW de eletricidade eólica instalada, o que representa três vezes a potência total instalada no Brasil (LIFTON, mar. 2012). Segundo especialistas, a China passará, em um futuro próximo, de importador para exportador de alguns elementos de terras-raras, como o lantânio e o neodímio.

A justificativa chinesa para a restrição às exportações de terras-raras está calcada em razões ambientais. Nesse sentido, em 2009, o governo chinês publicou as Diretrizes para o Desenvolvimento dos Recursos Minerais 2008-15, documento que estabelece as normas para a proteção e o uso racional dos recursos naturais chineses para o período mencionado. De acordo com o plano, os terras-raras, o tungstênio e o antimônio são considerados commodities minerais protegidas, o que significa estarem sujeitas ao estrito controle do governo.

O compromisso assumido pela China de combater a poluição e reduzir as emissões de carbono levou ao fechamento de minas que não atendiam aos requisitos ambientais e à suspensão de licenças para mineração de terras-raras até 2012. Especialistas consideram que o governo chinês está na direção correta e avançou na questão ambiental associada à mineração de terras-raras. “Apenas o mais cético dos observadores poderia negar que, no mínimo, recentemente, a China está levando a sério o problema ambiental associado aos terras-raras”², afirma Gareth Hatch, fundador, juntamente com Jack Lifton, da Technology Metals Research. Há também que se considerar a política chinesa de racionalização e reestruturação de sua indústria mineradora de terras-raras, de forma a torná-la mais eficiente e lucrativa, o que também provocou o fechamento de minas de pequeno porte.

² “Only the most skeptical of observers would deny that at least recently, China is taking the pollution problem associated with rare earths seriously”. “The WTO Rare Earths Trade Dispute: An Initial Analysis”, pg. 3. www.techmetalsresearch.com (acesso em 30.07.12).

II - O contencioso de terras-raras na OMC

Em resposta às restrições às exportações de terras-raras pela China, vários países reagiram à limitação da oferta dessas matérias-primas, principal motivo das fortes elevações de preços observadas, especialmente, em 2011. O estopim dessa crise foi o corte das exportações chinesas de terras-raras para o Japão, em represália à prisão de um comandante de um barco de pesca chinês em uma área marítima disputada por ambos os países, criando grandes dificuldades à indústria de tecnologia japonesa.

Nesse contexto, em 13 de março, os Estados Unidos solicitaram, junto à Organização Mundial do Comércio - OMC, a celebração de consultas³ com o governo da República Popular da China (disputa nº DS431) a respeito de “restrições que este país impõe à exportação de diversas formas de terras raras, tungstênio e molibdênio”⁴. Nove dias mais tarde, a União Europeia e o Japão se associaram à consulta americana e, treze dias após o pedido dos Estados Unidos, o Canadá fez o mesmo.

No documento encaminhado à OMC, os Estados Unidos listam uma série de argumentos que fundamentam seu pedido e alegam que as seguintes restrições às exportações de terras raras, tungstênio e molibdênio impostas pela China são incompatíveis com as disposições da OMC :

- Restrições quantitativas, tais como cotas relativas à exportação desses produtos;
- Imposição de tarifas de exportação;
- Restrições ao direito de exportar, que incluem a exigência de requisitos em matéria de experiência prévia de exportação, capital mínimo, licenças de exportação e outras condições que parecem dar às empresas estrangeiras um tratamento diferente do recebido pelas empresas nacionais;
- Sistema de preços mínimos de exportação;
- Exigência de exame e aprovação de contratos e de preços de exportação.

³ As consultas são a primeira etapa do procedimento de solução de controvérsias na OMC e podem durar até 60 dias, apesar de os prazos serem flexíveis. Nesse período, espera-se que as partes negociem e cheguem a um acordo.

⁴ A referida consulta menciona vários códigos do Sistema Harmonizado para a classificação de mercadorias, os quais incluem: minérios de terras-raras; minérios de tório e concentrados; metais individuais de terras-raras; óxidos individuais e misturados de terras-raras, carbonatos, cloratos, fluoretos e outros compostos; terras-raras que contêm pós fosforescentes; terras-raras contendo ligas de ferro; e uma variedade de terras-raras contendo pós magnéticos e ligas.

Ademais, os Estados Unidos acusam a China de aplicar as supracitadas restrições à exportação de terras-raras, tungstênio e molibdênio de uma forma que não é “uniforme, razoável ou transparente”. Afirmam, ainda, que a China também aplica essas restrições por meio de medidas que não estão publicadas.

Em linhas gerais, os reclamantes argumentam que as políticas chinesas dão às firmas domésticas que usam os terras-raras como matérias primas em seu processo produtivo uma vantagem competitiva, na medida em que restringem a oferta mundial dessas matérias-primas e provocam o aumento de seus preços.

Os Estados Unidos alegam, em virtude das medidas supracitadas, que a China infringe dispositivos do Acordo Geral de Tarifas e Comércio - GATT de 1994, de seu Protocolo de Adesão à Organização Mundial do Comércio – OMC e de vários compromissos assumidos no Relatório do Grupo de Trabalho sobre a Adesão da China à OMC.

