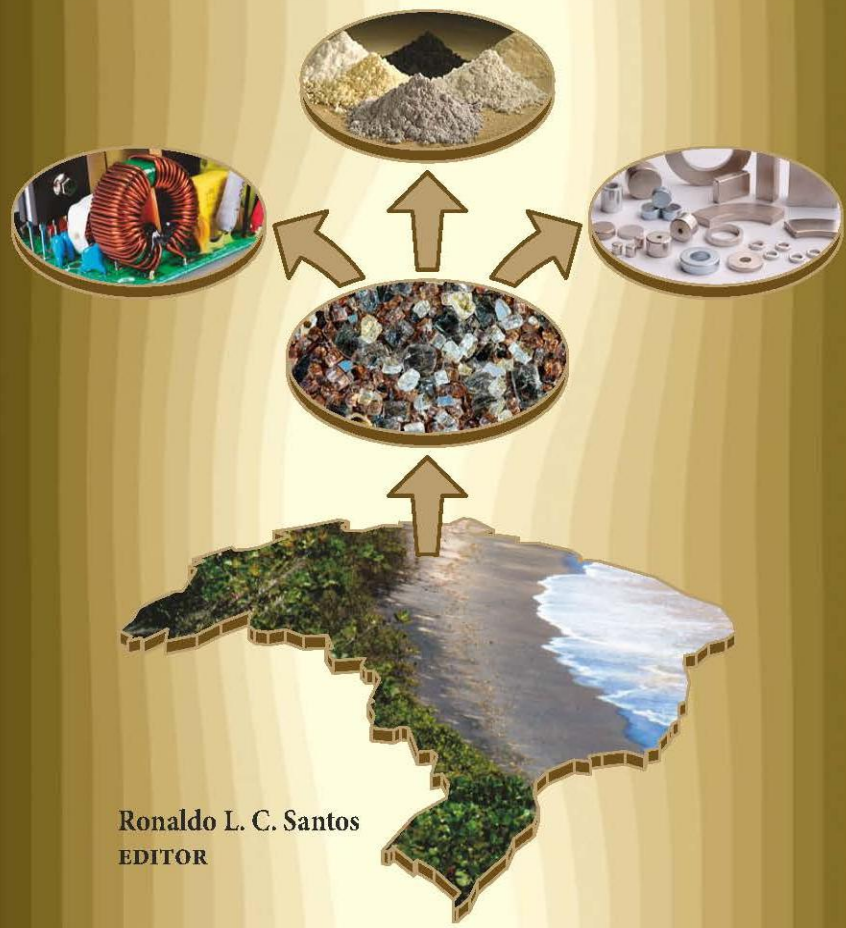
O Brasil e a Reglobalização da Indústria das Terras Raras

Francisco Eduardo Lapido-Loureiro



Ronaldo L. C. Santos
EDITOR

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

DILMA VANA ROUSSEF
Presidente

MICHEL MIGUEL ELIAS TEMER LULIA
Vice Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

MARCO ANTONIO RAUPP

Ministro da Ciência Tecnologia e Inovação

LUIS ANTONIO RODRIGUES ELIAS
Secretário Executivo

ARQUIMEDES DIÓGENES CILONI
Subsecretário de Coordenação das Unidades de Pesquisa

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

FERNANDO ANTONIO FREITAS LINS
Diretor

FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL
Coordenador de Apoio Tecnológico à Micro e Pequena Empresa

ARNALDO ALCOVER NETO
Coordenador de Análises Químicas

CLAUDIO LUIZ SCHNEIDER
Coordenador de Processos Minerais

COSME ANTÔNIO DE MORAES REGLY
Coordenador de Administração

RONALDO LUIZ CORREA DOS SANTOS
Coordenador de Processos Metalúrgicos e Ambientais

MARISA BEZERRA DE MELLO MONTE
Coordenadora de Planejamento, Gestão e Inovação

O BRASIL E A REGLOBALIZAÇÃO DA INDÚSTRIA DAS TERRAS RARAS

Francisco Eduardo Lapido-Loureiro
Autor

Ronaldo L. C. Santos
Editor

Iran Ferreira Machado
Revisor

CETEM / MCTI
Rio de Janeiro / 2013

O BRASIL E A REGLOBALIZAÇÃO DA INDÚSTRIA DAS TERRAS RARAS

Autor: | **Francisco Eduardo Lapido-Loureiro**

Fátima Engel
Editoração Eletrônica

Lapido-Loureiro, Francisco Eduardo.

O Brasil e a reglobalização da indústria das terras raras/Francisco Eduardo Lapido-Loureiro**,** Ronaldo Luiz C. dos Santos(Ed.) - Rio de Janeiro: CETEM/ MCTI, 2013.

216 p.: Il.

1. Terras raras 2. Reglobalização. I. Centro de Tecnologia Mineral II. Santos, Ronaldo Luiz C. (Ed.) III. Título

ISBN 978-85-8261-001-5 CDD 553.494

Apresentação

O Brasil tem uma tradição na exploração das terras raras, a qual teve início no final do século XIX, mais precisamente em 1885. O ápice do seu desenvolvimento foi atingido nos anos 50 do século passado. Nesse período chegou a dominar por meio da empresa ORQUIMA, os processos de extração, concentração, purificação e separação das terras raras. Hoje, a participação do país na indústria das terras raras é praticamente nula.

Assim, consideramos muito oportuna a edição desse livro pelo CETEM. Espera-se que venha agregar informações que contribuam para o estabelecimento, no Brasil, de uma cadeia industrial verticalizada, abrangente, que deverá se estender da atividade mínero-química até a capacitação tecnológica para a produção dos variados materiais de alta tecnologia, que necessitam das terras raras para seu fabrico. Nesse sentido pressionam, entre outras, as "indústrias verdes", que ora estão em grande desenvolvimento, e que são consumidoras intensivas de terras raras.

Em O BRASIL E A REGLOBALIZAÇÃO DA INDÚSTRIA DAS TERRAS RARAS são feitas três abordagens distintas, em três diferentes capítulos.

No Capítulo I, Terras raras: Do monopólio da produção primária ao oligopólio tecnológico, mostra-se a sua importância estratégica desses elementos, assim como uma visão da recente e intensa evolução da indústria das terras raras, que resultou, no final do século passado, no monopólio da produção pela China (97%). Como consequência, no início desse século, houve uma corrida pela reativação de minas, assim como pela busca de outras fontes de suprimento desses elementos. Ao mesmo tempo ocorre o surgimento de um oligopólio de países que pretendem se tornar fornecedores de terras raras. Há citações de que o comércio dos produtos precursores à base das terras raras em 2011, não atingiu mais do que 8 a 10 bilhões de dólares. Entretanto, sem essas terras raras, as indústrias de transformação perderiam recursos da ordem de trilhões de dólares.

No Capítulo II, As Terras raras no Brasil: Reservas e características químico-mineralógicas de suas ocorrências e depósitos, após se abordar a mineralogia e caracterizar os tipos de ocorrência e depósitos de terras raras no Brasil, são detalhados os recursos identificados e medidos que, até então, se mostram superiores às reservas oficiais da China, que são reconhecidas, no momento, como as maiores em escala mundial.

No Capítulo III, Perspectivas de desenvolvimento da indústria mínero-química das terras raras no Brasil em face da retomada mundial de sua exploração, o autor apresenta considerações de especialistas estrangeiros para que o risco de desabastecimento não afete os países, até então, dependentes do fornecimento da China, culminando com a proposição de ações no âmbito governamental e privado para o desenvolvimento de uma indústria mínero-química das terras raras no Brasil.

Rio de Janeiro, julho de 2013.

Fernando A. Freitas Lins
Diretor

Nota do Editor

> *"Cada um lê no texto a sua experiência, daí a vantagem da literatura, a de criar divergências de sentimentos, entendimentos e emoções. A palavra é para abrir portas e não para pintar uma única paisagem."*
> Bartolomeu Campos de Queirós (1944-2012), escritor mineiro.

O Brasil e a reglobalização da indústria das terras raras foi escrito num período de grande turbulência mundial. Exigiu, pois, do autor discernimento crítico para identificar e selecionar referências, com reconhecida credibilidade e conhecimento sobre o tema. O período coberto por mais essa obra de Lapido-Loureiro inicia em agosto de 2010 e termina em junho de 2012. Nesse intervalo foi compilado um volume considerável de informações, as quais mediante o crivo crítico do autor foram incorporadas ao texto. Assim, aqui estão destacadas sob a forma de citações, mas também de transcrições de renomados especialistas e analistas internacionais. O autor que foi profundo conhecedor do tema apresenta, ainda, suas propostas, por meio das quais contribuiu, para que fossem identificadas e revistas as oportunidades para se retomar a explotação das terras raras no Brasil. O tema é contemporâneo pois que a partir de 2010 o Brasil, tal como muitos outros países, passou a executar ações nesse sentido. Editar esse texto é para o CETEM uma forma perene de trazer ao conhecimento dos interessados no assunto, sobre a participação que o autor teve na execução de tarefas de interesse nacional encomendadas ao CETEM. Dentre elas destacam-se a elaboração de relatórios para subsidiar o Grupo de Trabalho Interministerial MME/MCTI sobre Minerais Estratégicos, as contribuições para elaborar o Plano Nacional de Mineração 2010-2030 e a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação.

Nos dias atuais (julho 2013) já se pode colher frutos dessas contribuições, da quais muito nos orgulhou ter o companheiro Lapido-Loureiro como participante ativo e inspirador.

Rio de Janeiro, julho de 2013.

Ronaldo Luiz Correa dos Santos
Pesquisador Titular
CETEM / MCTI

PRÓLOGO

Em 1787, numa pedreira de feldspato da vila de Ytterby, a 30 quilômetros de Estocolmo, o tenente do exército sueco Karl Axel Arrhenius, mineralogista amador, descobriu as terras raras a partir de um mineral denominado iterbita. Situando tal evento na cronologia da mineração brasileira, em 1789 foi desmantelada a Inconfidência Mineira, deflagrada por obra e graça de questões políticas ligadas à nossa produção aurífera, enquanto o Brasil liderava a produção mundial de diamante, com as principais minas localizadas no Arraial do Tijuco. De 1790 a 1800, José Bonifácio de Andrada e Silva iria empreender uma excursão científica por toda a Europa, com a finalidade de aperfeiçoar seus estudos de mineralogia, geologia e metalurgia realizados em Coimbra. Viajou pela França, Alemanha, Dinamarca, Suécia, Noruega, Hungria, Boêmia (atual República Tcheca), Itália e Turquia, sendo homenageado por diversas sociedades científicas.

Um século após a descoberta das terras raras na Suécia, o Brasil iniciaria a produção de monazita em Cumuruxatiba, no litoral baiano, para atender à demanda por produção de mantas incandescentes de lampiões a gás. Um velho *pier* de madeira, com centenas de metros de extensão, que pode ser visto nos dias de hoje através de imagens de satélite, é um testemunho vivo dessa fase heroica. Vale notar que, naquela época, o interesse maior nas areias monazíticas era devido ao tório, um elemento que perdeu status ao longo do tempo vis-à-vis as terras raras e o urânio. Outra curiosidade é que o tório tinha sido descoberto por Gorceix em 1885, em monazita e xenotímio contidos em cascalhos diamantíferos de Minas Gerais e Bahia. Em seguida, Derby encontrou monazita nas areias auríferas e na decomposição de rochas graníticas no Rio de Janeiro.

Nosso país foi o maior produtor da indústria mineira de terras raras até 1915, quando passou a alternar esta posição com a Índia, durante 45 anos. Abandonando a história e chegando, de repente, aos dias atuais, cabe assinalar que é de extrema importância o estudo

laborioso empreendido por esses dois pesquisadores do mais alto calibre – Dr. Lapido-Loureiro (autor) e Dr. Ronaldo Santos (editor) – ambos pertencentes ao quadro dessa prestigiosa instituição que é o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). São décadas de dedicação ao tema que vem agora brotar numa obra de valor incalculável para a mineração brasileira. Um tema de alta relevância, trilhado no passado por personalidades da estatura e do brilho de Gorceix, Derby e tantos outros. Obviamente, o CETEM, mais uma vez, não poderia deixar de emprestar sua enorme contribuição à indústria e à ciência.

Neste exato momento, o mundo se depara com uma crise na oferta de terras raras, matéria-prima essencial a um número incontável de atividades na vida de uma sociedade moderna. O Brasil já foi e, pretende voltar a ser, um ator de relevo no mercado das terras raras. O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), junto com o Ministério de Minas e Energia (MME), estão imbuídos dessa missão de elevado interesse nacional. Portanto, este livro se apresenta como uma fonte obrigatória de consulta para pesquisadores, homens públicos, empresários, jornalistas, estudantes e outros cidadãos interessados em se aprofundar na seara desses minerais críticos ou estratégicos, qualquer que seja a denominação adotada. Confiando nas conclusões dos autores do livro, estou seguro de que o Brasil irá desempenhar novamente um papel de destaque na oferta de terras raras para o nosso mercado e, ainda, para o mundo, ávido que se encontra desses insumos típicos do século XXI.

Campinas, julho de 2013

Prof. *Iran F. Machado*

SUMÁRIO

Capítulo I: TERRAS RARAS: DO MONOPÓLIO DA PRODUÇÃO PRIMÁRIA AO OLIGOPÓLIO TECNOLÓGICO

1. INTRODUÇÃO 5

2. IMPORTÂNCIA ESTRATÉGICA DOS ELEMENTOS DAS TERRAS RARAS 7

2.1. Síntese Cronológica da Evolução da Produção Mundial de Terras raras 13

2.2. Tópicos Gerais sobre Terras raras e seus Minerais 14

2.3. Gitologia das Terras raras 18

2.4. Campos de Aplicação das Terras raras 25

2.5. Como a China Atingiu a Liderança em P,D&I, na Produção, Industrialização e Comércio de Terras raras no Mundo 31

2.6. A Política Atual da China em Relação às Terras raras e seu Reflexo em Outros Países 33

2.7. A Demanda por Terras raras 36

3. CONSIDERAÇÕES SOBRE AS RESERVAS E AS DEMANDAS DE TERRAS RARAS NO BRASIL E NO MUNDO 44

3.1. Breve Relato sobre a Atividade Extrativa de Terras raras no Brasil 48

3.2. Recursos Identificados e Medidos de Terras raras no Brasil 52

3.2.1. Minérios de terras raras de Catalão I (GO) 53

3.2.2. Minério da "Área Zero", Araxá (MG) 54

3.2.3. Minério de São Gonçalo do Sapucaí (MG) 55

3.2.4. Concentrado de xenotímio de Pitinga (AM) 56

3.2.5. Depósito do Morro do Ferro, Poços de Caldas (MG) 56

3.3. Reservas e Produção Mundial de Terras raras 58

3.4. Depósitos e Projetos em Andamento 62

Capítulo II: TERRAS RARAS NO BRASIL: RESERVAS E CARACTERÍSTICAS QUÍMICO-MINERALÓGICAS DE SUAS OCORRÊNCIAS E DEPÓSITOS

4. ASPECTOS GERAIS SOBRE OCORRÊNCIAS DE TERRAS RARAS NO BRASIL 69

5. INVENTÁRIO DOS RECURSOS E CARACTERÍSTICAS QUÍMICO-MINERALÓGICA DAS OCORRÊNCIAS, DEPÓSITOS E MINERAÇÕES DE TERRAS RARAS NO BRASIL 72

5.1. Depósito de Catalão I (GO) 72

5.2. Depósito do Córrego do Garimpo 76

5.3. Terras raras no Depósito da Lagoa Seca Norte 80

5.4. Estimativa dos Recursos de Terras raras em Catalão 80

5.5. Terras raras Associadas ao Minério Fosfático 81

5.6. Terras raras Associadas ao Minério da Empresa Ultrafértil 82

5.7. Terras raras Associadas ao Minério Fosfático e Produtos da Empresa Copebrás 83

5.8. Terras raras Associadas ao Minério de Ti 83

5.9. Terras raras na Área da Extinta Mineração Bálsamo Ltda. 84

5.10. Terras raras na Área da Extinta METAGO 85

5.11. Terras raras Associadas ao Minério de Nb e na Escória de Produção da Liga de Fe-Nb 86

5.12. Terras raras em Catalão I 86

5.13. Terras raras em Catalão II 87

5.14. Terras raras Associadas ao Minério de Nb 87

5.15. Terras raras em Araxá 88

5.16. Depósito da "Área Zero" 88

5.17. Terras raras no Morro do Ferro – Complexo Alcalino de Poços de Caldas (MG) 93

5.18. Terras raras na Região de São João del Rei (MG) – Pegmatitos e Formações Elúvio-Aluvionares 99

5.19. Terras raras Associadas a Minerais Pesados no Litoral Brasileiro 102

5.20. Reservas e Composição Mineralógica de Terras raras Associadas a Minerais Pesados ao Longo do Litoral Brasileiro 105

5.21. Ocorrências e Reservas de Monazita no Estado do Rio de Janeiro 106

5.22. Ocorrências e Reservas de Monazita no Espírito Santo 106

5.23. Ocorrências e Reservas de Monazita na Bahia 107

5.24. Ocorrências e Reservas de Monazita no Ceará 108

5.25. Ocorrências e Reservas de Monazita no Piauí 108

5.26. Ocorrências e Reservas de Monazita no Maranhão – Bacia do Rio Barreirinhas / Tutóia 109

5.27. Outras Ocorrências Continentais de Monazita 109

5.28. Ocorrências de Monazita na Plataforma Continental 110

5.29. Ocorrências de Monazita em *Placers* Fluviais 110

5.30. Ocorrências de Terras raras Pesadas Associadas a Rochas Graníticas 113

5.31. Outras Ocorrências de Terras raras Mal Definidas 121

5.32. Terras raras em Tapira – MG 122

5.33. Terras raras em Mato Preto (PR) 124

5.34. Terras raras na "Anomalia 13" / São Francisco (PR) 126

5.35. Terras raras na Fazenda Varela – Lages (SC) 126

5.36. Terras raras na Barra do Rio Itapirapuã (SP-PR) 127

5.37. Terras raras na Barra do Itapirapuã I (SP) 128

5.38. Terras raras na Barra do Itapirapuã II 129

5.39. Terras raras em Seis Lagos (AM) 130

5.40. Terras raras nas Províncias Estaníferas da Amazônia/Ariquemes (RO) 133

5.41. Terras raras em Itataia (CE) 135

5.42. Terras raras em Angico dos Dias (BA) 135

5.43. Terras raras em Bambuí (MG) 136

5.44. Terras raras em Peixe (TO) 139

5.45. Terras raras na Serra do Repartimento (RR) 142

5.46. Terras raras no Igarapé Bahia, Carajás (PA) 143

5.47. Terras raras nos Fosfatos Sedimentares – Miriri (PB - PE) 144

Capítulo III - PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA MÍNERO-QUÍMICA DAS TERRAS RARAS NO BRASIL EM FACE DA RETOMADA MUNDIAL DE SUA EXPLORAÇÃO

6. AS NOVAS CARACTERÍSTICAS DA REGLOBALIZAÇÃO DA INDÚSTRIA DAS TERRAS RARAS 147

7. RESUMINDO E CONCLUINDO: RUMOS TÉCNICOS PARA O DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA MINERAL DAS TERRAS RARAS NO BRASIL 154

8. BIBLIOGRAFIA 162

APÊNDICES 175

Capítulo I

TERRAS RARAS: DO MONOPÓLIO DA PRODUÇÃO PRIMÁRIA AO OLIGOPÓLIO TECNOLÓGICO

1. INTRODUÇÃO

> *Since the first discovery of rare earth elements, by Lieutenant Carl Axel Arrhenius, a Swedish army officer, in 1787, there has been a great deal of interest in their chemical properties and potential uses. One could argue that the study of rare earth elements has mirrored the industry.* (D. Kingsnorth)

O Brasil e a reglobalização das terras raras representa uma contribuição na definição de rumos para uma política brasileira de desenvolvimento da indústria mínero-química dos metais raros estratégicos, neste caso o das terras raras, torna-se imprescindível que as empresas do setor atendam aos conceitos de sustentabilidade e de responsabilidade social nos investimentos, o que pode significar um melhor aproveitamento de depósitos polimineralícos através da valorização de seus subprodutos.

O conceito de investimento responsável em mineração exclui as praticadas lavras predatórias, isto é: aquelas que não atendam ao aproveitamento integral, polimineralíco de uma jazida, incluindo subprodutos, rejeitos, escórias e resíduos, até porque os custos de produção podem ser reduzidos pelo aproveitamento, ecologicamente correto, de todos os materiais.

Os metais raros, incluindo os elementos de terras raras, só raramente são minerados individualmente, como único ou principal produto. Mountain Pass na Califórnia, EUA, é exceção: é a única mina que opera exclusivamente na extração de terras raras (BRITISH GEOLOGICAL SURVEY, 2010).

Dadas as limitações que a China vem impondo a exportação de alguns metais raros considerados estratégicos, aliado ao fato do monopólio chinês dominar mais de 95% da produção mundial verificou, num período crescente (2009-2011), uma autêntica corrida para a busca e desenvolvimento de novos depósitos.

Para comprovar tal afirmativa, serão referidos e caracterizados, mais adiante, 30 projetos de prospecção e desenvolvimento de minas

em vários países, nomeadamente no Canadá, EUA, Groenlândia, Austrália, Madagascar e Kirguistão.

Atualmente, nos Estados Unidos, as terras raras são consideradas como um tema de relevância socioeconômica e de segurança nacional. Como tal, têm merecido a constante atenção do senado norte-americano (Apêndice C).

Assim é que começa a ser fortemente questionada, no caso das terras raras, a política de *offshoring*, que se traduziu na 'exportação' de conhecimentos e de alta tecnologia de ponta, que os EUA dominavam, criando, em relação à China, uma dependência que chega a atingir 100% para certos produtos estratégicos de terras raras.

Se a prática do *offshoring* pode trazer vantagens comerciais, e tão somente para as empresas que o praticam, reduzindo custos e expandindo mercados, em contrapartida aumenta o desemprego e tem efeitos adversos para a inovação e desenvolvimento de tecnologias de ponta no país que exportou o seu saber e o amplia em outro local.

Embora a situação americana seja diferente da brasileira, em especial no que diz respeito à aplicação das TR em questões de segurança militar, os objetivos finais são semelhantes, *obtaining loan guarantees to support the re-establishment of mining, refining, alloying and manufacturing operations for rare earth elements in the United States* (Senado Americano).

Como assinalou Stéphane Pambrun, as terras raras são, no século XXI, o que o petróleo foi no século XX e o carvão no século XIX: o motor de uma nova revolução industrial (PAMBRUN, 2010).

Segundo esse autor, o Congresso norte-americano pleiteia a criação de um organismo de controle internacional para as terras raras, como é a OPEP no caso do petróleo.

A corrida pela reativação ou colocação em produção de novas fontes de terras raras já se materializou em Mountain Pass, EUA, e em Mount Weld, Austrália. Resolvidos os problemas econômico-ambientais, foi retomada a atividade mineira e de extração/separação dos elementos de terras raras.

O Brasil apresenta antecedentes históricos marcantes na exploração das terras raras que se iniciou, no país, em 1885. Até 1886,

as areias monazíticas de Prado (BA) eram utilizadas como lastro de navios, e nas décadas posteriores cobrava-se menos de 10 dólares/tonelada de areia monazítica.

Na década de 50 (século XX) o Brasil, através da empresa ORQUIMA, dominava todo o ciclo dos processos de extração, purificação e separação em compostos de elevada pureza e "chegou a obter óxidos bastante puros (99,9 a 99,99%), tendo inclusive fornecido Eu_2O_3 para fabricação de barras metálicas destinadas ao controle, por absorção de nêutrons, do reator do primeiro submarino nuclear do mundo, o *Nautilus*" (SERRA, 2011).

A produção de terras raras no Brasil, que já teve posição de destaque, como vimos, é hoje praticamente nula. No entanto, o país, pelas suas reservas, teores dos minérios, variedade de depósitos e capacitação tecnológica, apresenta bom potencial para a extração de terras raras que poderá ser feita, tanto em depósitos específicos, como em jazimentos polimineralícos.

2. IMPORTÂNCIA ESTRATÉGICA DOS ELEMENTOS DAS TERRAS RARAS

Com o crescimento da demanda dos metais raros e de seus óxidos de grande pureza que são indispensáveis nas indústrias de alta tecnologia, vem aumentando exponencialmente o interesse pelas terras raras.

Os lantanídeos, mais o ítrio e o escândio, constituem um conjunto de 17 elementos designados por elementos de terras raras – ETR (REE na sigla em inglês). São elementos cada vez mais usados nas indústrias ligadas à energia, ímãs permanentes, carros híbridos, turbinas eólicas, células foto voltaicas, fósforos, eletrônica fina, trens de alta velocidade, telecomunicações, fabricação de vidros, cerâmicas, craqueamento do petróleo, entre outros.

Aumenta a importância das terras raras em vários produtos de alta tecnologia, nomeadamente nos ímãs permanentes, cuj aplicação em larga escala, que teve início em 1960 com as ligas Sm-Co. A partir de meados da década de 80 começaram a ser usados em larga escala os

ímãs de neodímio, também chamados de ímãs de neodímio-ferro-boro ($Nd_2Fe_{14}B$). Esses ímãs, também a base de terras raras, apresentam uma energia magnética de até 2,5 vezes superior aos de Sm-Co. Atualmente os ímãs permanentes são responsáveis por 38% do mercado de terras raras, 21% em volume (AVALON RARE METALS, 2009; LIFTON, 2009). Esses ímãs apresentam um enorme fluxo magnético, mas são mecanicamente frágeis e perdem seu magnetismo de modo irreversível a temperaturas acima de 120° C. Para vencerem estas limitações necessitam de ser dopados com Dy e Tb, que passam, assim, a serem indispensáveis nestas ligas para lhes aumentarem as qualidades.

Os ímãs Nd-Fe-B podem ser fornecidos em várias categorias de formato e de coercividade magnética, dependendo da aplicação. São usados em muitos tipos de motores elétricos e discos rígidos, ou em qualquer outra aplicação onde espaço (miniaturização) e rendimento sejam fatores importantes.

Os motores elétricos das turbinas eólicas, em ampla expansão em todo o mundo, e também no Brasil, como fonte de 'energia verde', necessitam de grandes quantidades de terras raras, especialmente do elemento neodímio. Os motores de alta qualidade/rendimento das turbinas eólicas, nos quais cerca de 30% são elementos de terras raras, necessitam de 0,6-1,0 tonelada de ímãs de Nd (180 a 300 kg de Nd), por cada megawatt de capacidade geradora.

O mesmo se pode dizer de outras "indústrias verdes" em grande desenvolvimento como a dos carros híbridos elétricos, das quais são exemplos o 'Toyota Prius' e o 'Ford Focus'.

No Toyota 'Prius', que entrou em circuito comercial, é sabido que o motor requer um kg de Nd, e cada uma de suas baterias, dez a quinze quilogramas de La. A empresa fabricante pensa em vender um milhão de unidades por ano (www.reuters.com/article/CGA-Autos/ - acesso em 22/09/10) o que representaria 1.000 t/ano de Nd e 10.000 a 15.000 t/ano de La, ou seja, mais de um décimo de toda a produção mundial, atual, de terras raras.

A Stock Market Review apresenta valores semelhantes especificando que, *the market-leading Prius uses large amounts of rare earth materials in its electric motors and batteries. Each engine uses 33lbs (15kg) of*

lanthanum and 2lbs (1 kg) of neodymium. Two other rare earth elements, terbium and dysprosium, are also added to the alloy to preserve neodymium's magnetic properties at high temperatures. (E:\Rare Earth Metals and Hybrid Cars « Stock Markets Review Blogs.mht).

No Brasil, foi amplamente divulgado que o grupo EBX pretende montar uma fábrica para construir veículos elétricos no país, a partir de 2014, capaz de produzir 100.000 unidades/ano, dando ciência de que o projeto já contava com dois parceiros: um europeu e o outro japonês (www.economia.ig.com.br).

Deve ser levado em consideração que, no Brasil, há importantes projetos em andamento, como, por exemplo, o "MagLev – Cobra", veículo que está sendo desenvolvido no Laboratório de Aplicações de Supercondutores (LASUP) da UFRJ, visando a uma revolução no transporte coletivo. Nele as terras raras são componente fundamental porque o sistema "MagLev-Cobra" vale-se das propriedades diamagnéticas dos supercondutores Y-Ba-Cu-O e do campo magnético produzido por ímãs de Nd-Fe-B. No craqueamento do petróleo também há amplo consumo de elementos de terras raras leves.

Além destas indústrias consumidoras de terras raras, outras, há um desenvolvimento constante de novos materiais e de novas tecnologias consumidoras de terras raras, como é o caso dos supercondutores (ítrio), da refrigeração magnética (gadolínio) e da termoeletricidade (cério ou térbio).

Adicionalmente, com o desenvolvimento dos motores elétricos à base de ímãs permanentes, fabricados com neodímio, nos quais se adiciona térbio e disprósio para melhorar e preservar as suas propriedades magnéticas a altas temperaturas, as próximas aplicações de destaque das terras raras, terão uma finalidade ambiental comprovada, muito particularmente, nos carros híbridos/elétricos e nos grandes geradores eólicos (YACINE, 2010). As terras raras passaram, assim, a ser consideradas como um importante bem mineral estratégico e crítico.

Rica de recursos de terras raras e com um plano de visão do futuro, que foi lançado em 1985, a China estabeleceu um programa

abrangente que lhe permitiu atingir, progressivamente, grande desenvolvimento. Atualmente, é responsável por mais de 95% de toda a indústria extrativa e de produção das terras raras no mundo.

Exportando a preços muito baixos, resultantes de mão de obra baratíssima e reconhecida como tendo poucas preocupações ambientais, a China eliminou, progressivamente, toda a concorrência ocidental, a partir dos anos de 1990. Assim foi que se instalou um monopólio que atingiu, em 2009-2010, 97% do fornecimento de terras raras, sob a forma de matérias-primas, produtos e componentes de materiais de alta tecnologia.

Na conferência realizada em Hong Kong, em novembro de 2009 ("Experts Gather in Hong Kong") foi destacado que:

- a comercialização das terras raras, em escala mundial, parece ser algo insignificante, representando cerca de dois bilhões de dólares (embora hoje já se cite que pode atingir 6 a 8 bilhões), entretanto, sem elas as indústrias de alta tecnologia perderiam trilhões em decorrência da agregação de valores de suas aplicações;
- a produção de terras raras foi, em 2008, de 124 mil toneladas, sendo a China responsável por mais de 95%, havendo, entretanto, uma previsão de déficit de 44.000 toneladas, na demanda mundial projetada para 2015.

Durante a conferência citada acima, Nicholas Curtis, *Executive Chairman* da *Lynas Corporation* (Austrália) chamou a atenção para o fato que: *governments have now taken a very strong policy positions on industries they want to stimulate and many of those industries are Green Industries. And those green industries require rare earths.*

Foi ressaltado nessa conferência de Hong Kong que, nos últimos 3 anos, a demanda interna chinesa por terras raras tem crescido 25% anualmente, tendo sido apontado que essa é uma das principais razões para a redução das suas exportações. Em consequência, passou a haver um desequilíbrio entre a oferta e a demanda mundial.

A China, ao reduzir as exportações de terras raras e incitando as suas duas maiores companhias de mineração, a *Baotou Steel Rare Earth High-Tech Co.* e *Jiangxi Copper Corp.,* a aumentar o preço dos

minérios, provocou o alarme do grupo de países consumidores de seus produtos, a saber: EUA, UE e Japão (YACINE, J.P., 2010).

Por outro lado, sabe-se que na Austrália, a empresa Lynas, que é detentora da jazida de Mount Weld, começou a desenvolver um ambicioso projeto mineiro, graças a um contrato de longo termo feito com a empresa francesa Rhodia, que envolve a garantia do fornecimento de terras raras (YACINE, J.P. 2010).

Segundo JAMES KENNEDY (2010), o mundo está dependente da China, que produz mais de 90% dos óxidos de terras raras de baixo valor e, praticamente, 99% daqueles de alto valor. O mesmo autor cita que apenas a Ásia poderá consumir, até 2015, toda a produção mundial de vários elementos e ligas de terras raras, se não surgirem novos países produtores. Sendo assim, muitos empregos atuais e futuros se mostram dependentes de um fornecimento estável e constante de terras raras.

Ainda, segundo o mesmo autor: *The China's industries begin to consume most of its own rare earth production, you couple all those things together and you have the potential for a very serious supply and demand problem* (KENNEDY, 2010).

Essa situação leva a uma autêntica corrida, pela busca e reavaliação de depósitos, da mesma forma que estimula a reativação de jazidas que foram fechadas, em consequência dos baixos preços da matéria-prima e dos produtos industrializados chineses, a partir dos anos 1990. Entretanto, os recentes limites impostos pela China às exportações criam novas oportunidades para outros países, dentre os quais se inclui o Brasil, que deverão dedicar toda a atenção a retomada da explotação de terras raras.

Para fazer face a essa situação, foi reativada a mina de Mountain Pass (EUA), que estava paralisada desde 2002, assim como foi colocada em produção a jazida de Mount Weld (Austrália), mas também são reavaliados depósitos previamente conhecidos e são pesquisadas, concomitantemente, novas ocorrências de terras raras em vários países.

Segundo KINGSNORTH (2010) nos últimos dois anos tem-se verificado grandes mudanças no comércio e indústrias das terras raras, em função das seguintes causas:

- Rare earths have unique chemical, magnetic and luminescent properties

- Each orebody is different; so the process route is project specific

- China declares 'heavy' rare earths resources are finite (approx. 15 years life)

- Chinese export quotas reduced

- Chinese export taxes maintained

- Constraints on Chinese exports are creating opportunities for non-Chinese projects

- Several non-chinese rare earths projects being evaluated

- Supply and demand for individual REOs is not in balance

- Stockpiles of rare earths established in Baotou and Southern China

- Consolidation of rare earths industry started in Southern China (ionic clays).

Pode-se citar, ainda, como exemplo que nos Estados Unidos, Pea Ridge foi considerada e operou como mina de ferro durante 38 anos. No final dos anos 70, descobriu-se que continha terras raras e, cerca de uns 10 anos depois, o Serviço Geológico Americano (USGS) definiu que: *the heavy REO deposit was Strategic and Critical to the United States. The former owners never initiated production due to lack of capital and increasing pricing pressure from the Chinese. The Pea Ridge deposit also has recoverable values of Tellurium (Te), Molybdenum (Mo), Cobalt (Co) and Tin (Sn)* [www.treo.typepad.com/raremetalblog/2010].

Em consonância com essa preocupação, o Serviço Geológico Americano retomou, mais recentemente, uma série de trabalhos de pesquisa no âmbito do programa *Minerals at Risk and for Emerging Technologies*, os quais incluíram, com destaque os resultados obtidos na avaliação do depósito da empresa *Wings Enterprises* (GRAUCH, R.I. et al. 2010).

2.1. Síntese Cronológica da Evolução da Produção Mundial de Terras raras

A primeira aplicação das terras raras surgiu em 1883 com o desenvolvimento da iluminação a gás. Os seus óxidos associados ao de zircônio eram utilizados nas camisas dos lampiões.

Durante muitos anos o único mineral de minério de terras raras, utilizado industrialmente, foi a monazita $(Ce,La,Nd,Th)PO_4$. A bastnaesita $(Ce,La)(CO_3)F$ é o principal mineral de terras raras leves (ETRL), enquanto o xenotímio (YPO_4), é o das terras raras pesadas (ETRP).

Seis períodos balizam a indústria mundial extrativa de terras raras

- 1885 – O início da produção em larga escala, tendo como matéria-prima as areias monazíticas do litoral brasileiro. Em 1887, a monazita também começou a ser extraída de *placers* fluviais, na Carolina do Norte, EUA. O Brasil figurou como o maior produtor mundial até 1915, quando passou a alternar essa posição com a Índia, durante 37 anos.
- 1952 – A África do Sul torna-se o maior produtor mundial de terras raras, que também são produzidas pelo Brasil e Índia.
- 1960 – Os EUA assumem a liderança da produção mundial, com a explotação de um outro mineral: a bastnaesita proveniente de Mountain Pass – Califórnia.
- 1970 – Nesta década a Austrália passa a produzir mais de 50% do total mundial (excluindo a China), a partir da monazita.
- 1980 – Nos anos 80, a China surge como um gigante, em razão das reservas definidas e pela produção a partir da jazida de Bayan Obo, ampliando, significativamente, a sua participação no mercado mundial a partir de 1990.
- 2000 – Durante a primeira década do século XXI, a China atinge 97% do comércio mundial de terras raras, antes do final da década 2000-2010. Nessa mesma década, começa a restringir

fortemente as suas exportações fazendo com que a demanda mundial de 134.000 toneladas ultrapassasse a oferta de 124.000 toneladas. Como consequência houve uma verdadeira corrida para a retomada e entrada em produção de jazidas e depósitos conhecidos em vários países, de tal forma que: *Exploration efforts to develop rare earths projects surged in 2010, and investment and interest increased dramatically. Economic assessments continued in North America at Bear Lodge in Wyoming; Diamond Creek in Idaho; Elk Creek in Nebraska; Hoidas Lake in Saskatchewan, Canada; Lemhi Pass in Idaho-Montana; and Nechalacho (Thor Lake) in Northwest Territories, Canada. Other economic assessments took place in other locations around the world, including Dubbo Zirconia in New South Wales, Australia; Kangankunde in Malawi; Mount Weld in Western Australia, Australia; and Nolans Project in Northern Territory, Australia* (U.S. Department of the Interior, Rare Earths Statistics and Information, USGS, 2010).

2.2. Tópicos Gerais sobre Terras raras e seus Minerais

São chamadas de terras raras ou elementos de terras raras, um conjunto de 15 elementos químicos cujos números atômicos vão de 57, lantânio (La), até 71, lutécio (Lu). O ítrio (Y) e o escândio (Sc), números atômicos 39 e 21, com propriedades físico-químicas e características de ocorrência semelhantes, são também designados como terras raras.

Conforme as bases do conhecimento da química geral, é sabido que a passagem de um elemento ao outro por aumento de uma unidade do número atômico, corresponde à captura de um elétron denominado elétron de valência, que se situa habitualmente numa órbita externa. No grupo das terras raras, o aumento de elétrons verifica-se, entretanto, numa camada mais interna (4f), permanecendo constante o número de elétrons das camadas superficiais.

No caso dos elementos das terras raras a carga do núcleo com o número atômico, cresce a atração sobre os elétrons periféricos, resultando uma contração das órbitas eletrônicas, gerando a denominada contração lantanídica, que é tanto maior quanto maior for o número atômico. As pequenas diferenças de raios iônicos entre os

elementos de terras raras explicam as causas para que, no estado natural, ocorram sempre misturados.

A contração lantanídica consiste na diminuição do caráter eletropositivo, com o aumento do peso molecular, o que faz surgir, entre as extremidades dos elementos do grupo, propriedades cristaloquímicas suficientemente diferentes para que se possa dividir as terras raras em dois grupos: céricas ou leves e ítricas ou pesadas.