No tocante ao GATT de 1994, a China teria infringido os seguintes artigos:

- O artigo VII, que trata da valoração aduaneira. Segundo o artigo, esse valor deve ser determinado com base no valor de transação das mercadorias importadas ou de mercadorias similares, e não deve se basear no valor da mercadoria de origem nacional ou em valores arbitrários e fictícios.
- O artigo VIII, que determina que taxas e encargos - exceto os impostos alfandegários previstos no artigo III do Acordo, bem como tarifas de importação e exportação – relacionados à importação e à exportação, devem se limitar aos custos dos serviços ofertados e não podem representar uma proteção indireta aos produtos nacionais ou uma taxa para fins fiscais.
- O artigo X, que versa sobre transparência, notificação e publicação das leis, dos regulamentos, das decisões judiciais e das disposições administrativas, de forma a que os comerciantes tenham conhecimento de seu teor.
- O artigo XI, que estabelece que não se manterá – à parte das tarifas aduaneiras, impostos e outras taxas – proibições nem restrições à importação de um produto do território de outra parte contratante ou à exportação de produto destinado ao território de outra parte contratante.

As medidas praticadas pela China também são, segundo os EUA, incompatíveis com as seguintes disposições da Parte I de seu Protocolo de Adesão à OMC:

- Parágrafo A 2), o qual dispõe que a China aplicará e administrará de forma uniforme, imparcial e razoável todas as leis, regulamentos e demais medidas de seu governo central, bem como medidas locais que se apliquem à nível subnacional referente ao comércio de mercadorias, serviços, direitos de propriedade intelectual relacionados ao comércio e ao controle cambial.
- Parágrafo C 1) que versa sobre o compromisso de dar publicidade e fazer cumprir unicamente as leis, regulamentos e demais medidas que se refiram ou afetem o comércio de mercadorias, de serviços, os direitos de propriedade intelectual relacionados ao comércio e o controle cambial que estejam publicados e que possam ser obtidos com facilidade pelos demais membros da OMC, particulares e empresas.
- Parágrafo 1 da seção 5 que determina que, em um prazo de três anos contados a partir da adesão, todas as empresas da China desfrutarão do direito a ter atividades comerciais com todo tipo de mercadoria no território chinês, incluindo o direito a importar e exportar mercadorias, e que todas essas mercadorias receberiam tratamento nacional, conforme o artigo III do GATT de 1994.
- Parágrafo 2 da seção 5 que dispõe que será concedido a particulares e a empresas estrangeiras um tratamento não menos favorável que o concedido às empresas chinesas, no que diz respeito ao direito de ter atividades comerciais.
- Parágrafo 2 da seção 7 reza que a China eliminará medidas tarifárias que não possam se justificar em conformidade com as disposições do Acordo sobre a OMC e não as introduzirá ou reintroduzirá, nem aplicará medidas não tarifárias deste tipo.
- Parágrafo 2 da seção 8 preconiza que será concedido a particulares e empresas estrangeiras, e financiadas com capital estrangeiro, um tratamento não menos favorável que o concedido aos demais particulares e empresas no que diz respeito à distribuição de licenças e contingentes de importação e exportação.
- Parágrafo 3 da seção 11, o qual enuncia que a China eliminará todos os impostos ou encargos à exportação, salvo nos casos previstos expressamente no anexo VI do Protocolo de Adesão ou

que se apliquem em conformidade com as disposições do artigo VIII do GATT de 1994.

- Parágrafo 2 da seção 1 que afirma as obrigações assumidas pela China em decorrência de sua adesão ao Acordo sobre a OMC retificado, o qual incorpora compromissos enunciados nos parágrafos 83, 84, 162 e 165 do informe do Grupo de Trabalho sobre a Adesão da China.

Em linhas gerais, os reclamantes alegam tratamento discriminatório a empresas estrangeiras por meio de restrições às exportações, regras operacionais de comércio injustas, preços mínimos de exportação não oficiais e ausência de transparência na aplicação das medidas mencionadas.

III - A Adesão da China à OMC

Para melhor compreender a recente disputa de terras-raras, é oportuno analisar a adesão da China à OMC, visto que, para aderir, a China se comprometeu a não violar as regras internacionais de comércio e utilizar o sistema multilateral para a solução de disputas ao invés de agir unilateralmente. Nesse sentido, a China obrigou-se a eliminar tarifas de exportação - com exceção das aplicáveis a produtos constantes do anexo de seu Protocolo de Adesão -, bem como não aplicar cotas de exportação, limitações que, segundo as partes reclamantes da disputa de terras raras, infringem as regras multilaterais do comércio internacional.

A China foi um dos primeiros subscritores do GATT, de 30 de outubro de 1947, tendo se retirado do sistema, em 1949, após a revolução comunista. Em 1996, a China solicitou sua readmissão na OMC e quinze anos mais tarde, em 11 de dezembro de 2001, foi aceita como parte contratante no Acordo Geral sobre Tarifas (GATT) de 1994.

Até 2006, a China se beneficiou de um período de transição e, a partir de janeiro de 2007, passou não apenas a assumir os mesmos compromissos de qualquer um dos outros 171 países membros da OMC, como também concordou em agregar compromissos além do mínimo requerido – o que se denominou WTO-Plus. Isso ocorreu pois havia, no Protocolo de Adesão da China à OMC, uma cláusula de salvaguarda de transição, segundo a qual se tornava mais fácil para outros membros impor restrições sobre importações oriundas da China, tendo apenas que provar perturbações de mercado e não dano grave ao comércio. (THOMAS, 2011).

Vários fatores políticos e econômicos foram apontados para explicar o desejo da China de aderir ao sistema multilateral de comércio e cumprir seus dispositivos, os quais levaram o país a renunciar a uma série de medidas protecionistas. Entre eles, destaca-se a crescente percepção por parte dos chineses sobre a necessidade de serem vistos como um

parceiro com credibilidade no sistema econômico internacional. Como membro da OMC, a expectativa dos chineses era a de também atrair mais investimentos estrangeiros e, conseqüentemente, novas tecnologias. Os chineses consideravam que, como membros, aplacariam as críticas de práticas comerciais desleais, visto que o país estaria sujeito às regras do sistema multilateral, e, em contrapartida, restrições às importações chinesas teriam que ser gradualmente extintas. A adesão da China à OMC também possibilitaria aos chineses influenciar a elaboração das regras multilaterais de comércio.