Estes 15 elementos consecutivos da tabela periódica são os únicos a apresentarem propriedades tão semelhantes. Em razão disso, a sua separação individual torna-se difícil e, em alguns casos, onerosa. Porém, quando separados, as suas propriedades físicas colocam-nos no topo dos mais raros e, em muitos casos, mais específicos elementos para aplicações de alta tecnologia.

A diferente abundância individual dos elementos das terras raras na parte superior da crosta continental resulta da sobreposição de dois efeitos, um nuclear e outro geoquímico (HAXEL, HEDRICK, & ORRIS, 2010).

- Terras raras com números atômicos pares como, por exemplo, $_{58}$Ce e $_{60}$Nd são mais abundantes, na terra e cosmicamente, do que as adjacentes $_{57}$La e $_{59}$Pr.
- Elementos de terras raras leves são mais incompatíveis porque têm maiores raios iônicos, mas, no entanto, são mais abundantes na crosta continental do que os elementos pesados.
- Na maioria dos depósitos de terras raras os primeiros 4 elementos – La, Ce, Pr, Nd, representam 80 a 99% do total, em seus minérios.

Os depósitos contendo concentrações mais elevadas de elementos de terras raras pesadas (Gd até Lu, Y) são os mais procurados.

Até então, são conhecidos cerca de 200 minerais (carbonatos, fosfatos, silicatos, óxidos, haloides) contendo terras raras. Devido às grandes dimensões dos seus raios iônicos e ao estado trivalente de

oxidação, as terras raras têm elevados números de coordenação (nc 6-10), quando ligados com os ânions O^{2-}, F^{-}, HO^{-}.

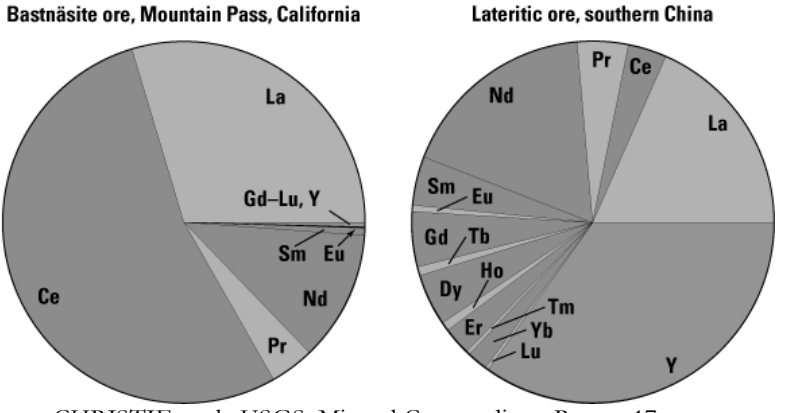
Por outro lado, os elementos de terras raras leves tendem a ocupar os maiores sítios (nc 8-10) e concentram-se em carbonatos e fosfatos. Os elementos de terras raras pesadas e o ítrio ocupam os sítios 8 (nc) e são abundantes associados a óxidos e em parte dos fosfatos (KANAZAWA. & KAMITANI, 2006).

É sabido que argilas de adsorção iônica, ricas de terras raras pesadas, são explotadas em Jiangxi, no sul da China. As terras raras concentram-se numa camada de argila formada por intemperismo de rochas ricas de terras raras, granitos no caso de Jiangxi, mas também de carbonatitos.

Deve ser citado que o Brasil apresenta bom potencial para este tipo de depósitos, tanto nas argilas formadas por intemperismo dos granitos alcalinos do norte do país (região de Pitinga – AM, por exemplo), como nas argilas de cobertura dos numerosos complexos carbonatíticos conhecidos, nomeadamente o de Maicuru – AM.

As proporções individuais dos elementos de terras raras nos minérios são muito variáveis. Na Figura 1 mostra-se a composição de dois minérios representativos: o de Mountain Pass, Califórnia, EUA (bastnaesita), em que predomina La, Ce e Nd, com Eu, Lu mais Y totalizando apenas 0,4%; e as argilas de adsorção iônica de Jiangxi com predominância de Y.

A Figura 1 e a Tabela 1 apresentam a composição de terras raras de algumas jazidas exploradas comercialmente.



Fonte: CHRISTIE et al., USGS. Mineral Commodity – Report 17

Figura 1 – Composição dos ETR em dois minérios representativos

Tabela 1 – Composição (%) em termos de elementos de terras raras, de algumas jazidas comerciais

Elementos	Bastnaesita	Monazita (Capel, WA)	Xenotímio (Lahat, Perak)	"Longnan Clay" (Jiangxi)	Loparita, (Rússia)
Lantânio	33,20	23,89	1,24	43,37	25
Cerio	49,10	46,02	3,13	2,38	53
Praseodimio	4,34	5,04	0,49	9,02	6
Neodimio	12,00	17,38	1,59	31,65	14
Promécio	---	---	---	---	---
Samário	0,79	2,53	1,14	3,90	0,9
Európio	0,12	0,05	0,01	0,50	0,08
Gadolínio	0,17	1,49	3,47	3,00	0,56
Térbio	0,02	0,04	0,91	traços	0,37
Disprósio	0,03	0,69	8,32	traços	0,12
Holmio	0,01	1,98	trace	0,05	0,08
Érbio	0,00	6,43	0,21	traços	0,016
Túlio	0,00	0,02	trace	1,12	0,003
Itérbio	0,00	0,12	6,77	0,26	0,008
Lutécio	0,00	0,04	0,99	0,10	0,002
Itrio	0,09	2,41	61,00	8,00	0,008
Total	99,86	99,98	98,59	102,18	100,147

Fonte: CHRISTIE *et al.,* USGS – Mineral Commodity Report 17, 1998

É reconhecido que o minério do sul da China tem grande valor econômico pela sua riqueza em elementos pesados de terras raras, principalmente Y, e também Nd, mas a sua explotação tem causado sérios problemas ambientais.

A Tabela 2, por outro lado, mostra algumas das diferentes composições de jazidas conhecidas.

Tabela 2 – Composição (%) de terras raras totais, em seis importantes jazidas de classe mundial

	Nolans Bore	Mountain Weld	Bayan Ebo	Mountain Pass	Dong Pao	"Ionic Clays"
Ce+La	67	71	77	82	83	~2
Nd+Pr+Dy	27	24	21	16	15	~10
Sm+Eu+Gd+Y	5	4	2	1	1	~75
Co-produto	Ác. fosfórico	---	Ferro	---	---	---
Subproduto	U e Gesso	---	---	---	---	---

Fonte: LONG, 2010

Os elementos de terras raras são obtidos, via de regra, como subproduto ou coproduto de outros bens minerais, conforme citam, entre outros, K.R. Long, *et al.* (2010): *The balance of a global REE production is as a byproduct. Conceivably, as much as 90% of rare earth elements production is as a byproduct or coproduct.*

Na China de uma produção total de 120.000 toneladas métricas de terras raras, cerca de 55.000 são produzidas como coproduto da mina de ferro e nióbio de Bayan Obo.

2.3. Gitologia das Terras raras

São conhecidos cerca de 200 minerais contendo terras raras (HOGARTH, 1989), dos quais apenas um número reduzido tem, ou pode vir a ter, interesse comercial (Tabela 3).

Tabela 3 – Seleção de minerais de terras raras, por ordem decrescente de teores

Mineral	Fórmula	OTR, (aprox.) %
Bastnaesita-(Ce)	$(Ce,La)(CO_3)F$	75
Monazita-(Ce)	$(Ce,La,Nd,Th)PO_4$	65
Xenotímio	YPO_4	61
Parisita-(Ce)	$Ca(Ce,La)_2(CO_3)F_2$	61
Gadolinita-(Y)	$(Ce,La,Nd,Y)Fe^{2+}Be_2Si_2O_{10}$	60
Ytrocerita-(Y,Ce)	$(Ca,Ce,Y,La)F_3.nH_2O$	53
Fergusonita (Ce)	$(Ce,La,Nd)NbO_4$	53
Huanghoita-(Ce)	$(Ba,Ce)(CO_3)F$	39
Allanita-(Ce)	$(Ce,Ca,Y)_2(Al,Fe^{3+})_3(SiO_4)_3OH$	38
Kainosita-(Y)	$Ca_2(Y,Ce)_2Si_4O_{12}CO_3.H_2O$	38
Aechynita-(Ce)	$Ce,Ca,Fe,Th)(Ti,Nb)_2(O,OH)_6$	32
Britholita-(Ce)	$(Ce,Ca)_5(SiO_4.PO_4)_3(OH,F)$	32
Florencita-(Ce)	$CaAl_3(PO_4)_2(OH)_6$	32
Cebaita—(Ce)	$Ba_3Ce_2(CO_3)_5F_2$	32
Loparita	$(Ce,La,Na,Ca,Sr)(Ti,Nb)O_3$	30
Euxenita-(Y)	$(Y,Ca,Ce,U,Th(Nb,Ta,Ti)_2O_6$	24
Samarskita-(Y)	$(Y,Ce,U,Fe^{3+})_3(Nb,Ta,Ti)_5O_{16}$	24
Apatita	$Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$	19
Eudialita	$Na_4(Ca,Ce)_2(Fe^{2+},Mn,Y)ZrSi_8O_{22}(OH,Cl_2)$	9
Brannerita	$(U,Ca,Y,Ce)(Ti,Fe)_2O_6$	9

Fonte: BRITISH GEOLOGICAL SURVEY e CLARK (2010)

A grande maioria dos recursos de terras raras estão, porém, associados, predominantemente, a apenas três minerais: bastnaesita e monazita, para as terras raras leves (ETRL) e xenotímio, para as terras raras pesadas (ETRP).

Pela sua abundância e teor, o mais importante mineral de terras raras é a monazita, de fórmula geral A B O4, sendo A = Bi, Ca, Ce, La, Nd, Th, e U; B = As^{5+}, P^{5+} ou Si^{4+}.

Há 4 variedades de monazita:

Monazita-(Ce) (Ce, La, Nd, Th) (P,Si) PO_4

Monazita-(La) (La, Ce, Nd) PO_4

Monazita-(Nd) (Nd, La, Ce) PO_4

Monazita-(Pr) (Pr, Nd, Ce, La)PO_4

A monazita, de fórmula empírica $(Ce,La,Nd,Th)PO_4$, tem como fonte primária mais comum granitos pegmatíticos.

Os seus depósitos formam-se por alteração e desagregação das rochas fonte, transporte e deposição em cordões litorâneos e aluviões fluviais.

O seu peso molecular é de 240,21 gm. A composição química varia em função das suas variedades. O Webmineral apresenta a seguinte composição média:

Ce_2O_3	34.16 (%)
La_2O_3	16.95 (%)
Nd_2O_3.....	14.01 (%)
ThO_2	5.50 (%)
P_2O_5	29.55 (%)
O	26.64 (%)

A bastnaesita, Ce(CO3)F, ocorre no contato ou em zonas de alteração de rochas alcalinas. O seu peso molecular é 219,12 gm e apresenta a seguinte composição química média:

Ce_2O_3	74,90 (%)
CO_2	20,08 (%)
O	21,90 (%)
F	8,67 (%)

O xenotímio, YPO_4, é mineral acessório tanto em rochas ácidas como alcalinas, principalmente em pegmatitos. O seu peso molecular é de 183,88 gm e apresenta a seguinte composição química média:

Y_2O_3	61,40 (%)
P_2O_5	38,60 (%)
O	34,80 (%)

Utilizamos o galicismo "gitologia" ("gîte" = jazida => "gitologie") por entendermos que na língua portuguesa não há nenhuma palavra que traduza a descrição e caracterização geológico-

mineralógica de um depósito sem envolver a sua metalogênese. Se quiséssemos recorrer a um neologismo, seria a palavra "jazidologia", com o sentido de descrição de jazida.

'Recentemente (2010), o Serviço Geológico Britânico (British Geological Survey, 2010), no âmbito da Série Commodity Profiles, elaborou excelente relatório sobre terras raras, compilado por Abigail Walters e Paul Lusty, com a assistência de Claire Chetwyn e Amanda Hill. Os autores consideram quatro tipos de depósitos primários e cinco secundários (Quadro 1).

Quadro 1 – Tipos de depósitos de terras raras/número de ocorrências documentadas, características, principais exemplos

Tipos/Nº de ocorrências	Características	Reservas/Teores OTR	Exemplos Principais
Depósitos Primários			
Associados a carbonatitos/(107)	Complexos alcalinos / zonas de falha	Dezenas de milhar a milhões de toneladas / 0,1-10%	Mountain Pass (EUA), Bayan Obo (China), Catalão (GO), Araxá (MG), Kangankunde (Malawi)
Associados a carbonatitos em minérios de P, Ti, Nb / (4)	Complexos alcalinos / zonas de falha	Dezenas a centenas de milhares de toneladas / 0,5-10%	Tapira (MG), Araxá MG), Catalão (GO), Maicuru (AM)
Associados a rochas alcalinas/ (122)	Rochas ricas de minerais alcalinos e enriquecimento em HFSE	Dezenas a mais de 1000 Milhões de toneladas / <5%	Ilimaussak (Groenlândia), Khibiny e Lovozero (Rússia), Thor Lake e Strange Lake (Canadá), Weishn (China), Brockman (Aust.), Pajarito (EUA)
Fe-TR-Cu-Au/(4)	Depósitos de Cu-Au ricos de óxidos de Fe	Olympic Dam: 2000 Milhões de toneladas / 0,3295%	Olympic Dam (Austrália), Pea Ridge, USA
Minérios de Zr, Nb-Ta, Sn e respectivos eluviões e aluviões em granitos alcalinos/(?)	Granitos mineralizados em zircão, niobo-tantalitas, cassiterita e xenotímio	-	Pitinga (AM) e outros depósitos de cassiterita do norte do Brasil

Quadro 1 (cont.) – Tipos de depósitos de terras raras/número de ocorrências documentadas, características, principais exemplos.

Tipos/No de ocorrências	Características	Reservas/Teores OTR	Exemplos Principais
Depósitos Primários			
Hidrotermais/(63)	Veios poliminerálicos de quartzo, fluorita e pegmatitos	Comum, < 1 milhão de toneladas, raramente até 50 milhões de toneladas / 0,5-4% (raramente até 12%)	Karonje (Burundi); Naboomspruit e Steenkampskraal (África do Sul); Lehmi Pass, Snowbird e Bea Lodge (EUA); Hoidas Lake (Canadá)
'Placers' Marinhos / 264	Acumulações de minerais pesados em areias de praia e cordões litorais	Reservas muito variáveis, de dezenas até 1-3 centenas de MILHÕES DE TONELADAS/ < 1% de monazita	Eneaba, Jangarup, Capel, WIM 150 (Austrália); Green Cove Springs (EUA); Richards Bay (África do Sul); Chavara (Índia), Cumuruxatiba, Guarapari e Buena(Brasil);
'Placers' aluvionares/(78)	Acumulações de minerais pesados em canais fluviais	Dezenas até <200 Milhões de toneladas / < 0,1% de monazita	Perak (Malásia); Chavara (Índia); Carolina monazite belt e Horse Creek (EUA); Guangdong (China)
'Paleoplacers'/(13)	Antigos 'placers' consolidados	Dezenas de MILHÕES DE TONELADAS até 100 Milhões de toneladas/<0,1%	Elliot Lake (Canadá); Bald Mountain (USA)

Fonte: Adaptado de BRITISH GEOLOGICAL SURVEY (2010) e ampliado com outros tipos do Brasil.

No tipo de origem carbonatítica acrescentamos mais um, que está representado no Brasil, em que as terras raras podem ser subproduto de minérios que contém P, terras raras, Ti, Nb, assim como consideramos também o caso dos granitos alcalinos mineralizados em cassiterita, zircão e niobo-tantalitas da Amazônia.

Por outro lado, no Brasil, por exemplo, a partir do minério de cassiterita do depósito poliminerálico de Pitinga foi possível obter-se um concentrado de xenotímio, com a seguinte composição: xenotímio (89,5%), zircão (9,3%), torita (0,7%), outros (0,5%). Na designação de outros incluem-se: quartzo, cassiterita, columbita-tantalita, feldspato e magnetita. A composição química do concentrado está indicada na Tabela 4 (BARBOSA, 2001).

Tabela 4 - Composição química do concentrado de xenotímio da mina de Pitinga

Constituintes	Teor (% peso)
TR_2O_3	61,60
ZrO_2	6,20
SiO_2	3,70
ThO2	0,59
U3O8	0,07
P_2O_5	27,60
$Fe_2O_3+Al_2O_3+Nb_2O_5+SnO_2$	0,24

Fonte: BARBOSA, 2001

O concentrado de xenotímio de Pitinga revelou, ainda, a seguinte composição em termos de óxidos totais, Tabela 5.

Tabela 5 - Composição, para 100% de terras raras, do concentrado de xenotímio de Pitinga – AM

ETRL	TEOR %	ETRP	TEOR %
La	---	Tb	1,41
Ce	0,07	Dy	10,64
Pr	0,01	Ho	3,27
Nd	0,04	Er	14,27
Pm	---	Tm	2,98
Sm	0,25	Yb	20,97
Eu	0,04	Lu	2,73
Gd	1,20	Y	42,13
TOTAL	1,61	TOTAL	98,40

Fonte: BARBOSA, 2001

Constata-se que o xenotímio de Pitinga apresenta altíssimo valor para o somatório dos teores dos elementos de terras raras pesadas (98,4%), embora seja relativamente baixo o teor de ítrio (42,13%). Merecem, ainda, destaque especial os valores de Yb (20,97%), Er (14,27%) e Dy (10,64).

As terras raras ocorrem numa vasta gama de rochas, ígneas, sedimentares e metamórficas, em grande variedade de minerais: haloides, carbonatos, óxidos e fosfatos, mas nunca sob a forma metálica.

A formação de minerais de TR é possível nas rochas em que a razão $100x(TR_2O_3/Ca) > 1$ (SMIRNOV, 1976).

O grande raio iônico dos elementos de terras raras só permite a sua substituição por cátions também de grandes dimensões.

Outro caso que deve ser considerado é a substituição de terras raras trivalentes (R^{3+}) por cátions de cargas diferentes ("substituição altervalente"), o que requer mecanismos de compensação de carga.

Na anortita ($CaAl_2Si_2O_8$), por exemplo, pode acontecer a troca de Al^{3+} por Si^{4+}, como se indica,

$$R^{3+} + Al^{3+} + CaAl_2Si_2O_8 => RAl_3SiO_8 + Ca^{2+} + Si^{4+}$$

Ou haver uma troca por $2Ca^{2+}$, segundo a equação,

$$R^{3+} + Na^{+} + 2CaAl_2Si_2O_8 => 2(R,Na)Al_2Si_2O_8 + 2Ca^{2+}$$

No caso da apatita, importante fonte potencial carreadora de terras raras, a substituição se dá por uma vacância (símbolo [ ]), como se pode ver,

$$2R^3 + Ca^5(PO_4)_3OH => (R_2Ca_2[])(PO_4)_3OH + 3Ca^{2+}$$

Os elementos de terras raras que são via de regra trivalentes, podem apresentar-se, eventualmente, como bivalentes. Destaque-se o caso do Eu pela sua relevância na indústria luminófora.

Esse elemento que é raro como ocorrência em minerais específicos, aparece, por vezes, em quantidades notáveis nos minerais de Sr, principalmente, assim como de Pb, sob a forma de Eu^{2+}. Os

respectivos raios iônicos e a ambiência geológica permitem-lhes essas substituições. O Eu^{2+} pode, ainda, substituir o Ca^{2+}.

Nesse contexto, deve ser citado que o complexo carbonatítico da Barra do Itapirapuã, no vale do Ribeira (SP-PR), deve merecer particular atenção, visto que além de ser uma ocorrência de terras raras, são encontrados minerais de Pb (galena, wulfenita) nas rochas carbonatíticas (LAPIDO-LOUREIRO, 1994).

Os carbonatitos são, entre todos os tipos de rochas, os que apresentam teores mais elevados de terras raras, oscilando entre 72 e 15.515 ppm, e as maiores razões La/Lu quando normalizadas para condritos (7,1 a 1240) (CULLERS & GRAF,1984).

Os processos formadores de rochas (petrogênese), incluindo a mobilização de elementos químicos em fluidos hidrotermais ou durante o intemperismo, influenciam o enriquecimento em terras raras e a formação dos seus minerais. Podem, portanto, gerar dois tipos de depósitos: primários, associados a processos ígneos e hidrotermais, e secundários resultantes de processos sedimentares e de intemperismo.

Cada um deles pode ser subdividido em função de suas associações genéticas (paragênese mineral), mineralogia e forma de ocorrência.

Depósitos associados a carbonatitos, uma das principais rochas-mãe de depósitos de terras raras, podem resultar diretamente de processos magmáticos ou de intemperismo associado a enriquecimento residual, ou ainda da sua combinação.

2.4. Campos de Aplicação das Terras raras

As terras raras apresentam propriedades químicas, magnéticas e luminescentes sem igual. Os seus campos de aplicação são muito variados. Englobam desde produtos comuns do nosso dia-a-dia (catálise no âmbito dos automotivos e do craqueamento do petróleo, pedras de isqueiro, pigmentos e polimento de vidros, cerâmicas) até produtos de alta tecnologia (baterias miniaturizadas, repetidores laser, luminóforos, supercondutores, ímãs permanentes). Separadas ou em mistura, são utilizadas em múltiplas aplicações (Tabela 6, Apêndices 1 e

1a). Atualmente têm grande importância nas 'indústrias verdes' como as das turbinas eólicas e dos carros híbridos. Como tal, são designadas por "elementos verdes" (*green elements*).

Tabela 6 – Aplicações dos elementos de terras raras, por ordem alfabética, Y e Sc

Elemento	Aplicações
Cério (Ce)	Catálise (automóveis e refino de petróleo), cerâmicas, vidros, *mischmetal**, fósforos, pós para polimento.
Disprósio (Dy)	Cerâmicas, fósforos e aplicações nucleares.
Érbio (Er)	Cerâmicas, coloração de vidros, fibras óticas, lasers e aplicações nucleares.
Európio (Eu)	Fósforos.
Gadolínio (Gd)	Cerâmicas, vidros, detecção ótica e magnética, visualização de imagens em medicina.
Hólmio (Ho)	Cerâmicas, lasers e aplicações nucleares.
Lantânio (La)	Catálise automotiva.
Lutécio (Lu)	Cintiladores de cristal único.
Neodímio (Nd)	Catálise, filtros infravermelho, lasers, ímãs permanentes, pigmentos.
Praseodímio (Pr)	Cerâmicas, vidros e pigmentos.
Promécio (Pm)	Fósforos, miniaturas de baterias nucleares e dispositivos de medida.
Samário (Sm)	Filtros de micro-ondas, aplicações nucleares e ímãs permanentes.
Térbio (Tb)	Fósforos.
Túlio (Tm)	Tubos de feixes eletrônicos e visualização de imagens médicas.
Itérbio (Yb)	Indústrias química e metalúrgica.
Ítrio (Y)	Capacitores, fósforos, radares e supercondutores.
Escândio (Sc)	Indústria aeroespacial, bastões de baseball, aplicações nucleares, iluminação e supercondutores.

**Mischmetal* – Liga de elementos de terras raras utilizada na remoção do oxigênio e enxofre, na purificação do aço, e em pedras de isqueiro.
Fonte: Extraído e adaptado de BRITISH GEOLOGICAL SURVEY (2010)

Na versão inglesa do China Rare Earth Industry Report, 2007-2008 verifica-se que: apenas cerca de 25% dos minérios são processados para extração individual de metais. As terras raras mais usadas na forma elementar são: La, Eu , Gd, Nd, Ce e Tb. Em muitas

aplicações são utilizadas sob a forma de compostos de baixo custo. Na forma de óxidos são muito usadas nas indústrias cerâmicas, de vidros e em vários campos das indústrias metalúrgicas.

Nos EUA as principais aplicações das terras raras estavam, em 2006, representados pelos conversores catalíticos de automóveis (25%), pelos catalisadores usados no refino do petróleo (22%) e em aditivos para a produção de ligas especiais. Mais recentemente o consumo de terras raras para ímãs permanentes e baterias de carros híbridos tem crescido num ritmo intenso.

O consumo por aplicações em 2010 e projetado para 2015 é apresentado nas Figuras 2 e 3 (HUMPHRIES, 2011)

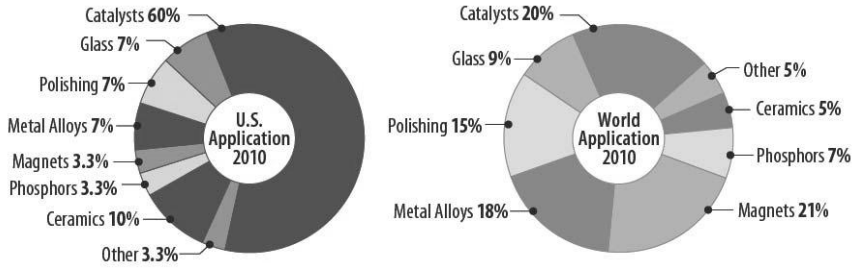
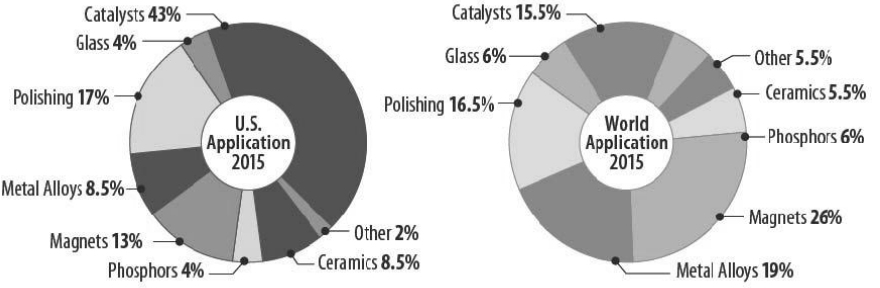


Figura 2 - Demanda de terras raras, por aplicação nos EUA e no mundo, em 2010



Fonte: HUMPHRIES, 2011

Figura 3 – Projeção da demanda de terras raras, por aplicação, nos EUA e no mundo em 2015

Como se referiu, anteriormente, em detalhe, cada elemento de terras raras, tem aplicações específicas, enquanto cada depósito tem a sua identidade, isto é, o seu perfil de terras raras.

A propósito das aplicações industriais dos elementos das terras raras a Tabela 7 abaixo mostra as mais usualmente conhecidas.

Tabela 7 – Aplicação (%) dos elementos de terras raras por elemento

Aplicações	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Y	(a)
Imãs	--	--	23,4	69,4	--	--	2	0,2	5	--	--
Ligas/baterias	50	33,4	3,3	10	3,3	--	--	--	--	--	--
Ligas metálicas	26	52	5,5	16,5	--	--	--	--	--	--	--
Catálise auto	5	90	2	3	--	--	--	--	--	--	--
Refino/petróleo	90	10	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Polimento	31,5	65	3,5	--	--	--	--	--	--	--	--
Aditivos/vidros	24	66	1	3	--	--	--	--	--	2	4
Fósforos	8,5	11	--	--	--	4,9	1,8	4,6	--	69,2	--
Cerâmicas	17	12	6	12	--	--	--	--	--	53	--
Outras aplicações	19	39	4	15	2	--	1	--	--	19	--

(a)Outros elementos de terras raras
Fonte: LONG, 2010

Os fatores de demanda e escassez específica de certos elementos fazem, portanto, com que haja grandes variações de preços, entre esses elementos ao longo do tempo (Tabela 8).

Tabela 8 - Evolução dos preços de 7 elementos de terras raras (metal com 99% de grau de pureza) em US$/kg – FOB China

Elem.	Média 2002-2003	Julho 2011	Fator de variação[a]	Final 2011[b]
Eu	800	6.780	8,5	5.400
Tb	204,5	5.110	25	4.100
Dy	32,1	3.410	106	2.900
Nd	6,67	467	70	310
Y	< 25	270[a]	--	195
La	< 5	170[a]	--	270
Ce	< 5	290[a]	--	120

(a) Fator de variação entre 2002-2003 e julho 2011 **(b)** Valores aproximados
Fonte: China Rare Earth Industry Report, 2009

Nas indústrias de alta tecnologia a aplicação das terras raras é feita a níveis de pureza muito elevados, de até quatro casas decimais (6N – 99,9999%). É o caso dos luminóforos (fósforos), por exemplo.

Como nos minérios ocorre a mistura dos 17 elementos de terras raras, há necessidade de se proceder a um grande número de operações para separá-los e, então, atingir os níveis de pureza indicados. A necessidade de efetuar tratamentos químicos complexos, somada à sua escassez, fazem com que certos elementos de terras raras, com elevado grau de pureza, atinjam elevados preços, da ordem de milhares de dólares por quilograma.

Em razão das peculiares propriedades físicas e químicas, os elementos terras raras (ETR) desempenham várias funções em numerosos materiais de uso no nosso cotidiano. As terras raras, na sua qualidade de "elementos verdes", têm cada vez mais aplicações na tecnologia moderna. As aplicações das terras raras por razões ambientais cresceram, intensamente, nas últimas três décadas, conforme vários autores relatam a seguir.

> *This trend will undoubtedly continue, given growing concerns about global warming and energy efficiency. Several REE are essential constituents of both petroleum fluid cracking catalysts and automotive pollution-control catalytic converters. Use of REE magnets reduces the weight of automobiles. Widespread adoption of new energy-efficient fluorescent lamps (using Y, La, Ce, Eu, Gd, and Tb) for institutional lighting, could potentially achieve reductions in U.S. carbon dioxide emissions equivalent to removing one-third of the automobiles currently on the road. Large-scale application of magnetic-refrigeration technology (described below) also could significantly reduce energy consumption and CO_2 emissions"* (HAXEL, HEDRICK, ORRIS, 2010).

> *The Green Elements have an ever-growing variety of applications in modern technology. The physical and chemical properties of the Rare Earth elements contribute essential functions to a range of uses that affect our daily lives. Cell phones, PDA's, "ear bud" miniature speakers, media storage systems such as IPOD's, computers, vehicles – all depend on Rare Earths* (Apêndice 1).

Com o desenvolvimento dos motores elétricos de ímãs permanentes, à base de neodímio (com térbio e disprósio), com larga aplicação, nos grandes geradores eólicos e nos carros híbridos, entre muitas outras, haverá forte aumento de consumo de terras raras, o que terá grande reflexo no seu comércio.

Em 2008, só a demanda japonesa foi de 40.000 toneladas, enquanto a cota de ofertas chinesas para o exterior não ultrapassou 38.000 toneladas, como afirmaram A. Loesekrug-Pietri, cogerente de um fundo de investimentos na China, e Dominique de Boisson, ex-vice presidente da Câmara de Comércio Europeia na China.

Segundo esses especialistas, é quase certo que as cotas vão continuar a diminuir e que a China poderá até mesmo cortar as exportações de certas terras raras. A exportação de ítrio, térbio e túlio foram inclusive suspensas entre 2009 e 2010.

> *China carried out mandatory management plan on the production of rare earth products and smelting / separating rare earth products. In the year, the output of rare earth products was 120,800 tons, (by REO, the same hereinafter), down 8.83% year on year, and the output of smelting and separating rare earth products was 126,000 tons (including nearly 18,000 tons from waste recovery), down 19.75% year on year.*
>
> *In 2007, China's export volume of rare earth products (rare-earth magnet included) was 49,000 tons, down 14.93% year on year, but the export value reached US$1,18 billion, up 51% year on year. Among the total exports, the export volume of rare-earth magnet, exporting to 69 countries and regions, reached 21,532 tons, nearly doubling against the previous year, and the export value was US$415 million, up 36.96% year on year. The top nations and regions in terms of China's export volume were Hong Kong and USA, Japan, Singapore, German, Thailand, Korea, Italy, Holland and Finland* (CHINA RARE EARTH INDUSTRY REPORT, 2009).

O economista C. Hocquard, do BRGM da França, baseado nos fatos da China, a firma que esse país: i) é responsável por mais de 95% da produção mundial; ii) está fechando as "produções sujas" (garimpos) por razões ambientais e de melhor gerenciamento de preços; iii) consume internamente 60% da demanda mundial e

apresentar um crescimento anual de 20%; iv) mostra que a sua capacidade de exportação tende para zero em 2014. Daí, ele vê duas soluções para a questão relacionadas com o risco de desabastecimento, quais sejam: deslocar as indústrias para a China ou desenvolver rapidamente novas jazidas de terras raras, fora da China (HOCQUARD, 2010).

Em concordância com Hocquard, Jack Lifton, conhecido especialista em terras raras cita que: *in America, Britain and elsewhere we have not yet woken up to the fact that there is an urgent need to secure the supply of rare earths from sources outside China. China has gone from exporting 75% of the raw ore it produces to shipping just 25%.*

Esse último autor, reforça que há uma preocupação considerável nos EUA, pelo fato desses elementos serem usados largamente na indústria militar, em sistemas de defesa antimísseis, peças de avião, sistemas de comunicação, medidores eletrônicos (*electronic countermeasures*), detetores de minas submarinas (*underwater mine detection*) sistemas de orientação de mísseis (*missile guidance systems*) e em geração de energia em satélites, entre muitas outras aplicações militares.

Segundo Relatório da Roskill de 2007 sobre a economia das terras raras e ítrio, /…/ *this has brought fundamental change to the global industry, taking it from oversupply to demand shortages. /…/ with demand growth for rare earths forecast at 8-11% per annum, and should China's strict control persist, there will be a significant need for "new non-Chinese capacity in the next 3 to 4 years.*

2.5. Como a China Atingiu a Liderança em P, D&I, na Produção, Industrialização e Comércio de Terras raras no Mundo

A indústria das terras raras na China começou na década de 50. Após 50 anos de notável desenvolvimento, foram conseguidos resultados notáveis na definição de recursos e nos domínios da P&D (*ABN Newswire* de 29/06/2010).

Tornou-se o maior país tanto em reservas como na produção, consumo e exportação. *At present, rare earth products have been used in more than 30 industry fields in China, the development and application of rare earth*

novel materials have become the major growth pole of China rare earth industry (op. cit.) (Apêndice E) .

A China, desde 1958, com a criação do *General Research Institute for Nonferrous Metals – GRINM* que incluía o *Department of Rare Earth,* atingiu um lugar proeminente nos campos da produção, da pesquisa e do desenvolvimento industrial das terras raras, tendo contribuído e, ainda, contribui largamente, para mostrar que os materiais com terras raras desempenham importante papel nas indústrias de ponta, os quais estão presentes e são condicionantes do nosso dia a dia.

O grande impulso no âmbito da inovação tecnológica foi dado durante os anos 80. *Three Chinese scientists jointly proposed a plan that would accelerate the country's high-tech development. Deng Xiaoping, China's leader at the time, approved the National High Technology Research and Development Program, namely Program 863* (HURST, 2010).

Em 1980 foi fundada a *Chinese Society of Rare Earths (CSRE)*, uma organização de pesquisa científica e tecnológica com mais de 100.000 especialistas registrados. É a maior comunidade acadêmica de terras raras no mundo (Fonte: *ABN Newswire, June 29, 2010*).

Ainda, segundo a mesma fonte:

> *Besides serving for the government and researchers on science and technology of rare earth, CSRE provides a stage for rare earth scientists to exchange their research ideas, propose the scientific and technical plans on fundamental and applied fields on rare earth, as well as rare earth R&D plans for industry. CSRE is therefore the most important social force in developing the rare earth science and technology in China.*
>
> *CSRE publishes two journals, Journal of the Chinese rare earth Society (edited in Chinese and English separately) and Chinese Rare Earths (in Chinese), and one newsletter, Chinese Rare Earth Information. CSRE also plays an important role in the international rare earth community.*

Para atender a diretriz do governo chinês em transformar o país num líder mundial, no campo da inovação em alta tecnologia, foram estabelecidos dois programas: o primeiro, "Programa 863", conforme já referido, enquanto onze anos depois, o segundo, o

"Programa 973", em março de 1997 (HURST, 2010). Para mais detalhes, ver o Apêndice 2

O governo chinês, para dinamizar ainda mais a sua atuação no campo das terras raras, criou, em 1995, com apoio técnico-político da *State Development Planning Comission* e financeiro do Banco Mundial (3 milhões de dólares), o *Research Center for Rare Earth Materials* cuja sigla corresponde a – *CREM.* (Apêndice F).

Em 1999, o campo de atuação do CREM foi muito ampliado com a criação de um novo núcleo de P,D&I: o *National Rare Earth Center for Agriculture Development.*

Sob o título: *China's Rare Earth Elements Industry: What Can the West Learn?,* o Institute for the Analysis of Global Security (IAGS), de Washington, divulgou, em março de 2010, o já referido estudo de Cindy Hurst (HURST, 2010), que mostra como, nos últimos anos, a China se tornou uma força, a maior, no domínio das terras raras.

> *This paper is designed to give the reader a better understanding of what rare earth elements are and their importance to society in general and to U.S. defense and energy policy in particular. It will also explore the history of rare earth elements and China's current monopoly of the industry, including possible repercussions and strategic implications if rare earth elements supply were to be disrupted.*

2.6. A Política Atual da China em Relação às Terras raras e seu Reflexo em Outros Países

A China tinha se apercebido, desde o final da década de 50 do século passado, sobre a importância estratégica das terras raras.

HURST cita que o nível de conhecimento técnico-científico e as suas grandes reservas minerais levaram Deng Xiaoping a declarar, em 1992*: "*o Médio Oriente tem o petróleo, a China as terras raras". Anunciava, assim, a força tecnológica, política, estratégica e econômica que a China iria adquirir, no início do século XXI, no âmbito dos elementos de terras raras (HURST, 2010).

A China, que atendia a mais de 95% das necessidades de suprimento de terras raras no mundo, tem mostrado nos últimos anos

sinais de desaceleração na sua produção mineira, por razões estratégicas de gerenciamento de reservas e de preços,mas também para incentivar a instalação no país de indústrias de alta tecnologia (*off-shoring*).

Limitou, por lei governamental, a sua produção anual e colocou em prática cotas de exportação que vêm sendo reduzidas anualmente, podendo chegar, num futuro próximo, até a uma possível suspensão total de exportação de alguns elementos de terras raras, a partir de 2014-2015, como citou Christian Hocquard, economista do BRGM.

De acordo com o novo planejamento estabelecido pelo governo da China, suas cotas de exportação serão controladas para um valor inferior a 35.000 toneladas anuais nos próximos 6 anos. Ainda, foi divulgado que será proibida a exportação de alguns dos elementos como o disprósio, térbio, túlio, lutécio, ítrio, incluindo o neodímio entre outros (CHINA RARE EARTH INDUSTRY REPORT, 2009).

A decisão antecipada tomada pela General Motors em deslocar a diretoria das operações internacionais de Detroit para Shangai sinalizou que a empresa aderiu à política chinesa, que busca a aproximação com empresas que possam agregar valor a produtos da cadeia produtiva das terras raras naquele país. Dessa forma a empresa se resguardaria das restrições impostas pelo estabelecimento de cotas para exportação de terras raras. Segundo Samprun, "fabricando os seus Chevrolet elétricos e suas baterias na China, o construtor americano escapa, com efeito, à nova regulamentação chinesa" (SAMPRUN, 2010).

À mesma época, buscando encontrar alternativas para os riscos decorrentes do desabastecimento, a empresa alemã *TANTALUS Rare Earths AG,* de Düsseldorf, intensificou seus esforços para identificar e desenvolver trabalhos de exploração e projetos mineiros fora da China, principalmente na África. Atualmente, 100% dos seus investimentos estão localizados em Madagascar, no projeto *Tantalus Rare Earths Project* (TRE-AG, 2010).

Já em 2010 se previa que a demanda mundial por terras raras iria ultrapassar a oferta em cerca de 40.000 a 50.000 toneladas, mesmo

que entrasse em produção, nesse mesmo ano, a mina de Mount Weld na Austrália.

Da mesma forma algumas das maiores consumidoras mundiais de terras raras como, por exemplo, a *Rhodia Eletronics & Catalysi*s assinaram contratos futuros com empresas de mineração, nesse caso específico com a *Lynas Corp. – Austrália*, buscando se resguardar das restrições de fornecimento que foram impostas pela China, de modo a tentar garantir fornecimento alternativo futuro. Outras empresas, como a *Toyota Tsusho Corp*., se associaram, financiando e participando diretamente de projetos mineiros, no caso com a empresa de mineração canadense, *Great Western Minerals Group Ltd.*

No 2º semestre de 2010 a China reduziu em 72% as cotas de exportação dos produtos necessários para as indústrias dos carros híbridos, ímãs permanentes e televisões. Esse fato originou uma disputa comercial com os EUA, como foi divulgado pela *Bloomberg News – Jul 9, 2010*. Segundo essa mesma fonte, s*hipments will be capped at 7,976 metric tons, down from 28,417 tons for the same period a year ago, according to data from the Ministry of Commerce* [da China] *yesterday.*

Ainda segundo a *Bloomberg News:*

> *The rare earths industry officials have realized that, after many years of continued growth in exports, the industry didn't receive due profit returns," Liu Aisheng, director of the Chinese Society of Rare Earth,* said in an interview by phone from Beijing. *"They adjusted the policy to ensure that the resources are optimally utilized."*

Nessa mesma época ocorriam especulações financeiras com relação a empresas de explotação de terras raras por todos os mercados. Para exemplificar o mesmo site da *Bloomberg News – Jul 9, 2010* indicava: *Shares of Lynas Corp., building a rare earth mine in Australia, rose 8.8 percent to close at 59.5 Australian cents in Sydney. Inner Mongolia Baotou Steel Rare-Earth Hi-Tech Co., the biggest Chinese producer, rose 1.4 percent to close at 36.69 yuan on the Shanghai stock exchange.*

> *Baotou Steel, Baotou Huamei RE Products Co. Ltd. And Sinosteel Corp. are among the 32 local and foreign companies that are permitted by*

the government to export in the second half, according to the Ministry of Commerce statement".

Essa situação restritiva atingiu fortemente países industrializados como EUA, Japão e os da União Europeia (Apêndices F a I). A mídia mundial dela se ocupou e ainda o faz até os dias atuais, dando-lhe grande destaque.

Cite-se, por exemplo, à época de 2010, o que publicou o *New York Times* a partir de artigo do *Journal of Energy Security*:

By way of example, according to a December New York Times article, two elements "dysprosium and terbium, are in especially short supply, mainly because they have emerged as the miracle ingredients of green energy products. Tiny quantities of dysprosium can make magnets in electric motors lighter by 90 percent, while terbium can help cut the electricity usage of lights by 80 percent. Dysprosium prices have climbed nearly sevenfold since 2003, to $53 a pound. Terbium prices quadrupled from 2003 to 2008, peaking at $407 a pound, before slumping in the global economic crisis to $205 a pound" (Journal of Energy Security, Jan. 2010).

Lindsey Hilsum abordou o mesmo assunto na *Independent Television News*, dos EUA, também na mesma época, 2010, sob o título *"Are Rare Earth Minerals Too Costly for Environment ?*, afirmando:

It doesn't look very Green. Rare Earth processing in China is a messy, dangerous, polluting business. /…/But without rare earth, Copenhagen means nothing. /…/ Each motor [Prius] *contains a kilo of neodymium and each battery more than 10 kilos of lanthanum, rare earth from China.*

Green campaigners love wind turbines, but the permanent magnets use to manufacture a 3-megawatt turbine contain some two tons of rare earth.

2.7. A Demanda por Terras raras

A demanda por terras raras tem-se acentuado nos últimos anos, tanto em relação a compostos, como a metais, individualmente, e às suas ligas.

Por ocasião da conferência *Roskill HK Rare Earth Conference, November 2007* foi repetido, mais uma vez, haver uma forte tendência

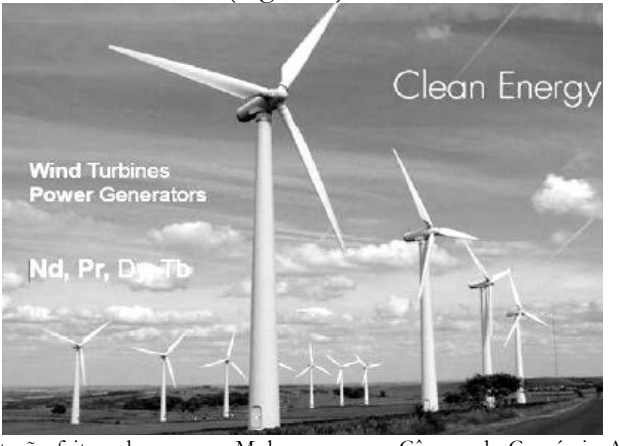
da sua utilização em várias aplicações modernas, tendo sido destacadas as automotivas, as de conversores catalíticos, bem comoem ímãs permanentes e em baterias recarregáveis (Tabela 9).

Tabela 9 - Projeção do uso crescente de terras raras: consumo (t/ano de terras raras) e taxa de crescimento percentual ao ano (TC/%)

Elementos	Aplicação	Consumo (t/a OTR)		T. C.
		2006	2012	
La, Nd, Pr	Baterias / Ligas	17,000	43,000	17
Dy, Nd, Pr, Sm, Tb	Imãs	20,500	42,000	13
Eu, Tb, Y	Fósforos	8,500	14,000	9
Nd, La	Catálise	21,500	32,000	7
La, Pr	Pós de polimento	14,000	21,000	7
Ce, Er, Gd, La, Nd, Yb	Aditivos em vidros	13,000	14,000	1
Vários	Cerâmicas	5,500	9,000	9
Vários	Outras	8,000	13,000	8
	Total	**108,000**	**188,000**	**10**

Fonte: Roskill HK Rare Earth Conference, November 2007

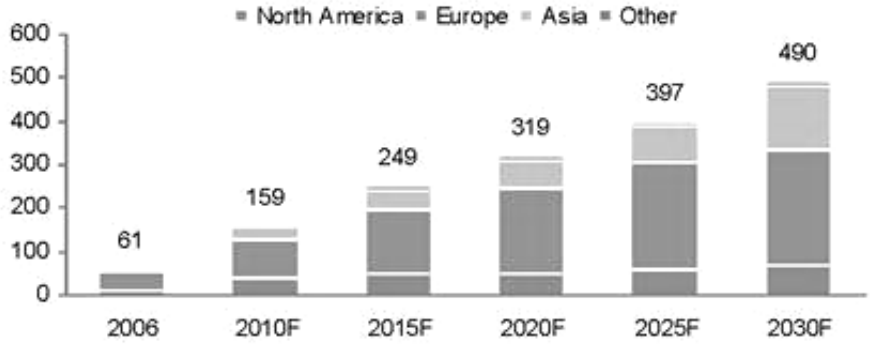
A indústria das turbinas eólicas é considerada como um símbolo da "indústria verde" (Figura 4).



Fonte: apresentação feita pela empresa Molycorp para a Câmara de Comércio Americana em abril de 2011.

Figura 4 – Turbinas eólicas, um dos símbolos de Energia Limpa ('Energia Verde').

Essa indústria que experimenta um grande desenvolvimento (Figura 5) é alta consumidora de terras raras. Os ímãs permanentes de seus motores utilizam mais de uma centena de quilos de terras raras por cada megawatt de capacidade geradora.

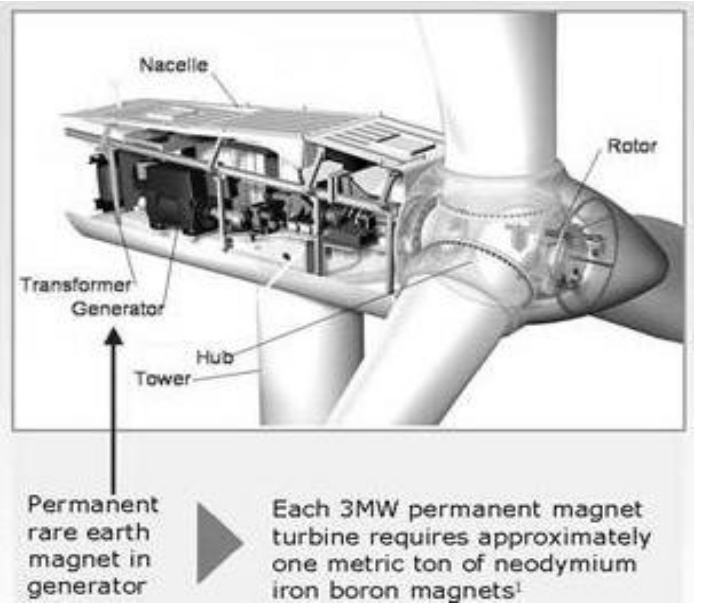


(In: Palestra da Molycorp para a US Chamber of Comerce).

Figura 5 - Produção de turbinas eólicas em GW

De início, cada turbina eólica gerava, em média 50 kW e o rotor tinha 15, 2m de diâmetro. Hoje, chegam a gerar 5 MW (5.000 kW), por unidade, sendo que o diâmetro dos rotores é superior a 126m (413 pés), quase o dobro do comprimento das asas de um Boeing 747. (COMMITTEE OF OFFSHORE WIND TURBINES, 2011).

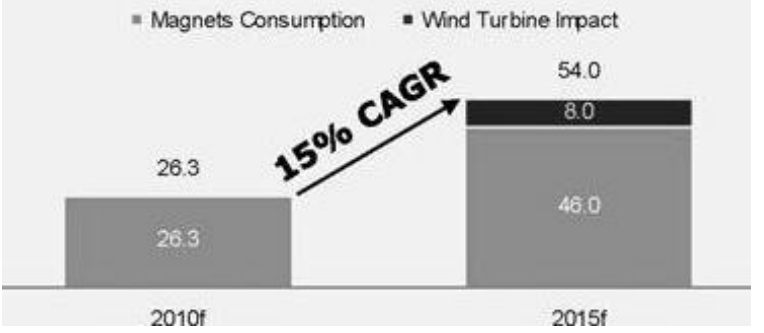
Os motores elétricos das turbinas eólicas, quando de alto rendimento, são consumidores vorazes de terras raras, principalmente Nd (Figuras 6 e 7).



(In: Palestra da Molycorp para a US Chamber of Comerce).

Figura 6 – Vista esquemática de uma turbina de gerador eólico

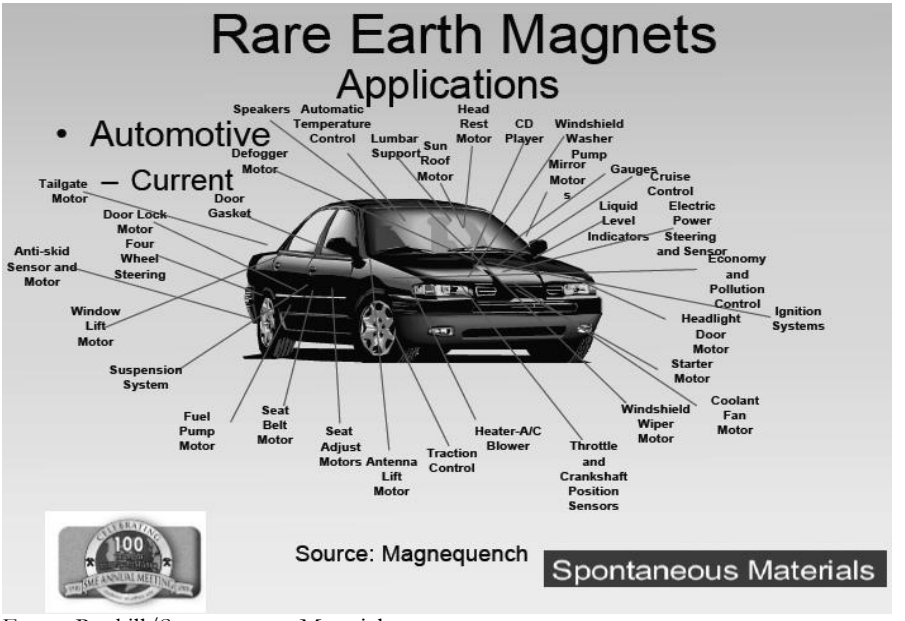
A Figura 7 mostra a previsão do aumento do consumo de neodímio, relacionado diretamente a sua aplicação na fabricação de turbinas eólicas.



CAGR – 'Compound Annual Growth Rate' = $(V_f / V_i)^{1/N}$-1
(V_f – Valor final; V_i – Valor inicial; N – nº de anos do período considerado).
(In: Palestra da Molycorp para a US Chamber of Comerce).

Figura 7 – Impacto do consumo de ímãs na produção de turbinas eólicas.

A indústria automobilística é também intensiva consumidora de terras raras (Figura 8), principalmente a dos carros híbridos.



Fonte: Roskill/Spontaneous Materials

Figura 8 – As terras raras na indústria automobilística

Entretanto, devido à atual crise de oferta, o preço da maioria dos elementos das terras raras tem vindo a subir continuamente, o que pode ser constatado na Tabela 10, em relação a 2007-2008, e na Figura 9.

Tabela 10 – Preço das terras raras (US$/kg)

Elemento	Óxido		Metal	
	Fim - 2007	Fim Out - 2008	Fim - 2007	Fim Out - 2008
Ce	3.60	3.80	7.10	10.50
Dy	94.00	118.00	125.00	153.00
Er	35.00	35.00	N/A	N/A
Eu	368.00	525.00	560.00	700.00
Gd	N/A	N/A	25.00	28.00
La	4.60	8.00	6.00	13.00
Lu	550.00	550.00	N/A	N/A
Nd	30.00	20.00	40.00	29.00
Pr	28.00	20.00	37.00	29.00
Sm	4.40	4.40	14.00	26.00
Tb	633.00	621.00	750.00	793.00
Yb	55.00	55.00	N/A	N/A
Y	12.00	12.00	29.00	42.00
Mischmetal (48% Ce)			6.00	8.00
Mischmetal (25% La)			12.00	14.00

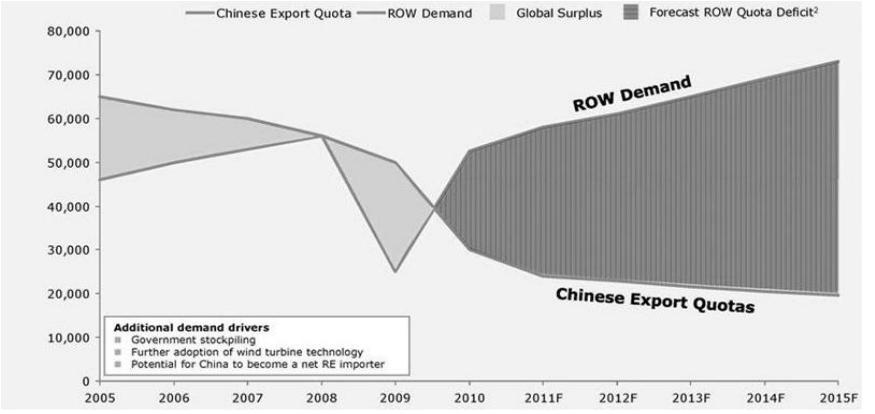
Fonte: Tianjiao International

A Figura 9 mostra a posição do aumento da produção e das demandas a nível chinês e ao nível mundial, abrangendo o período 2005-2015.

(In: Palestra da Molycorp/US Chamber of Comerce)

Figura 9 – Produção da China, da Molycorp, demanda chinesa e previsão da demanda global

Com a forte demanda interna de terras raras, o governo da China estabeleceu controles na produção e exportação (tarifas e cotas) e, em algumas regiões, por condicionantes ambientais, entre outras, também está a impor restrições e cotas na atividade mineira, causando forte incidência no comércio mundial das terás-raras (Figura 10).



ROW: rest of world

(In: Palestra da Molycorp para a US Chamber of Comerce).

Figura 10 – Cotas de exportação, demanda por matéria-prima e déficits futuros

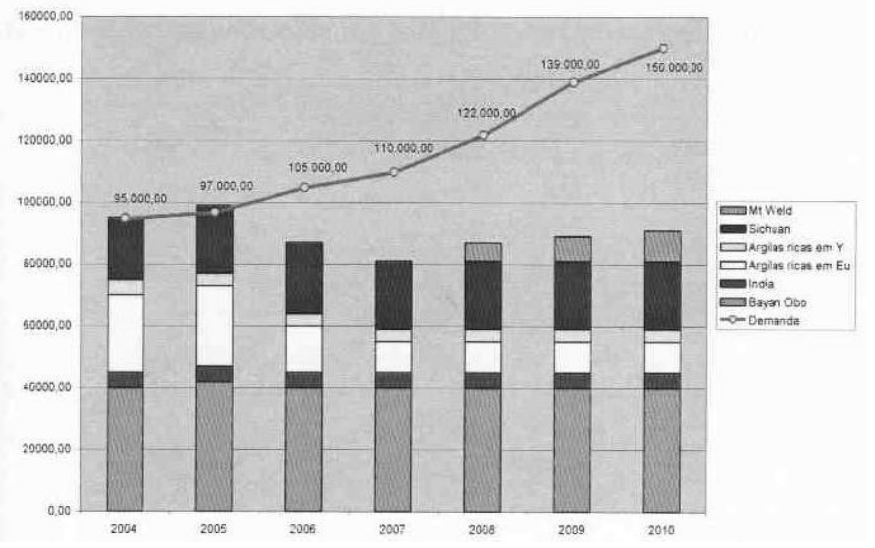
Os gráficos explicam e justificam a corrida na busca de novos depósitos e na reativação de outros que até recentemente não eram considerados econômicos.

Os metais raros são fundamentais para as indústrias de ponta. O crescimento 'verde' implica no recurso ao uso de materiais inovadores que necessitam de metais raros.

Na década de 80 os metalurgistas recorriam a 10 'metais raros', nos anos 90 eram 15, e na primeira década do século XXI, são 50, entre os quais, as 17 terras raras.

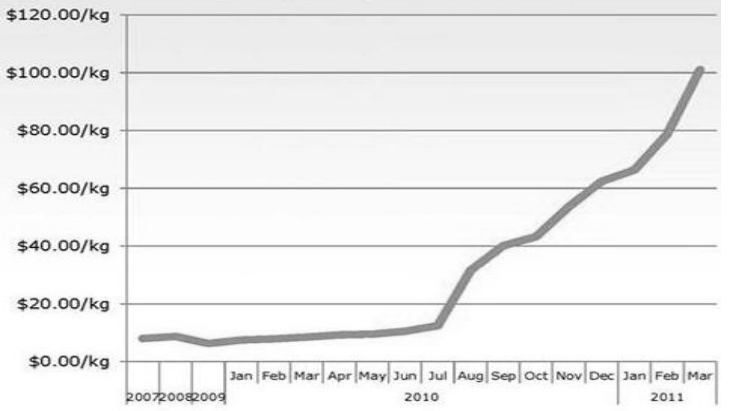
A produção de metais raros mostra ser monopólio de alguns países e, em outros, forte dependência de importações. Daí a importância do conceito de risco de suprimento (*supply risk*). É o caso das terras raras com grandes limitações na oferta de certos elementos quando a demanda está em forte alta. Hoje é um dos bens minerais que apresenta maior risco de suprimento.

Atualmente, praticamente, não há produção de compostos de terras raras no país embora a demanda mundial por terras raras seja crescente. Já ultrapassa a oferta (Figura 11) e, em consequência, os preços estão a aumentar (Figura 12).



Fonte: China Rare Earth Information Center

Figura 11- Produção e demanda de terras raras



(In: Palestra da Molycorp para a US Chamber of Comerce).

Figura 12 - Média ponderada da variação do preço médio dos óxidos de TR, de 2007 a março de 2011

3. CONSIDERAÇÕES SOBRE AS RESERVAS E AS DEMANDAS DE TERRAS RARAS NO BRASIL E NO MUNDO

Como foi referido, há uma forte corrida na busca de novos depósitos de metais raros, em especial os de terras raras, dando-se particular atenção à prospecção de minérios poliminerálicos.

Não se pode generalizar a afirmação de que há falta de terras raras no mundo, mas sim que faltam certos elementos terras raras (ETR) como, por exemplo, Eu, Y, Nd, Lu, Dy. Há que se considerar, ainda, que os elementos terras raras pesadas (ETRP) são mais raros na natureza do que os elementos terras raras leves (ETRL).

Cada depósito tem o seu perfil de terras raras. Daí a importância de se fazer a caracterização químico-mineralógica, específica e detalhada para cada ocorrência, juntamente com a definição de teores e reservas.

A China é responsável por 97% das 125.000 toneladas de terras raras produzidas no mundo. Quase um monopólio total e a demanda mundial vem crescendo em mais de 10% ao ano. Em uma década passou de 40 mil para 120 mil toneladas.

Embora as imensas jazidas de Bayan Obo na China sejam conhecidas desde 1927, só em 1986, Pequim optou, com o "Programa 863", do governo Deng Xiaoping, por uma estratégia de longo prazo, "que visava desenvolver o domínio da exploração das terras raras, da extração à fabricação de produtos semiacabados, passando pela separação e transformação" (ZAJEC, 2010).

O especialista Olivier Zajec, que é da CEIS cuja a sigla, em francês, significa Companhia Europeia de Inteligência Estratégica, apresenta algumas considerações que são transcritas a seguir.

> *As indústrias estadunidenses, japonesas e europeias já não podem mais prescindir deles* [dos elementos das terras raras]. *Em geral quanto mais inovador (resistente, leve, de tamanho reduzido, "ecologicamente compatível") é um modelo industrial, maior sua dependência das terras raras. O Japão é um caso emblemático dessa tendência: sozinhas, as baterias dos carros híbridos Prius da Toyota*

necessitam 10 mil toneladas de terras raras por ano para serem montadas. De modo geral, o desenvolvimento da indústria "verde" poderá causar um aumento da demanda mundial da ordem de 200 mil toneladas/ano: centenas de quilos de terras raras entram na composição de uma só turbina eólica de grande dimensão. /.../

Alguns observadores avaliam que a China poderá reorientar progressivamente sua política das terras raras, de uma estratégia da dependência para a estratégia do estrangulamento. Dentro dessa hipótese, Pequim reduzirá progressivamente o volume das suas exportações. E isso com dois objetivos. De um lado forçar uma subida dos preços e, com isso, rentabilizar seu monopólio de fato (o neodímio foi cotado em US$ 32 mil a tonelada em agosto de 2010, o que representou um aumento de 60% em um ano). De outro para reservar suas terras raras para a incrementação tecnológica e a produção industrial autóctone. Isso porque, após produzir terras raras "brutas" ou produtos semiacabados, e delas assegurar-se do monopólio, a China ambiciona fabricar, daqui para frente, produtos acabados de maior valor agregado, tendo como meta uma atividade totalmente integrada. Escorada numa quase interrupção das exportações de minérios, e no domínio da alta tecnologia, essa combinação dar-lhe-á um trunfo estratégico considerável.

/.../ a estratégia de "incrementação tecnológica" vai ao encontro de uma explosão do crescimento e do consumo chineses, que vai acelerando o processo e obriga a China a abastecer prioritariamente seus próprios industriais. /.../ a China reduziu efetivamente suas exportações de terras raras nos últimos sete anos e anunciou em julho de 2010 que essas últimas voltariam a retroceder em mais de 70% no segundo semestre de 2010, para 8 mil toneladas contra cerca de 28 mil toneladas no mesmo período do ano passado (ZAJEC, 2010).

Segundo ZAJEC (2010), as reservas mundiais confirmadas, em milhões de toneladas (setembro de 2010), eram as seguintes:

China: 36 milhões de toneladas

E.U.A.: 13 milhões de toneladas

Rússia + Cazaquistão: 11 milhões de toneladas

Austália: 5 milhões de toneladas

Índia: 3 milhões de toneladas

Canadá: 1 milhão de toneladas

Groenlândia: 1 milhão de toneladas

África do Sul: 0,4 Milhões de toneladas

Brasil: 0,05 milhão de toneladas

Outros: 38,55 milhões de toneladas

Em 2009, a produção mundial foi de 124.000 toneladas; o consumo, excluindo a China, atingiu 61.000 toneladas (o consumo da China correspondeu a 63.000 toneladas); reservas mundiais somaram 99.000.000 toneladas.

O mesmo autor (ZAJEC, 2010) prevê para 2014 que a demanda mundial será de 180.000t, destinada às seguintes produções: ímãs (28%), componentes de baterias (16%), pó para polimento (15%), craqeamento de petróleo (14%), metais especiais (7%), catalisadores (7%), fósforos (6%), aditivos para vidros cerâmicas e outros (7%).

O especialista J. LIFTON, profundo conhecedor da problemática das terras raras, apresenta os seguintes comentários sobre o redobrado interesse na definição e explotação de novos depósitos, conforme a seguir.

> *Nd is typically around 20% of the total REEs produced by the Chinese light-rare-earth industry. That total last year, 2010, has been said by Dr Chen of the China Society for Rare Earths to have been just 89,000 tonnes of which 77,000 tonnes, or 86%, were light rare earths. This means that the Chinese production of Nd for 2010 was about 15,000 tonnes.*
>
> *Of the 12,000 tonnes of heavy rare earths produced in China in 2010, just 7% was reported to be the heavy rare earth Dy, which would mean that 840 tonnes of Dy were produced from the so-called ionic absorption clays in southern China.*

A typical Nd-Fe-B-based REPM contains 3-12% of Dy overall – this means that 100 kg of such magnet al.loy contains from 3 to 12 kg of Dy as well as around 28 kg of Nd. The OEM automotive industry uses the most Dy loading, as high as 12%, to give their REPM-based motors, sensors, generators and the like, the maximum service life at constant high-temperature use.

These demand-growth figures, assuming that the need is 59,000 tonnes of Nd, would require at least a doubling of current Chinese light-rare-earth-metal production and the total dedication of Dy production to this clean-tech goal for most of the next decade. If there is a further demand growth from the automobile industry, the current largest user of Dy-enhanced Nd-Fe-B-type REPMs, and that growth parallels the increase in motor-vehicle production expected in the next decade then this use alone will add the need for an additional production equal to the entire 2010 production of Nd and Dy.

We would then be looking at a minimum at a torrid 15% a year growth in the demand for Nd and Dy between 2011 and 2020, just from the Chinese domestic-wind-turbine industry, and the global OEM automotive industry.

Such growth may be possible for Nd production; it is unlikely to be achieved for Dy unless there is for the first time development of Dy resources outside of China.

The Chinese have emphasized over the last year that they believe their Dy resources are being exhausted, and that at current rates of production they have only 5-25 years of production remaining.

If the growth of demand for Nd and Dy above are correct, then it is most likely that Dy will be OR IS ALREADY in short supply.

Therefore unless rare-earth mining ventures with commercially significant Dy are now brought into production as soon as possible, then clean-tech growth outside of China will slow down or stop, depending on whether or not the clean-tech manufacturer has a Chinese source for Nd-Fe-B-based-magnet-containing components, and that Chinese source has an export license for rare-earth-containing components (LIFTON, 2010)

3.1. Breve Relato sobre a Atividade Extrativa de Terras raras no Brasil

O Brasil tem uma tradição histórica no estudo e aproveitamento das monazitas das areias de praia do país.

A exploração das suas areias monazíticas começou em 1886 para satisfazer a demanda de terras raras necessárias à produção de mantas incandescentes de lampiões a gás e, posteriormente (1903), para o fabrico de pedras de isqueiro, uma liga pirofórica, contendo 75% de metais de terras raras (mischmetal) e 25% de ferro. A produção acumulada entre 1887 e 1960 representou cerca de metade do consumo mundial (BARBOSA, 2001).

As atividades extrativas industriais de terras raras no Brasil tiveram início com o trabalho pioneiro de P. Krumholtz, Brill e colaboradores na década de 40.

O processo alcalino para abertura da monazita entrou em prática industrial em 1948.

Entretanto, uma outra empresa, a Orquima, que tinha a sua linha de atuação em produtos orgânicos, com o final da guerra (1939-1945) mudou-a para a de minérios, muito especialmente os de monazita.

Uma das primeiras aplicações das terras raras no Brasil foi a produção de *mischmetal*, mas os pesquisadores brasileiros ultrapassaram esse estágio.

Outra empresa, a Orquima, que tinha a sua linha de atuação em produtos orgânicos, com o final da guerra (1939-1945) mudou-a para a de minérios, muito especialmente os de monazita.

No processo estabelecido pela Orquima, obtinha-se fosfato de sódio que era cristalizado e utilizado como adubo, detergente e no processo de purificação do açúcar. O mercado era amplo. Havia um setor direcionado à produção de tório e à extração de terras raras. O urânio era descartado no processo. Naquela época não havia tecnologia para sua recuperação. As terras raras eram fracionadas.

Em 1948, a capacidade instalada da Orquima era de 300 t/ano de monazita, para produção de cloreto de terras raras. Na época, dado

que os cloretos de terras raras não tinham, praticamente, comercialização no Brasil, eram exportados sob essa forma, e continuaram a sê-lo durante muito tempo. Os coprodutos principais eram o tório e o fosfato trissódico, sendo o urânio de interesse específico nuclear (*op. cit.*).

Em 1954 a Orquima implantou uma instalação para produção do yellow-cake, inaugurada pelo presidente Getúlio Vargas. Em 1960 a CNEN assume a Orquima. A partir de 1962, a produção de compostos de Th e U foi suspensa, tem sido estocado na forma daquilo que se designou por "Torta II".

Foram produzidos, pela primeira vez no país e em simultaneidade com os mais avançados centros de pesquisa, óxidos de terras raras, através da técnica de troca iônica.

Em 1956, o decreto nº 40006, de 20 de setembro de 1956, autorizava a empresa SULBA – Sociedade Comercial de Minérios Ltda., a pesquisar monazita e associados, no município de Vitória, Estado do Espírito Santo.

No Jornal do Brasil de 30/09/1990 podia ler-se sob o título "Tecnologia sumiu no tempo":

> *Na década de 50, o Brasil produziu pela primeira vez no mundo o óxido de európio, a pedido dos Estados Unidos que comprou 200 quilos desse material para aplicações militares e fabricação de tubos de imagens coloridas, depois importados por indústrias instaladas aqui. O európio, separado da mistura, tem valor 800 vezes maior.*

Paulo Sérgio Moreira Soares (SOARES, 1994), apresentou uma síntese do histórico da produção de terras raras no Brasil, a partir de 1960, que passamos a reproduzir.

> *Em abril de 1960 as ações da ORQUIMA foram compradas pela união através da CNEN, que também passou a controlar as duas instalações de beneficiamento da companhia localizadas em Cumuruxatiba BA e Buena RJ. Estabeleceu-se, assim, a Administração da Produção da Monazita.*

Dois anos após, por efeito da lei 4118 e sua regulamentação, tornou-se monopólio do Estado a pesquisa e lavra de minerais radioativos. Este monopólio converteu-se posteriormente na liberação de lavra e beneficiamento às companhias privadas, desde que os teores lavrados de urânio e tório não fossem superiores a 0,02% e 0,5% respectivamente e os rejeitos radioativos gerados no processamento fossem entregues sem ônus à CNEN. A Nuclemon (Nuclebrás de Monazita e Associados) passaria a ser a detentora do monopólio de fato da lavra beneficiamento mineral e processamento químico da monazita no país.

/.../ observa-se um aparente retrocesso no que diz respeito à tecnologia de processamento químico. A NUCLEMON não prossegue nos anos que se seguem à sua criação, o que parecia ser a tendência natural dos trabalhos iniciados pela ORQUIMA. Os estudos para desenvolvimento de uma tecnologia objetivando alcançar os óxidos dos elementos de terras raras parecem não avançar de forma sistemática.

Os esforços de desenvolvimento tecnológico para fracionamento de terras raras ocorrem de forma dispersa no país, representados pelas iniciativas isoladas de alguns centros de pesquisas, principalmente os dedicados à área nuclear e algumas universidades.

A Nuclemon opera durante as décadas de 60, 70 e até o final da década de 80 sem implantar qualquer unidade de fracionamento. Os produtos nacionais disponíveis no mercado interno durante este período são uma mistura de cloretos de terras raras ou compostos de cério e lantânio (individualizados ou não).

Em 1989, recorrendo à compra de tecnologia importada do Japão (Santoku), a Nuclemon, agora denominada Nuclemon Mineroquímica, instala em São Paulo sua primeira unidade de fracionamento para separação da mistura de cloretos de terras raras de sua produção nas frações leve e pesada.

Estabelece-se em 1987 um novo núcleo de pesquisas em terras raras em São Paulo, na Eletrocloro (Grupo Solvay), apoiando atividades de produção da empresa (óxidos de terras raras leves individualizados por troca iônica com resinas).

Através de seu Centro de Pesquisas e Desenvolvimento a Petrobras desenvolve em conjunto com a Akzo (Holanda) tecnologia para produção de catalisadores para craqueamento de petróleo empregando terras raras, supridas parcialmente pela Nuclemon, a partir de 1988. Esta tecnologia é implantada na FCC – Fábrica Carioca de Catalisadores.

Foi criada pelo CETEM/CNPq, em 1989, a Câmara Setorial das Terras raras, entidade que reúne empresas institutos e centros de pesquisas para discussão de aspectos técnicos e econômicos da produção de terras raras.

Em 1991, a Nuclemon Mineroquímica, única processadora de minérios terras raras no Brasil, desde a mina até os produtos fracionados, interrompe suas atividades.

Como já se delineava ao final da década de 80, os anos 90 deverão caracterizar-se principalmente pelo desenvolvimento das tecnologias de aplicação de terras raras nos EUA, Europa, Japão e China. Para o Brasil, definem-se perspectivas da conquista da tecnologia e implantação de unidades de fracionamento de terras raras por extração por solventes e troca iônica, com ampliação das ainda limitadas pesquisas em aplicações.

Completando as informações anteriores, relatamos a seguir algumas das ações específicas do CETEM, no tocante à pesquisa e desenvolvimento em terras raras.

A partir de 1989 o CETEM procura dinamizar a indústria das terras raras no Brasil, mediante de algumas ações de aglutinação de competências, conforme a seguir:

- Estabelece um acordo de cooperação técnica com o GRINM (General Research Institute for Non Ferrous Metals – Beijing – China), por meio do qual viabilizou o intercâmbio de conhecimento e no treinamento de pesquisadores brasileiros, no tocante à separação de terras raras, entre pesquisadores de ambas as instituições;
- Cria a Câmara Setorial de Terras raras com a finalidade de congregar ideias e interesses, buscando caracterizá-los, com o objetivo de se

delinearem caminhos que levassem à capacitação numa área em que o Brasil já tivera posição marcante;

- Organiza reuniões da Câmara Setorial de Terras raras, para se estabelecer um plano de ação com a participação de centros de pesquisa, universidade e empresas;

- Cria um núcleo laboratorial para separação dos elementos de terras raras que se juntaria aos do IEN e IPEN em trabalhos de P&D na separação dos elementos de terras raras;

- Participa de um projeto da U.E. (Universidades de Munique – Alemanha e de Trento – Itália) para desenvolver tecnologia de extração e separação de elementos de terras raras pesadas de um concentrado de xenotímio de Pitinga (AM);

- Edita dois livros, um sobre a química das terras raras (ABRÃO, 1994) e outro sobre os recursos de terras raras no Brasil (LAPIDO-LOUREIRO, 1994). No primeiro, *"Química e Tecnologia das Terras raras"*, Alcídio Abrão apresenta o estudo minucioso sobre a química, identificação, extração e separação de elementos de terras raras, no Brasil (ABRÃO, 1994). No segundo, com o título *"Terras raras no Brasil. Depósitos, Recursos Identificados, Reservas"*, o autor (LAPIDO-LOUREIRO, 1994) mostra, através da caracterização dos seus minérios e reservas, o grande potencial do Brasil para explotar terras raras.

Especial destaque merecem as ações de pesquisa e desenvolvimento executadas pelos institutos da área nuclear, mas também pelos cientistas da área acadêmica que obtiveram resultados significativos nos campos de separação e purificação das terras raras, luminescência, eletroeletrônica e na produção de magnetos entre outros, embora trabalhando em número reduzido, se comparado com o esforço de outros países.

3.2. Recursos Identificados e Medidos de Terras raras no Brasil

No Brasil, no final do século passado e início do atual, foram desenvolvidos estudos para avaliação de reservas, concentração,

extração e separação de elementos de terras raras em cinco depósitos que passamos a sintetizar.

A caracterização dessas fontes de terras raras, já avaliadas, será apresentada adiante.

3.2.1. Minérios de terras raras de Catalão I (GO)

Nos anos 90 do século passado, o CETEM desenvolveu estudo detalhado para caracterização tecnológica (NEUMANN, ALMEIDA & DASSIÉ, 1994; NEUMANN, 1999) e de beneficiamento (BORGES, ALMEIDA & COSTA, 1994; VIERA & LINS, 1997) do minério silexítico do Córrego do Garimpo, no complexo carbonatítico de Catalão I.

CETEM e CDTN também desenvolveram estudos de hidrometalurgia para a ULTRAFÉRTIL. Estes resultados, porém, não foram divulgados, até onde se sabe.

Os estudos de caracterização realizados por REINER NEUMANN (1999) e por NEUMANN *et al.* (1994) no depósito do Córrego do Garimpo, mostraram que o silexito é constituído por quartzo (70%), monazita (18%), goethita + magnetita + hematita (11%), pirrotita e outros (1%).

Suas características marcantes são: o tamanho sempre reduzido da monazita, usualmente da ordem de poucos micrômetros, a sua dispersão na matriz de quartzo, o alto teor de Sr, da ordem de 3,3% e a ausência de Th (NEUMANN, 1999).

Pelas suas características mineralógicas e granulométricas o beneficiamento através de métodos gravíticos e (ou) magnéticos revelou-se difícil. Por outro lado, o consumo de energia na moagem, para liberação da monazita, foi considerado elevado (BORGES, ALMEIDA & COSTA, 1994). A conjunção destes fatores aponta a via hidrometalúrgica como uma possibilidade a ser utilizada para o seu melhor aproveitamento.

Carlos Cordeiro Ribeiro, na sua tese de doutoramento, defendida em Brasília na UnB-I.G. (RIBEIRO, 2008), apresenta os

recursos identificados de terras raras nos depósitos do Córrego do Garimpo e Lagoa Seca Norte (Tabela 11).