Analistas avaliam que a adesão à OMC foi vantajosa para a China. Se, por um lado, a China foi obrigada a retirar inúmeras barreiras ao comércio⁵, expondo diversos setores – especialmente o agrícola – à competição externa, por outro lado, logrou uma década de acelerado crescimento econômico, quadruplicando seu PIB e quintuplicando o valor exportado. Vale notar que, entre 2001 e 2010, a participação da China nas exportações mundiais cresceu de 4,3% para notáveis 10,6% (ALL, 2012).

A Revista *The Economist* (Shades of Grey, 2010) afirmou que a China é mais aberta às importações do que o Japão era no mesmo estágio de desenvolvimento, mais aberta ao investimento direto estrangeiro do que a Coreia do Sul era até os anos 90 e que suas tarifas são mantidas, em média, em 10%, enquanto no Brasil esse percentual é de 30%.

Considerando a participação da China no comércio internacional, acreditava-se que o número de disputas na OMC, bem como o número de disputas em que a China estaria envolvida, elevar-se-ia substancialmente. Não obstante, a participação inicial da China no sistema de solução de controvérsias da OMC foi menor que a esperada.

No período entre sua adesão à OMC e 2005, a China foi parte em apenas duas das 93 disputas comerciais levadas à OMC. Ao longo desse período, a China mostrou-se cautelosa em participar do sistema de solução de controvérsias e, na maioria dos casos, integrou disputas como terceira-parte. Em geral, nesse período, os contenciosos foram resolvidos por meio de negociações bilaterais, não chegando a serem constituídos formalmente no processo de solução de controvérsias.

Porém, entre 2006 e o final de 2010, a participação da China aumentou consideravelmente, estando envolvida em 26 dos 84 casos registrados na OMC. Esse período dividiu-se em duas fases. De 2006 até 2007, a China foi acionada na OMC por outros países doze vezes e só foi demandante uma vez, trazendo à baila, no último ano, a primeira disputa contra medidas antidumping e tarifárias para o papel chinês (*coated paper*) estabelecidas pelos Estados Unidos.

De 2008 em diante, a China tornou-se mais atuante no sistema de solução de controvérsias da OMC. Nesse período, respondeu a sete disputas e iniciou, como

⁵ Segundo a revista *The Economist*, a China teve que relaxar mais de 7 mil tarifas, quotas e outras barreiras ao comércio.

demandante, outras seis disputas. Tornou-se mais claro, também, quais as questões que a China estaria disposta a abrir mão durante o período de consultas e aquelas em que o país levaria para a análise do Painel⁶ – medidas antidumping e outras restrições com impacto significativo sobre as exportações chinesas.

Entre os contenciosos que a China deixaria levar até o Painel, está a disputa relativa às matérias-primas coque, bauxita, espatoflúor, magnésio, silicone metal e zinco, elementos essenciais para os setores químico, de aço e de alumínio.

IV - O Contencioso de matérias-primas

Na tentativa de traçar cenários sobre o resultado da disputa de terras-raras, molibdênio e tungstênio será analisada neste tópico o resultado de uma disputa já concluída que tem como principal demandante os Estados Unidos e cuja reclamação e as evidências são similares ao contencioso de terras-raras.

Em 23 de junho de 2009, os Estados Unidos solicitaram a celebração de consultas com a China a respeito das limitações impostas pelos chineses à exportação de várias formas de bauxita, coque, espatoflúor, magnésio, metal de silicone e zinco (disputa nº DS394). A exemplo do que ocorreu na disputa de terras-raras, no contencioso em exame outros países solicitaram se somar às consultas: a Comunidade Europeia, o Canadá e México (DS395 e DS398). Argentina, Brasil, Chile, Colômbia, Coreia, Equador, Índia, Japão, Noruega, Turquia e Taipei reservaram sua participação na disputa como terceiros.

Dos 37 instrumentos jurídicos citados pelos demandantes por meio dos quais a China impõe restrições às exportações de diversas matérias primas, vários também são citados na solicitação de consultas relacionadas à exportação de terras-raras, tungstênio e molibdênio. Entre eles, está a Lei de Comércio Exterior da República Popular da China, a Lei de Aduanas e o Regulamento sobre a administração da importação e exportação de mercadorias.

Igualmente, os demandantes alegam, no caso dos terras-raras, a infração das mesmas normas apontadas no “contencioso de várias formas de matérias-primas”, como ficou conhecido, somadas ao artigo VII do GATT 94 e os parágrafos A2) e C1) do Protocolo de Adesão da China. Segundo o resumo da OMC do contencioso de matérias primas, a denúncia refere-se, como no caso dos terras-raras, às restrições às exportações de várias formas de matérias primas, as quais provocam escassez e causam aumentos de preços no mercado global, e conferem vantagens à indústria chinesa, que se beneficia de uma oferta suficiente e de preços mais estáveis e mais baixos.

⁶ O Painel é a etapa do processo de disputas que é instalada se, no período de consultas, não houver um acordo entre as partes. Em até 45 dias, deve ser constituído um Grupo Especial que, em seis meses, deve concluir seu relatório, o qual somente poderá ser rejeitado pelo Órgão de Solução de Controvérsias por unanimidade. Se aprovado, o relatório se converte em resolução ou recomendação do Órgão.