Tabela 11 - Recursos de terras raras, por tipo de minério, para um teor de corte de 2% de terras raras

Depósito do Córrego do Garimpo	
Minério Silicoso	8.254.383
Minério Saprolítico	54.506.757
Minério Carbonatítico	15.903.072
Depósito da Lagoa Seca Norte	
Minério Nelsonítico	41.058.784
TOTAL	**119.722.996**

Fonte: RIBEIRO (2008)

3.2.2. Minério da "Área Zero", Araxá (MG)

O complexo carbonatítico de Araxá situa-se a 6 km a sul da cidade de Araxá, município do mesmo nome, estado de Minas Gerais.

As terras raras em Araxá ocorrem de três maneiras distintas:

- constituindo um depósito de enriquecimento residual formado por material terroso – "Área Zero";
- ligadas ao minério de nióbio;
- associadas ao minério fosfático

No primeiro caso concentram-se principalmente numa camada de material ferruginoso, que muitas vezes aparece logo abaixo do solo superficial.

O depósito de terras raras designado por "Área Zero" situa-se na parte norte do complexo. Tem forma elipsoidal, com o seu eixo maior orientado E-W e ocupa uma área de 900 x 300m. O estudo da geologia e do potencial mineiro desta área apoiaram-se em mapeamento geológico, levantamento radiométrico, abertura de uma centena de poços de até 27m de profundidade, três furos de sonda e quatro galerias de flanco de encosta, o que permitiu delimitar o depósito e cubar uma reserva superior a 700.000 toneladas de minério

com um teor de 13,5% de óxidos totais de terras raras (CASTRO & SOUZA, 1970).

GROSSI SAD & TORRES (1976) apresentaram os seguintes valores para as reservas acumuladas da 'Área Zero' no complexo alcalino-carbonatítico de Araxá (Tabela 12).

Tabela 12 – Reservas acumuladas de óxidos totais de terras raras, 'Área Zero', Araxá (MG)

Intervalo (%)	% Mínima Ponderada	Reservas OTR (t)
14-15	14,17	102.000
13-15	13,54	222.000
12-15	12,75	456.000
11-15	12,06	750.000
10-15	11,19	1.296.000

Fonte: GROSSI SAD & TORRES (1976)

3.2.3. Minério de São Gonçalo do Sapucaí (MG)

No final dos anos 80 (século XX) foi desenvolvido um estudo de avaliação dos *placers* do rio Sapucaí, em Gonçalo de Sapucaí. Os aluviões ao longo do rio Sapucaí, no sul do estado de Minas Gerais, nos municípios de Turvolândia, Cordislândia, São Gonçalo de Sapucaí, Careaçu, Silvianópolis, São Sebastião da Bela Vista e Pouso Alegre constituem depósitos de ouro, zircão, monazita e ilmenita com um volume de 27,6 milhões de m^3 de minério.

A região situa-se no interior de um triângulo cujos vértices são Belo Horizonte (330 km), Rio de Janeiro (470 km) e São Paulo (270 km). O volume das reservas de minério (medidas + indicadas), no aluvião pesquisado em São Gonçalo de Sapucaí, são de 34,7 milhões de m^3, sendo 27,6 de cascalho e 7,1 de estéril (SOUZA & PAIXÃO, 1989). A composição de minerais pesados no minério do rio Sapucaí é de 1,42%, com a seguinte distribuição no concentrado: ilmenita 85,3%, zircão 10,75%, monazita 3,95%. As reservas de monazita são de 29.000 t com uma percentagem no ROM (*Run-of-Mine*) de 0,5% para a monazita, 1,2% para a ilmenita e 0,1% para o zircão.

3.2.4. Concentrado de Xenotímio de Pitinga (AM)

Pitinga é um depósito poiliminerálico de Sn, elementos de terras raras pesadas, Nb-Ta, Zr e U situada na porção norte do Cráton Amazônico. É uma jazida de Sn de classe mundial.

As reservas estimadas de terras raras, contidas em xenotímio, nos aluviões são de 20.000t de óxidos de terras raras. O concentrado de xenotímio é empilhado como subproduto da produção de cassiterita. O xenotímio de Pitinga tem a particularidade de apresentar teores elevados da fração pesada (98,4%) e relativamente baixos de Y (42%), comparados com outros xenotímios (90% e 60%, respectivamente) (BARBOSA, 2001).

O CETEM, em colaboração com a Universidade de Trento (Itália), desenvolveu estudos numa amostra de 500 kg de concentrado de xenotímio, cedida pela Mineração Taboca.

Juliano P. Barbosa, pesquisador titular do CETEM, na sua tese de doutoramento, "Lixiviação de um Concentrado de Xenotima" apresentada na Escola de Química da UFRJ, reuniu "subsídios para um melhor entendimento dos efeitos dos diversos parâmetros no processo de lixiviação" (BARBOSA, 2001).

Os experimentos, realizados em escala de bancada, envolveram os dois caminhos habitualmente utilizados em escala industrial: a rota ácida (ácido sulfúrico) e a rota alcalina (hidróxido de sódio).

O autor concluiu que "os resultados obtidos evidenciaram a viabilidade técnica de aplicação dos métodos de lixiviação estudados no processamento químico da xenotima da mina do Pitinga, obtendo-se valores de extração de terras raras próximos a 100%.

3.2.5. Depósito do Morro do Ferro, Poços de Caldas (MG)

O Morro do Ferro situa-se no complexo alcalino de Poços de Caldas, 15 km ao sul da cidade do mesmo nome, aproximadamente no centro da chaminé alcalina (FRAENKEL *et al.*, 1985; LAPIDO-LOUREIRO & SANTOS, 1988).

O Morro do Ferro é constituído por uma rede *(stockwork)* de magnetita, cortando rochas alcalinas: tiguaítos (predominantes em profundidade), fonólitos e foiaítos.

A rocha hospedeira das terras raras é um solo siltítico-argiloso, por vezes muito ferruginoso, com densa rede de vênulas de magnetita e limonita. Este material terroso só foi ultrapassado em furo profundo (a 425 m), executado pela ex-Nuclebras que encontrou tinguaíto muito alterado. A rocha encaixante é a "rocha potássica", designação local do tinguaíto hidrotermalizado (UTSUMI *et al.*, 1971), totalmente sericitizado.

Além de magnetita, pirita, rutilo/anatásio, foram dentificados, em amostras de superfície, por microscopia eletrônica de varredura e microssonda, um silicato de teerras-raras ("monazita com sílica"), zircão com terras raras, coffinita, chlopinita e pirocloro. O silicato de terras raras é o mineral primário mais abundante, dissiminado uniformemente nas amostras estudadas (FUJIMORI, 1982) sendo o mineral secundário predominante a bastnaesita torífera (FUJIMORI, 1984).

Sintetizando os resultados de trabalhos anteriores, BARRETO & FUJIMORI (1986) citam:

- como mineral primário rico de Th e de elementos de terras raras, um silicato de fórmula $(TR,Th,U,Ca)SiO_4$ que terá dado origem a minerais secundários [cheralita, monazita, microlita (ou pirocloro), zircão e allanita];
- como minerais secundários, referem a thorbastaesita $Th(TR,Ca)(CO_3)_2F_2.3H_2O$, provavelmente o mineral secundário mais abundante (BARRETO & FUJIMORI, 1986).

Com as análises de 28 amostras de 5m, correspondentes a 139m de galeria de flanco de encosta (reaberta para essa amostragem), e de 30 amostras de 3 furos de sonda, CBMM/MINEGRAL/PAULO ABIB ENGENHARIA definiram um teor médio de 3,9% de óxidos totais de terras raras.

As reservas indicadas pelo DNPM, com base num número muito restrito de furos de sonda e análises, são de 6 milhões de

toneladas de minério, com um teor de 5% de TR_20_3, o que corresponderá a 300.000t de TR_20_3 contidos. (FRAYHA, 1962).

WABER (1992) afirmou que o depósito de terras raras no Morro do Ferro, de origem supergênica, se formou por processos de lateritização a partir de rochas de composição carbonatítica.

As reservas indicadas pelo DNPM, com base num número muito restrito de furos de sonda e análises, são de 6 milhões de toneladas de minério, com um teor de 5% de TR_20_3 o que corresponderá a 300.000t de óxidos totais de terras raras contidos (FRAYHA, 1962).

3.3. Reservas e Produção Mundial de Terras raras

As terras raras, ao contrário do que o nome possa sugerir, são relativamente abundantes na crosta terrestre, mas a ocorrência de depósitos com minérios passíveis de exploração econômica são menos comuns do que para a grande maioria dos outros minerais.

As mineralizações de terras raras são habitualmente encontradas em associação com complexos intrusivos alcalinos ou peralcalinos (granitos, sienitos, carbonatitos, pegmatitos), por vezes associadas a óxidos de ferro, em *placers* ou *paleoplacers* de monazita (de praia e fluvais), em mineralizações polimetálicas (U, Th, Nb, Zr, Sn) e em *skarns*.

As reservas mundiais de terras raras estão contidas principalmente nos minerais bastnaesita e monazita.Os depósitos de bastnaesita da China e dos EUA constituem a maior reserva mundial de recursos econômicos de terras raras. A segunda mais importante existe nos depósitos de monazita da Austrália, Brasil, China, Índia, Malásia, África do Sul, Sri Lanka, Tailândia e USA.

Em escala mundial, a China não só detém as maiores reservas econômicas, mas é, também, o maior produtor, consumidor e exportador de terras raras.

Segundo os Serviços Geológicos Americanos (USGS, 2010), as reservas industriais de terras raras (*industrial reserves*) e as reservas básicas (*basic reserves*) da China atingiram, em 2008, 27 milhões de toneladas e

89 milhões de toneladas de óxidos de terras raras (OTR), respectivamente, representando 30,7% e 59,3% das reservas mundiais.

Segundo ZANENG CHENG, do Departamento Acadêmico da Sociedade Chinesa das Terras raras (CHENG, 2011), que se baseou em dados dos USGS, o Brasil é, em escala mundial, o detentor do maior volume de Recursos Identificados (depósitos) de terras raras.

Xenotímio, argilas de adsorção iônica, apatita, cheralita, eudialyta, loparita, fosforitos, monazita secundária, soluções de urânio e escórias de produção de ligas Fe-Nb, constituem os restantes recursos.

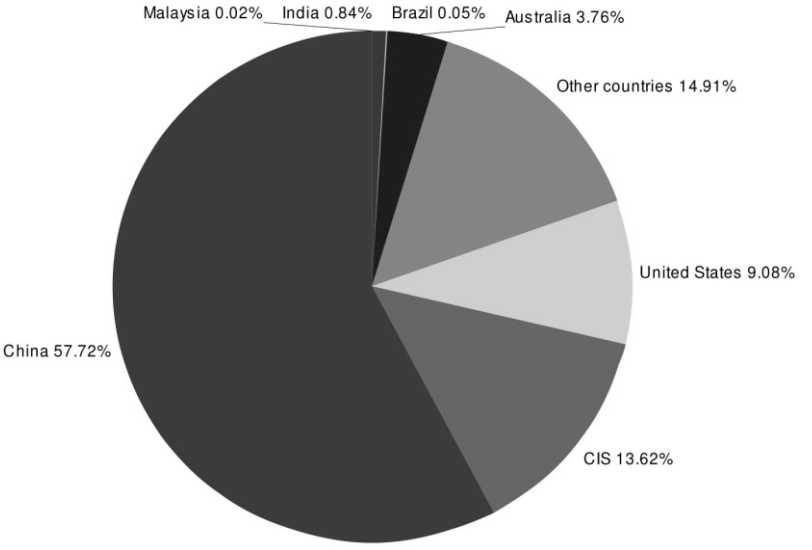
Com a intensa busca de novos depósitos, outros ambientes geológicos geradores de minérios poliminerálicos, haverá, certamente, progressiva definição de mais reservas e de novas tecnologias de extração, e o perfil mundial dos recursos identificados de terras raras irá, muito provavelmente, sofrer modificações.

As reservas e produção mundial de terras raras são apresentadas na Tabela13 e na Figura 13.

Tabela 13 – Produção, reservas e reservas base de terras raras no mundo

	Produção	Reservas	Reservas Base
China	120,000	27,000,000	89,000,000
EUA	---	13,000,000	14,000,000
Austrália	---	5,200,000	5,800,000
CEI	NA	19,000,000	21,000,000
Índia	2,700	1,100,000	1,300,000
Malásia	380	30,000	35,000
Brasil	650	48,000	84,000
Outros Países	NA	22,000,000	23,000,000
TOTAL MUNDIAL (aproximado)	124,000	88,000,000	150,000,000

Fonte: USGS, Mineral Commodity Summaries, janeiro 2010.



Fonte USGS, Mineral Commodity Summaries, janeiro 2010

Figura 13 - Reservas mundiais de TR.

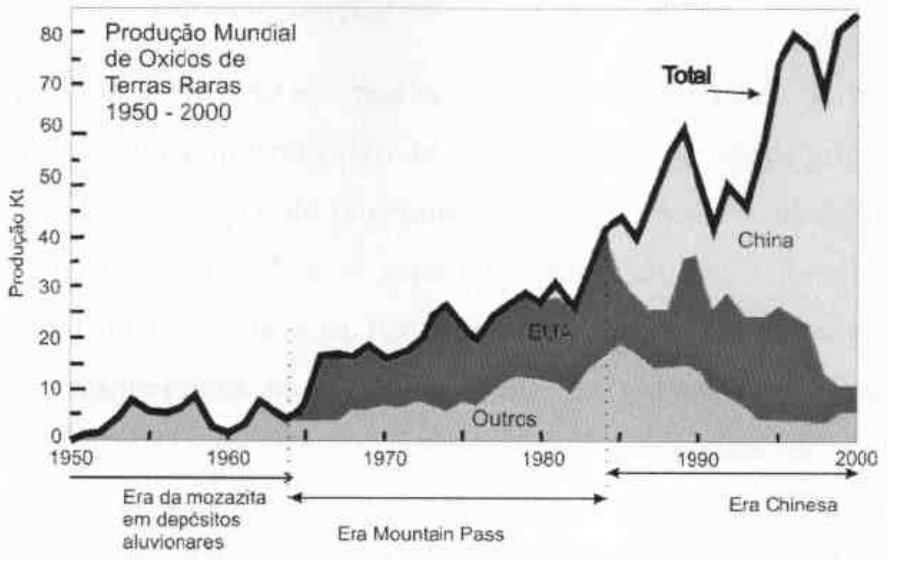
Tendo, como fonte o portal *"The Vertical Portal for China Business Intelligence",* reproduz-se 'tal qual' uma tabela das reservas da China por região/depósito (Tabela 14).

Tabela 14 – Reservas de terras raras da China (10000 toneladas)

Area	Reservas Comprovadas	Reservas Industriais	Reservas de Longo Prazo
Bayun Obo. Baotou	10600	4350	>13500
Huishan, Sandong	1270	400	>1300
Seven Provinces in South	840	150	5000
Liangshan, Sichuan	240	150	>500
Zhiin, Guizhou	70		>150
Others	150	150	>225
Total	12270	5200	>21000

Fonte: ResearchInChina; www.cre.net.

A produção mundial de terras raras é esquematizada na Figura 14.



Fonte: U.S. Geological Survey – Fact Sheet 087-02

Figura 14 – Produção mundial de terras raras em kt (1kt=10^3 kg) de 1950 a 2000 e seus três períodos distintos: monazita em depósitos aluvionares, bastnaesita de Mountain Pass/EUA e período chinês, com vários minérios

No caso do Brasil não tem sido considerado o grande volume de recursos identificados (medidos), os quais estão associados aos complexos alcalino-carbonatíticos, constituindo depósitos específicos de terras raras que são citadas nas estatísticas do USGS (Mineral Commodity Sumario2010) e no artigo de ZHANENG CHENG (2011).

Além destes depósitos são conhecidas, no Brasil, várias ocorrências de terras raras associadas a outros bens minerais tais como, fosfatos, minérios de Ti (anatásio) e de Nb (pirocloro), ou ainda, em outros ambientes geológicos, minérios de Zr (zircão), Nb-Ta (niobo-tantalita) e Sn (cassiterita).

No Brasil, só Catalão I (GO) e Araxá (MG), têm recursos identificados que superam as reservas da China. São reservas de terras raras contidas, ainda sem tecnologia de extração econômica, que, no entanto, se afiguram bem factíveis, considerando os atuais preços das terras raras e os elevados teores dos minérios.

Estes recursos, os ambientes geológicos, as principais características dos minérios e o valor das reservas do Brasil serão detalhados, mais adiante, no próximo capítulo.

3.4. Depósitos e Projetos Internacionais em Andamento

Como já foi referido, para fazer face à situação de baixa oferta e de monopólio estabelecido pela China, já há várias ações em andamento em escala mundial, a saber:

i) está a ser reativada a mina de Mountain Pass (EUA) e colocada em produção a jazida de Mount Weld (Austrália);

ii) pesquisam-se e reavaliam-se novos depósitos ou depósitos conhecidos que apresentam reservas e teores elevados para os quais, na época, não havia tecnologia de extração econômica ou não eram considerados como depósitos poliminerálicos, em países/regiões como Brasil, Canadá, Alaska, EUA, Groenlândia, Noruega, Austrália, África do Sul, Namíbia, Malawi, Madagascar e Kyrgystão,

iii) desenvolvem-se trabalhos de pesquisa em prospectos promissores, repensa-se e avalia-se a coprodução de terras raras em minas ou depósitos de outros bens minerais, nomeadamente os de urânio.

A empresa alemã *TANTALUS Rare Earths AG* de Düsseldorf tem como missão identificar e desenvolver trabalhos de exploração e projetos mineiros fora da China, principalmente na África. Atualmente 100% dos seus investimentos são em Madagascar no projeto *Tantalus Rare Earths Project* (TRE-AG, 2010).

Na Tabela 15, indicam-se 29 projetos em andamento, em cinco países.

Tabela 15 – Projetos para produção de terras raras no mundo, sem a China

Unidade	Empresa	Reservas (63a)		OTR (%)	Situação
		OTR	Minério		
Mountain Pass (EUA)	Molycorp Minerals	4,3	50	8,9 (t.c. 5)	Estudo de viabilidade. Produção 2010-11
Dubbo Zircônia (Austrália)	Alkane Resources Ltd	---	35,7	0,745 (0,14 Y_2O_3)	Estudo de viabilidade. Produção 2011
Kvanefjel (Groenlândia)	Greenland Minerals and Energy Ltd	4,91	457	1,07	Estudo de viabilidade. Produção 2011
Mount Weld (Austrália)	Lynas Corporation Ltd	1,18	12,24	9,7 (t.c. 2,5)	Estudo de viabilidade. Produção 2012
Nolans Bore (Austrália)	Arafura Resources Ltd	0,85	30,3	2,8 (t.c. 1%)	Estudo de viabilidade. Produção 2012
Steenkampskraal Mine (África do Sul)	Rareco	0,029	0,249	16,5 – 5,0	Retomada de explotação
Hoidas Lake (Canadá)	Great Western Minerals Group Ltd	0,07	2,6	2,43 (t.c. 1,5)	Pré-viabilidade
Nechalacho (Thor Lake, Canadá)	Avalon Rare Metals Inc.	---	64,2	1,96	Pré-viabilidade
Córrego do Garimpo[(b)], Catalão I– GO Brasil	Ultrafértil / VALE	---	78,7	5% (t.c. 2)	Avaliação efetuada.
Lagoa Seca[(b)], Catalão I – GO Brasil	Ultrafértil / VALE	---	46	5,51 (t.c. 2)	Avaliação efetuada.
Área Zero[(b)] Araxá– MG (Brasil)	MbAC	---	1,3	10-15	Avaliação efetuada
Eco Ridge (Canadá)	Pele Mountain Resources			5,68 Milhões de toneladas (0.051% U_3O_8) + ? (OTR)	Estudo de viabilidade

Tabela 15 (cont.) – Projetos para produção de terras raras no mundo, sem a China

Unidade	Empresa	Reservas (64a)		OTR (%)	Situação
		OTR	Minério		
Bull Hill Southest (USA)	Rare Element Resouces Ltd	---	9,8	4,1 (t.c. 1,5)	Exploração avançada
Bokan Mountain (Alaska)	Ucore Rare Metals	---	---	0,2 – 11,49	Exploração avançada (ETRP/ETRL)
Kangakund Hill (Malawi)	Lynas Corporation Ltd	0,12	2,53	4,1 (t.c. 3,5)	Exploração avançada
Cummins Range (Austrália)	Navigator Resources Ltd.	0,07	4,17	1,72 (t.c. 1)	Exploração Avançada
Strange Lake (64agnés)	Quest Uranium Corporation	---	52	1,3 (0,66 Y_2O_3)	Exploração Avançada
Kutessay II (Kirguistão)	Stans Energy Corp.	0,06[a]	---	0,41	Exploração Avançada
Bear Lodge (USA)	Rare Elements Resource Ltd.	---	9,8	4,1 (+Au)	Exploração
Ampasindava (Madagascar)	Tantalus Rare Earth AG	---	15	3,06-31,09 (t.c. 1,52)	Exploração
B-Zone (Canadá) / TR+Y+Zr+Nb+Be	Quest Uranium Corp.	---	---	8,03-14,43	Exploração
Douglas River (Canadá/SK)	Great Western Minerals Group	---	---	0,02-8,75	Exploração
Benjamin River (NB-Canadá)	Great Western Minerals Group	---	---	0,22-1,49	Exploração
Eldor Project, (Canadá/Québec)	Commerce Resources Corp.	---	---	1,72	Exploração

Tabela 15 (cont.) – Projetos para produção de terras raras no mundo, sem a China

Unidade	Empresa	Reservas (65a)		OTR (%)	Situação
		OTR	Minério		
Deep Sands REE Project Utah (USA)	Great Western Minerals Group	---	---	0,14 – 0,18	Exploração
Browns Range (Austrália)	Northern Uranium	---	---	7,95	Exploração
Wicheda – Prince George	Bolero Resources Corp.	---	---	2,2 – 3,55	Exploração
Archie Lake (Canadá/BC)	Quantum Rare Earth Develoment Corp.	---	---	3,8 (ETR+Y)	Exploração
Lofdal (Namíbia)	Etruscan Resources Inc.	---	---	0,7 (ETR+Y)	Exploração
Yangibana (Austrália)	Artemis Resources	---	---	2,48	Exploração
Machinga (Malawi)	Globe Metals and Mining	---	---	2,64	Exploração
Pea Ridge (USA)	Wings Enterprise	---	---	12-13 (ETR+Y)	Dados históricos
Ytterby (Canadá/Québec)	Midland (Can.) JOGMEG (Japão)	---	---	---	Prospecto com grande potencial

t.c. – teor de corte; [a] Dados históricos; [b] Sem tecnologia de extração de terras raras.
Fonte: Extraído e adaptado de British Geological Survey (2010) e HATCH, G. (2011) Introducing The TMR Advanced Rare-Earth Projects

Capítulo II

TERRAS RARAS NO BRASIL: RESERVAS E CARACTERÍSTICAS QUÍMICO-MINERALÓGICAS DE SUAS OCORRÊNCIAS E DEPÓSITOS

4. ASPECTOS GERAIS SOBRE OCORRÊNCIAS DE TERRAS RARAS NO BRASIL

> *Every year, sales of these rare metals seem somewhat insignificant but without them, industries worth trillions of dollars would grind to a halt. /…/ Industry experts are predicting an annual shortage of 44,000 tons by 2015.*
> (Nicholas Curtis – Lynas Corporation, Executive Chairman, 19/11/2009)

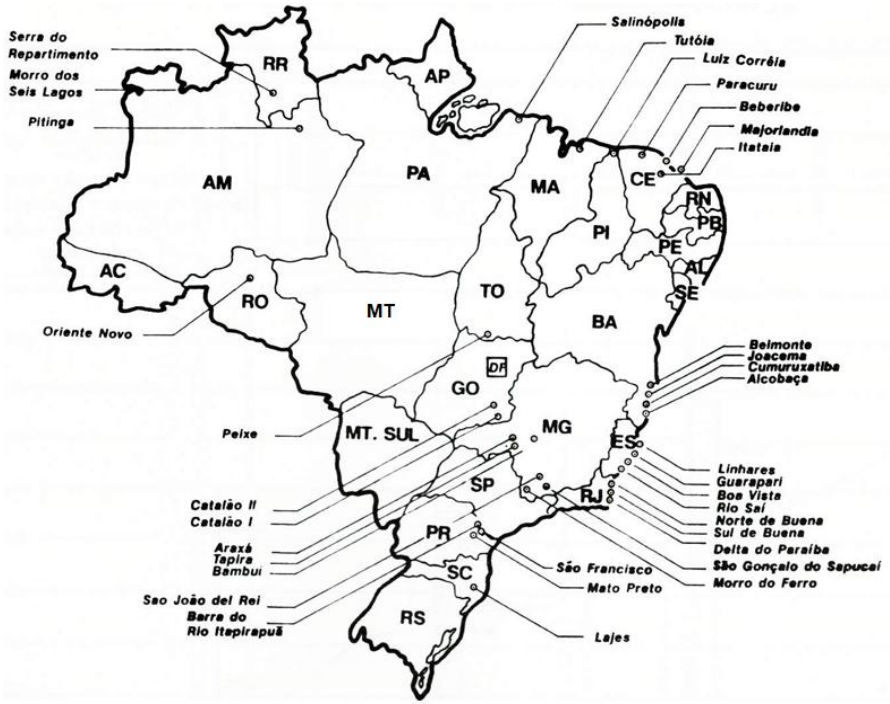
> *Les terres rares sont au 21ème siècle ce qu'était le pétrole au 20ème et le charbon au 19ème siècle: le moteur d'une nouvelle révolution industrielle.*
> (Stéphane Pambrun – Novethic, Beijing, 04/05/2010).

É reconhecido que o Brasil tem um grande potencial, o qual tem como base para essa avaliação a pluralidade de suas ocorrências, a multiplicidade dos seus ambientes geológicos e a sua dispersão geográfica.

No Brasil já há evidências bastante consistentes de que as terras raras formam vários depósitos em todo o território, estando mais comumente associadas a ambientes minerais, conforme abaixo:

- *Placers* litorais e de rios;
- Complexos alcalino-carbonatíticos - depósitos com grandes reservas e teores elevados, já bem definidos, em Catalão (GO) e Araxá (MG)
- Minérios de Ti (anatásio), em rochas carbonatíticas
- Minérios de Nb (pirocloro), em complexos carbonatíticos
- Minérios de Nb-Ta (niobotantalitas)
- Minérios de Zr (zircão)
- Minérios de Sn (cassiterita)
- Minérios de P (apatita).

A Figura 15 ilustra a existência de 11 tipos de depósitos e ocorrências de terras raras no Brasil, sendo que os mais importantes estão listados a seguir.



Fonte: LAPIDO-LOUREIRO, 1994.

Figura 15 – Localização de depósitos e ocorrências de terras raras no Brasil

1) Depósitos de Terras raras em Carbonatitos e/ ou Rochas Alcalinas

1.1. Catalão I (GO)

1.2. Araxá (MG)

1.3. Morro do Ferro – Planalto de Poços de Caldas

2) Escórias de Fe-Nb e de Fe-Nb-Ta: Araxá (MG), Catalão I e II (GO) e Pitinga (AM)

3) Placers Marinhos

3.1. Norte Fluminense (RJ)

3.2. Espírito Santo

3.3. Bahia

3.4. Maranhão

4) Placers Fluviais / Rio Sapucaí (MG)

5) Carbonatitos Magnesíferos

5.1. Catalão I (GO)

6) Solos Lateríticos e Regolitos Formados sobre Carbonatitos e Ultrabasitos

6.1. Associação P-TR

- Catalão I (GO)
- Araxá (MG)
- Angico dos Dias (BA)
- Outros carbonatitos

6.2. Associação Ti-TR

- Tapira (MG)
- Catalão I (GO)
- Maicuru (AM)

6.3. Associação Nb-TR

- Araxá (MG)
- Catalão I e II (GO)

6.4. Associação Fe-Th-TR

- Morro do Ferro / Poços de Caldas (MG)

7) Solos Elúvio-Aluvionares em Alcali-Granitos

7.1. Associação Sn-Nb/Ta–Zr-TR (AM – RO)

8) Pegmatitos

8.1. Região de São João del Rei (MG)

9) Rocha Fosfática e Produtos Industriais

9.1. Minério e Concentrado: Catalão (GO), Tapira (MG) e Araxá (MG)

9.2. Ácido Fosfórico e Fosfogesso: Uberaba (MG), Catalão (GO), Cubatão (SP)

10) Minério Fluorítico

10.1. Mato Preto (PR)

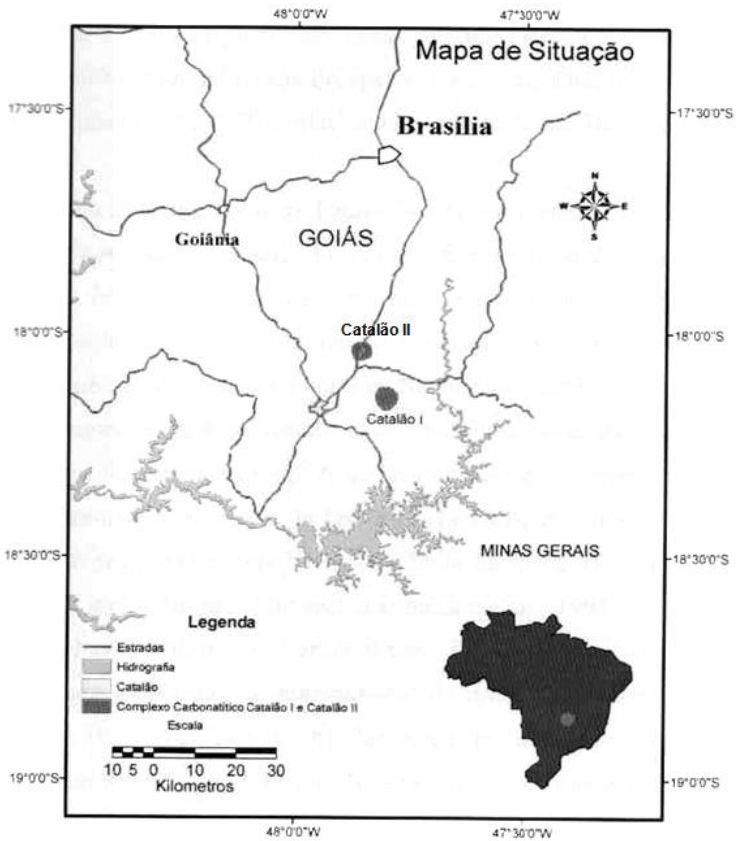
11) Bolsões e Vênulas Pegmatíticas (monazita e allanita)

5. INVENTÁRIO DOS RECURSOS E CARACTERÍSTICAS QUÍMICO-MINERALÓGICA DAS OCORRÊNCIAS, DEPÓSITOS E MINAS DE TERRAS RARAS NO BRASIL

5.1. Depósito de Catalão I (GO)

O complexo carbonatítico de Catalão I situa-se no extremo SE do estado de Goiás, às margens da rodovia BR 050, a 280 km de Brasília e 700 de São Paulo, conforme mostra a Figura 16.

Trabalhos precursores de detalhe e de excelente qualidade foram desenvolvidos na década de 70, do século passado, pela empresa estadual METAGO – Metais de Goiás S/A (CARVALHO, 1974a e 1974b).



Fonte: RIBEIRO, 2008

Figura 16 – Mapa de localização do complexo carbonatítico de Catalão I e II

Por outro lado, Catalão II é um complexo carbonatítico subcircular, com 6 e 5,5 km de eixo NW e NE, respectivamente.

Ambos distam cerca de 15 km da cidade de Catalão.

O estudo do complexo carbonatítico de Catalão I deu lugar, além dos trabalhos efetuados pela METAGO, a teses de livre docência (VALLARELLI, 1971 e TOLEDO, 1999), de doutorado (NEUMANN, 1999 e RIBEIRO, 2008), assim como a vários outros

trabalhos, dentre os quais destacamos o de Maria Cristina Toledo et al. (TOLEDO et al., 2004).

Em Catalão I localizam-se jazidas de fosfato (com duas minas em produção), de nióbio (uma mina em produção) e depósitos de terras raras, de titânio e de vermiculita (Figura 17).

Fonte: RIBEIRO, 2008

Figura 17 – Localização dos depósitos de terras raras, fosfato, nióbio, vermiculita e titânio em Catalão I – GO

As reservas de elementos de terras raras leves de Catalão I são, provavelmente, as maiores, as que apresentam os teores mais elevados e podem ser considerados os depósitos melhor estudados do Brasil, até o momento atual.

Nessa província, constituem não só rico minério específico de monazita, mas ocorrem também associadas aos minérios de fosfato, de titânio (anatásio) e de nióbio (pirocloro), sendo que nesse caso,

apresentam maior concentração nas escórias que resultam da produção da liga ferro-nióbio.

Em Catalão I foram definidos dois depósitos específicos de terras raras: Córrego do Garimpo e Lagoa Seca Norte (Figura 18).

Fonte: RIBEIRO, 2008

Figura 18 – Localização dos depósitos de terras raras do Córrego do Garimpo e de Lagoa Seca em Catalão I

Nesses dois depósitos os recursos foram definidos com base em trabalhos detalhados de pesquisa de superfície, assim como por meio de numerosos furos de sondagem. Os recursos totais são da

ordem de 79 milhões de toneladas, considerando-se um teor de corte de 5%, em relação aos elementos de terras raras (RIBEIRO, 2008). O minério, porém, é complexo e, até o momento, não há notícias de que se tenha viabilizado uma tecnologia para a extração econômica das terras raras.

Nessa região foram caracterizados três tipos litológicos de mineralização de terras raras, os quais estão associados a processos carbo-hidrotermais sobre rochas, a saber; da série bebedourítica, da série foscorítica e da série carbonatítica.

5.2. Depósito do Córrego do Garimpo

O depósito do Córrego do Garimpo contém, muito provavelmente, uma das melhores reservas e teores consistentes de terras raras do Brasil, conforme mostra a Tabela 16.

Tabela 16 – Reservas medidas e teores médios de terras raras, na área do Córrego do Garimpo, Catalão I, em função do teor de corte

Teor de corte (%TR_2O_3)	Teor Médio (TR_2O_3)	Reserva Medida (10^3t)
2	5,56	60.856
5	7,56	30.478
8	10,47	9.218
10	12,81	3.841
12	14,06	2.293

TR_2O_3: óxidos totais de terras raras
Fonte: NEUMANN, 1999

A Tabela 16 apresenta reservas medidas no Córrego do Garimpo (Ultrafértil, dez/1998, informação colhida pelo autor). /.../ que são consideradas pelo geólogo responsável, à época, Carlos Cordeiro Ribeiro da Ultrafértil, como extremamente conservadoras.

Com base nos valores mostrados acima e, considerando que houvesse um consumo nacional ao redor de 3.000 toneladas anuais dos óxidos totais de terras raras contidos no minério, foi projetado

que em decorrência de uma eventual lavra com teor de corte de 5% (ou seja, 30 milhões de toneladas, com teor médio de 7,56% de óxidos totais de terras raras), a produção resultante dessa lavra seria suficiente para abastecer durante 768 anos o consumo nacional considerado naquela época (NEUMANN, 1999).

O depósito do Córrego do Garimpo é constituído por três tipos de minérios: carbonatítico (ocorre a profundidades da ordem dos 100m), saprolítico e silicoso ("silcretes" ou silicitos) (Tabela 17).

Tabela 17 – Tipos de minério do depósito do Córrego do Garimpo

Minérios	Caracteristcas mineralógicas e teor de corte	ETR (%)	Fe_2O_3 (%)	Reservas [a] (t)
Carbonatítico	Magnesita, dolomita, monazita[b], estrocianita, pirita, etc	6,64	3,56	15.903.072
Saprolítico ou laterítico	Quartzo, apatita, magnetita, ilmenita, hematita, goetita, monazita, etc	8,39	23,73	54.506.757
Silicoso©	Quartzo, monazita, hematita, barita, cerianita, apatita, etc	10,5		8.254.383
TOTAL	Teor de corte = 5% TR_2O_3	8,67		78.664.212

(a) Medidas + indicadas + inferidas.
(b) Predominantemente criptocristalina.
© Resulta do intemperismo do minério carbonatítico.
Fonte: NEUMANN, 1999

Ainda, nesse mesmo depósito, pode ser considerado um quarto tipo, que RIBEIRO (2008) designou por "minério nelsonítico". Resulta da ação de fluidos carbonatíticos sobre rochas da série foscorítica, o que dá origem a camadas de monazitito e veios de monazita cortando o nelsonito (RIBEIRO, 2008).

PECORA, citado por WYLLIE et al. (1989), com a finalidade de associar os carbonatitos à formação de depósitos de terras raras, dividiu-os em dois grupos: aqueles ricos de apatita-magnetita – "nelsonitos" – e aqueles ricos em variedades minerais de terras raras – "carbonatitos com terras raras".

Dois aspectos da formação de depósitos de elementos de terras raras em complexos carbonatíticos (carbonatitos de elementos de terras raras) merecem ser destacados: o da cristalização fracionada de magmas precoces (anteriores) pobres em P_2O_5 (WYLLIE et al. (1996), assim como o dos processos hidrotermais, em que soluções aquosas aquecidas interagem com rochas ou magmas, solubilizando os elementos de terras raras, normalmente associados à apatita e à fluorita (GIRÉ, 1996).

Ainda, RIBEIRO, baseado no estudo de muitas centenas de amostras de superfície, de furos de sonda, assim como de frentes de lavra e no seu conhecimento profundo das áreas, apresentou, na sua tese de doutoramento na UnB, o estudo detalhado dos depósitos de terras raras de Catalão I (RIBEIRO, 2008).

Com base no seu trabalho se pode dizer que no minério carbonatítico a monazita é predominantemente criptocristalina. Ocorre em bolsões centimétricos amebóides, esverdeados claros, finamente granulados e descontínuos, impregnando irregularmente a rocha e, quando aglutinados, podem constituir intervalos com mais de um metro de espessura.

O minério saprolítico ou laterítico apresenta um teor médio de 8,39% de elementos de terras raras e alto de Fe_2O_3 (23,73%), sendo composto de quartzo, fluorapatita, magnetita, ilmenita, hematita, goethita, monazita, gorceixita, etc. Os níveis de intemperismo revelaram os seguintes teores de elementos de terras raras nos diferentes minérios: saprolito alterítico, 7,64%; saprolito isoalterítico, 9,18%; rocha alterada, 8,37%.

AQUINO e ALBUQUERQUE (1996) apresentaram a seguinte composição química e mineralógica do minério laterítico de Catalão I, a qual se mostra nas Tabelas 18 e 19.