Há, portanto, consideráveis semelhanças entre a disputa de terras-raras e a disputa de 2009. Em ambos os casos, a questão que se debate diz respeito à soberania sobre recursos naturais vis-à-vis as regras multilaterais do comércio exterior. Em linhas gerais, a comunidade internacional tem aceitado a imposição de restrições ao comércio internacional de matérias primas, desde que respeitadas os limites impostos pelas normas da OMC.

À semelhança dos terras raras, a China também é um importante produtor das matérias primas objeto da disputa em análise, as quais são utilizadas para fabricar todo tipo de produto, incluindo os de alta tecnologia. Da mesma forma que no contencioso de terras-raras, no caso das matérias primas alegou-se que as limitações às exportações por parte da China geraram escassez e elevação dos preços desses minerais no mercado mundial e proporcionaram à China vantagens comerciais devido ao acesso facilitado e aos preços inferiores e mais estáveis destes minerais.

Durante o período de consultas da disputa sobre diversas matérias primas, as partes não chegaram a um acordo. A resposta chinesa às denúncias americanas se respaldou nas exceções às regras multilaterais de comércio exterior estabelecidas no GATT 94, as quais permitem que seus membros adotem medidas restritivas de controle das exportações. Os chineses sustentaram, em sua defesa, que as restrições às exportações são necessárias à proteção da saúde e do meio ambiente (art. XX b)) e à conservação dos recursos naturais esgotáveis (art. XX g)). No caso do art. XX g), exceções ao GATT somente poderão ser adotadas se as medidas restritivas ao comércio internacional forem aplicadas conjuntamente com restrições à produção ou ao consumo nacionais.

Assim, em novembro de 2009, os Estados Unidos solicitaram ao Órgão de Solução de Controvérsias da OMC o estabelecimento de um grupo especial. O Painel foi estabelecido em dezembro e seus membros foram designados em março de 2010. Seu informe, distribuído em julho de 2011, concluiu que tanto as cotas como as tarifas de exportação de diversas matérias primas pela China eram incompatíveis com os compromissos assumidos pelo país em seu Protocolo de Adesão à OMC.

O Grupo Especial constatou que a China não poderia recorrer às exceções gerais previstas no art. XX do GATT 1994 para justificar suas restrições às exportações de diversos minerais. Esse artigo reza que as exceções não podem ser aplicadas de forma “a constituir quer um meio de discriminação arbitrária, ou injustificada, entre os países onde existem as mesmas condições, quer uma restrição disfarçada ao comércio internacional”.

O Grupo Especial concluiu que a China não conseguiu demonstrar que as tarifas e cotas de exportação das matérias primas mencionadas poderiam contribuir para a melhoria da saúde da população. Também afirmou que as medida restrições às exportações não vieram acompanhadas de restrições à produção ou ao consumo nacionais das referidas matérias primas, o que seria necessário para a conservação do meio ambiente, conforme exige o art. XXg.

Nesse sentido, a China não preencheu os requerimentos para o uso das exceções gerais às regras multilaterais de comércio, pois não adotou medidas que também afetem os produtores domésticos. O Painel admite, porém, que a China está na direção correta ao adotar cotas e tarifas de exportação, nos moldes permitidos pela OMC, para proteger o meio ambiente.

O Grupo Especial também acatou a reclamação quanto às restrições impostas pela China sobre o direito a ter atividades comerciais no país. Ademais, o Painel constatou que o regime chinês de licenças de exportação dos produtos em questão eram incompatíveis com as normas da OMC.

Em 31 de agosto de 2011, a China notificou ao Órgão de Solução de Controvérsias sua decisão de apelar contra o informe do Grupo Especial. Em 6 de setembro, os Estados Unidos também decidiram apelar. Posteriormente, o Órgão de Apelação confirmou a recomendação do Grupo Especial, solicitando que a China adeque suas medidas relativas a tarifas e cotas de exportação em conformidade com suas obrigações no marco da OMC, apesar de ter declarado que os vínculos entre as obrigações contidas nos acordos citados e as 37 medidas impugnadas, listados na solicitação de celebração de consultas apresentada pelos EUA, eram supérfluos e carentes de efeitos jurídicos.

Assim, o Órgão de Apelação também confirmou, como havia concluído o Painel, que o Protocolo de Adesão da China não permite aplicar o art. XX do GATT 94 às obrigações chinesas em virtude do parágrafo 3 da seção 11 do seu Protocolo de Adesão. Segundo esse parágrafo, a China deverá eliminar todas as tarifas de exportação, salvo nos casos previstos expressamente no Anexo VI do Protocolo - o qual permite que a China imponha tarifas de exportação dispostas em uma lista com 84 linhas tarifárias, até um limite especificado - ou que se apliquem em conformidade com as disposições do art. VIII do GATT 94. No entanto, nenhum terra-rara ou metal estão incluídos na lista.

Em fevereiro de 2012, após 30 meses do início da disputa, foi anunciado resultado favorável aos países demandantes. Esse resultado provocou um efeito demonstração para os principais produtores de minerais e reforçou a denominada “diplomacia das matérias-primas”, a qual busca o suprimento constante e previsível desses produtos. Dessa forma, fortaleceu-se a tese difundida dos países importadores que medidas protecionistas têm causado excessiva volatilidade dos preços das matérias primas, prejudicando sua indústria e agricultura.

Críticos, porém, alegam que os Estados Unidos e os demais demandantes estariam usando a OMC para forçar a China a minerar matérias primas que, por causa de problemas ambientais, não estão dispostos a retirar do solo, aproveitando-se dos baixos preços desses minerais. Segundo esses especialistas, ao invés de protocolar disputas na OMC, os países importadores deveriam encorajar o setor de terras-raras em seus países, de forma a se tornarem independentes da China.