Tabela 18 – Análise química (% em massa) do minério laterítico de Catalão I

Composição Mineralógica	Composição (%)
SiO_2	12,40
TiO_2	9,60
Al_2O_3	3,61
Fe_2O_3 (total)	26,50
CaO	10,20
P_2O_5	10,40
$BaSO_4$	2,80
ThO_2	<0,01
U_3O_8	<0,01
Y_2O_3	0,04
Óxidos totais de terras raras * (total)	9,90

Óxidos de Terras raras	Composição (%)
La_2O_3	2,40
CeO_2	4,80
Nd_2O_3	1,80
Pr_6O_{11}	0,53
Sm_2O_3	0,13
Eu_2O_3	0,03
Gd_2O_3	0,05
Tb_4O_7	0,09
Dy_2O_3	0,03
La_2O_3	<0,012
La_2O_3	<0,015

*óxidos totais de terras raras

Fonte: AQUINO & ALBUQUERQUE, 1996

Tabela 19 – Composição mineralógica (% em massa) de frações, classificadas por tamanho, minério laterítico de Catalão I

Mineral	+34,8μm	-34,8+25,8 μm	-25,8+17,7 μm
Monazita	11,0	13,5	16,0
Apatita	7,5	5,5	4,0
Quartzo	9,5	9,0	6,0
Limonita+Goethita	9,5	24,0	25,0
Micas	5,5	7,0	3,0
Opacos	53,0	38,0	43,0
Outros[(a)]	4,0	3,0	3,0

(a) Gorceixita, goyazita, zircão, anatásio e anfibólios alterados
Fonte: AQUINO & ALBUQUERQUE, 1996

O minério silicoso ('silcrete' ou silicito) é o que apresenta teores médios mais elevados de elementos de terras raras: 10,5%. Corresponde ao intemperismo do minério carbonatítico já referido. É composto de quartzo, monazita, hematita e goethita, além de barita, cerianita, apatita e hollandita subordinadas.

5.3. Terras raras no Depósito da Lagoa Seca Norte

Segundo RIBEIRO, a rocha dominante na área de Lagoa Seca Norte são os foscoritos que se distribuem em três grandes unidades:

- C1 – foscoritos sem monazita, é a rocha encaixante;
- C2a – nelsonitos com ilmenita e alguma monazita;
- C2b – nelsonitos e carbonatitos com grande quantidade de monazita e ilmenita (RIBEIRO, 2008).

5.4. Estimativa dos Recursos de Terras raras em Catalão

Na década de 80, a companhia Metais de Goiás – METAGO – estimou os recursos medidos + indicados + inferidos de CeO2 + La2O3, em 78 milhões de toneladas para um teor de corte de 2%, conforme mostra a Tabela 20.

Tabela 20 – Estimativa dos recursos de terras raras em Catalão definidos pela METAGO, na década de 80

Ce_2O + La_2O_3	Medida	Indicada	Inferida	Med. + Ind.	Med. + Ind. + Inf
>2%	22.504.860	45.301.356	10.858.000	67.806.216	78.664.216
>4%	4.624.529	10.511.719	---	15.136.28	15.136.248
>6%	1.079.890	6.967.080	5.019.600	8.046.970	13.066.570
>8%	676.400	2.989.232	5.019.600	3.665.732	8.685.352
>10%	534.000	2.634.400	5.019.600	3.168.400	8.188.000
>12%	391.600	2.064.800	---	2.456.400	2.456.400

Fonte: LAPIDO LOUREIRO, 1994

Na segunda fase de uma pesquisa realizada pela Ultrafértil, na década de 90, as estimativas dos recursos para elementos de terras raras passaram a ser de 119 milhões de toneladas, para um mesmo teor de corte de 2%, sendo 78 milhões de toneladas no depósito do Córrego do Garimpo e 41 milhões de toneladas, referentes ao depósito de Lagoa Seca Norte, conforme mostra a Tabela 21.

Tabela 21 – Recursos de elementos de terras raras definidos na década de 90, incluindo Córrego do Garimpo e Lagoa Seca Norte

Categoria	Teor de corte 2% de terras raras*		Teor de corte 5% de terras raras	
Recursos	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
Med.+Ind.	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**

*elementos de terras raras
Fonte: LAPIDO-LOUREIRO, 1994

Na Tabela 22 apresenta-se uma estimativa dos recursos de elementos de terras raras por tipo de minério, considerando-se um teor de corte de 2% de elementos de terras raras.

Tabela 22 – Recursos de elementos de terras raras, por tipo de minério, para um teor de corte de 2% para os elementos de terras raras

Depósito do Córrego do Garimpo	
Minério Silicoso	8.254.383
Minério Saprolítico	54.506.757
Minério Carbonatítico	15.903.072
Depósito da Lagoa Seca Norte	
Minério Nelsonítico	41.058.784
TOTAL	**119.722.996**

Fonte: LAPIDO-LOUREIRO, 1994.

5.5. Terras raras Associadas ao Minério Fosfático

Um dos principais carreadores de terras raras nos minérios fosfáticos é a apatita, com predomínio de elementos de terras raras leves, em especial, nos depósitos associados à atividade carbonatítica, enquanto há maior equilíbrio entre elementos de terras raras leves e

elementos de terras raras pesadas nos depósitos de origem sedimentar.

5.6. Terras raras Associadas ao Minério da Empresa Ultrafértil

A seguir, apresenta-se uma análise típica correspondente aos dez maiores óxidos do depósito de apatita da Ultrafértil, em Catalão I, nos quais se incluem os de terras raras (Tabela 23).

Tabela 23 – Teores dos dez elementos mais abundantes no depósito de apatita da Ultrafértil em Catalão I

Óxidos	(t)	Média (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)	Variância (%)	Desvio Padrão(%)
MgO	1133	4,33	0,18	28,78	14,67	3,83
CaO	1159	14,71	6,08	36,13	20,14	4,49
Fe_2O_3	1147	26,41	7,47	71,22	82,33	9,07
Al_2O_3	1136	2,87	0,10	27,05	6,45	3,54
SiO_2	1056	22,21	2,78	53,49	68,54	8,28
P_2O_5 Tot.	1159	11,00	4,32	24,43	7,50	2,74
TiO_2	842	4,81	0,10	17,90	5,09	2,26
Nb_2O_5	1034	0,30	0,01	1,90	0,00	0,17
BaO	1103	2,26	0,07	15,30	5,34	2,31
TR_2O_3*	743	2,58	0,00	17,62	5,32	2,31
P_2O_5/TR_2O_3	1,159	1,53	0,49	10,97	0,6	0,82

*óxidos totais de terras-raras
Fonte: RIBEIRO, 2008

Ressalte-se que as análises de 743 amostras revelaram teores elevados de óxidos totais de terras raras, de até 17,62%, apresentando um teor médio de 2,58%.

Por outro lado, uma amostragem escalonada feita entre janeiro de 1977 e janeiro de 1979 revelou para o minério da jazida de fosfato das extintas empresas METAGO e Goiasfértil, a presença de óxido de urânio (U_3O_8), correspondendo a 168 ppm (média de 50 amostras), nas frentes de lavra, enquanto no concentrado final 80 ppm (média de 16 amostras).

5.7. Terras raras Associadas ao Minério Fosfático e Produtos da Empresa Copebrás

A Copebrás (Companhia Petroquímica Brasileira) iniciou suas atividades no Brasil, instalando a primeira unidade de produção de negro de fumo, em 1955. A partir de então, diversificou sua atuação em outras áreas, com foco, principalmente, na produção de fosfatados.

Em 1967 deu início à produção de ácido fosfórico e de fertilizantes fosfatados de média concentração.

Em 1983, Copebrás e Fosfago, empresa detentora de uma mina de rocha fosfática em Catalão – GO com capacidade, à época, de produção de 500.000 toneladas/ano de rocha fosfática concentrada, integram-se em uma única empresa - Copebrás.

Em 1985 a Copebrás passou a fazer parte do Grupo Anglo American e, nesse mesmo ano, expandiu a produção de rocha fosfática.

Entre 2001-2003, com o Projeto Goiás, ampliou o complexo produtivo em Catalão, por meio das suas unidades de ácido sulfúrico e fosfórico, assim como das unidades de acidulação, granulação e de produção de fosfato bicálcico.

Essa produção se transforma na comercialização de: fertilizantes de alta concentração (140 mil toneladas de P_2O_5) e de baixa concentração (140 mil toneladas de P_2O_5), fosfato bicálcico (51 mil toneladas de P_2O_5) e ácido fosfórico (93 mil toneladas de P_2O_5).

É sabido que todos esses produtos contêm teores residuais de terras raras, os quais, entretanto, não têm sido divulgados.

5.8. Terras raras Associadas ao Minério de Ti

O depósito de titânio de Catalão I (Figura 19) foi estudado, na década de 70, em áreas diferentes, por duas empresas: Mineração Bálsamo/CBMM e METAGO.

Fonte: Google Earth (imagem de 16/08/2003)

Figura 19 - Localização do projeto Araxá a NE da mina de fosfato (VALE) e a N da mina de nióbio (CBMM)

5.9. Terras raras na Área da Extinta Mineração Bálsamo Ltda

A Mineração Bálsamo realizou trabalhos de pesquisa numa área do extremo sudeste do domo de Catalão, no local designado por Lagoa Seca.

Foi definido um corpo mineralizado de anatásio com 28 milhões de toneladas e teor de 26% de TiO_2 recoberto, em parte, por um depósito de fosfato com 25 milhões de toneladas de minério e teor médio de 11% de P_2O_5. Ambos os depósitos são de origem residual e desenvolveram-se no manto de intemperismo (SOUZA, 1982).

Os trabalhos de avaliação apoiaram-se em poços de pesquisa (168) furos de trado (9), furos de sonda verticais (53) com profundidades entre 29,8 e 120,8 metros (média, 73,9m), bem como em estudos mineralógicos, petrográficos e análises químicas (mais de 5.500 para cada elemento), especialmente, para CeO_2 – La_2O_3 – Y_2O_3 – Nb_2O_5 – TiO_2 – P_2O_5.

O estudo mineralógico revelou os seguintes minerais no minério de Ti: magnetita (26%), anatásio (19,5%), vermiculita (13%), hematita+goethita+limonita (13%), quartzo (10%), ilmenita (9%), gorceixita/ goyasita+perovsquita+vermiculita (6%).

Os elementos de terras raras estariam associados, essencialmente, à apatita e a fosfatos secundários de terras raras. Os minérios apresentam um teor médio de 2 a 3% de terras raras, o que representaria 500.000 t de terras raras contidas no depósito de Ti, na área da Mineração Bálsamo. Deve ser destacado que as terras raras devem ser consideradas como subproduto, tendo em vista as expressivas reservas de minerais de Ti e de P_2O_5.

5.10. Terras raras na Área da Extinta METAGO

A área mineralizada está situada a leste da depressão central, formando um corpo alongado N-S.

As reservas medidas+indicadas+inferidas, com teores acima de 25% de TiO2 são da ordem de 18 milhões de toneladas.

Entretanto, há referências de que esses valores são certamente muito superiores, dado que se basearam em furos de sonda até 50m. Está bem reconhecido, entretanto, que naquela área a mineralização tem continuidade até profundidades que ultrapassam 100m (CARVALHO, 1974a, 1974b).

À época de preparação desse texto não havia dados oficiais disponíveis quanto aos teores de terras raras no minério de Ti nessa área. É possível, todavia, presumir que por se tratar de um mesmo depósito, as características químico-mineralógicas devem ser análogas. Isto é, o minério de Ti deve conter de 2 a 3% de terras raras, significando que podem existir 360.000 t de terras raras contidas no minério de Ti, até ao nível de 50m.

5.11. Terras raras Associadas ao Minério de Nb e na Escória de Produção da Liga de Fe-Nb

Desconhecia-se, até a elaboração desse texto, a existência de estudos mais aprofundados sobre as ocorrências de terras raras associadas ao minério de Nb, assim como sobre o que ocorre com o prolongamento dos silexitos de Lagoa Seca para a área da Mineração Catalão de Goiás, onde são reconhecidos em vários locais.

BAEKER (1983) refere que, no solo residual laterítico ocorrem numerosos fosfatos secundários de terras raras. VALARELLI (1971) cita, entre outros minerais a ocorrência de: florencita, goyazita, rabdofanita e monazita.

Em agosto de 2009, a empresa Anglo American, com duas minas em Catalão I, Mineração Catalão de Goiás (nióbio) e Copebrás (fosfatos), iniciou o Projeto Tailings, o qual visa recuperar Nb do rejeito gerado durante a etapa de flotação de fosfato, da sua mina de Catalão I. A partir deste rejeito é produzido um concentrado de Nb com 48% de Nb_2O_5.

5.12. Terras raras em Catalão I

Resumem-se na Tabela 24 os recursos totais de terras raras em Catalão I.

Tabela 24 – Recursos totais de elementos de terras raras em Catalão I

Tipo de ocorrência	Reservas (t)
Depósito do Córrego do Garimpo (teor de corte 2%)	78.664.212
Depósito de Lagoa Seca Norte (teores: de corte, 2% - médio, 5,51%)	46.063.962
Área da ex-Mineração Bálsamo: TR (2 a 3% CeO_2 + La_2O_3 + Y_2O_3) associadas a minério de Ti	500.000
Área da ex-Metago: TR (2 a 3%) associadas a minério de Ti	360.000
TR associadas ao minério de Nb de Catalão I e à recuperação do pirocloro no Projeto "Tailing"	NI
TR associadas à escória de produção da liga Fe-Nb, incluindo o pirocloro do Projeto "Tailing"	NI

NI: Não informado
Fonte: LAPIDO-LOUREIRO, 1994

5.13. Terras raras em Catalão II

Catalão II é um complexo carbonatítico circular, com 4,3 km de diâmetro situado poucos quilômetros a norte de Catalão I.

O complexo alcalino-carbonatítico de Catalão II mostra-se fortemente intemperizado. Os únicos afloramentos observados correspondem a uma rocha silicosa semelhante ao silexito de Catalão I.

As principais litologias reveladas em trabalhos de subsuperfície são: silexitos, glimeritos, carbonatitos predominantemente calcíticos (sövitos) e foscoritos.

5.14. Terras raras Associadas ao Minério de Nb

A mineração Diadema/CBMM desenvolveu, há cerca de 30 anos, trabalho amplo de pesquisa, consistindo de mapeamentos topográfico, geológico e geofísico; amostragem de solo superficial (1.172 amostras); abertura de uma centena de poços rasos de pesquisa; abertura de 20 poços profundos; duas centenas e meia de furos de trado e de 28 furos de sonda, tendo como objetivo definir as ocorrências de Nb (pirocloro) na sua área (LAPIDO LOUREIRO, 1994).

Com as numerosas amostras coletadas foram compostas duas amostras médias: uma superficial (S) e outra profunda (P). A primeira revelou um teor médio de 2,19% de CeO_2 + La_2O_3, enquanto a segunda, a de profundidade, mostrou um teor médio de 1,76%. A partir desses dados foi definida a existência de 900.000 toneladas de minério de nióbio que conteriam 18.000 toneladas de óxidos totais de terras raras (VALARELLI, 1975).

Os direitos minerários pertencem, atualmente, à Mineração Catalão de Goiás S/A (Anglo American), que extrai o minério e o mistura com o de Catalão I, onde são processados para a produção da liga de Fe-Nb.

5.15. Terras raras em Araxá

O complexo carbonatítico de Araxá situa-se a 6 km a sul da cidade de Araxá, município do mesmo nome, Estado de Minas Gerais.

Essa região é reconhecida pelo enorme potencial mineral para nióbio, fosfato e terras raras. As fontes de terras raras estão localizadas em áreas já bem conhecidas, as quais tem condições de acesso privilegiado, ocorrendo entre duas operações mineiras de grande porte: VALE e CBMM.

A intrusão do complexo originou, por arqueamento dos sedimentos do Grupo Araxá que o envolvem, sendo uma estrutura dômica, muito erodida, da qual resta um anel de quartzitos, subcircular, com 6 km de diâmetro, que protegeu da erosão os produtos resultantes do intemperismo das rochas do complexo.

As terras raras em Araxá ocorrem de três maneiras distintas, as quais serão detalhadas abaixo:

- constituindo um depósito de enriquecimento residual formado por material terroso – "Área Zero";

- ligadas ao minério de nióbio;

- associadas ao minério fosfático.

No primeiro caso concentram-se, principalmente, numa camada de material ferruginoso que muitas vezes aparece logo abaixo do solo superficial.

5.16. Depósito da "Área Zero"

O depósito de terras raras designado por "Área Zero" situa-se na parte norte do complexo. Tem forma elipsoidal, com o seu eixo maior orientado E-W e ocupa uma área de 900 x 300m. Um dos estudos da geologia e do potencial mineiro desta área apoiou-se em mapeamento geológico, levantamento radiométrico, abertura de uma centena de poços até 27m de profundidade, três furos de sonda e quatro galerias de flanco de encosta. Essas ações permitiram delimitar

o depósito e cubar uma reserva superior a 700.000 toneladas de minério, com um teor de 13,5% de óxidos totais de terras raras (CASTRO & SOUZA, 1970).

O depósito formou-se por enriquecimento supergênico resultante do intemperismo de rochas carbonatíticas subjacentes, ricas em terras raras. A sua concentração seria consequência de uma concentração residual. O corpo enriquecido em terras raras caracteriza-se pela horizontalidade dos níveis mineralizados, com faixas mais ricas em terras raras e urânio intercaladas entre camadas mais pobres nestes elementos. /.../ A potência da camada mineralizada varia de 3 a 18m e é, em média de 10m./.../ A zona principal de enriquecimento situa-se entre a superfície e o nível freático (ob. cit.).

A partir de amostras de canal de um metro, coletadas sistematicamente em uma centena de poços abertos na Área Zero, numa malha quadrada de 30m, foi constituída uma amostra média resultante da homogeneização de 500 amostras, que revelou a seguinte composição mineralógica: goyazita (49%), monazita (18%), quartzo (15%), goethita (9%), rutilo (5%), pirocloro (2,5%), magnetita (0,5%), zircão (0,5%), barita (0,5%) (MENDES, MURTA & CASTRO, 1968).

Ainda, como parte desse estudo, foram constituídas outras duas amostras, resultantes, também, da homogeneização de amostras de superfície (273-S) e dos níveis inferiores (273-I), cujas composições químicas aparecem na Tabela 25.

Tabela 25 – Composição química (%) do minério, da goyazita e da monazita da "Área Zero", Araxá

	AB	273-S	273-I	Goyazita	Monazita
SiO_2	17,40	20,00	19,60	1,20	5,58
Al_2O_3	14,70	9,00	5,80	24,02	5,40
Fe_2O_3	11,60	40,00	36,50	3,51	12,01
FeO	---	0,23	0,31	---	---
P_2O_5	9,93	5,40	8,90	17,80	13,25
CaO	0,91	0,67	8,50	1,44	2,43
TiO_2	6,94	3,40	3,30	3,60	2,74
BaO	5,58	2,30	2,20	11,32	1,20
Na_2O	---	0,02	0,04	---	---
K_2O	---	0,03	0,03	---	---
MnO	0,60	2,23	1,29	---	0,30
PbO	0,65	0,24	(Pb) 0,23	0,44	1,80
Nb_2O_5	2,21	1,10	0,87	1,11	1,56
SrO	2,21	0,66	0,58	5,76	0,71
MgO	---	0,10	0,19	---	---
ZrO_2	0,47	0,23	0,23	0,27	0,08
V_2O_5	---	0,07	0,06	---	---
LiO_2	---	0,01	0,01	---	---
SO_3	0,41	---	---	1,41	0,43
S	---	0,15	0,16	---	---
F	---	0,10	0,39	---	---
Cl	---	0,01	0,01	---	---
CO_2	---	0,11	0,33	---	---
Ta_2O_3	---	0,1	0,1	---	---
Ce_2O_3	6,28	3,20	2,70	3,24	21,84
La_2O_3	3,80	2,00	1,60	2,44	12,15
Nd_2O_3	1,58	(Nd) 0,66	(Nd) 0,62	0,85	5,64
Sm_2O_3	0,19	0,23	(Sm) 0,16	0,08	0,59
Pr_6O_{11}	0,49	(Pr) 0,48	(Pr) 0,38	0,23	1,98
Y_2O_3	0,19	0,09	0,06	0,10	0,40
U_3O_8	0,05	0,01	0,01	0,09	0,03
ThO_2	0,60	---	---	0,10	0,35
P.F.	9,87	8,63	7,04	15,30	6,30

Fontes: MENDES et al., 1968; SILVA, 1978

Resultados de outros estudos apontam que as reservas acumuladas de terras raras contidas no minério da "Área Zero" de Araxá somam 1.296.000 toneladas de óxidos totais de terras raras (Tabela 26), cuja distribuição de teores está mostrada na Tabela 27 (GROSSI SAD & TORRES, 1976).

Tabela 26 - Reservas acumuladas em termos de de óxidos totais de terras raras, 'Área Zero', Araxá (MG)

Intervalo de teores (%)	Teor mínimo ponderado (%)	Reservas de óxidos totais de terras raras (t)
14-15	14,17	102.000
13-15	13,54	222.000
12-15	12,75	456.000
11-15	12,06	750.000
10-15	11,19	1.296.000

Fonte: GROSSI SAD & TORRES, 1976

Tabela 27 – Reservas em termos de óxidos de terras raras contidas no minério da 'Área Zero', Araxá (MG)

Teores de óxidos totais de terras raras (%)	Reservas (t)
10-11	546.000
11-12	294.000
12-13	234.000
13-14	120.000
14-15	84.000
15-16	18.000

Fonte: GROSSI SAD & TORRES, 1976

Estudos realizados, a partir de dados históricos, pela empresa MBaC, os quais foram divulgados durante o I Seminário Brasileiro de Terras raras (SILVA & BRAGA, 2011), mostraram que é a área central do depósito, a conter os maiores teores de terras raras. Esta área é coincidente com aquela designada por Área Zero, sendo que os dados históricos indicam um potencial de 2 a 4 milhões de toneladas, com 8-10% em teores de óxidos totais de terras raras. Consta, ainda, haver 112 milhões de toneladas com 10,2% P_2O_5 e 70 milhões de

toneladas com 0,75% Nb_2O_5. O principal mineral de terras raras é a monazita (Tabela 28), que está distribuído numa faixa de granulometria entre 1,65+0,037mm.

Tabela 28 - Composição (%) mineralógica do minério de terras raras de 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	0
Outros	0

Fonte: SILVA & BRAGA, 2011.

A MBaC realizou recentemente reanálises em novas amostras disponíveis que mostraram:

- a Área Zero tem recursos inferidos de 2,7 milhões de toneladas com 8,4% óxidos totais de terras raras e 1,4% Nb_2O_5;
- os recursos totais inferidos alcançaram 8 milhões de toneladas com 5,9% em termos de óxidos totais de terras raras;
- adicionalmente há um potencial geológico a ser determinado, que contém entre 28-34 milhões de toneladas, com teores entre 4-6%, em termos de óxidos totais de terras raras.

Recentemente, esse mesmo relatório da MBaC informou, a partir dos resultados dos testes metalúrgicos, ainda em andamento, que:

- minérios de nióbio e fosfato podem ser processados utilizando tecnologias de domínio público; e

- o minério de terras raras é passível de ser lixiviado 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 iônicas (Relatório MBaC, 2011).

A Tabela 29 mostra uma análise típica da distribuição de óxidos totais de terras raras, no depósito da MBaC.

Tabela 29 – Composição em termos de óxidos totais de terras raras (OTR) e teor de Nb_2O_5 no minério da Área Zero

Óxidos totais de terras raras + Y	Distribuição em massa (para 100% de óxidos totais de terras raras)
La_2O_3	29,46
CeO_2	48,64
Pr_6O_{11} - Nd_2O_3	18,06
Sm_2O_3	1,59
Eu_2O_3	0,33
Gd_2O_3	0,64
Dy_2O_3	0,30
Yb_2O_3	0,04
Y_2O_3	0,94
	100,00
Nb_2O_5	1,83%

Fonte: MBaC, 2011

5.17. Terras raras no Morro do Ferro – Complexo Alcalino de Poços de Caldas (MG)

O Morro do Ferro situa-se no complexo alcalino de Poços de Caldas, 15 km ao sul da cidade do mesmo nome, aproximadamente, no centro da chaminé alcalina. (FRAENKEL et al., 1985 ; LAPIDO-LOUREIRO & SANTOS, 1988).

Pelas suas dimensões (880 km^2) e variedades petrográfico-mineralógicas, o complexo alcalino de Poços de Caldas, gerado por uma atividade magmática policíclica, é um dos mais notáveis e melhor estudados do mundo. Há numerosos e completos trabalhos, incluindo algumas teses de doutoramento, entre as quais duas defendidas no Instituto de Geociências da USP e uma sobre o Morro do Ferro,

apresentada na Universidade de Zürich, Suiça, na qual se trata da presença de carbonatitos, em profundidade.

O Morro do Ferro é constituído por uma rede (stockwork) de magnetita cortando rochas alcalinas: tiguaítos (predominantes em profundidade), fonólitos e foiaítos.

O seu topo apresenta a cota mais alta do Planalto: 1.540 m. O stockwork de magnetita comporta-se como um 'esqueleto' que sustenta e preserva da erosão o Morro do Ferro.

O Morro do Ferro apresenta a maior radioatividade natural conhecida, a qual é devida principalmente ao tório. Essa particularidade deu origem a um projeto internacional, coordenado pelo Instituto de Biofísica da UFRJ. A equipe internacional estudou durante vários anos os efeitos da radioatividade no bioma natural, na agropecuária local e em espécies aí colocadas para completar o estudo. Estudou-se, por exemplo, o efeito que teria na produção leiteira e de abate, a partir da avaliação feita em gado confinado na área. Os resultados foram apresentados em mais de uma dezena de relatórios.

Quanto às terras raras, a rocha hospedeira é um solo siltítico-argiloso, por vezes muito ferruginoso, com densa rede de vênulas de magnetita e limonita.

Este material terroso só foi ultrapassado em furo profundo (a 425 m), executado pela ex-Nuclebras, quando foi encontrado tinguaíto muito alterado. A rocha encaixante é a "rocha potássica", designação local do tinguaíto hidrotermalizado (UTSUMI et al., 1971) totalmente sericitizado.

Além de magnetita, pirita, rutilo/anatásio, foram identificados em amostras de superfície, por microscopia eletrônica de varredura e microssonda; um silicato de terras raras ("monazita com sílica"), zircão com terras raras, coffinita, chlopinita e pirocloro. O silicato de terras raras é o mineral mais abundante, estando disseminado uniformemente nas amostras estudadas (FUJIMORI, 1982).

O mesmo autor enumera como minerais toríferos do Morro do Ferro: allanita, bastnaesita, cerianita, torogumita, cheralita, fersunita e silicato de terras raras (FUJIMORI, 1984).

Em amostras de furos rasos de sonda foram identificados outros minerais: thorbastnaesita, cheralita zirconífera com alto teor de Th e Zr, cheralita com alto teor de Ce e Eu, thorogumita ou torita, zircão torífero, microlita (fergusonita) e óxidos de terras raras amplamente adsorvidos na matriz argilosa (FUJIMORI, 1984).

Segundo esse mesmo autor, o elemento Th foi trazido juntamente com as terras raras pela solução mineralizante de origem magmática, na fase final, durante o processo de seritização que deu origem à "Rocha Potássica".

Os minerais primários, silicatos de terras raras toríferos e/ou allanita torífera, podem ter sido decompostos pela ação dos ácidos resultantes da oxidação da fluorita e pirita, e originaram o enriquecimento em terras raras e Th. O mineral secundário predominante é bastnaesita torífera (FUJIMORI, 1984).

Sintetizando as conclusões resultantes de trabalhos anteriores, BARRETO & FUJIMORI (1986) citam:

- como mineral primário rico de Th e de elemento de terras raras, um silicato de fórmula (TR,Th,U,Ca)SiO4 que terá dado origem a minerais secundários [cheralita, monazita, microlita (ou pirocloro), zircão e allanita];
- como mineral secundário ocorre thorobastnaesita Th(TR,Ca)(CO3)2F2.3H2O, que ocorre provavelmente como o mineral secundário mais abundante, conforme, ainda, BARRETO & FUJIMORI, 1986.

MIEKELEY et al. (1982), por outro lado, apresentam a seguinte composição para o minério de terras raras-Th do Morro do Ferro, tendo sido de 15,4% a perda ao fogo, conforme mostra a Tabela 30.

Tabela 30- Morro do Ferro - Composição do minério de terras raras e Th

Óxidos	Teor (%)	Óxidos totais de terras raras (%)	
SiO_2	18,9	La_2O	2,35
AI_2O_3	18,9	CeO_2	3,60
Fe_2O_3	26,6	Pr_6O_{11}	0,56
FeO	2,4	Eu_2O_3	0,06
MgO	0,6	Nd_2O_3	1,40
CaO	0,11	Gd_2O_3	0,12
K_2O	2,14	DY_2O_3	0,16
Na_2O	0,06	Sm_2O_3	0,27
MnO	0,76	Yb_2O_3	0,008
P_20_5	0,65	Y_2O_3	0,22
TiO_2	2,00	ThO_2	21,30
CO_2	0,2		
S	0,03		
F	0,62		

Fonte: LAPIDO-LOUREIRO, 1994

Segundo esses autores, os baixos teores de SiO_2, K, Na, Mg, P e Fe2+, indicam ter havido alto grau de lixiviação. Há, por outro lado, uma concentração de Al (gibsita) e de Fe^{3+} (porquanto a magnetita é oxidada dando origem a hematita e limonita). São também abundantes os elementos de baixa mobilidade, tais como: Ti , Th e certos elementos de terras raras, confirmando as condições de oxidação e concentração residual. O valor da perda ao fogo (P.F.) é alto. Deve-se à perda de água dos hidróxidos de Fe e Al. A rocha hospedeira da mineralização de terras raras configura-se, pois, como uma bauxita ferruginosa.

A amostra seletiva de um intervalo de 5m, com teor de 14,3% de óxidos totais de terras raras, mostrou que a bastnaesita representa 22,5% do minério ou 74,9% em termos de óxidos totais de terras raras, sendo, essencialmente, Ce_2O_3 (32,8%), La_2O_3 (22,1%), Nd_2O_3 (11,5%) e Pr_6O_{11} (4,4%).

Outra análise para elementos de terras raras em uma amostra do minério do Morro do Ferro foi realizada no laboratório de

Controle de Qualidade da NUCLEMON e apresentou os seguintes valores para óxidos totais de terras raras, representado por: TR_2O_3 (TR_2O_3 + ThO_2 + U_3O_8), 11,7%; (ThO_2, 1,1%, U_3O_8, 0,02%); ZrO_2 0,40% e SiO_2 18,3% (MIEKELY et al., 1982).

Outras análises em termos de óxidos totais, após calcinação a 900°C, mostraram os seguintes resultados (Tabela 31).

Tabela 31 – Composição da monazita do Morro do Ferro em termos de óxidos totais de terras raras, após calcinação a 900°C

ETRL*	(%)	ETRP**	(%)
	86,85		3,40
La_2O_3	28,0	Gd_2O_3	1,2
CeO_2	40,6	Tb_4O_7	< 0,05
Pr_6O_{11}	4,2	Dy_2O_3	0,4
Nd_2O_3	12,8	Ho_2O_3	0,1
Sm2O3	1,1	Er_2O3	0,1
Eu_2O_3	0,15	Yb_2O_3	< 0,05
		Y_2O_3	1,5
	ThO_2 9,7%		

*elementos das terras raras da fração leve
**elementos das terras raras da fração pesada
Fonte: MIEKELEY et al. (1982)

Os resultados analíticos de 28 amostras de 5m, correspondentes a 139m de galeria de flanco de encosta (reaberta para essa amostragem), assim como de 30 amostras de três furos de sonda (CBMM/MINEGRAL/PAULO ABIB ENGENHARIA) definiram um teor médio de 3,9% de óxidos totais de terras raras.

As reservas do Morro do Ferro indicadas pelo DNPM, com base num número muito restrito de furos de sonda e análises são, entretanto, de 6 milhões de toneladas de minério, com um teor de 5% de óxidos totais de terras raras, o que corresponde a 300.000t de óxidos totais de terras raras contidos (FRAYHA, 1962).

WABER (1992) afirmou que o depósito de terras raras no Morro do Ferro, de origem supergênica, se formou por processos de lateritização, a partir de rochas de composição carbonatítica. Ele inferiu, a partir de dados mineralógicos, geoquímicos, petrológicos e

de cálculos de balanço de massa, que a rocha hospedeira alterada, era de composição carbonatítica e enriquecida em Th e elementos de terras raras, em relação às rochas silicáticas encaixantes. A intrusão do carbonatito causou a fenitização dos fonolitos circundantes, com alteração potássica, a qual foi seguida pela mineralização, do tipo veio, de Th – elemento de terras raras associada à fluorita, carbonato, pirita e zirconita. A subsequente lateritização destruiu completamente o carbonatito, originando o enriquecimento supergênico de Th e elemento de terras raras (WABER, 1992).

Esse mesmo autor afirma, ainda, que o intemperismo inicial do carbonatito criou um ambiente químico favorável à formação de carbonato e dos fosfatos complexos de elementos de terras raras nas águas subterrâneas. Tal fato deve ter restringido a dissolução das fases primárias dos elementos de terras raras. O Ce^{3+} foi oxidado para Ce^{4+}, retido, junto com o Th, em minerais secundários como a cerianita e a torianita, sendo adsorvido nos pouco cristalizados hidróxidos de Fe e Al. Por outro lado, os elementos de terras raras trivalentes são menos retidos, portanto, ficam mais disponíveis para a formação de minerais secundários (Nd-lantanita) e adsorção, em maiores profundidades.

Quanto às reservas, WABER (1992) limita-se a reproduzir os dados de FRAYHA (1962), que correspondem a: 300.000 toneladas métricas de óxidos totais de terras raras e 50.000 de ThO_2. Por outro lado, WEDOW (1967), compilou para essas mesmas reservas 35.000 toneladas métricas de elemento de terras raras e 12.500 toneladas de Th_2O, dependendo do *cut-off*, teor e profundidade considerados para o minério. Concluiu-se, à época, que o depósito não havia sido explorado comercialmente, porque o minério se revelou muito refratário, em relação aos métodos convencionais, tornando onerosa a extração das terras raras.

O CETEM fez um estudo sobre a viabilidade de concentração física do minério de terras raras do Morro do Ferro. Os resultados obtidos com a simulação de um circuito fechado "mostraram que é possível a obtenção de um concentrado final com 22,62% de óxidos totais de terras raras e uma recuperação final de 72,12%. Foi utilizado um circuito com flotação primária e duas etapas de limpeza. No caso

dos ensaios usando ácido oleico como coletor, foram obtidos os melhores resultados para as duas amostras A e B" (SAMPAIO; LINS; PORPHÍRIO, 1989). No caso da amostra A (3,19% óxidos totais de terras raras), foi obtido concentrado final com teor de 20,25% de óxidos totais de terras raras, enquanto para a amostra B (3,49% óxidos totais de terras raras), foi alcançado o teor de 23,58%. Os dois ensaios foram conduzidos com a temperatura de polpa a 80°C. "Dos estudos de flotação realizados conclui-se que: (i) o baixo teor do minério (amostras A e B); a grande quantidade de finos, cerca de 62% abaixo de 37 micrometros e a liberação não satisfatória do mineral bastnaesita, que ocorre majoritariamente em aglomerados, prejudicaram sensivelmente a seletividade do processo; (ii) a grande quantidade de óxidos de terras raras contida na fração fina (≅50%) desestimula, em princípio, a deslamagem do minério antes da flotação; (iii) o aquecimento da polpa nas etapas de condicionamento e flotação mostrou ser fundamental para a obtenção de resultados pelo menos razoáveis em termos de teor e recuperação: 22% e 70%, respectivamente, considerando-se a recirculação dos produtos intermediários e usando-se ácido oleico como coletor" (SAMPAIO, LINS, PORPHÍRIO, 1989).

5.18. Terras raras na Região de São João del Rei (MG) – Pegmatitos e Formações Elúvio-Aluvionares

Na região de São João del Rei, ao norte da cidade, são conhecidas mineralizações tântalo-niobo-estaníferas espalhadas numa área retangular de 100 x 20km, alongada, segundo a direção N 70° W, entre os meridianos 43° 45' e 44° 45'. Estão relacionadas a numerosos pegmatitos graníticos.

Os pegmatitos e os aluviões deles resultantes têm dado origem à atividade mineira, principalmente na margem direita do rio das Mortes.

Os pegmatitos são geralmente subverticais com espessuras variando de um a até alguns metros. Apresentam-se na parte apical das intrusões, sob a forma de lentes sub-horizontais, que podem atingir 10-20m de espessura.

Não se conhece os teores de terras raras nas mineralizações de cassiterita, sabendo-se, contudo, que o xenotímio está presente.

A região de São João del Rei mostra bom potencial para a existência de depósitos eluvio-aluvionares de xenotímio e/ou monazita, resultantes do intemperismo e enriquecimento residual de pegmatitos e talvez de gnaisses. (GUIMARÃES, 1956).

PAULO ROLF (1948) entendia que havia um futuro promissor para essa região, como sendo produtora de areias monazíticas, mas que esse futuro dependeria de um estudo detalhado dos seus aluviões.

DJALMA GUIMARÃES (1956a) apresentou a composição mineralógica de concentrados da região de São João del Rei, correspondentes às localidades de Vargem Grande, Ribeirão Santo Antônio e Córrego Laginha (Tabelas 32, 33 e 34).

Ressaltam, no concentrado de Vargem Grande, os altos teores de xenotímio e de monazita, em todas as frações acima de oito malhas mesh Tyler (< 2mm).

Em relação a Vargem Grande, os números aparecem a seguir:

Tabela 32 – Composição mineralógica (%) do concentrado de Vargem Grande, município de São João del Rei – MG

Mesh	+8	+10	+14	+20	+32	+48	+65	-65	Total
Frações	3,8	5,7	8,9	10,0	11,9	8,2	12,5	38,4	99,4
Monazita	41,4	25,7	33,5	40,7	54,0	52,4	18,2	14,7	28,75
Xenotímio	38,6	66,7	55,0	50,0	37,0	31,5	12,0	9,0	27,05
Tantalita	4,8	--	--	--	--	4,7	7,9	8,5	4,81
Zircão	--	--	0,3	1,3	3,0	1,5	1,2	8,0	3,86
Cassiterita	15,2	7,2	10,0	6,0	4,4	0,4	0,3	0,4	3,21
Magnetita	--	--	1,2	1,3	1,0	2,7	2,8	1,4	1,50
Granada	--	--	--	0,3	--	0,6	0,1	0,2	0,18
Rutilo	--	--	--	0,1	--	0,7	0,1	--	0,08
Ilmeita	--	--	--	--	0,2	--	--	--	0,01
Quartzo	--	0,4	--	0,3	0,4	5,5	57,4	57,8	29,94
TOTAL (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	99,39

Fonte: GUIMARÃES, 1956a

Com relação às demais localidades as Tabelas 33 e 34 mostram os principais resultados.

Tabela 33 – Composição mineralógica de concentrado de fundo de bateia do Córrego Laginha, Fazenda do Ouro Grosso, Distrito de Itutinga, Município de Lavras, MG

Mesh	+4	+8	+14	+20	+65	Total
Frações (a)	4,9	7,6	7,7	4,8	16,5	---
Cassiterita	98,3	96,2	87,7	64,2	0,7	40,70
Ilmenita	0,2	0,1	3,2	3,8	55,5	34,11
Magnetita	---	---	---	1,3	4,0	6,47
Hematita	0,1	0,1	0,5	8,2	11,8	2,88
Djalmaíta	0,4	0,5	3,3	6,5	0,4	1,75
Monazita	**0,5**	**0,3**	**0,1**	**2,6**	**---**	**1,52**
Pirita (b)	---	---	---	0,6	---	0,96
Zircão	---	---	---	---	1,2	0,20
Estaurolita	---	---	---	---	0,4	0,07
Rutilo	---	---	---	0,5	---	0,04
Cianita	---	---	---	0,7	---	0,04
Quartzo	0,5	2,8	5,2	11,6	---	---

(a) Frações em peso %; (b) Pirita limonitizada

Fonte: GUIMARÃES, 1956a

Tabela 34 – Composição mineralógica do concentrado de amostras de sondagens de aluviões (arenosos) do Ribeirão Santo Antônio, município de São João del Rei

Mesh	+6	+14	+32	+65	Total
Frações % (a)	1,81	13,63	40,07	0,85	---
Granada	100,0	94,4	26,1	2,6	54,45
Granada dec.	---	2,5	31,6	23,6	16,92
Tantalita	---	---	16,3	21,0	9,14
Casiterita	---	---	11,6	5,6	6,92
Quartzo	---	---	6,5	16,4	4,33
Epidoto	---	---	0,2	0,9	2,21
Monazita	---	---	2,5	4,3	2,24
Magnetita	---	---	1,0	10,9	1,81

Tabela 34 (cont.)– Composição mineralógica do concentrado de amostras de sondagens de aluviões (arenosos) do Ribeirão Santo Antônio, município de São João del Rei

Mesh	+6	+14	+32	+65	Total
Frações % (a)	1,81	13,63	40,07	0,85	---
Djalmaíta	---	---	3,4	3,7	1,70
Ilmenita	---	---	0,6	4,0	1,44
Estaurolita	---	---	0,2	---	0,18
Zircão	---	---	---	7,0	0,14
Rutilo	---	---	---	---	0,01
ROCHA		3,1			0,42
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

(a) Frações em peso %
Fonte: GUIMARÃES, 1956a

Chama-se a atenção para o fato de que mediante a utilização de etapas de peneiramento, ser possível obter concentrados ricos de granada (54,45%) + tantalita (9,14%) + cassiterita (6,92%) + monazita (2,24%).

Além destas ocorrências, ROLF (1951) refere que "o xenotímio está presente em vários pegmatitos, também produtores de monazita, especialmente na região do Espigão dos Pinheiros, Bacia do Mosquito entre os municípios de Prados, São João del Rei e Rezende Costa /.../ certas amostras mostraram-se como misturas mais ou menos íntimas de xenotímio e monazita".

5.19. Terras raras Associadas a Minerais Pesados no Litoral Brasileiro

No litoral brasileiro, à exceção da parte norte do litoral fluminense, não se tem notícias de que tenham sido feitos estudos, nas últimas três décadas, para a definição de novas ocorrências de minerais pesados, incluindo as terras raras.

Durante o longo período que decorreu desde a descoberta de monazita, no final do século XIX, em Cumuruxatiba, até os dias de hoje, acumularam-se muitos dados que mostram serem frequentes, e não raro extensas, as ocorrências de minerais pesados no litoral

brasileiro, formando os seguintes tipos de concentrações, segundo VANUZZI et al., 1984:

- pequenos bolsões (teor >30%) em praias atuais;
- em paleopraias (teor >10%);
- extensas áreas formadas por dunas eólicas (teor<10%).

As areias pesadas do litoral brasileiro são, em geral, uma associação mineralógica dos seguintes minerais: ilmenita (42 a 95%), zircão (3 a 24%), monazita (0,55 a 18, 8%), rutilo (0,1 a 4,2%) e outros. A ilmenita é sempre o mineral predominante.

Em 1967 foi realizado um voo de helicóptero entre Rio de Janeiro e Fortaleza, ao longo do litoral, a uma altitude de 100m, com registro radiométrico contínuo. No percurso foram assinaladas 101 ocorrências anômalas, a saber: 61 no percurso Rio-Salvador, a maioria coincidindo com ocorrências de monazita já conhecidas, enquanto 40 foram registradas no itinerário Salvador-Fortaleza (Tabela 35).

Tabela 35 – Anomalias aerocintilométricas detectadas em voo de helicóptero, no litoral, entre Salvador e Fortaleza

Voo Salvador – Aracajú				
Nº de Ref.	Intens. (cps)[a]	Intens. / 'bg'[b]	Extens. (cm)[c]	Indicação dos limites geográficos
S-A-11	170	3	---	Rios Jacuípe e Pojuquinhos/Jornada
S-A-2	170	3	1,5	Farol e rio Sauípe
S-A-3	200	3	3,5	Subaúma e rio Inhambupe
S-A-4	210	3	2	Idem
S-A-5	240	3	1,5	Seribinha e barra da Estância
S-A-6	380	4,7	2,5	Idem
Voo Aracajú – Recife				
A-R-1	190	1,7	2,5	Paripueira e Rio Sapucaí
A-R-2	180	1,7	3,5	A norte do rio Sapucaí
A-R-3	460	3,5	2,5	Ao sul da barra do Camadarire
A-R-4	220	3	5	Barra do Uno e Tamandaré
A-R-5	290	4	2	Tamandaré e Guadalupe
A-R-6	250	3,1	1	Guadalupe e barra do Sirinhaém
A-R-7	270	4	4	Barra do Sirinhaém e sul de Recife

Tabela 35 (cont.) – Anomalias aerocintilométricas detectadas em voo de helicóptero, no litoral, entre Salvador e Fortaleza

Voo Recife – Natal				
R-N-1	280	4	5	Recife e Pontinhas
R-N-2	230	3,6	1,7	Pitimbú (PR)
R-N-3	340	6,5	0,5	Formação Barreiras(d)
R-N-4	320	6	0,8	Formação Barreiras(d)
R-N-5	240	4	3,5	Coqueirinho
R-N-6	320	6	8,5	Sul do Farol da Formosa (dunas)
R-N-7	280	4	2	Idem
R-N-8	170	3,4	4	Sul da baía de Cunhaú
R-N-9	240	6	1,5	Norte da baía de Cunhaú
R-N-10	280	4,6	1,8	Tibau do Sul e Natal
Voo Natal – Mossoró				
R-N-11	210	2,6	2,8	Barra do Maxaranguape
R-N-12	200	2,5	1,6	Rio do Fogo e Peroba
R-N-13	150	3	4	Entre Ponta do Reduto e as dunas
R-N-14	270	4	0,5	Região de dunas e Ponta 3 Irmãos
R-N-15	200	4	3,3	Norte de São Bento do Norte
R-N-16	220	3,2	2,5	Sul de Canto do Mangue
R-N-17	270	2	2	Canto do Mangue e Ponta do Mel
R-N-18	200	2,2	19	Extensa faixa a sul de Mossoró
Vôo Mossoró – Fortaleza				
R-N-19	260	5	2,8	A norte de Canoa Quebrada
R-N-20	210	2,1	2,5	Junto a Farol Maceió
R-N-21	260	3,2	1,5	Barra do Jaguariba e Parajurú
R-N-22	250	2,8	0,5	A norte de Parajurú
R-N-23	290	2,9	0,8	A norte de Reboladas
R-N-24	260	3,1	0,5	N.I.(e)
R-N-25	240	2,4	3	Sul de Jacarecoara
R-N-26	230	3,1	2,2	Águas Belas
R-N-27	200	2	0,6	A sul de Jacaúna

(a)cps – Choques por segundo; (b)Número de vezes acima do bg ("back-ground" radioativo); (c)Comprimento da anomalia no gráfico, proporcional à extensão no terreno; (d)Formação Barreiras sujeita a erosão ativa na linha de costa dando origem a fortes anomalias radiométricas; (e)Não identificado.
Fonte: LAPIDO-LOUREIRO, 1994

Tratando-se de uma única linha de voo, localizada arbitrariamente, os dados obtidos devem ser encarados com cautela (LAPIDO-LOUREIRO, 1994). O voo foi realizado sobre a praia, a

uma distância do mar da ordem de 200-300m, a qual aumentava quando havia voo sobre restingas e zonas de inundação, mas nunca ultrapassando os 1000m (LAPIDO-LOUREIRO, 1985).

5.20. Reservas e Composição Mineralógica de Terras raras Associadas a Minerais Pesados ao Longo do Litoral Brasileiro

As características mineralógicas e as reservas de minerais pesados no litoral brasileiro são indicadas na Tabela 36.

Tabela 36 - Reservas (toneladas x 10^3) e composição mineralógica de minerais pesados em ocorrências ao longo do litoral brasileiro

Ocorrências	Composição dos Minerais Pesados					Res. Mon.	M / ROM	I / ROM	Z / ROM	R / ROM
	MP	I	Z	M	R	10^3t	(%)	(%)	(%)	(%)
Norte de Buena-RJ	11,7	47,2	23,3	4,2	1,8	7,7	0,49	5,51	2,72	0,21
Sul de Buena-RJ	23,3	49,7	24,3	2,5	4,2	7,5	0,57	11,6	5,68	0,98
Delta Paraíba-RJ	11,9	42,0	6,0	2,8	1,0	22,8	0,33	5,0	0,71	0,20
Guarapari-ES	12,2	67,9	4,2	3,4	0,8	0,3	0,39	7,73	0,48	0,09
Boa Vista-ES	11,	48,1	17,0	8,4	0,7	1,6	0,98	5,62	1,98	0,78
Rio Saí-ES	16,2	56,0	6,9	4,3	0,7	2,96	0,67	8,99	1,12	0,12
Linhares-ES	6,47	95,3	3,69	0,72	0,30	3,1	0,05	6,16	0,24	0,02
Cumuruxatiba-BA	17,0	55,5	3,8	18,8	0,1	1,4	3,18	9,41	0,64	0,02
Joacema-BA	15,0	74,3	3,0	3,5	0,5	2,25	0,57	10,6	2,3	0,11
Alcobaça-BA	11,8	72,8	5,2	3,4	0,2	4,5	0,41	8,62	0,61	0,02
Belmonte-BA	2,86	95,7	2,11	1,24	0,97	3,6	0,03	2,74	0,06	0,03
Majorlândia-CE	1,87	84,9	3,18	0,55	1,36	1,6	0,01	1,59	0,25	0,02
Beberibe-CE	1,58	81,4	15,2	1,86	1,51	20,8	0,03	0,03	1,28	0,24
Paracuru-CE	1,10	79,9	14,2	4,12	1,72	38,3	0,04	0,88	0,16	0,02
Luiz Correia-PI	1,30	70,3	22,9	2,70	3,79	21,8	0,03	0,92	0,30	0,05

MP = Minerais Pesados (I + Z + M + R). Res. Mon. = Reservas de monazita.
I – Ilmenita; Z – Zircão; M – Monazita; R – Rutilo.
Fonte: Lapido-Loureiro, 1994

5.21. Ocorrências e Reservas de Monazita no Estado do Rio de Janeiro

As ocorrências de monazita na região de Buena, no norte fluminense, estendem-se por 18 km, desde Guaxindiba até Itabapoana. Formam um cordão (restinga) contínuo, paralelo à linha de praia. No início da metade norte, a Formação Barreiras avança para o mar, formando escarpas vivas em cujo sopé pode-se observar o processo de acumulação (VANUZZI et al., 1984). A Formação Barreiras desempenha a função de agente pré-concentrador.

As reservas da região de Buena, consideradas como econômicas, estão esgotadas e a produção mineira estava suspensa à época da elaboração desse texto.

No delta do Paraíba do Sul a estrutura das ocorrências de minerais pesados é complexa. Há intergradação faciológica intensa de aluviões, sedimentos de brejos, lagoas e cordões litorâneos.

As concentrações de minerais pesados ocorrem sob a forma de finas lentes que se escalonam desde a superfície até profundidades de 4 a 5 metros, predominando a ilmenita (60%), porém com zirconita (5-10%), monazita (3-4%) e rutilo (1%).

5.22. Ocorrências e Reservas de Monazita no Espírito Santo

As ocorrências de monazita no litoral do Estado do Espírito Santo se caracterizam pelos altos teores de monazita no concentrado de minerais pesados. O teor de monazita está em torno de 20%, apresentando, entretanto, limitações para seu aproveitamento pelo fato de coincidirem com regiões onde há grande desenvolvimento turístico e/ou apresentem fortes condicionantes ambientais.

Em Boavista e Guarapari, os depósitos de minerais pesados localizam-se em cordões litorais regressivos, formados no sopé dos sedimentos da Formação Barreiras, paralelos à linha de costa (VANUZZI et al., 1984).

No litoral do estado são ainda referidas as ocorrências do Rio Saí e de Linhares. A primeira apresenta bons teores de minerais

pesados e de monazita, ao contrário de Linhares que é relativamente pobre em um conglomerado de minerais pesados (6,47%), apresentando, porém, elevado percentual de ilmenita (95,27%).

5.23. Ocorrências e Reservas de Monazita na Bahia

No litoral sul da Bahia, desde Porto Seguro (16º 25' lat. S) até o limite sul do estado, são conhecidas várias ocorrências de areias monazíticas. Há citações que datam de cerca de 40 anos de que todos os principais depósitos de monazita foram exauridos ou inviabilizados em decorrência de lavras predatórias, desordenadas e intensivas (MACIEL & CRUZ, 1973).

Lembra-se que foi em Cumuruxatiba, entre a ponta do Corumbau ("longe de tudo", na língua dos Pataxós) e a foz do rio Jucuruçu (Vila do Prado) que, em 1887, teve início a exploração de areias monazíticas no Brasil. No ano anterior o inglês John Gordon havia se estabelecido no local que viria a ser o da jazida de Cumuruxatiba.

Os minerais pesados acumulam-se na zona de espraiamento (no máximo 20m de largura, eventualmente com 10 a 20m de berma) dado que as ondas atingem as escarpas da Formação Barreiras. A espessura da camada de areia varia de 0 a 2m, numa extensão de cerca de 10 km. Essa região apresenta os maiores teores de monazita entre todos os depósitos de "placers" marinhos do Brasil (VANUZZI et al., 1984).

Estimativas feitas anteriormente à elaboração desse texto mostraram que a reserva de Cumuruxatiba representava cerca de 171.000 toneladas de ilmenita, 4.000 toneladas de monazita e 365.000 toneladas de zircão e rutilo (SANTANA, 1999). A ilmenita, mineral predominante, é um pseudo-rutilo que, pela sua composição química em Ti, V e Cr, é considerada uma das melhores do Brasil. A acumulação de minerais pesados é ativa. Renova-se a cada maré, por erosão das escarpas da Formação Barreiras.

Na região de Alcobaça, situada a cerca de 20 km ao sul de Cumuruxatiba, existe, a partir da desembocadura do Rio Jucuruçu,

extensa formação de cordões litorais regressivos, constituídos por uma série de cristas arenosas separadas por brejos e manguezais, com até 300m de largura. No local Ponta de Guaratiba, numa extensão de 6km, há uma excelente concentração de minerais pesados (VANUZZI et al., 1984).

Ao sul de Alcobaça, esses cordões litorais atingem a sua largura máxima, 10 km, no local conhecido por Ponta da Baleia. Trata-se de uma região que foi classificada como tendo um bom potencial para terras raras, porém, por se tratar de uma área de preservação ambiental – "APA Ponta da Baleia/Abrolhos" (decreto estadual nº 2218 de 14 de junho de 1993) – não poderá ser considerada como passível de prospecção.

5.24. Ocorrências e Reservas de Monazita no Ceará

No litoral do Estado do Ceará há referências à presença de minerais pesados em Majorlândia, Beberibe e Paracuru.

Da mesma forma que no caso de Alcobaça (BA) e por se tratar de uma área com grande potencial turístico, assim como pelo baixo percentual de minerais pesados (1,1 – 1,9%), aos quais estão associados os baixos a médios teores de monazita (0,5 – 4,1%), embora contendo altos teores de zirconita (13 – 18%) na fração pesada, até então, não foram considerados como áreas de interesse prospectivo para terras raras.

5.25. Ocorrências e Reservas de Monazita no Piauí

Foram efetuados estudos preliminares na área de Luís Correia, no litoral do Estado do Piauí os quais definiram, considerando-se uma vida útil de 10 anos, a possibilidade de uma produção que corresponderia a: ilmenita (70.000 toneladas/ano); zircão (26.000 toneladas/ano); rutilo (16.000 toneladas/ano) e monazita (3.000 toneladas/ano).

Não se afigura fácil a implantação de projetos de mineração nessa região porque, tal como nas ocorrências do litoral do Ceará, tendo em vista que os teores de minerais pesados são baixos e,

também, por ter sido criada em agosto de 1996 a Área de Proteção Ambiental (APA) – Delta do Parnaíba, pelo Decreto S/Nº de 28/08/1996, abrangendo uma área de 313.800 hectares.

5.26. Ocorrências e Reservas de Monazita no Maranhão – Bacia do Rio Barreirinhas / Tutóia

O Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, situa-se no litoral oriental do Maranhão, ocupando uma área de 155 mil hectares e cerca de 120 km de linha de costa, abrangendo os municípios de Humberto de Campos, Primeira Cruz, Santo Amaro e Barreirinhas.

É um mar de areia com dunas que chegam aos 40 metros de altura e se espalham por 70 km de extensão ao longo da costa e por 50 km continente adentro.

No extremo oriental, na região de Tutóia, durante um voo de reconhecimento aerocintilométrico, utilizando helicóptero e linhas de voo perpendiculares à costa, cada uma com uma extensão média de 10km, foi possível identificar 67 anomalias radiométricas, as quais estão muito provavelmente associadas à monazita pelo que se conhece da composição mineralógica destas areias (LAPIDO-LOUREIRO, 1994).

5.27. Outras Ocorrências Continentais de Monazita

CARUSO Jr. et al. (1999) apresentou os estudos realizados por VILLWOCK et al. (1979), e MUNARO (1994) na zona costeira do Rio Grande do Sul.

Boa parte das acumulações de minerais pesados, nessa área, está relacionada à linha de costa, sendo que se apresentam, usualmente, sob a forma de depósitos alongados paralelos e subparalelos à praia, com 30 a 100 m de largura e 18 km de extensão (SILVA, 2008).

Outros depósitos estão relacionados a campos de dunas holocênicas, recobrindo terrenos pleistocênicos.

No norte do Brasil podem referir-se como ocorrências, de menor interesse ou ainda mal estudadas, entre outras; Xambioá – TO, Boca Nova – PA, Salinópolis – PA (LAPIDO-LOUREIRO & FIGUEIREDO, 1985).

5.28. Ocorrências de Monazita na Plataforma Continental

São bem conhecidas zonas rasas da plataforma continental que servem para a explotação, de diamantes na Namíbia e de cassiterita na Malásia, Indonésia e Tailândia.

Outros minerais, como cromita (Cr), rutilo (Ti), ilmenita (Fe e Ti), magnetita (Fe), zircão (Zr), monazita e scheelita (W) foram ou estão sendo dragados, em vários locais do Sri Lanka e Austrália (SILVA, 2008).

É fato que há concentrações e ocorrências de minerais pesados ao longo da zona costeira do Brasil, do Piauí ao Rio Grande do Sul, tanto sob a forma emersa, como foi referido anteriormente, mas também submersa.

Na região de Buena (RJ), a ex-Nuclemon estudou, há cerca de 30 anos, a hipótese de recuperação de minerais pesados em águas rasas, estudo esse que estaria sendo retomado pela Universidade Federal Fluminense – UFF e pelas Indústrias Nucleares do Brasil – INB, carecendo, entretanto, de confirmação.

5.29. Ocorrências de Monazita em *Placers* Fluviais

São Gonçalo/Rio Sapucaí – MG

À exceção do rio Sapucaí – MG, têm sido pouco estudados os *placers* fluviais como fonte de minerais de terras raras. No entanto, o seu potencial é grande, sobretudo se forem considerados como ocorrências poliminerálicas.

Os placers ao longo do rio Sapucaí, no sul do Estado de Minas Gerais, nos municípios de Turvolândia, Cordislândia, São Gonçalo de Sapucaí, Careaçu, Silvianópolis, São Sebastião da Bela Vista e Pouso

Alegre, constituem um depósito de ouro, zircão, monazita e ilmenita com um volume de 27,6 milhões de m^3 de minério (SOUZA & PAIXÃO, 1989).

A região situa-se no interior de um triângulo cujos vértices são Belo Horizonte (330 km), Rio de Janeiro (470 km) e São Paulo (270 km). O depósito é formado por camadas de cascalho e areia nos aluviões atuais (leito) e recentes (várzea). No leito não existe estéril e a espessura média da camada, que foi considerada à época como econômica para exploração, é da ordem de 3,5m. Nas várzeas, levando-se em consideração os mesmos aspectos econômicos da época apontavam, entretanto, para uma espessura média de 6,7m, dos quais 3,8 são de estéreis constituídos, basicamente, de argilas.

O volume das reservas de minério (medidas + indicadas) no aluvião pesquisado, foram referidas como sendo de 34,7 milhões de m^3, sendo 27,6 milhões de m^3 de cascalho e 7,1 milhões de m^3 de estéril (SOUZA & PAIXÃO, 1989).

As reservas e suas composições em termos de minerais pesados e o esquema de lavra proposta para aplicação no Projeto Rio Sapucaí são indicadas nas Tabelas 37 e 38 e Figura 20, respectivamente.

Tabela 37 – Reservas do depósito fluvial do Rio Sapucaí (MG)

ROM	52.116.000 t	Distribuição de Minerais Pesados
Ilmenita	631.800 t	85,30%
Zircão	70.700 t	10,75%
Monazita	29.300 t	3,95%
Ouro	50 mg/m^3	---

Fonte: SOUZA e PAIXÃO, 1989

Tabela 38 – Composição de minerais pesados no aluvião do rio Sapucaí.

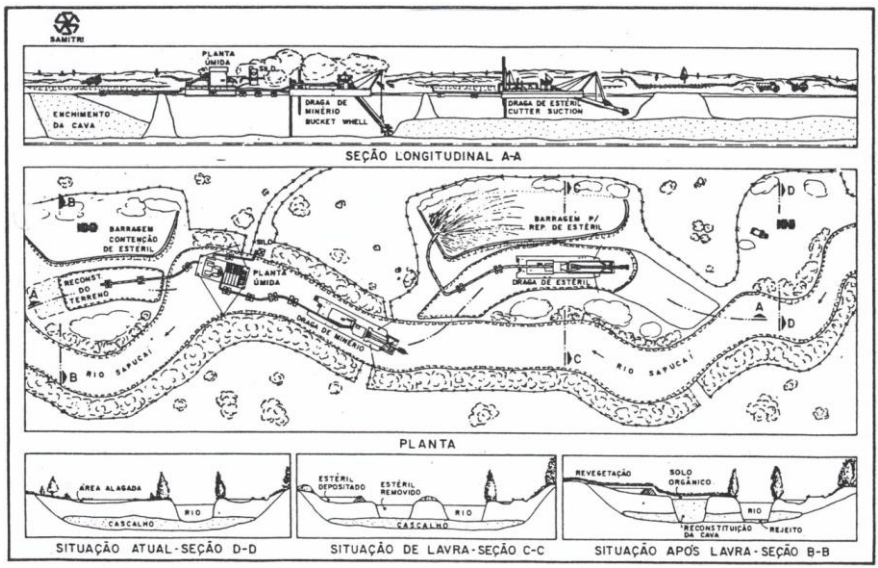
Composição dos minerais pesados (MP)				Res. M	M / ROM	I / ROM	Z / ROM
MP	I	Z	M	(t)	(%)	(%)	(%)
1,42	85,3	10,75	3,95	29.000	0,5	1,2	0,1

MP – Minerais Pesados; M – Monazita; I – Ilmenita; Z – Zircão; ROM – *Run-of-Mine.*
Fonte: SOUZA e PAIXÃO, 1989

A empresa que requereu a área, SAMITRI, fez estudos, à época, pormenorizados de diagnóstico ambiental para avaliação dos impactos que a implantação do projeto poderia provocar.

Há, ainda, citações de outros autores de que um projeto da Mendes Júnior no Rio Sapucaí, MG, (Figura 20) foi inviabilizado pela militância ecológica radical (CHAVES & CHIEREGATO, 2002).

Após o fechamento do projeto, quando os prejuízos econômicos e sociais foram, criteriosamente, contabilizados, "houve reavaliação e reversão do impedimento que havia sido imposto, mas a empresa mostrou-se irredutível em retomá-lo" (CHAVES & CHIEREGATO, 2002).



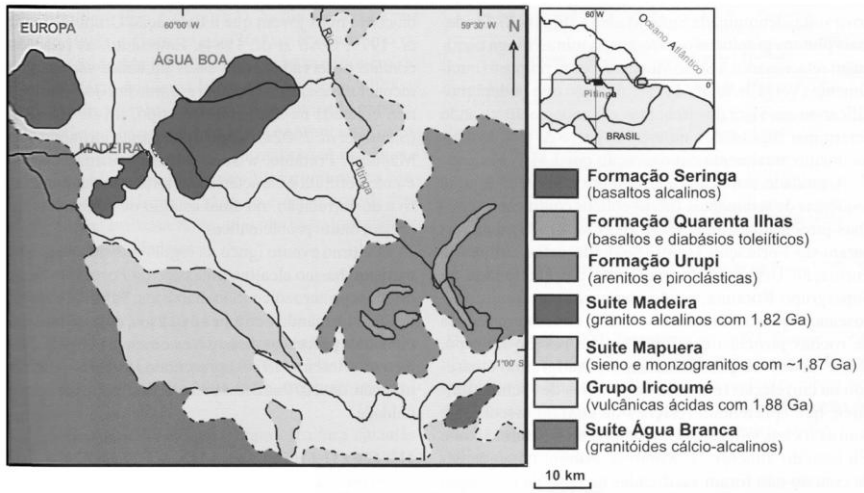
Fonte: SOUZA & PAIXÃO, 1989

Figura 20 – Esquema de lavra do Projeto Rio Sapucaí

5.30. Ocorrências de Terras raras Pesadas Associadas a Rochas Graníticas

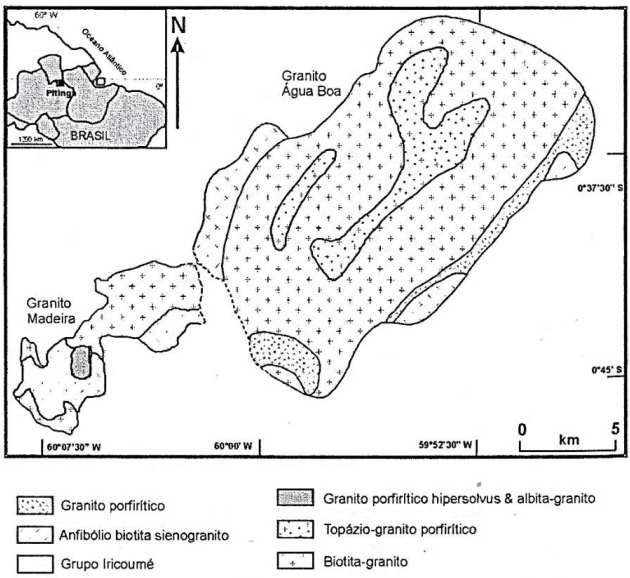
Pitinga - Minérios de Sn, Nb-Ta-Zr-TR

Pitinga é uma jazida de estanho, que é considerada como sendo de classe mundial e que está situada na porção norte do Cráton Amazônico. As mineralizações estaníferas polimineralícas estão ligadas aos corpos graníticos de Água Boa e Madeira. São corpos alongados, com eixos maiores de 10,7km e 21,5km, conforme mostram, respectivamente, as Figuras 21 e 22, a seguir.



Fonte: COSTI, BORGES & DALL'AGNOL, 2005

Figura 21 – Mapa geológico esquemático da região da mina de Pitinga



Fonte: COSTI, BORGES & DALL'AGNOL, 2005

Figura 22 – Mapa geológico esquemático da área da mina de Pitinga

As mineralizações primárias que deram origem aos placers ocorrem nos dois corpos graníticos.

No granito Água Boa ocorrem veios de quartzo/cassiterita e de cassiterita maciça, encaixados numa assembléia de veios de greisen, formados por mica litinífera, quartzo, cassiterita, topázio e columbita-tantalita.

No granito Madeira, as mineralizações são controladas pela fácies granito albitizado, que contém albita (20-60%), quartzo (15-30%), feldspatos potássicos (15-30%) e, ainda, disseminações polimineralícas de cassiterita, zircão, columbita-tantalita, pirocloro e xenotímio.

As mineralizações ocorrem, tanto nos "granitos albitizados de borda" (cassiterita, fluorita, zircão, columbita, xenotímio) como nos "granitos albitizados de núcleo" (criolita, zircão, pirocloro). (COSTI, BORGES & DALL'AGNOL, 2005).

Pitinga é uma jazida poliminerálica que contém como coprodutos do Sn, Nb, Ta, criolita e ainda Zr, lantanídeos, Y, Li e U, os quais poderão ser extraídos como subprodutos de alto valor comercial, contribuindo assim para uma maior sustentabilidade e para um melhor aproveitamento da jazida.

As reservas de minério de estanho disseminado são de 164 milhões de toneladas, com teor médio de 0,14%, contendo, ainda, 0,20% de Nb_2O_5 e 0,024% de Ta_2O_5. As reservas, até então, estimadas de terras raras contidas, principalmente, em xenotímio, nos aluviões são da ordem de 20.000 toneladas em termos de óxidos totais de terras raras.

Com relação a Pitinga, seguem algumas informações fornecidas por Rotenio Castelo Chaves Filho, ex-consultor da Paranapanema/Mineração Taboca.

"*A pesquisa geológica não se preocupou em dimensionar as reservas de xenotímio no aluvião ou no minério primário, mas detectou uma área anômala para Y e outras terras raras.*

O xenotímio do aluvião apresenta-se grosseiro e em associação com o zircão. É rejeitado durante as separações eletrostática e eletromagnética, junto com o zircão, a partir dos concentrados obtidos em jigues. A separação zircão – xenotímio chegou a ser feita, de forma experimental, mas em escala industrial, pela Minebra, em Araçatuba (SP).

Os rejeitos zirconíticos da usina de concentração final eram retomados, moídos e reconcentrados para recuperação final da cassiterita. Desta forma o xenotímio voltava para a bacia de rejeitos, com o zircão e quartzo, mas com granulometria mais fina, o que talvez não permita mais a separação eletrostática e eletromagnética.

Até a recente aquisição da Mineração Taboca pela empresa peruana Minsur, a concentração de cassiterita era feita a partir dos aluviões provenientes dos granitos Madeira e Água Boa e do minério primário do granito Madeira. Associada a este granito, ocorre de forma disseminada, criolita (4 a 6% de teor) e, em profundidade, na base do granito mineralizado em minerais pesados, criolita maciça. No granito não intemperizado também são encontrados teores anômalos de Rb e Li.

Entretanto, a granulometria dos minerais pesados era bastante distinta nos dois granitos: nos aluviões do granito Água Boa, o mineral mais grosseiro era a cassiterita (-6 mm), enquanto todos os demais ocorriam abaixo de 48mm ou 65mm. Por essa razão a pesquisa geológica baseada em concentrados de bateia não detectou os demais minerais pesados nos igarapés do granito Água Boa. A pesquisa dividia o minério em "zirconítico" (no Madeira) e "não zirconítico" (no Água Boa).

Nos aluviões do granito Madeira o mineral mais grosseiro era a torita, seguido pela zirconita. A torita aparecia a -10 mm, e a zirconita a -1,5 mm aproximadamente, seguindo-se a xenotima e a cassiterita a -1 mm. Os minerais de Nb e Ta eram os de granulometria mais fina. Nos aluviões do Madeira chamava a atenção a torita com dimensão centimétrica. Essa distinção visível da distribuição granulométrica desapareceu no beneficiamento do minério primário rocha sã, que é moído antes da concentração gravimétrica.

O granito Europa, em parte ou mesmo todo dentro da reserva Waimiri-Atroari (o limite da reserva foi alterado na década de 90, tomando pequena parte da área de concessão da Taboca), também apresenta indícios de mineralização em zircônio e, provavelmente, dos demais minerais associados encontrados nos granitos Água Boa e Madeira, mas não se chegou a nada mais concreto – a pesquisa foi interrompida.

Perfis bauxitizados estão presentes nos granitos e nas rochas vulcânicas da região. Mesmo no minério primário intemperizado havia um perfil de bauxita com teor anômalo de gálio. O "nível laterizado é, em geral, uma anomalia cintilométrica mais acentuada do que o *background* da região."

O xenotímio de Pitinga tem a particularidade de apresentar teores elevados da fração pesada (98,4%) e relativamente baixos de Y (42%), quando comparados com outros xenotímios (90% e 60%, respectivamente), conforme citado por outros autores (BARBOSA et al., 2001).

Os *placers* são a principal fonte de minerais pesados, entre os quais se inclui o xenotímio. Situam-se nas proximidades de suas

fontes primárias. Nos aluviões com minerais pesados distinguem-se duas sequências estratigráficas principais, as quais são designadas, pretérita e sub-atual. "A primeira está preservada nas encostas dos vales e se apresenta com espessas coberturas coluviais. A segunda ocorre preenchendo os vales recentes e mostra as bordas recobertas por massas coluviais" (KOURY e ANTONIETTO Jr., 1988).

Um pré-concentrado na área PF 11 do Igarapé Jabuti apresentou a seguinte composição mineralógica: cassiterita (32%), zircão (30%), topázio (3%), columbita-tantalita (2%), magnetita (1,8%), xenotímio (0,2%) e quartzo (31%) (CPRM – informação pessoal obtida pelo autor).

As características químicas do xenotímio de Pitinga, comparando-as com as de outros lugares, são apresentadas na Tabela 39.

Tabela 39 - Composição química (%) de diferentes amostras de xenotímio

ORIGEM	OTRs*	Y_2O_3	P_2O_5	ETRL**	ETRP***	Th_2O	UO_2
1	66,84	30,00	29,80	0,07	66,77	---	---
2	63,65	27,63	31,0	0,314	63,34	---	---
3	70,00	31,95	27,97	0,431	69,57	---	---
4	47,70	32,58	27,50	1,388	46,31	---	---
5	58,90	---	35,70	0,1	58,80	1,00	---
6	60,52	---	29,46	---	---	0,95	0,22
7	62,15	---	31,66	3,02	59,13	---	1,67
8	57,74	---	30,31	0,93	56,81	---	4,13
9	67,78	---	32,11	---	67,78	---	---

*Óxidos totais de terras-raras
**Elementos de terras-raras leves
***Elementos de terras-raras pesadas
1-2-3 – Pitinga; 4 – Cable Sands (Austrália); 5 – Urais/Rússia (granito); 6 – Jos/Nigéria (granito alcalino); 7-8-9 – Carolina do Norte/EUA (pegmatito)
Fontes: 1 a 4 –PARANAPANEMA; 5 a 9 – VLASOV Ed., 1966

No granito Madeira as terras raras também estão associadas à mineralização de criolita, que ocorre como minério disseminado (com reservas de cerca de 110 milhões de toneladas, com teor de 4,2% de Na_3AlF_6), assim como sob a forma de criolita maciça, com reservas de 10 milhões de toneladas (32% de Na_3AlF_6).

As assinaturas de elementos de terras raras na criolita e fluorita são similares àquelas do granito Madeira. Os maiores valores do somatório dos elementos das terras raras são encontrados na criolita magmática disseminada (677 a 1.345 ppm); somatório dos elementos das terras raras é menor na criolita maciça, com valores médios de 10,3 ppm, 6,66 ppm e 8,38 ppm, respectivamente, nos tipos de criolita nucleada, caramelo e branca. A fluorita magmática disseminada apresenta os valores mais altos do somatório dos elementos das terras raras (1.708 e 1.526 ppm), contrastando com a fluorita de veio tardio (34,81 ppm). A concentração de Y é maior na fluorita disseminada e na criolita magmática. As evoluções de diversos parâmetros (somatório dos elementos das terras raras, elementos das terras raras leves/elementos das terras raras pesadas, Y) podem ser seguidas através dos sucessivos estágios de evolução dos albita granitos e mineralização associada (COSTI, BORGES & DALL'AGNOL, 2005).

Recentes notícias dão conta de que a mina de Pitinga pertence atualmente à empresa peruana Minsur e que despertaria vivo interesse de outras empresas, tais como: Mitsubishi e Neo Materials. Nos sites das referidas empresas, à época da elaboração desse texto, havia referências do que estava ocorrendo, com relação ao interesse em Pitinga, ao longo do período 2010-2012.

> *"The Pitinga mine in Brazil is a tin mine with heavy REE tailings. It is not owned by NEM.TO but it is a Serra da Madeira a subsidiary of Minsur a Peruvian mining concern which is primarily centered around tin and copper. The mine currently processes over 30,000t ore to produce about 10,000t tin and high amounts of tantalite.*
>
> *Neo's terms with Minsur stated they had 2 years to evaluate exploiting the tailings at Minsur's Pitinga mine for REO, this 2 year period is up around April 2011, and Neo has been very quiet on the subject so far.*
>
> *In addition, Neo has an agreement with Mitsubishi where Misubishi will fund up to US$2.5million of all costs associated with Neo's development of the heavy rare earth resource at the Pitinga tin mine in*

Brazil. As part of the agreement, Neo is also committed to use its reasonable best efforts to include Mitsubishi's participation in the commercial phase of the Pitinga project with Taboca and to allocate a portion of all mixed rare earth concentrate produced from Pitinga to Mitsubishi for its own use.

NEM.TO signed a deal with Minsur to process rare earths from the tailings of its Pitinga tin mine in the Amazon. Neo's tests indicate that the mine is producing very high concentrates of terbium and dysprosium, two of the key heavy rare earths."

Granitos Rondonianos – Mineração Oriente Novo (RO)

Na região central de Rondônia, mais especificamente, na área da Mineração Oriente Novo, são conhecidos vários distritos mineiros, nos quais a monazita e o xenotímio estão presentes.

As ocorrências primárias de Sn,W, Nb, F, elementos das terras raras, topázio e berilo relacionam-se a granitos estaníferos ("Granitos Rondonianos"). Os corpos mineralizados são veios, stockworks, corpos de greisen, chaminés de brechas e corpos pegmatíticos. Os depósitos do tipo placer resultam do seu intemperismo e denudação.

"O minério de cassiterita é formado por: quartzo, cassiterita, topázio, zircão, monazita, ilmenita, ilmeno-magnetita e, em pequenas quantidades, rutilo, columbita-tantalita, berilo, feldspatos, limonita, turmalina, anatásio, amazonita, xenotímio, granada e leucoxênio. "/.../ Junto à columbita-tantalita, outros minerais de interesse econômico, tais como, zircão, monazita, xenotima, ilmenita e rutilo se concentram nos rejeitos magnéticos, os quais podem ser comercializados, dependendo das condições de mercado" (BETTENCOURT, et al., 1988).