V - Cenários para o Contencioso de Terras-Raras

A celebração de consultas com a China solicitada pelos Estados Unidos e outras partes sobre medidas relacionadas à exportação de terras-raras, molibdênio e tungstênio não foi, até o momento, respondida. Acredita-se, entretanto, que a linha de argumentação chinesa para sustentar as restrições às exportações desses minerais será similar à apresentada no contencioso de várias matérias primas, conforme descrito anteriormente.

No tocante à utilização da exceção prevista no item b do art. XX do GATT 94 – exceções necessárias para proteger a saúde humana, animal ou vegetal – os danos ambientais causados pela mineração de terras-raras seria, indubitavelmente, uma justificativa plausível para a restrição às exportações de terras-raras. Há que se considerar, no entanto, que a restrição às exportações pouco impacto tem sobre a produção desses minerais e, conseqüentemente, sobre o meio ambiente. Estima-se que cerca de 65% a 70% da demanda global por terras-raras venham dos usuários finais localizados na China e que a demanda interna possui uma tendência ascendente. Portanto, medidas restritivas às exportações atingiriam apenas 30% a 35% da demanda por terras-raras.

À semelhança da recomendação do Órgão de Solução de Controvérsias da OMC, no caso da disputa sobre várias matérias primas, a China, em sua defesa na disputa de terras-raras, deveria apresentar evidências de redução da produção desses minerais. Caso contrário, não estaria conseguindo provar que as medidas restritivas às exportações não são um “restrição disfarçada ao comércio internacional”, conforme requer o art. XX do GATT de 1994 para a utilização das exceções ao Acordo. No entanto, não é isso que mostram os dados.

Tabela 4. Produção e Exportação Chinesas de Terras-Raras – 2006/2011

	Em ton. métricas					
	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Cota de produção oficial	86.520	87.020	87.620	82.320	89.200	93.800
Produção reportada pelo USGS	119.000	120.000	120.000	129.000	130.000	
Cota de exportação	61.560	60.173	47.449	50.145	30.259	30.259

Fonte: Congressional Research Service (abr. 2012).

A Tabela 4 mostra que as cotas de produção oficial de terras-raras na China, de 2006 e 2011, sofreram uma elevação, passando de 86.520 toneladas, em 2006, para 93.800 toneladas, em 2011, o que equivale a um incremento de 8,4%. Se for considerada a produção chinesa reportada pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos – USGS, a qual inclui a mineração ilegal, entre 2006 e 2010, a produção de terras-raras na China aumentou em 12.000 toneladas. Por outro lado, de 2006 a 2011, houve uma redução de praticamente 50% das cotas de exportação.

A China também pode justificar as restrições às exportações de terras-raras baseada no art. XXg do GATT, relacionada à conservação de recursos naturais esgotáveis, desde que sejam acompanhadas de restrições da produção doméstica ou do consumo. Nesse caso, a China pode argumentar que seus recursos estão sendo exauridos, apontando a disparidade entre a participação chinesa na oferta de terras-raras (95% da oferta mundial) e sua participação nas reservas mundiais desses minerais (cerca de 35%).

A esse respeito, pode-se contra-argumentar que a comparação correta seria entre a proporção da demanda chinesa por terras-raras (entre 65% a 70% da demanda mundial) e a participação do país na oferta global dessas matérias primas. Adicionalmente, é difícil sustentar que a imposição de cotas de exportação de terras-raras tenha impacto sobre a conservação desses recursos, haja vista que os níveis de produção não diminuíram nos últimos anos.

Outra linha de argumentação questiona se, de fato, os terras-raras na China podem ser considerados exauríveis. Nesse caso, há que se distinguir entre os terras-raras leves e os pesados. No caso dos terras-raras leves, cujos depósitos se situam no Norte da China, estima-se que as minas tenham uma sobrevida de centenas de anos. Por outro lado, o suprimento de terras-raras pesados, situado no Sul da China, deve se esgotar, segundo autoridades chinesas, no prazo de 6 a 20 anos. Sendo assim, o argumento da conservação dos terras-raras pesados poderia ser utilizado com êxito pela China. Acredita-se que essa seja a razão pela qual a alocação das cotas de exportação para 2012 tenha sido, pela primeira vez, separada pelas autoridades chinesas entre terras-raras leves e pesados.

Por fim, crê-se que a sustentação da exceção prevista no art. XXg também seja de difícil aceitação, vez que medidas que afetam consumidores externos – como as restrições às exportações – somente deveriam ser praticadas se também fossem aplicadas aos consumidores domésticos. Dessa forma, a China provaria que, de fato, tem como objetivo precípuo a conservação de recursos naturais exauríveis.

Outro artigo que pode ser utilizado pela China na defesa das restrições às exportações de terras-raras é o art. XXI do GATT de 1994, que versa sobre as Exceções Relativas à Segurança, haja vista a importância desses elementos para diversas aplicações no campo da defesa. O referido artigo determina que nenhuma disposição do GATT será interpretada como

impedimento para que uma Parte Contratante tome todas as medidas que achar necessárias à proteção dos interesses essenciais à sua segurança. Dessa forma, restrições ao comércio seriam justificadas com base nas necessidades nacionais de segurança.

Mesmo feitas essas considerações e levando-se em conta o resultado da disputa sobre várias matérias primas, considera-se que o mais provável é que o resultado do contencioso de terras raras seja favorável aos países demandantes, caso não se chegue a um acordo e um Painel tenha que ser formado. Não obstante, a China tirou suas lições do contencioso anterior e tomou suas precauções ao, por exemplo, separar as cotas de exportação entre terras-raras leves e pesados, podendo apresentar argumentos mais sólidos para as restrições que impõem as exportações de terras-raras, molibdênio e tungstênio.