Na Tabela 40 apresentam-se os teores de Sn, Ti, Ta, Nb, Zr, elementos das terras raras de rejeitos de separação magnética (amostras 1 a 4), de pré-concentrados (amostras 5 e 6) e de escória (amostra 7).

Tabela 40 – Teores de Ti (%) e de Sn, Ta, Nb, Zr, ETR (ppm), de rejeitos de separação magnética (amostras 1 a 4), de pré-concentrados (amostras 5-6) e de escória (amostra 7)

Am.	Ti (%)	Sn (ppm)	La (ppm)	Ce (ppm)	Nd (ppm)	Pr (ppm)	Eu (ppm)	Lu (ppm)
1	8,86	>1.000	915	1.930	1.200	151	5	21
2	5,11	>1.000	300	>10.000	1.600	183	5	333
3	21,36	>1.000	12	265	100	3	<5	1
4	7,69	>1.000	3.630	7.530	4.200	694	25	67
5	17,48	>1.000	9	125	<50	2	<5	1
6	0,42	>1.000	15	210	<300	12	<5	54
7	5,03	>1.000	5.540	>10.000	3.000	896	10	109

Fonte: 1 a 4 –Paranapanema.e LAPIDO-LOUREIRO, 1994

Granitos do Norte/Nordeste de Goiás – Sul/Sudeste de Tocantins

Nas regiões Norte/Nordeste de Goiás e Sul/Sudeste de Tocantins (entre outras, provavelmente) localizam-se granitos, de tendência alcalina, como os de Pedra Branca e Serra Dourada com mineralizações de cassiterita, terras raras e fluorita, no primeiro, e de cassiterita e terras raras, no segundo. Entretanto, ainda faltam dados quantitativos para a melhor definição dessas ocorrências.

Por outro lado, em função de trabalhos mais recentes, como se pode ler na memória da 2a Reunião do Grupo de Trabalho Interministerial Ministério das Minas e Energia (MME)/Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), em 13/08/2010, a propósito do potencial para terras raras existente nos granitos de Pedra Branca, o Prof. Nilson Botelho, da UnB, destacou que: "merecem destaque também as concentrações de háfnio associadas aos elementos terras raras. /.../ e também do índio. Essa é uma das regiões do mundo onde se tem uma das maiores concentrações locais de índio, que é um metal de altíssimo valor".

5.31. Outras Ocorrências de Terras raras Mal Definidas

São numerosas no Brasil, as ocorrências de terras raras pouco estudadas, em complexos carbonatíticos. Essas ocorrências estão, frequentemente, associadas a outros bens minerais como o anatásio, a apatita e o pirocloro, no caso específico dos complexos carbonatíticos, assim como à cassiterita, niobo-tantalitas e zircão, tal como ocorre no caso dos granitos do norte do país. Essas ocorrências estão,ainda, mal definidas por falta de estudos específicos.

Estão neste caso os ricos aluviões estaníferos de Rondônia que foram responsáveis pela primeira "corrida garimpeira" da Amazônia, na década de 1960.

Entretanto, no final dos anos 60, a garimpagem do estanho foi proibida pelo governo federal, passando a produção para a mineração empresarial.

BRENO AUGUSTO DOS SANTOS (2002) referiu que na década de 1970 surgiram novos distritos estaníferos na Amazônia, em especial, a oeste de Carajás, no Estado do Pará. A descoberta foi feita por empresas de mineração, mas logo houve a invasão garimpeira, ainda que tenha sido temporária.

O mesmo autor esclareceu que somente no início dos anos 80 foram descobertos os mais expressivos depósitos de cassiterita da Amazônia. Informou, ainda, que a jazida do Pitinga, no Estado do Amazonas, estaria reativando sua produção por meio de uma nova empresa de mineração e a de Bom Futuro, no Estado de Rondônia, continuava com a atividade garimpeira, apesar dos esforços governamentais para regularizar a implantação de uma atividade empresarial.

Entretanto, a sensível queda do preço do estanho no mercado internacional tem desestimulado a abertura de novas minas, bem como a busca de novos depósitos.

Os corpos graníticos da Amazônia também são de bom potencial para depósitos de zircônio, nióbio, tântalo, tungstênio e terras raras.

Nesse contexto, na Amazônia são conhecidos três complexos alcalino-ultrabásicos com potencial para depósitos de titânio, fosfato, nióbio e terras raras, quais sejam: Seis Lagos, no Estado do Amazonas, Maicuru e Maraconaí, no Estado do Pará. Em Seis Lagos há um destacado potencial para nióbio. O complexo de Maicuru está associado a um corpo de carbonatito, sendo que além de suas reservas de fosfato, há um considerável potencial em titânio, mas sob a forma de anatásio, mineral para o qual ainda não há tecnologia provada que permita o seu aproveitamento industrial em bases econômicas (SANTOS, 2002).

5.32. Terras raras em Tapira – MG

A lavra da mina de fosfatos foi iniciada em 1979, pela então VALEP. Até a elaboração desse texto não havia dados disponíveis, fora do contexto da atual empresa detentora dos recursos minerários, que permitissem fazer uma precisa avaliação técnica-econômica, acerca das mineralizações e dos teores de elementos de terras raras no minério fosfático de Tapira.

Sabe-se, entretanto, que o minério fosfático encontra-se localizado abaixo de duas camadas sobrepostas uma de estéril com 30 a 40m de espessura e outra de minério de titânio (anatásio), com espessura de 25 a 30m. Da mesma forma, se sabe que para minerar o fosfato, há que se retirar essas camadas, assim como que o estéril e o minério de titânio, foram acumulados em pilhas separadas durante atividades pretéritas.

Os minérios de anatásio são abundantes no Brasil. As ocorrências de Tapira e Salitre, somadas a outras do Brasil Central, totalizam reservas de cerca de um bilhão de toneladas de minério de anatásio, contendo cerca de 20 a 25% de TiO_2. A essas reservas devem ser acrescentadas ainda as da região Norte do país, as quais mais do que duplicarão as reservas indicadas, até então.

Vários autores consideram que o Brasil detém, assim, as maiores reservas de Ti conhecidas no mundo, sendo que trabalhos realizados em escala de laboratório e piloto, mostraram ser viável,

técnica e economicamente, o aproveitamento do anatásio (BAETA, 1988; CVRD, 1986).

A ex-CVRD (atual VALE) investigou a possibilidade do aproveitamento do anatásio existente em Tapira, que embora, sendo uma mina de fosfato, é detentora de recursos potenciais de titânio, nióbio e terras raras.

Há cerca de 30 anos, algumas indústrias estrangeiras mostraram interesse em se associar à ex-CVRD, almejando apenas a produção de titânio, mas o projeto foi abandonado por não se ter revelado competitivo, à época. Contribuíram, ainda, para essa decisão os altos teores remanescentes de cálcio e fósforo e a existência de radiatividade decorrente da presença de urânio e tório associados. A legislação ambiental de alguns países produtores, assim como dos prováveis países consumidores de titânio exigiam que, à época, o somatório de urânio e tório não ultrapassasse 100 ppm.

Fica, entretanto, a questão: se o depósito de anatásio fosse considerado como um minério polimineralico constituído de – Ti, Nb, terras raras, U – não o tornaria econômico? Pode-se dizer que, aos preços praticados atualmente para estes elementos químicos, muito provavelmente, sim.

Devido ao processo de formação, o anatásio encontra-se associado a minerais fosfáticos, Nb, terras raras, U e Th que seriam co-produtos da exploração do titânio.

Alguns autores citam que em Tapira o minério de Ti, que capeia o anatásio, contém terras raras, com teores variando entre 1 a 10%.

Estima-se, portanto, que nos 350 milhões de toneladas de minério com 23% de TiO_2, possam existir de 800 a 900 mil toneladas de óxidos totais de terras raras (BAETA, 1988; CVRD, 1986; LAPIDO-LOUREIRO, 1994).

Os mesmos autores vislumbraram, entretanto, que um processo que incluísse a recuperação das terras raras contidas no anatásio, poderia ser esquematizado, simplificadamente, por um fluxograma

que contemplasse as operações unitárias, segundo a sequência abaixo (BAETA, 1988; CVRD, 1986; LAPIDO-LOUREIRO, 1994):

- ROM (25% TiO_2)

- Preparação mecânica do minério (55% TiO_2)

- Moagem, classificação, concentração em separador magnético (65% TiO_2)

- Calcinação e redução (69,5% TiO_2)

- Separação magnética e eletrostática (80% TiO_2)

- Lixiviação com solução de HCl (90% TiO_2 e 1% em termos de óxidos totais de terras raras)

- Circuito de separação dos elementos de terras raras usando processo de extração líquido-líquido.

5.33. Terras raras em Mato Preto (PR)

O complexo alcalino-carbonatítico de Mato Preto está situado no município de Cerro Azul, junto à povoação do mesmo nome, que está a leste da confluência dos rios Mato Preto e Ribeira do Iguape.

A atividade geradora da fase carbonatítica promoveu a concentração de vários elementos, tais como elementos de terras raras, Th, Fe, P e de minerais como a fluorita.

Os teores mais elevados de terras raras atingem até 12,84%, estando presentes em magnetita sövitos (carbonatito calcítico) (Tabela 37), assim como em alguns solos residuais (de 1 a 9% em 27 amostras), segundo LAPIDO-LOUREIRO & FIGUEIREDO (1984), assim como no corpo de minério de fluorita (SANTOS, 1988), Tabela 41.

Tabela 41 – Radiometria e teores de terras raras em ferrocarbonatitos de Mato Preto

Nº de Ref.	Radiometr. (cps)	OTR* (%)
1143	>15.000	12,84
1144	>15.000	10,36
1145	12.500	6,77
1146	15.000	4,67
1147	>15.000	9,12
1148	12.000	2,54
1149	13.000	5,65
1150	---	9,71

*Óxidos totais de terras raras
Fonte: LAPIDO-LOUREIRO, 1994

A Tabela 42 nos mostra que nas fluoritas roxas, não considerando a amostra P81b, cujo valor de Ce parece irreal, os teores de terras raras oscilam entre 6.692 e 2.508 ppm, ao passo que nas incolores variam entre 5.167 e 417 ppm, enquanto nas remobilizadas estão entre 1926 e 103 ppm.

Tabela 42 – Teores de elementos de terras raras (ppm) em fluoritas roxas de Mato Preto – PR

ETR*	P81b	29db34	P30a	P34b	P70b	TH2
La	15.113	2.881	699	1.670	762	833
Ce	188.869	3.017	1.178	2.121	1.241	1.573
Nd	4.416	550	412	670	408	708
Sm	453	59	67	97	69	121
Eu	94	14	17	25	21	32
Gd	241	50	44	67	72	71
Dy	81	38	27	30	47	33
Ho	17	7	5	5	7	6
Er	39	17	12	12	14	16
Yb	15	12	10	7	7	10
Lu	2	1	1	1	1	1
TOTAL	209.340	6.646	2.472	4.705	2.649	3.404

*Elementos de terras raras
Fonte: LAPIDO-LOUREIRO, 1994

Duas das amostras de solo residual (trincheira 1/Nuclebras), as quais são muito ricas em fluorita, mostraram a seguinte composição percentual (Tabela 43).

Tabela 43 - Composição percentual em amostras de solo residual (trincheira 1/Nuclebras)

Amostra Nº Ref.	Composição (%)				
	OTR*	P_2O_5	Nb_2O_5	U_3O_8	ThO_2
31	3,47	0,49	0,22	0,0024	0,076
32	9,92	0,34	0,13	0,0035	0,076

*Óxidos totais de terras raras
Fonte: LAPIDO-LOUREIRO, 1994

5.34. Terras raras na "Anomalia 13" / São Francisco (PR)

Quando da realização do "Projeto Açungui – Mapeamento Geológico" (TAVARES & MARQUEZAN, 1978), foram realizados estudos detalhados em áreas pré-selecionadas, em função de suas características quanto a radiometria/geologia/mineralogia. Destacou-se, à época, um conjunto de anomalias radiométricas, com cerca de 20 km de continuidade, que passou a ser designado por "Anomalia 13", sendo constituída, por vezes, pelas mineralizações de fluorita e teores elevados de Th.

Foi avaliado o potencial uranífero de duas áreas situadas a leste de Mato Preto. A análise em 234 amostras de canaleta e lascas de rocha de trincheiras, gerou resultados pouco significativos em termos de U e Th, da mesma forma que os teores de terras raras em termos da mistura dos óxidos de cério, lantânio e ítrio, raramente ultrapassavam 1%, atingindo, entretanto, um teor máximo de 3,18% (SILVA, 1980).

5.35. Terras raras na Fazenda Varela – Lages (SC)

O complexo alcalino-carbonatítico de Fazenda Varela situa-se no município de Correia Pinto, comarca de Lages, na região central de Santa Catarina.

É constituído por rochas alcalinas leucocráticas, rochas ultrabásicas alcalinas, carbonatitos e brechas vulcânicas, em

decorrência de atividade que aconteceu num curto intervalo do Cretácico (70 – 80 milhões de anos).

Trincheiras, poços e furos de sonda definiram um corpo tabular carbonatítico com 20 metros de espessura, 600m de diâmetro e veios menores anastomosados, também de carbonatito, cortando brecha feldspática (LAPIDO-LOUREIRO, 1994).

As terras raras ocorrem na brecha feldspático carbonatítica que está, parcialmente alterada. Foram analisadas, para terras raras, quatro amostras de carbonatito nas quais foram obtidos os seguintes resultados (Tabela 44).

Tabela 44 – Teores de elementos de terras raras (ppm) em quatro amostras de carbonatito – Fazenda Varela, Lages, SC

ETR*	LG-1-2	LG-1-10	LG-3-5	FV-32
La	16.883	853	2.115	3.266
Ce	19.457	1.612	4.152	5.959
PR	1.324	166	389	571
Nd	3.430	626	1.492	1.981
Sm	233	30	164	216
Eu	78	24	48	23
Gd	226	94	119	170
Tb	36	9	9	17
Dy	105	35	22	56
Ho	9	6	3	8
Er	35	14	4	17
Tm	3	2	1	2
Yb	14	7	3	8
Lu	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Y	535	177	56	239
ETR + Y	42.360	3.655	8.577	12.533

*Elementos de terras raras
Fonte: extraído e adaptado de SCHEIBE e FORMOSO, 1982.

5.36. Terras raras na Barra do Rio Itapirapuã (SP-PR)

O complexo carbonatítico da Barra do rio Itapirapuã localiza-se no vale do Ribeira do Iguape no limite dos estados de São Paulo e do

Paraná, a norte do rio Itapirapuã, na proximidade da sua confluência com o rio Ribeira.

É sabido, entretanto, que há dois corpos (focos) carbonatíticos, de um e outro lado do Ribeira do Iguape, nos municípios de Ribeira (SP) e Cerro Azul (PR), que designamos por Barra do Itapirapuã I (SP) e Barra do Itapirapuã II (PR). A sua descoberta apoiou-se em trabalhos de foto-interpretação e levantamento gama-espectrométrico (LAPIDO-LOUREIRO & TAVARES, 1983).

5.37. Terras raras na Barra do Itapirapuã I (SP)

O complexo carbonatítico da Barra do Itapirapuã I constitui, na margem esquerda do Ribeira, um plug de forma subcircular e relevo proeminente, com uma área aproximada de 2 km2. O maciço é circundado por espessos depósitos de vertente e coberto, na parte superior, por eluviões que escondem o substrato rochoso.

Fábio Ramos D. de Andrade, autor da tese "Geoquímica do sistema de alteração hidrotermal do carbonatito de Barra do Itapirapuã", afirma que: "o carbonatito é composto por rochas plutônicas de composição magnésio a ferrocarbonatítica e, por um volume subordinado de magnesiocarbonatito subvulcânico. As encaixantes do carbonatito são granitos proterozóicos. Processos extensivos de alteração hidrotermal levaram à formação de quartzo, apatita, fluorita, fluorcarbonatos de terras raras, barita e sulfetos em proporções variadas.

Dois tipos de carbonatitos plutônicos afetados por alteração hidrotermal foram reconhecidos. O tipo I contém principalmente quartzo, fluorcarbonatos de terras raras e apatita como minerais hidrotermais, apresentando padrões de elementos de terras raras altamente fracionados, com até 3% em peso de elementos de terras raras+Y, i.e., teores duas ordens de magnitude mais elevados que os do carbonatito plutônico fresco" (ANDRADE, 1998).

"O tipo II contém apatita, fluorita e barita como principais minerais hidrotermais, sendo caracterizado por enriquecimento em terras raras pesadas, em relação às amostras frescas". É proposto um

modelo no qual um fluido hidrotermal derivado do carbonatito e enriquecido em terras raras percola o carbonatito não mineralizado, causando o enriquecimento em terras raras.

Este processo é seguido pela percolação de um fluido hidrotermal de origem crustal em células de convecção através do carbonatito em resfriamento, incrementando o fracionamento isotópico e causando redistribuição dos elementos de terras raras. A evolução geológica deste carbonatito estende-se até o processo de intemperismo em atividade" (ANDRADE, 1998).

Sabe-se que, até então, a empresa detentora dos direitos minerários da área – Serrana – não tem divulgado os resultados de prospecção que tem sido feitos nessa região.

5.38. Terras raras na Barra do Itapirapuã II

O corpo carbonatítico da Barra do Itapirapuã II tem forma ovalada e abrange uma superfície de 1620 km2.

Os trabalhos desenvolvidos pela empresa estadual MINEROPAR no início dos anos 80, do século passado, atingiram bom detalhe, com excelente tratamento e interpretação dos dados, de campo e de laboratório.

Foram analisadas para terras raras, várias amostras de superfície (de afloramentos, solos e poços) e de sete furos de sonda inclinados, com profundidades variando de 40 a 250 m, dos quais apenas três interceptaram rochas carbonatíticas (SILVA & OLIVEIRA, 1984).

Os teores médios ponderados de óxidos totais de terras raras, nos furos IT-05 e IT-06 foram, respectivamente, de 1,29% (máximo 6,3%) e de 0,87% (máximo 6,4%). Em superfície, nas amostras de rochas, os teores oscilaram entre 3,0% e 4,4% para óxidos totais de terras raras. Em amostras de ferrocabonatito, coletadas em poços, atingiram-se valores de até 11% em termos de óxidos totais de terras raras.

Cabe assinalar que foram encontrados, para óxidos totais de terras raras, valores de até 3,21%, em granitos encaixantes. Há que se

destacar que se trata de uma rocha originalmente granitóide, a qual sofreu intensos processos de substituição hidrotermal, responsável pela introdução de minerais de terras raras, apatita, barita, carbonatos e outros derivados do evento carbonatítico (informação obtida pelo autor junto ao geólogo Donaldo C. da Silva, MINEROPAR, 1992).

Com base nos furos de sonda e numa rede de poços espaçados de 100 metros, a MINEROPAR apresentou uma primeira estimativa das reservas de terras raras em Barra do Itapirapuã II, a qual é reproduzida a seguir:

Minério: 2.390.250 toneladas

Teor: 1,29% em termos de óxidos totais de terras raras

Óxidos totais de terras raras: 30.834 toneladas

5.39. Terras raras em Seis Lagos (AM)

Situa-se no município de São Gabriel da Cachoeira, região do Alto Rio Negro, no noroeste do Estado do Amazonas. O complexo de Seis Lagos dista cerca de 30 km da pequena cidade de São Gabriel da Cachoeira, que está a 840 km de Manaus.

É formado por três estruturas circulares que sobressaem numa área fortemente aplanada de gnaisses e migmatitos. A maior, com 5,5 km de diâmetro, é conhecida pelo nome de Seis Lagos devido aos lagos que se formaram em depressõs de colapso. As outras são Morro do Meio e Morro Norte com 0,75 km e 0,50 km de diâmetro, respectivamente.

Na estrutura de Seis Lagos foram reconhecidos 4 ambientes geológicos:

- canga laterítica resultante de intenso intemperismo dos ferrocarbonatitos, ocorre na superfície dos três morros, apresenta forte radioatividade;
- argilas calcíferas e carbonosas, características de ambiente redutor de pântano, localizadas nas zonas de subsidência;

- brechas carbonatíticas e/ou carbonatitos existentes em profundidade;

- depósitos de vertente na parte inferior das encostas.

Os trabalhos de prospecção que foram, há pelo menos trinta anos, executados pela CPRM visavam definir essencialmente depósitos de Nb. A canga laterítica de Seis Lagos constitui um minério de Fe (50%) com Nb, (até 9,72% de Nb_2O_5 e um valor médio de 2,63%), Ti e terras raras. O mineral portador de Nb é ilmeno-rutilo niobífero e (ou) brookita niobífera, sendo que uma parte do Nb pode estar contida nos minerais de Fe.

Nas amostras superficiais de argilas das zonas de subsidência foram encontrados valores de até 1,5% de Ce. No único furo que atravessou este tipo litológico, em 11 das 12 amostras analisadas foram encontrados valores acima de 1.000 ppm, para La, e iguais ou superiores a 5.000 ppm para Ce e 200 ppm para o Y. No intervalo 36,85 – 41,50 m, o teor de elementos de terras raras alcançou 3,68% no seu conjunto.

No CDTN, em Belo Horizonte, foram analisadas para a CPRM 36 amostras de canga laterítica. Os resultados são reproduzidos na Tabela 45.

Tabela 45 – Teores de terras raras (%) em amostras superficiais de Seis Lagos

Amostra	La_2O_3	CeO_2	Pr_6O_{11}	Nd_2O	Sm_2O_3	Eu_2O_3	Gd_2O_3	Tb_4O_7	Dy_2O_3	Ho_2O_3	Er_2O_3
487	0,77	1,38	0,14	0,43	0,059	0,014	0,018	0,005	0,007	-	-
513	0,23	0,40	0,045	0,11	0,017	0,005	0,009	0,005	0,005	-	-
522	0,12	0,26	0,024	0,063	0,013	0,005	0,006	0,005	-	-	-
524	0,25	0,40	0,036	0,085	0,013	0,005	0,009	0,005	-	-	-
526	0,29	0,48	0,051	0,14	0,023	0,005	0,011	0,005	-	-	0,005
527	0,30	0,49	0,053	0,11	0,018	0,005	0,008	0,005	-	-	-
529	0,10	0,19	0,022	0,055	0,011	0,005	0,007	0,005	-	-	-
538	0,25	0, 28	0,053	0,16	0,021	0,005	0,014	0,005	0,005	-	0,005
539	0,061	0,14	0,013	0,34	0,009	0,005	0,009	0,005	-	-	-
544	0,22	0,42	0,047	0,13	0,021	0,005	0,011	0,005	0,005	-	-
547	0,37	0,59	0,068	0,19	0,030	0,007	0,015	0,005	0,005	-	-
549	0,34	0,74	0,073	0,21	0,037	0,009	0,009	0,022	0,005	-	0,005
550	0,20	0,65	0,041	0,10	0,021	0,007	0,016	0,005	0,007	-	0,005
551	0,20	0,54	0,049	0,14	0,029	0,008	0,020	0,005	0,005	-	0,005
560	0,052	0,21	0,013	0,038	0,007	0,005	0,009	0,005	0,005	0,005	-
562	0,15	0,27	0,029	0,077	0,015	0,005	0,010	0,005	0,005	-	-
564	0,20	0,43	0,042	0,13	0,024	0,005	0,009	0,005	-	0,005	-
565	0,30	0,69	0,062	0,18	0,027	0,007	0,014	0,005	0,005	-	-
575	0,038	0,41	0,009	0,024	0,006	0,005	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005
576	0,11	0,24	0,024	0,061	0,012	0,005	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005
581	-	0,67	0,005	0,005	0,008	0,005	0,005	0,005	-	0,005	0,005
585	0,071	0,22	0,031	0,12	0,040	0,012	0,027	0,005	0,008	0,005	0,005
589	0,039	0,15	0,013	0,027	0,006	0,005	0,005	0,005	-	-	0,005
649	0,46	1,09	0,096	0,31	0,044	0,011	0,014	0,005	0,005	-	0,005
679	1,02	2,23	0,21	0,64	0,068	0,013	0,014	-	-	-	0,008
829	0,11	0,10	0,027	0,081	0,011	0,005	0,007	-	-	0,005	0,005
830	0,14	0,31	0,031	0,076	0,016	0,005	0,006	0,005	0,005	-	0,006
838	0,13	0,32	0,036	0,090	0,015	0,005	0,007	0,005	-	-	0,006
856	0,091	0,17	0,028	0,098	0,015	0,005	0,006	0,005	0,005	-	0,007
869	1,11	1,82	0,16	0,45	0,058	0,013	0,022	0,005	0,005	-	0,006
898	0,21	0,71	0,094	0,21	0,024	0,005	0,005	-	-	-	0,005
930	0,061	0,19	0,024	0,089	0,032	0,006	0,009	-	-	-	0,005
950	0,14	0,36	0,057	0,32	0,15	0,050	0,11	0,007	0,037	0,005	0,015
954	0,13	0,24	0,24	0,073	0,020	0,005	0,009	-	-	-	0,005
960	0,050	0,11	0,606	0,024	-	-	0,005	-	0,005	-	0,007
964	0,025	0,086	0,008	0,032	0,008	0,005	0,005	0,005	-	-	0,005

Fonte: LAPIDO-LOUREIRO, 1994

A despeito dos teores poderem ser considerados como muito baixos, em termos de óxidos totais de terras raras faltam, ainda, estudos mais precisos sobre a distribuição, teores e a mineralogia das terras raras em Seis Lagos e nos vizinhos Morro do Meio e Norte.

5.40. Terras raras nas Províncias Estaníferas da Amazônia/Ariquemes (RO)

As províncias estaníferas da região Norte do Brasil (a de Pitinga já foi referida em detalhe) são fontes potenciais de depósitos polimineralícos, incluindo terras raras.

Nesse sentido a CPRM iniciou, recentemente (início de 2012, um projeto de mapeamento nessa região intitulado Províncias Estaníferas da Amazônia). O projeto abrangerá a porção centro-norte de Rondônia e nordeste do Amazonas, as quais incluem os depósitos de: cassiterita em Rondônia (mina de Bom Futuro, Jacundá, Santa Bárbara, Formiga, Caneco, São Lourenço, entre outras), de wolframita (mina Igarapé Manteiga), de topázio (Massangana) e, ainda, os de cassiterita, columbita, criolita e terras raras em Pitinga (AM). É de se esperar que com a conclusão desse projeto se possa obter uma nova e proveitosa contribuição, para uma melhor avaliação do potencial de terras raras na região.

A CPRM assim justificou a sua proposta: "os depósitos de cassiterita e minerais associados carecem de um conhecimento mais aprofundado em relação a sua gênese, litotipos encaixantes, natureza dos fluidos mineralizantes, idade dos jazimentos, fonte e contexto tectono-estrutural. Portanto, torna-se necessário um estudo aprofundado no sentido de caracterizar as fácies mais evoluídas dos granitos portadores de mineralizações de cassiterita, wolframita, columbita-tantalita e minerais associados, como é o caso das terras raras".

Portanto, os objetivos principais da pesquisa da CPRM são: i) caracterizar as rochas encaixantes dos corpos graníticos mineralizados em estanho, tungstênio, columbita-tantalita, topázio, criolita e terras raras, que ocorrem em Rondônia e Amazonas; ii) efetuar cartografia geológica e estudos metalogenéticos nos depósitos de cassiterita em Rondônia, wolframita, topázio; e cassiterita, columbita, criolita e terras raras em Pitinga (AM), contribuindo, pois, para uma avaliação do potencial em terras raras, que se prevê, desde já, ser grande à escala mundial.

Um estudo anterior realizado pela CPRM, nessa região, constatou que: "os minerais do minério de cassiterita são: quartzo, topázio, cassiterita, zirconita, monazita, ilmenita, ilmeno-magnetita e, em pequenas quantidades, rutilo, tantalita-columbita, berilo, feldspatos, limonita, turmalina, anatásio, amazonita, xenotímio, granada, leucoxênio. Os minerais principais, objeto de lavra e de interesse econômico atual, são a cassiterita e columbo-tantalita, estando esses minerais enriquecidos nos rejeitos magnéticos resultantes da separação da cassiterita. Junto à columbita-tantalita, outros minerais de interesse econômico, tais como, zircão, monazita, xenotima, ilmenita e rutilo se concentram nos rejeitos magnéticos, os quais podem ser comercializados, dependendo das condições de mercado" (BETTENCOURT et al., 1988).

Na Tabela 46 apresentam-se os teores de La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Lu e Y, obtidos nos pré-concentrados e nos rejeitos de concentração dos principais distritos mineiros, assim como na escória da Mineração Oriente Novo, os quais estão incluídos nesse mesmo estudo de BETTENCOURT et al., 1998.

Tabela 46 - Teores de La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Lu e Y (ppm), de pré-concentrados, rejeitos de separadoras dos principais distritos mineiros e de escória da Mineração Oriente Novo

Local	(*)	Composição elementar (ppm)							
		La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Lu	Y
(01)	(a)	915	1.930	1.200	151	5	15	21	400
(02)	(a)	300	>10.000	1.600	183	5	74	333	5.487
(03)	(a)	12	265	100	3	<5	<1	1	<2º
(04)	(a)	3.630	7.530	4.200	694	25	77	67	2.066
(05)	(b)	9	125	<50	2	<5	<1	1	<20
(06)	(b)	15	210	<300	12	<5	<5	54	<20
(07)	(c)	5.540	>10.000	3.000	896	10	65	109	1.004

(01) Mina Belém/Oriente Novo; (02) Mina Primavera/Oriente Novo; (03) São Lourenço/São Lourenço; (4) Igarapé Cachoeirinha/Cachoeirinha; (5) Lateral Saubinha/São Lourenço; (6) Queimada/Cachoeirinha; (7) Bera do Brasil (Metalúrgica) Grupo Brumadinho.

(a) Rejeito de concentração; (b) Pré-concentrado; (c) Escória secundária.

Fonte: Extraído e adaptado de BETTENCOURT et al., 1998

5.41. Terras raras em Itataia (CE)

Itataia é uma jazida fósforo-uranífera que está situada a 150 km de Fortaleza e a 45 km de Santa Quitéria. Constitui a maior reserva de urânio do Brasil, assim como a que apresenta o mais alto teor de P_2O_5. Até então, sabe-se que o minério ocorre desde a superfície até a profundidade de 180 metros.

Dois tipos de minérios têm sido reconhecidos: um com massas uniformes de colofanito e o outro de vênulas e stockwork de minério de colofanito, em mármores, gnaisses e epissienitos.

O urânio ocorre em hidroxi-apatita criptocristalina, que também justifica interesse econômico, como minério de fosfato. A rocha maciça de colofano (variedade maciça, criptocristalina, de apatita) tem sido referida como colofanito. A rocha colofanito é quase monominerálica (80% de colofano).

As análises químicas efetuadas em oito amostras de colofanito, a partir de testemunhos de oito furos de sonda, revelaram a existência de teores de até 870 ppm de Y, correspondendo, entretanto, a um valor médio de 456 ppm. Estes valores, que podem ser considerados altos para rocha fosfática, sugerem que sejam de origem marinha.

É sabido que se considera, atualmente, a hipótese do aproveitamento, além do U, de recuperação dos elementos das terras raras pesadas, assim como subprodutos da produção de ácido fosfórico.

5.42. Terras raras em Angico dos Dias (BA)

Angico dos Dias localiza-se na divisa dos estados da Bahia e Pernambuco, no distrito de Campo Alegre de Lourdes (BA), localidade que fica a 390 km a oeste da cidade de Petrolina.

É a única associação carbonatítica datada como pré-cambriana e o único carbonatito linear conhecido no país, onde são todos do tipo central ou filoniano.

A descoberta do carbonatito foi precedida pela caracterização de um depósito de fosfato residual com espessura máxima de 25 m, teor médio de 15,4% de P_2O_5.

Os teores de Nb, Th e U são anomalamente baixos para a média encontrada nas rochas carbonatíticas. O carbonatito tem alto teor de apatita, sendo, em média, superior a 14%. Em termos de óxidos totais de terras raras os teores são da ordem de 0,25% e, como habitualmente, acontece com a monazita, apresentam uma acentuada proporção de elementos de terras raras leves (Tabela 47).

Observando a Tabela 43, vale a pena destacar o elevado valor da relação Nd / La+Ce, assim como um valor aproximadamente constante para a razão La+Ce+Nd / P_2O_5, o que sugere que as terras raras estejam, essencialmente, associadas à apatita ou aos fosfatos dela derivados.

Tabela 47 – Teores de terras raras (ppm) em 8 amostras de carbonatito de Angico-dos-Dias (BA)

Amostra	Composição (ppm)				
	La	Ce	Nd	La+Ce+Nd	P_2O_5 (%)
56	960	1.680	2.200	4.840	10,90
58	1.040	1.720	1.940	4.700	9,70
62	580	980	1460	3.020	9,61
106	760	780	1.620	3.160	7,00
107	1.420	3.200	2.400	7.020	14,00
136	1.120	1.200	1.134	3.454	7,90
521	521	1.134	659	2.314	10,40
522	521	1.134	654	2.309	8,30

Fonte: SILVA et al., 1988

5.43. Terras raras em Bambuí (MG)

A área considerada localiza-se na porção sudoeste do Estado de Minas Gerais. No seu centro situa-se a cidade de Bambuí, que dista 270 km de Belo Horizonte.

É ocupada pelo Grupo Bambuí e está coberta com relativa frequência por sedimentos terciários (argilitos, siltitos,

conglomerados), que podem alcançar espessuras de 30 a 40 m. Neles não foi detectada qualquer anomalia radiométrica que pudesse revelar uma associação das terras raras com elementos radioativos.

Em relatório elaborado pela CNEN em 1969, foi citada a possível existência de terras raras e Y coincidindo com estruturas filonianas e diatremas, sendo este termo utilizado no sentido de identificar uma chaminé preenchida por brechas de explosão resultantes da pressão dos gases.

A CNEN estudou uma área de 2.000 km^2, coberta por levantamento aero-gama-espectrométrico. Nessa área foram detectadas 131 anomalias radiométricas, sendo que 12 delas correspondiam, seguramente, a diatremas (CORRÊA, 1971).

Por outro lado, em 1984 a ex-Nuclemon, no âmbito do seu projeto "Fontes Alternativas de Terras raras", procedeu ao reconhecimento e amostragem de 18 das anomalias mais representativas dessa região (LAPIDO-LOUREIRO, 1985), cujos dados analíticos são apresentados na Tabela 48.

Desse estudo resultou que o material que preenche as estruturas filonianas e os corpos designados por diatremas é essencialmente brechoide. Em superfície, só a anomalia 7 revelou uma área apreciável: 0,75 km^2.

Tabela 48 - Dados analíticos de amostras da região de Bambuí, MG

Nº da Anomalia.	U_3O_8	THO_2	Y_2O_3	TR_2O_3 sol em HCl (%)	Nº da Amostra.
01	0,02	0,50	0,11	2,3	BMB-3
03	0,01	0,12	0,06	0,2	BMB-4
03	0,09	0,73	0,66	0,7	BMB-5
07	0,03	0,05	0,03	0,2	BMB-9
07	0,02	0,04	0,03	0,1	BMB-23
07	0,02	0,06	0,03	0,1	BMB-18
07	0,02	0,05	0,04	0,2	BMB-25
07	0,02	0,05	0,04	0,1	BMB-26
24	0,05	0,12	0,22	0,3	BMB-16
26	0,02	0,92	0,05	1,1	BMB-20
32	0,05	0,08	0,11	0,1	BMB-17
40	0,02	1,1	0,25	1,4	BMB-14
40	0,02	0,25	0,08	0,2	BMB-15
49	0,03	0,17	0,05	1,0	BMB-11
49	0,03	0,54	-	-	BMB-12
62	0,02	2,1	0,06	2,1	BMB-27
62	0,02	2,3	0,08	2,5	BMB-22
80	0,02	0,81	0,07	6,2	BMB-21
97	0,04	0,37	0,13	0,8	BMB-1
97	0,04	0,36	0,12	2,1	BMB-2
101	0,02	0,28	0,04	1,4	BMB-13
103	0,02	0,06	0,06	0,2	BMB-6
103	0,02	0,07	0,06	0,4	BMB-7
103	0,02	0,07	0,06	0,6	BMB-8
108	0,03	0,16	0,04	0,2	BMB-19
109	0,02	0,06	0,03	0,1	BMB-24
Abacaxis	0,04	0,50	0,04	1,4	BMB-10

*óxidos totais de terras raras em solução
Fonte: LAPIDO-LOUREIRO e FIGUEIREDO, 1985

No Laboratório de Controle de Qualidade da ex-NUCLEMON foram dosados os elementos de terras raras em uma das amostras (a BMB-21) que anotou a concentração de 6,2% para a associação de óxidos totais de terras raras e de óxido de tório (Tabela 49).

Tabela 49 – Composição em termos de óxidos totais de terras raras + óxido de tório da amostra BMB-21 (Bambuí)

Óxidos	Teores %	Óxidos	Teores %
La	27,1	Tb	< 0,05
Ce	43,6	Dy	0,8
Pr	2,9	Ho	0,4
Nd	9,3	Er	0,3
Sm	0,7	Yb	n.d.
Eu	0,08	Y	1,1
Gd	0,9	Th	12,8

Fonte: LAPIDO-LOUREIRO, 1994

5.44. Terras raras em Peixe (TO)

O complexo alcalino de Peixe, de idade Mesoproterozoica (aproximadamente 1,5 Ga) é um corpo intrusivo, em metassedimentos do Grupo Serra da Mesa, composto por micaxistos com granada e sillimanita.

Tem uma forma alongada (cerca de 30 x 7 km), com seu eixo maior orientado no sentido N-S. Geotectonicamente está localizado na parte norte da Faixa Brasília.

"O Complexo apresenta várias mineralizações de interesse econômico, incluindo córindon, allanita e zircão, sendo que o zircão é lavrado até hoje" (KITAJIMA, 2002). O autor, nesta sua tese de doutorado refere que a "allanita ocorre como cristais milimétricos a centimétricos em sienitos médios a grossos, veios e lentes em monazita, pegmatitos graníticos e como megacristais detríticos".

Transcrevem-se, a seguir, os resultados divulgados por Luiz Fernando W. Kitajima (KITAJIMA, 1998), na sua tese de mestrado intitulada "Caracterização mineralógica e avaliação do potencial econômico preliminares da monazita e allanita do complexo alcalino de Peixe-TO".