VI - Cenários para o Mercado de Terras-Raras

Frente ao exposto no Tópico V, é prudente traçar alguns cenários para os resultados do aludido contencioso, como exposto em Hatch (2012).

1. Restrições chinesas são incompatíveis com as regras multilaterais de comércio. Nesse caso, a remoção das restrições às exportações levaria ao incremento da oferta e conseqüente redução dos preços de exportação dos terras-raras, bem como ao incremento de sua emenda. Os incentivos para que as empresas à jusante se estabeleçam na China seria reduzido, bem como para que minas sejam abertas fora da China, por razão da maior dificuldade para competir com os chineses. Há que se considerar, ainda, que a OMC pode recomendar que os chineses reduzam a produção de terras-raras, o que teria impacto sobre consumidores fora e dentro da China. Nesse caso, a escassez, especialmente de terras-raras pesados, elevaria o preço desses produtos.
2. Restrições chinesas relativas aos terras-raras leves são incompatíveis com a OMC, mas as relativas aos terras-raras pesados não. Nesse cenário, restrições às exportações de terras-raras pesados continuariam a ser impostas, ou mesmo aprofundadas, o que levaria ao aumento de preços. A diferença entre preços internos chineses e preços internacionais aumentaria, elevando o incentivo para que os consumidores finais de terras-raras pesados alocuem suas

operações na China. Por outro lado, esse também seria um estímulo para o desenvolvimento de projetos para a mineração de pesados fora da China.

3. O resultado da disputa é favorável para os chineses. É certo que, nesse cenário, o diferencial entre preços domésticos e externos de terras-raras se ampliaria, favorecendo o estabelecimento de empresas que utilizam terras-raras na China ou a compra de produtos acabados chineses. Também seriam lançados fortes estímulos para o desenvolvimento da cadeia de suprimento de terras-raras fora da China.

Há que se considerar, adicionalmente, a possibilidade de que a China não se submeta às recomendações da OMC e que seja permitido aos demandantes aplicar sanções retaliatórias e permanentes ao comércio com esse país. Nesse caso, podem ser aplicadas sanções financeiras, podem ser permitidas a elevação de tarifas, bem como a retaliação cruzada. Independentemente do instrumento que venha a ser aplicado, seus efeitos seriam sentidos em outros mercados, não produzindo impacto sobre o mercado de terras-raras.

VI - Considerações Finais

A forte aceleração dos preços dos terras-raras, em 2011, em decorrência da política chinesa de restrição às exportações, levou vários países a solicitar a celebração de consultas com a China no âmbito da OMC. Até o momento, a China não respondeu à solicitação, mas, considerando resultados de disputas similares, é possível prever a argumentação que será utilizada pelos chineses em sua defesa, bem como as probabilidades para o desfecho da disputa, conforme foi descrito ao longo do estudo. Sabe-se, também, que a China deverá apresentar novos argumentos, baseados, principalmente, na discussão entre as peculiaridades do mercado de terras-raras leves e pesados.

De qualquer modo, o resultado dessa disputa trará significativos impactos para o mercado global de terras-raras. Em particular, a análise e o acompanhamento dessa disputa certamente será importante para posicionar as pretensões brasileiras de produzir terras-raras e produtos deles derivados no Brasil.

Assim, caso os reclamantes sejam integralmente atendidos em suas queixas, é de se esperar que, por um lado, haja a queda do preço desses produtos e o aumento da concentração na China de empresas que utilizam terras-raras em sua cadeia produtiva e, por outro lado, o desestímulo para a abertura de novas minas fora da China. Para o Brasil, esse cenário aumenta o custo de oportunidade para a abertura de minas. Por outro lado, assegurado o suprimento de óxidos de terras-raras a preços mais baixos, seria uma oportunidade para agregar

valor a esses produtos em solo brasileiro e, quiçá, produzir imãs. Essa alternativa, porém, também se mostra de difícil implementação, considerando a forte concorrência chinesa, cujas empresas contariam com suprimentos de óxidos de terras-raras a preços ainda mais competitivos.

No cenário em que a OMC considere incompatíveis com suas regras apenas as restrições relativas aos terras-raras leves, os preços dos terras-raras pesados aumentarão e as empresas que os utilizam se instalarão na China, ao passo que estímulo será dado para a abertura de minas de terras-raras pesados no resto do mundo. Considerando que, no futuro, a China terá que importar pesados, o incentivo para abertura de novas minas também irá beneficiar os chineses. Nesse cenário, abre-se uma janela de oportunidade para países que tenham reservas de terras-raras pesados, como é o caso do Brasil. Considerando o forte incremento da demanda por pesados, bem como a dependência chinesa, no futuro, da importação desses produtos, os países que estejam preparados para explorar as minas de terras-raras pesados terão um grande mercado consumidor e deverão, portanto, obter lucros substantivos.

Por último, no cenário mais improvável, aquele em que a OMC aceite as restrições às exportações de terras-raras adotadas pela China, o aumento do diferencial de preços no mercado interno chinês e no mercado internacional seria um forte estímulo para a realização de investimentos para a abertura de minas fora da China. Também nesse caso, o Brasil deverá se preparar para competir tanto no mercado de terras-raras leves quanto no de terras-raras pesados.

Convém esclarecer que o impacto desses cenários somente se fará sentir se, de fato, a China seguir as recomendações estabelecidas pela OMC. Segundo o Ministério das Relações Exteriores brasileiro, a regra tem sido o atendimento às recomendações do Órgão de Solução de Controvérsias. Há, porém, aqueles que consideram o mecanismo de solução de disputas pouco efetivo. A esse respeito, argumenta-se que o tempo gasto para se opor a disposições controversas de Estados-membros e implementar as recomendações do Painel ou do Órgão de Apelação pode ser relativamente longo e, em vários casos, tem sido superior a cinco anos. No caso da disputa acerca das várias formas de matérias primas, apesar de a China ter dito que tem a intenção de cumprir as recomendações da OMC, houve o pedido de extensão do prazo e, até o momento, nenhuma medida recomendada foi adotada.

Ademais, alega-se que sanções aos países que não atendem às recomendações da OMC são efetivas apenas quando o membro demandante possui força econômica equivalente à da parte demandada e pode, no caso das recomendações não serem implementadas, impor sanções que surtam impacto no país infrator das regras multilaterais de comércio internacional

A esse respeito, convém mencionar, por oportuno, o contencioso do algodão (disputa nº DS267), interposto pelo Brasil contra os Estados Unidos. Após nove anos, a OMC condenou os Estados Unidos, confirmando a gravidade das violações. Em face à resistência dos EUA em cumprir as recomendações do Órgão de Solução de Controvérsias, o Brasil foi

autorizado a adotar retaliações correspondentes a um valor fixo de US\$ 147,3 milhões por ano, relativo aos subsídios concedidos aos produtores estadunidenses, e a um montante variável a ser calculado anualmente, com base nas exportações americanas de produtos subsidiados⁷. O Brasil também recebeu autorização para adotar a chamada retaliação cruzada no setor de serviços e propriedade intelectual, estimada, em 2009, em US\$ 340 milhões, apesar de não ter feito uso desse mecanismo⁸.

Apesar dos valores vultosos, questiona-se a eficácia das regras da OMC, visto que essas medidas não induzirão o infrator a tomar medidas para eliminar as distorções no setor para o qual a denúncia foi impetrada e poderão prejudicar outros setores da economia. Também se discute sua eficácia no caso em que haja assimetria econômica entre as partes, pois, para o demandante, pode ser mais vantajoso aceitar acordos a ter que enfrentar os custos de uma retaliação.

⁷ Até 2011, a OMC autorizou a retaliação em apenas oito oportunidades e elas foram levadas a cabo em apenas metade dos casos e por países de alto grau de desenvolvimento (EUA, EU, Canadá e Japão).

⁸ Até 2011, a retaliação cruzada foi autorizada apenas três vezes: no caso das bananas, entre Equador e Comunidade Europeia; no caso dos Jogos de Azar, entre EUA e Antígua-Barbados; e no caso ora analisado. Em nenhum dos casos, o mecanismo chegou a ser utilizado.

Referências

ACORDO GERAL SOBRE TARIFAS ADUANEIRAS E COMÉRCIO 1947 (GATT). Disponível em: <http://www.fazenda.gov.br/sain/sobre_sain/copol/acordo_gatts.pdf> Acesso em: 29 fev 2012.

ALL Change. *The Economist*, London, Dec, 10, 2011. Disponível em: <<http://www.economist.com/node/21541448>> Acesso em: 21 mar. 2012.

CHINA to set up strategic reserve for heavy rare earths sources. *Wall Street Journal*, New York, June, 15,. 2011. Disponível em: <<http://www.raremetalblog.com/2011/06/china-to-set-up-strategic-reserve-for-heavy-rare-earths-sources.html>> Acesso em: 07 mar. 2012.

GRIMMETT, J. J., *Dispute settlement in the World Trade Organization (WTO): an overview*. Washington: Congressional Research Service, 2010. Disponível em: <http://assets.opencrs.com/rpts/RS20088_20100408.pdf> Acesso em: 18 abr. 2012.

GUPTA, M. *Effectiveness of dispute settlement mechanism in WTO: some issues*. Nova Deli: 2012. Disponível em: <http://www.lslaw.in/Uploads/MediaTypes/Documents/L&SWeb_Tax_DSB_Article_Manoj.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2012.

HANDS slapped. *The Economist*, London, July, 7, 2011. Disponível em: <http://www.economist.com/node/18925947?story_id=18925947> Acesso em: 21 mar. 2012.

HATCH, G. The first round of Chinese rare-earth export-quota allocations for 2012. *Technological Metal Research*, Dec., 28, 2011. Disponível em: <<http://www.techmetalsresearch.com/2011/12/the-first-round-of-chinese-rare-earth-export-quota-allocations-for-2012>>. Acesso em: 2 mar. 2012.

---. The WTO rare earths trade dispute: an initial analysis. *Technological Metal Research*, Mar., 29,. 2012. Disponível em: <<http://www.techmetalsresearch.com/2012/03/the-wto-rare-earths-trade-dispute-an-initial-analysis/>> Acesso em: 27 jul. 2012.

IKENSON, D. Trade policy lessons in WTO challenge of China's rare earth restrictions. *Cato@Liberty*, Mar, 13, 2012. Disponível em: <<http://www.cato-at-liberty.org/trade-policy-lessons-in-wto-challenge-of-chinas-rare-earth-restrictions/>> Acesso em: 27 jul. 2012.

LEMOS, J. V.M. A efetividade das medidas punitivas passíveis de imposição pela OMC: análise do mecanismo de retaliação cruzada no Contencioso do Algodão Brasil versus EUA. *Cadernos da Escola de Direito e Relações Internacionais*, Curitiba, n. 15, p.. 392-416. Disponível em:

<<http://apps.unibrasil.com.br/revista/index.php/direito/article/viewFile/781/668>> Acesso em: 8 maio. 2012.

KORINEK, J. ; KIM, J. *Export restrictions on strategic raw materials and their impact on Trade and global supply*. [Paris]: OECD, 2010. (OECD Trade Policy Working Paper No. 95) Disponível em: <http://www.wto.org/english/res_e/publications_e/wtr10_forum_e/wtr10_oecd2_e.pdf> Acesso em: 3 abr. 2012.

LIFTON, J. Implications of leaping Chinese virtual demand for rare earths. *Resource Investor*, 15 June 2011. Disponível em: <<http://www.resourceinvestor.com/2011/06/15/implications-of-leaping-chinese-virtual-demand-for>>. Acesso em: 29 fev. 2012.

---. "The green revolution in China". *Resource Investor*, 24 Ago. 2010. Disponível em: <<http://www.ree-investor.com/jack-lifton/815-jack-lifton-the-green-revolution-in-china.html>> Acesso em: 03 mar. 2012.

MOREIRA, A. Por terras-raras, EUA, Japão e EU vão à OMC contra a China. *Valor Econômico*, São Paulo, 14 mar. 2012. Disponível em: <<http://igepri.org/news/2012/03/por-terras-raras-eua-japao-e-ue-vaio-a-omc-contra-a-china>>. Acesso em: 03 abr. 2012.

MORRISON, W. M.; TANG, R. *China's rare earth industry and export regime: economic and trade implications for the United States*. Washington: Congressional Research Service, 2012. Disponível em: <<http://fulltextreports.com/2012/05/08/crs-chinas-rare-earth-industry-and-export-regime-economic-and-trade-implications-for-the-united-states>> Acesso em: 24 jul. 2012.

PRIME, P. B. China joins the WTO: how, why, and what now? The overall, long-term effects should be positive, but don't expect too much, too soon. *Business Economics*, v. 3, n. 2, 2002. Disponível em: <<http://www.freepatentsonline.com/article/Business-Economics/86851408.html>> Acesso em: 4 abr. 2012.

SCHNEPF, R. *Brazil's WTO case against the U.S. cotton program*. Washington: Congressional Research Service., 2010. Disponível em: <<http://www.nationalaglawcenter.org/assets/crs/RL32571.pdf>> Acesso em: 8 mai. 2012.

SHADES of Grey". *The Economist*, London, Dec., 10, 2011. Disponível em: <<http://www.economist.com/node/21541408>>. Acesso em: 21 mar. 2012.

THOMAS, K. *China and the WTO dispute settlement system: from passive observer to active participant?* Nottingham, 2011. Disponível em: <http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1866259> Acesso em: 24 abr. 2012.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. *Mineral Commodity Summaries*. Virginia, Jan. 2012. Disponível em: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2012/mcs2012.pdf>> Acesso em 01 ago. 2012.

VARELLA, M.D. Efetividade do Órgão de Solução de Controvérsias da Organização Mundial do Comércio: uma análise sobre os seus doze primeiros anos de existência e das propostas para seu aperfeiçoamento. *Revista Brasileira de Política Internacional*, Brasília, v.52, n. 2, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-73292009000200001&script=sci_arttext> Acesso em: 18 abr. 2012.

WORLD TRADE ORGANIZATION (WTO). *Dispute Settlement: Dispute DS394 – China — Measures related to the exportation of various raw materials*. Genebra, 2012. Disponível em: <http://www.wto.org/english/tratop_e/dispu_e/cases_e/ds394_e.htm> Acesso em: 30 mar. 2012a.

--- Dispute Settlement: *Dispute Settlement DS395 - China — Measures related to the exportation of various raw materials*. Genebra, 2012b. Disponível em: <http://www.wto.org/english/tratop_e/dispu_e/cases_e/ds395_e.htm> Acesso em: 30 mar. 2012.

--- *Dispute Settlement: Dispute Settlement DS398 - China — Measures related to the exportation of various raw materials*. Genebra, 2012c. Disponível em: <http://www.wto.org/english/tratop_e/dispu_e/cases_e/ds398_e.htm>. Acesso em: 30 mar. 2012.

--- *Entender la OMC: solución de diferencias*. Genebra, 2012d. Disponível em: <http://www.wto.org/spanish/thewto_s/whatis_s/tif_s/disp1_s.htm> Acesso em: 27 mar. 2012.

--- *Protocol on the Accession of the People's Republic of China*, Nov. 23, 2001. Disponível em: <http://www.wto.org/english/thewto_e/acc_e/completeacc_e.htm> Acesso em: 01 mar. 2012.

--- *Solución de Diferencias: Diferencia DS431 – Reclamante: Estados Unidos. China — Medidas relacionadas con la exportación de tierras raras, volframio (tungsteno) y molibdeno*. Genebra, 2012. Disponível em: <http://www.wto.org/spanish/tratop_s/dispu_s/cases_s/ds431_s.htm> Acesso em: 29 mar. 2012e.

--- *Solución de Diferencias: Diferencia DS432 – Reclamante: União Européia. China — Medidas relacionadas con la exportación de tierras raras, volframio (tungsteno) y molibdeno*. Genebra, 2012. Disponível em: <http://www.wto.org/spanish/tratop_s/dispu_s/cases_s/ds432_s.htm> Acesso em: 29 mar. 2012f.

--- *Solución de Diferencias: Diferencia DS433 – Reclamante: Japão. China — Medidas relacionadas con la exportación de tierras raras, volframio (tungsteno) y molibdeno*. Genebra, 2012g. Disponível em: <http://www.wto.org/spanish/tratop_s/dispu_s/cases_s/ds433_s.htm>. Acesso em: 29 mar. 2012.