"O complexo é constituído de nefelina sienitos com uma borda estreita de sienitos, quartzo sienitos e granitos. Pegmatitos sieníticos e graníticos ocorrem dentro e fora do complexo. Várias mineralizações

(zircão, monazita, allanita, ilmenita, coríndon, berilo) ocorrem no complexo. As monazitas ocorrem dentro de pegmatitos sieníticos e no horizonte de intemperismo, junto com fragmentos de quartzo, feldspato e biotita. Apresentam-se cortadas por veios e cristais de allanita, flúor-apatita e, possivelmente, hidróxidos de Fe e Al. Quimicamente podem ser separadas em duas populações, uma com alto teor de terras--raras (monazitas de alto La) e pouca substituição das terras raras nos sítios octaédricos e do P nos sítios tetraédricos, e outra mais pobre em terras raras leves (monazitas de baixo La), que apresenta maior substituição química nos seus sítios cristalinos. Suas características químicas, em especial o conteúdo de Th e terras raras, são semelhantes a de monazitas de rochas alcalinas (especialmente carbonatitos), embora as monazitas de baixo La assemelhem-se às monazitas de rochas graníticas. Foram possivelmente formadas por cristalização direta em um magma alcalino, com progressivo fracionamento de terras raras, ou em magmas distintos, sendo um alcalino e o outro possivelmente contaminado por rochas mais saturadas.

As allanitas são encontradas em monazitas, sienitos finos a grossos e em pegmatitos graníticos. Também podem ser encontradas no horizonte de intemperismo como mineral detrítico. Para cada paragênese as allanitas têm características distintas, sendo as allanitas em monazitas mais ricas em terras raras leves e as de pegmatitos graníticos mais pobres. As allanitas de sienito têm teores de terras raras leves aproximadamente intermediários, mas mais próximos das allanitas de monazitas.

As allanitas em monazitas e sienitos têm características químicas semelhantes as de allanitas em rochas alcalinas, enquanto as allanitas de pegmatitos graníticos são semelhantes às allanitas de rochas graníticas de diversas procedências.

As características texturais das allanitas em monazitas e em sienitos, como a associação com fluorita, calcita, etc., e em veios cortando a monazita sugerem que estas allanitas foram cristalizados a partir de fluídos magmáticos, que percolaram por monazitas e

formaram complexos solúveis de terras raras com fluoretos, carbonatos, etc.

As diferenças químicas entre as allanitas de monazitas e de sienitos são atribuídas a um processo de fracionamento das terras raras nestes fluidos hidrotermais. As características desta associação de allanita substituindo a monazita são semelhantes a outros exemplos estudados no mundo.

Allanitas e monazitas foram, até recentemente, objeto de lavra no Complexo Alcalino de Peixe, por serem minerais ricos em terras raras, além da monazita ser fonte de Th e P. São ainda recursos potenciais (a explotação destes minerais foi algo restrito), mas a presença de tório nestes minerais pode causar problemas ambientais e legais (o tório é propriedade do Estado). Além disto, a infraestrutura (estradas e energia elétrica) é precária e a região é distante dos centros consumidores."

Em concordância com o autor acima citado, mas também em decorrência de trabalhos de campo realizados pela Nuclemon em 1984 (FIGUEIREDO & LAPIDO-LOUREIRO, 1984), foram localizados bolsões pegmatíticos com grandes cristais ou massas de monazita e/ou allanita, ocorrendo nos micaxistos e gnaisses situados a sudeste do complexo alcalino de Peixe. Prolongam-se para norte, sempre nas proximidades da margem leste do complexo alcalino, de forma irregular e descontínua, por cerca de 15 km. A monazita vai dando lugar, progressivamente, à allanita, passando os bolsões de monazita, a sul, a serem de allanita, ao norte.

Uma amostra de material monazítico mostrou ser constituída, essencialmente, por esse mineral (75%), estando associado a óxidos de ferro limoníticos, apatita + allanita (20%) + opacos + quartzo + mica + leucoxênio + material argiloso (5%).

No bolsão de maiores dimensões haviam sido extraídos, à época, até a profundidade de 5-6 metros, cerca de 30 toneladas de monazita, em decorrência de trabalhos de garimpagem que foram suspensos, à época, em virtude de desabamento e inundação da cava.

Na Tabela 50 apresenta-se a composição de óxidos totais de terras raras para a monazita dessa região.

Tabela 50 – Dados analíticos de material monazítico de Peixe – TO referida a óxidos totais de terras raras (%)

Óxidos	P1	P15	P19	P19	P22	P24	P27
La_2O	37,7	34,6	34,4	33,7	36,8	36,7	37,6
$Ce0_2$	50,4	51,3	51,9	52,0	507	50,1	50,1
Pr_60_{11}	2,8	3,2	3,1	3,2	2,9	3,1	2,8
Nd_20_3	7,7	9,0	8,7	9,2	7,9	8,2	7,7
Sm_20_3	0,3	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,3
Eu_20_3	0,030	0,031	0,035	0,036	0,035	0,031	0,038
Gd_20_3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1
Y_2O_3	0,10	0,13	0,16	0,10	0,26	0,10	0,28
ThO_2	0,79	0,87	0,82	0,88	0,85	0,86	0,87
Extrato sulfúrico							
TR_2O_3*	36,5	65,8	53,8	62,7	56,5	71,2	59,6

*Óxidos totais de terras raras
Fonte: LAPIDO-LOUREIRO, 1994

Por outro lado uma amostra rica de allanita mostrou a seguinte composição mineralógica: allanita (77%); plagioclásio (15%), quartzo (3%), leucoxênio + opacos + moscovita + monazita (5%).

As terras raras predominantes na allanita são os elementos leves, Ce e La. Em seções polidas, Reiner Neumann observou que as inclusões mais brilhantes são provenientes de um provável flúor-carbonato de terras raras (possivelmente, bastnaesita ou sinchisita/parisita, pois contém cálcio) e que, aparentemente, a alteração da allanita deixa o flúor-carbonato cristalizado nas fraturas pelas quais a alteração avança (informação obtida pelo autor junto ao Dr. Reiner Neumann, CETEM/MCTI).

5.45. Terras raras na Serra do Repartimento (RR)

A ocorrência de terras raras na Serra do Repartimento está localizada no Estado de Roraima, Município de Mucajaí, distando cerca de 180km, por estrada, de Boa Vista.

A área de estudo é recoberta por solo laterítico, apresentando raros afloramentos. No local foram identificados 4 stocks constituídos de sienitos, tinguaítos, monzonitos, diques de fonolito e nefelinito.

A área laterítica enriquecida em terras raras, por vezes com blocos abundantes de barita, é cercada por rochas sílico-feldspáticas, também recobertas, quase sempre por lateritas.

No material laterítico, radiometricamente anômalo, foram identificados, além de óxidos-hidróxidos de ferro, barita, monazita, zircão e gorceixita-goyazita.

As análises em amostras de solo laterítico definiram teores variando entre 1 a 5,5% para a mistura de óxido de cério, lantânio, praseodímio e ítrio, assim como, variando de 0,11 a 1,6% para óxido de zircônio. Entretanto, para óxido de nióbio a composição variou entre 0,10 a 0,28%.

5.46. Terras raras no Igarapé Bahia, Carajás (PA)

O Grupo Igarapé Bahia foi definido, em 1988, pela ex-DOCEGEO/CVRD. Corresponde a rochas metassedimentares e metapiroclásticas intercaladas com metabasaltos. Furos de sondagem revelaram a existência de brechas e grandes espessuras de metabasaltos, na porção basal desse grupo, com mineralização polimineralica, predominando Cu e Au.

O depósito de Cu-Au de Igarapé Bahia está localizado na Província Mineral de Carajás (PA). Caracteriza-se por apresentar uma sequência de rochas vulcanossedimentares de idade arqueana, metamorfizadas na fácies xisto verde, compostas por rochas metavulcânicas básicas, na base, e por rochas metapiroclásticas/metassedimentares no topo da sequência. As rochas do depósito "apresentam um forte enriquecimento em elementos de terras raras, especialmente nas brechas mineralizadas /.../. Os minerais ricos em elementos de terras raras, até agora encontrados, foram a monazita, alanita, bastnaesita e parisita, relacionados a alteração hidrotermal" (TAZAVA, 1999).

Estudos desenvolvidos pela ex-SUTEC/CVRD em 1996 mostraram que as assembléias minerais, predominantes em todos os tipos de rochas da área, consistem de clorita (Fe-clinocloro), quartzo, albita e carbonato (siderita e calcita). As rochas encaixantes da mineralização estão enriquecidas em elementos de terras raras leves, U, Rb, F, Cl, Cu, Au, Ag e Mo.

O principal constituinte do minério é a calcopirita, secundada por pirita, bornita e covelita. Além desses minerais foram identificados traços de uraninita, hessita (Ag, Te), monazita, apatita, bastnaesita [(Ce,La)FCO_3], parisita [$(Ce,La)_2Ca(CO_3)3F_2$], molibdenita, cassiterita, ferberita ($FeW0_4$), fluorita e ouro. Na ganga destacam-se clorita, siderita, quartzo e magnetita (ALMADA & VILLAS, 1999).

O sistema hidrotermal responsável pela mineralização continha fluidos altamente salinos (até 40%, em termos de equivalente peso de NaCl) e ácidos, provavelmente de contribuição crustal, e provenientes de fonte granítica, à semelhança dos depósitos de Cu (Au-Mo) do Salobo e Cu(Zn) do Pojuca.

5.47. Terras raras nos Fosfatos Sedimentares – Miriri (PB - PE)

O depósito de rocha fosfática da bacia sedimentar de Miriri localiza-se ao sul de João Pessoa nos municípios de Alhandra e Pedra do Fogo, no Estado da Paraíba, se estendendo até o município de Goiana, em Pernambuco.

A CPRM executou 134 furos e estudou 1.060 amostras de testemunhos, mas as análises não incluíram as terras raras. As reservas totais foram calculadas como sendo de 28 milhões de toneladas de rocha fosfática, com um teor de 10,9% de P2O5.

Duas dezenas de amostras, escolhidas aleatoriamente, a título de pesquisa preliminar, foram analisadas para 30 elementos, por espectrografia de emissão, tendo-se obtido valores da ordem de 500 ppm para Ce e entre 50 e 300 ppm para Y e La.

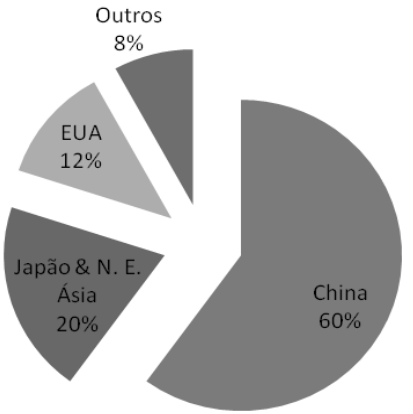
Capítulo III

PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA MÍNERO-QUÍMICA DAS TERRAS RARAS NO BRASIL EM FACE DA RETOMADA MUNDIAL DE SUA EXPLORAÇÃO

> *At the moment, China is the dominant player in the rare-earth space, which is where the operation of Western free-market capitalism, always seeking the lowest price, placed China. This cannot and will not change for two to three years, the least time it will take, if everything goes according to plan, for new or restarted production and refining in significant quantities of rare earths produced outside of China, refined outside of China, and incorporated in end-use products outside of China to come to the world market.*
> Jack Lifton, January 16, 2011. In: China. News.Analysis. Rare Earths.

6. AS NOVAS CARACTERÍSTICAS DA REGLOBALIZAÇÃO DA INDÚSTRIA DAS TERRAS RARAS

A demanda mundial de terras raras para o ano de 2010 foi estimada em 134.000 toneladas/ano para uma produção mundial de 124.000 toneladas/ano, sendo o maior consumidor a China, que é também de longe o maior produtor, enquanto o Japão e muitos outros países do ocidente estão totalmente dependentes de importações e, até mesmo, de reciclagem, conforme apontou SEAMAN (Figura 23).



Fonte: SEAMAN, 2010
Figura 23 – Consumo mundial estimado de terras raras, por países, em 2010

Existiam previsões de que a demanda atingiria 180.000 toneladas/ano em 2012 e 200.000 toneladas em 2014, sendo pouco provável que a entrada de novas minas em produção pudessem compensar essa diferença, no curto prazo. Como a produção chinesa não deve ultrapassar 160.000 toneladas, no curto prazo, pode-se prever que haverá um déficit anual de 40.000 toneladas/ano, nesse horizonte (HUMPHRIES, 2010).

A situação é preocupante em países altamente industrializados como EUA, Japão, Coréia do Sul, União Europeia, mas também, especialmente, naqueles em desenvolvimento, que não pretendem ser apenas importadores de produtos de tecnologia de ponta.

Existia farto noticiário de que, no caso dos EUA, a demanda por ímãs permanentes deveria crescer em 2012, entre 10 e 16% e que a demanda por aplicações em catálise deveria subir de 6 a 8%. Por outro lado, especialistas norte-americanos apontavam, à mesma época, que: *The lighter elements such as lanthanum, cerium, praseodymium, and neodymium are more abundant and concentrated and usually make up about 80% - 99% of a total deposit. The heavier elements – gadolinium through lutetium and yttrium – are scarcer but very "desirable" according to USGS commodity analysts* (HUMPHRIES, 2010).

No Brasil, embora não exista uma cadeia verticalizada em produtos de terras raras, já está bem conhecido que as terras raras, além de formarem depósitos específicos, ocorrem com outros elementos como o cobre, ouro (a região de Salobo, Carajás apresenta bom potencial), urânio, fosfatos, assim como em minérios de Sn (cassiterita), Nb (pirocloro), Nb-Ta (niobotantalitas), Zr (zircão), F (fluorita).

Corroborando com essa afirmativa, destaque-se a opinião do especialista americano Anthony Mariano, que é conhecedor do potencial geológico do Brasil: *Careful consideration should be given to the feasibility of mining and processing of REEs as a byproduct of phosphorus deposits and from titanium ad niobium mines in Brazil* (MARIANO et al., 2010).

Segundo especialistas do Serviço Geológico Americano (USGS), no longo prazo, as reservas já descobertas e os recursos que estão a ser

definidos, principalmente no Canadá, EUA, Groenlândia e Austrália, em três dezenas de projetos, serão suficientes para satisfazer a demanda (HUMPHRIES, 2010).

O mesmo autor, em relatório preparado para os membros de comitês do congresso norte-americano, coloca os seguintes dados:

> *World demand for rare earth elements is estimated at 134,000 tons per year, with global production around 124,000 tons annually. The difference is covered by above-ground stocks or inventories. World demand is projected to rise to 180,000 tons annually by 2012, while it is unlikely that new mine output will close the gap in the short term. By 2014, global demand for rare earth elements may exceed 200,000 tons per year. China's output may reach 160,000 tons per year (up from 130,000 tons in 2008) in 2014. An additional capacity shortfall of 40,000 tons per year may occur. This potential shortfall has raised concerns in the U.S. Congress. New mining projects could easily take 10 years for development. In the long run, however, the USGS expects that reserves and undiscovered resources are large enough to meet demand.*

Em nossa opinião, entretanto, mesmo depois da entrada em operação de novas usinas de processamento, poderá continuar a haver carência dos elementos La, Nd, Eu e das terras raras pesadas, em especial, Tb, Dy, Lu e Y. Daí o interesse demonstrado por empresas internacionais no xenotímio de Pitinga (AM) e em identificar ocorrências ricas nestes elementos.

É fato que nos últimos anos tem-se verificado na China grande aumento do consumo interno dos elementos das terras raras. Associado a esse fato contribuem ainda para o risco da escassez, o fechamento de garimpos e de pequenas minas, por razões ambientais e de extração predatória, o que provocou, entre 2010 e 2011, em consequência, limitações na produção interna e nas suas exportações.

ZHANHENG CHEN (2011), Director of the Academic Department of the Chinese Society of Rare Earths (CSRE), na sua apresentação, em janeiro de 2011, em Vancouver, divulgou os seguintes números, os quais foram também citados por HATCH (2011):

Total supply in 2013 of 87 kt from China, out of a total 134 kt of global supply. He also forecast a total global supply target after 2015, of 278 kt of rare earths, with the target for China's production set at 100 kt of rare earths and 178 kt from other sources. In some quarters, this figure of 278 kt appears to have been misinterpreted as being a demand forecast from Dr. Chen, but this is not the case.

Ainda, na apresentação de Chen foi feita uma referência a um particular projeto da Mitsubishi / Neo Material Technologies, a ser implantado, no futuro próximo, em Pitinga (AM), como: *non-Chinese sources of supply of rare earths preparing to come on-stream.* As previsões de produção futura segundo HATCH, correspondem a: para o período 2011-2013 seria 0,5 ktpa TREO, enquanto a capacidade prevista para 2015 atingirá 1 ktpa TREO (HATCH, 2011).

Esses fatos, que estão associados ao forte aumento na demanda mundial, vêm, entretanto, viabilizando a retomada de projetos em vários países. Segundo HOCQUARD (2010), dez desses projetos estão em fase adiantada, devendo ser salientado que a mina do Pitinga - AM (majoritariamente de elementos das terras raras pesadas) foi incluída nessa lista.

Por outro lado, LIFTON prevê que a China *will be completely self-sufficient in domestic rare-earth production for its supply chain in 2015 as it is today. I also think that higher prices for rare earths are inevitable as China cleans up the environment in general and in mining in particular. The one, the greening of rare earth mining, adds costs to rare-earth mining; the other, the greening of the Chinese economy, adds demand. Both are upward price drivers*. (LIFTON, 2011).

Esse mesmo especialista J. Lifton, que é reconhecido como um profundo conhecedor da problemática das terras raras, apresenta os seguintes comentários sobre o redobrado interesse na definição e explotação de novos depósitos.

The best market plan for non-Chinese miners who plan to produce rare earths is to acquire or JV with existing companies that already have the skill sets needed. These will be Chinese, Japanese, French, British, Indian, or Estonian companies. Some have already done this. Any mining venture

that intends to go head-to-head with a Chinese mining venture, solely on the ability to produce ore concentrates or even separated and purified chemical compounds must, I think, fail. There is also one more thing that all rare-earth end users must do. They must secure their supply of the total of the critical rare earths for their products or processes. This means to me, that they must secure their supplies of one or more of lanthanum, neodymium, samarium, europium, dysprosium, and terbium (LIFTON, 2011a).

O mesmo autor alerta, ainda, que as indústrias que queiram entrar na produção de ímãs de alto rendimento, como é o caso dos motores de carros híbridos elétricos e de turbinas eólicas, setores em ampla expansão, devem procurar garantir o fornecimento das terras raras para as suas necessidades, preferencialmente, por meio de associações estratégicas com os produtores dos insumos.

Retornando ao contexto nacional, lembra-se que elementos de terras raras pesadas, com significativa presença no xenotímio de Pitinga, como: Nd (69,4%), Pr (23,4%), Dy (5%), Gd (2%) e Tb (0,2%), são usados, entre outras aplicações, para fabricar ímãs permanentes (Nd-Fe-B) de grande eficiência e alta qualidade.

Por exemplo, é reconhecido que o motor híbrido do Toyota Prius necessita de 1kg de Nd, o do Mercedes S-400, 0,5kg e as baterias Ni-M-H (Nickel-Metal Hydrid) do Toyota Prius, de grande durabilidade, requerem 12 a 20kg de La por unidade

Os mais recentes modelos de grandes fabricantes de turbinas eólicas, , por exemplo, Vestas e China's Goldwin, principalmente aquelas de aplicação em centrais *offshore*, também usam ímãs Nd-Fe-B que lhes aumenta a eficiência e reduz, substancialmente, a necessidade de manutenção. Cite-se, ainda, a título de exemplo, as turbinas de 3 MW desenvolvidas pela empresa Siemens, as quais requerem 2 toneladas de ímãs por turbina, correspondendo ao consumo de 600kg de Nd por turbina (HOCQUARD, 2010; SEAMAN, 2010).

A ampla utilização de lâmpadas frias de alta eficiência energética, em substituição às incandescentes, da mesma forma, é responsável por uma parcela significativa do aumento de consumo de elementos de terras raras, nesse caso, especificamente, representados por Y, La, Ce, Eu, Gd, Tb.

Nos EUA, por exemplo, há estudos que mostram que o uso deste tipo de lâmpadas em iluminação pública e em prédios governamentais poderá traduzir-se, em economia de energia, que implica na redução de emissão da GEE (Gases de Efeito Estufa), proporcional a 1/3 do volume total que é emitido pelos veículos que utilizam combustíveis fósseis naquele país (HAXEL, HEDRICK, ORRIS, 2010).

Não se deve esquecer, ainda, que há um desenvolvimento constante de novos materiais para aplicação em novas tecnologias, nos quais a aplicação dos elementos de terras raras é indispensável. Esse é o caso dos supercondutores (ítrio), com aplicação em refrigeração magnética e de novos campos de aplicação, como é o caso da termoeletricidade. Nesse caso específico, descobriu-se que a adição de apenas 1% de um elemento do grupo das terras raras, cério ou itérbio, melhora o desempenho de materiais termoelétricos, conhecidos como TAGS - em até 25% (LEVIN et al., 2011).

Os materiais termoelétricos são capazes de converter diferenças de temperatura diretamente em eletricidade - um fenômeno conhecido como efeito Seebeck – por outro lado, convertem a eletricidade diretamente em diferenciais de temperatura - um fenômeno conhecido como efeito Peltier.

Retornamos, entretanto, a destacar algumas das percepções de Jack Lifton (LIFTON, 2010; LIFTON, 2011), sobre a atual problemática das terras raras.

- *The most critical of the current rare earths are dysprosium and terbium, two of the heavy rare earths, today produced only in China and historically produced only in the former Soviet Union and in China.*
- *There are only a small number of rare-earth projects outside of China capable of producing commercial quantities of dysprosium and terbium.*
- *Some or all of these MUST be brought into production as soon as possible, because it is said by the Chinese themselves, that their heavy-rare-earth production has less than 25 years remaining at present levels, and much less if demand increases.*

- *China, like the rest of the rare-earth-using countries, is therefore also seeking out heavy-rare-earth production.*
- *There will be no non-Chinese, rare-earth-based, mass-produced devices utilizing rare-earth permanent magnets, until a reliable steady supply of dysprosium can be secured.*
- *The lighting industry outside of China will founder, without a secure supply of the heavy rare earth terbium.*
- *Therefore, if there is to be a non-Chinese, rare-earth-utilizing manufacturing industry, one or more of the heavy-rare-earth deposits that are technically feasible, must be brought into production even if it is not economically sensible on a freestanding basis as a business.*
- *The rare earths supply issue is one of contemporary economics not of scarcity. I think we are now beginning to see the issue of absolute scarcy of some of the technology metals, as I call the rare metals that underpin all our of technology and which appear in the chart in the Appendix, almost entirely as metals produced at a rate lower than that of lanthanum (32,000 tonnes in 2009).*
- *If the goal of future society is to live in a world of unlimited consumption then it will fail; it's time to make some very long term plans and make choices about the allocation of human intellectual as well as financial capital to ensure the best life for the most people. The problems are water, energy, and metals* (LIFTON, 2010).

Há que se salientar que enquanto as terras raras leves são produzidas como coprodutos da mineração organizada de minério de ferro, Dy e Tb são produzidos no sul da China em 200 minas artesanais das quais 50% delas são ditas ilegais.

Em Guyun, pequena aldeia do SE da China a extração é feita manualmente, com pás. A laterita mineralizada é colocada em fossas onde é lançado, diretamente, reagentes químicos, que se infiltram no solo, provocando fortes problemas ambientais. Esta produção vinha sendo, geralmente, contrabandeada para exportação (HOCQUARD, 2010), porém as recentes medidas tomadas pelo governo chinês devem reorganizar e melhorar o controle desses atos.

Em função dessa reestruturação, é de se prever que a China poderá, no curto prazo, decidir por uma diminuição de oferta desses elementos pesados para o mercado mundial, coincidindo, ainda, com o aumento do seu consumo interno.

7. RESUMINDO E CONCLUINDO: RUMOS TÉCNICOS PARA O DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA MINERAL DAS TERRAS RARAS NO BRASIL

A situação e a problemática das terras raras no Brasil, está inserida no atual contexto mundial, merecendo, mais do que nunca, uma reflexão atenta, que se apoia em alguns fatos.

Parafraseando a conhecida afirmação de Eduardo Portela, pode-se dizer que as terras raras NÃO SÃO raras (várias), ESTÃO raras (algumas como, por exemplo, Dy, Tb, Nd, Eu), e talvez continuem escassas até que novas minas entrem em produção em vários países.

Não há risco de penúria de recursos desses elementos a médio/longo prazo, desde que entrem em produção os depósitos/reservas já conhecidas, ao redor do mundo, havendo assim, disponibilidade imediata de terras raras para a indústria.

Para compensar a rápida redução da produção e das vendas chinesas, há necessidade de colocar em produção, no curto prazo, jazidas conhecidas que ainda não estejam em produção, avaliar ocorrências e desenvolver campanhas de prospecção para localização de novos depósitos de forma a atender ao aumento de consumo e à escassez das reservas atuais de certos elementos, como é o caso das terras raras ítricas.

Neste contexto, deve ser observada, com bastante atenção, no Brasil, a feição polimineralica dos depósitos de baixo teor, para se pesquisar a possibilidade de recuperação das terras raras como subproduto e/ou coproduto das indústrias de nióbio, estanho e fosfatos.

É mandatório que se considerem os mais atuais preceitos de sustentabilidade, os quais devem ser aliados àqueles técnico-econômicos para o desenvolvimento de caminhos inovadores de explotação desses elementos.

O Brasil que já teve posição de destaque, tem enorme potencial para explotar terras raras, porém está perdendo a corrida nos campos da produção e industrialização desses elementos, o que se reflete, da mesma forma, nas ações relacionadas à pesquisa, desenvolvimento e inovação.

O Brasil deveria, portanto, projetar e fomentar a verticalização da indústria das terras raras não se atendo apenas a produzí-las e exportá-las, na condição de *commodities*, tal como acontecia há cerca de 20 anos.

É bastante promissor, portanto, a implantação de uma cadeia produtiva de ímãs permanentes de terras raras, de alto rendimento, no Brasil. Uma vez existente essa cadeia poderá atender, entre outras, às chamadas "indústrias verdes", que fabricam as turbinas eólicas e os carros híbridos elétricos, já que irão requerer grande quantidade de terras raras, principalmente, Nd, Dy, Tb (ímãs - motores), La (baterias), entre outras (GROUPE D'INFORMATION SUR LES ÉOLIENNES, 2011).

VILLAVERDE (2011) cita que o governo planeja dar forte estímulo ao 'carro verde' e, ainda, que segundo um dos principais articuladores do regime automotivo, "nossa chance de liderar o desenvolvimento tecnológico na indústria automobilística, inclusive para construir uma fábrica 100% nacional, focada no carro elétrico, é agora".

É quase consenso, nesse segmento, que as empresas que se lançarem nesses projetos devem ter garantido o abastecimento das terras raras que necessitarão para uso nos seus produtos.

É fato, ainda, no Brasil que se tem verificado, ao longo do tempo, a não viabilização de jazidas e/ou o subaproveitamento de outras, acarretando, inclusive, danos ambientais, por não serem consideradas como jazidas poliminerálicas.

Uma das razões talvez seja o fato das grandes empresas mineiras atuarem mais como empresas que comercializam minérios do que como empresas de mineração, no termo mais estrito, tendo como alvo, tão somente, a obtenção do maior lucro possível.

Percebe-se que, via de regra, tem sido feitas lavras predatórias. Há um descaso com o aproveitamento integral de depósitos/jazidas que deveriam incluir subprodutos, rejeitos e resíduos, isto é, verifica-se, via de regra, a inobservância do conceito de sustentabilidade na indústria mineira.

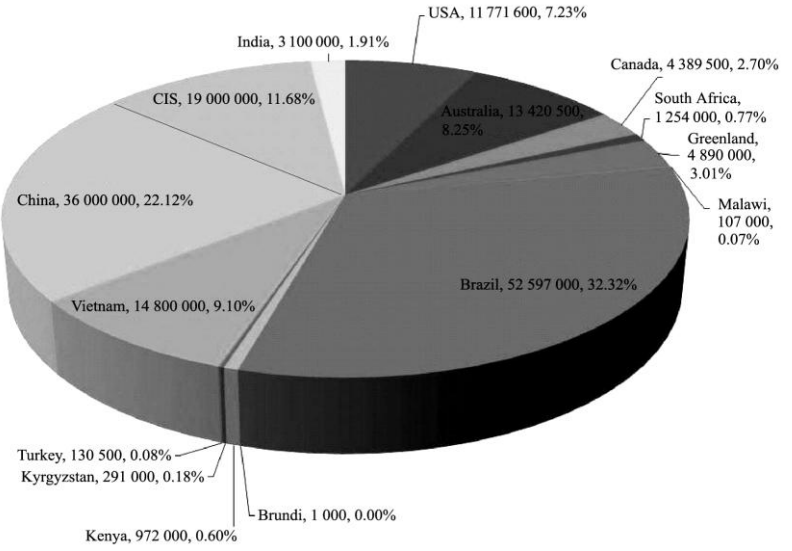
Uma outra percepção que se pode ter é que as empresas brasileiras, talvez por falta de visão técnica ou de espírito inovador e de vontade política, ou por simples omissão, estão a sujeitar o país à carência de elementos estratégicos, não raramente de elevado valor comercial, os quais são importados a altos preços, na forma de produtos transformados.

Há, pois, necessidade de se implantar uma política de estado que possa corrigir os danos que estão sendo causados à economia do país, ao meio ambiente e ao conceito de desenvolvimento sustentável.

É notório que não têm sido realizados estudos detalhados e sistemáticos direcionados à prospecção e definição de ocorrência de terras raras em rochas graníticas. As informações que existem são resultantes, em grande parte, de estudos acadêmicos (teses) e da avaliação de ocorrências de outros bens minerais, principalmente cassiterita, fluorita e criolita, realizados há cerca de 20 anos.

Enquanto essa situação não se resolve, o Brasil está totalmente dependente da importação de terras raras, sendo que em 2008, importou cerca de 378 milhões de dólares, em bens primários, semimanufaturados, manufaturados e, principalmente, compostos químicos (US$ 264 milhões), de produtos à base de terras raras.

Autores estrangeiros, por outro lado, citam que os recursos brasileiros de terras raras, com base em estudos internacionais bem fundamentados (depósitos), são referidos como sendo da ordem de 52,5 milhões de toneladas (CHEN, 2011).



Fonte: CHEN, 2011

Figura 24 – Distribuição de terras raras no mundo

Chama-se mais uma vez a atenção para o fato de, só em Catalão e Araxá, o Brasil, possuir recursos medidos ("reservas contidas"), de terras raras leves, superiores às reservas oficiais da China mas, ainda, sem comprovação de tecnologia viável para justificar uma extração econômica.

Note-se que quando citamos, "ainda sem comprovação de tecnologia de extração econômica", referimo-nos às condições prevalecentes há, pelo menos, 20 anos atrás, quando a China derrubou os preços internacionais das terras raras e inundou os mercados com os seus produtos, a preços baixíssimos, fato que não se verifica nos últimos 10 anos.

Ressalte-se, ainda, o fato da monazita do depósito do Córrego do Garimpo, Catalão I (GO), apresentar baixos teores de Th e de U (NEUMANN, 1999; RIBEIRO, 2008), sendo bastante provável que o mesmo aconteça no depósito vizinho de Lagoa Seca.

É reconhecido que os concentrados de xenotímio, que podem ser obtidos em Pitinga (AM), como subprodutos da cassiterita, têm

enorme valor estratégico e comercial, em virtude dos altos teores e do perfil de distribuição dos elementos de terras raras pesadas.

Como já foi referido, o xenotímio de Pitinga (AM) é uma variedade incomum pela sua composição. Apresenta altíssimo valor para o somatório dos teores das terras raras pesadas (98,4%), embora relativamente baixo de ítrio (42,13%). Merecem destaque especial os valores de Yb (20,97%), Er (14,27%) e Dy (10,64%).

Até onde se sabe oficialmente, não foi estabelecido, ainda, o volume total das reservas de xenotímio existente no aluvião e no minério primário de cassiterita da mina do Pitinga.

Por outro lado, está bem definida uma área anômala para terras raras ao norte do corpo de minério primário da mina do Pitinga. Em complemento, é sabido que a produção da liga FeNbTa, por aluminotermia, deixa nas escórias, Y e outros elementos de terras raras, caso não tenham sido separados na etapa de beneficiamento. Outra parcela fica retida nas escórias da metalurgia do estanho.

Há outro aspecto que deve ser visto com particular atenção: as terras raras não devem ser consideradas apenas como produto base ou único, para fins de definição de uma jazidas, mas também e principalmente, como subproduto ou coproduto de depósitos polimineralícos, isto por razões de sustentabilidade econômica e ambiental.

Além de existirem indústrias já estabelecidas que necessitam de terras raras como, por exemplo, a FCC (Fábrica Carioca de Catalisadores), sabe-se que há propostas para a execução de projetos consorciados, incluindo a iniciativa privada e o setor governamental, representado por universidades e centros de pesquisa, que buscam viabilizar a produção, no Brasil, de ímãs permanentes, de turbinas eólicas, de carros híbridos elétricos (empresa EBX e Renault/Nissan) e de trens de levitação magnética para transporte urbano (Projeto MagLev Cobra – COPPE / UFRJ). Todos eles serão grandes consumidores de terras raras.

Outro aspecto a levar em consideração é o fato da cadeia de abastecimento das terras raras ser complexa, exigindo, pelo menos,

cinco etapas até a sua aplicação, quais sejam: lavra, concentração, extração, separação e purificação para a produção de compostos. Os produtos finais são, segundo C. Hocquard (2010), mais de 400 compostos, sob a forma de aproximadamente 1000 especificações diferenciadas, conforme as aplicações.

A explotação mineral das terras-araras pode dar origem, de uma forma mais simples, a uma mistura de 17 elementos que podem formar o chamado *mischmetal*. A separação dos elementos de terras raras, seguindo o caminho da extração por solventes é, entretanto, complexa. No caso do Yb, por exemplo, pode requerer até 1000 estágios para que seja possível a produção do metal de alta pureza, dependendo das etapas iniciais, incluindo a solubilização e os circuitos de separação.

Existe, portanto no Brasil, uma excelente oportunidade para a exploração das terras raras, considerando a grande proporção de ocorrências poliminerálicas com enorme potencial, desde que as terras raras sejam consideradas como coproduto ou subproduto.

Há que se reiterar que suas fontes principais, no Brasil, são os granitos alcalinos da região de Pitinga (AM) e os minérios de zircônio e de estanho na Amazônia, neste caso como coproduto da explotação desses bens minerais. É também referida a presença de xenotímio, em pegmatitos, no extremo sul de Minas Gerais, na região do rio Sapucaí.

O xenotímio que é o principal mineral de elementos de terras raras pesadas ocorre em alcaligranitos, associados a depósitos de cassiterita e de niobotantalitas, com ampla distribuição no norte e noroeste do Brasil.

No Brasil os principais minerais de terras raras são a monazita, a bastnaesita (terras raras leves) e o xenotímio (terras raras pesadas). Os únicos depósitos que deram origem à produção industrial de terras raras foram as areias monazíticas do litoral da Bahia e do norte fluminense.

É sobre as terras raras pesadas que, prioritariamente, deverão incidir os programas de prospecção e pesquisa mineral que venham a ser desenvolvidos no Brasil, tanto mais que já são conhecidos

depósitos com grandes reservas e teores elevados de elementos terras raras leves no País.

Em capítulo anterior foi demonstrado que são numerosas as ocorrências de terras raras no país. Além dos *placers* de litorais e de rios, conhecidos há muito, existem, no caso das terras raras leves, importantes depósitos com teores e reservas elevados, associados a complexos carbonatíticos, já bem definidos em Catalão (GO) e Araxá (MG). Em associação com outros bens minerais, tais como os de P (apatita), Ti (anatásio), Nb-Ta (niobotantalitas), Zr (zircão), Sn (cassiterita) são conhecidas várias ocorrências de TR – U – Th em diversas regiões do Brasil (LAPIDO-LOUREIRO, 1994). São depósitos com enorme potencial desde que as terras raras sejam consideradas como coproduto ou subproduto. Os minérios de cobre também apresentam bom potencial para elementos de terras raras como subproduto.

Outros minerais contendo terras raras como a apatita, a perovskita e o pirocloro, em matrizes carbonatítico-ultrabásicas, dão origem, por intemperismo, à neoformação de minerais e enriquecimento residual. Formam depósitos com boas reservas e teores elevados de elementos de terras raras leves, mas constituem minérios complexos, ainda carentes de tecnologia para sua extração econômica. Apresentam grande potencial para se transformar em jazidas, principalmente agora com a subida do preço das terras raras, uma consequência da demanda já ultrapassar a oferta.

Antes de finalizar sugere-se alguns pontos que, em nossa opinião, deveriam merecer prioridade e ações competentes do governo e do setor privado, para que o Brasil retome a produção de terras raras, que ocorrem habitualmente em depósitos poliminerálicos, como produto principal, coproduto ou subproduto, de outros metais raros de alto valor econômico-estratégico. São sugeridas algumas ações que premiam todas as etapas necessárias para mapear a cadeia produtiva de terras-araras, conforme a seguir:

- Inventariação, caracterização e avaliação das ocorrências e depósitos conhecidos de terras raras, selecionando os mais promissores e

estabelecendo prioridades, o que, em grande parte, já foi realizado, não esquecendo que cada minério tem o seu perfil característico de distribuição dos elementos de terras raras.

- Integração do bem mineral terras raras num programa de prospecção de metais raros;
- Caracterização tecnológica, avaliação de teores, reservas e desenvolvimento sistemático de trabalhos de P,D&I para recuperação de terras raras nos depósitos que apresentem teores promissores de recuperação, reservas e mineralogia favorável.
- Pesquisar e definir processos de beneficiamento e de extração hidrometalúrgica das terras raras, no(s) depósito(s) selecionado(s), se necessário seguindo caminhos inovadores.
- Realizar estudos de pré-viabilidade, em escala de bancada e piloto, demonstrativos da viabilidade técnico-econômica de extração das terras raras do(s) minério(s) selecionado(s).
- Estabelecer projeto(s) de lavra que atendam às condicionantes sócio-econômico-ambientais.
- Pesquisar e definir a separação individual das terras raras e de outros metais.
- Implantação do(s) núcleo(s) produtor(es) após aprovação ambiental do projeto de lavra, beneficiamento e produção.
- Estudar a possibilidade de recuperação de terras raras a partir de rejeitos (fosfogesso) e de escórias (por exemplo; da produção da liga de Fe-Nb).
- Incentivar o aproveitamento integral de jazidas poliminerálicas, estabelecer penalidades para as práticas de lavras predatórias que apenas explotam o bem mineral que traz maior e mais fácil retorno comercial.
- Prestar particular atenção ao fato de que, como já foi dito, *the most critical of the current rare earths are dysprosium and terbium, two of the heavy rare earths, today produced only in China /…/ all rare-earth end users must do: they must secure their supply of the total of the critical rare earths for their*

products or processes; this means to me, that they must secure their supplies of one or more of lanthanum, neodymium, samarium, europium, dysprosium, and terbium (LIFTON, 2011; 2011a).

Assim ao finalizar, entende o autor que para que o Brasil retome o lugar de destaque, que já teve, na produção de terras raras não se deve limitar à extração, mas, principalmente, à implantação de um amplo programa de P,D&I que leve ao desenvolvimento, em cadeias produtivas de processos e de produtos de alto valor agregado. É previsível que será necessário encetar ações mútuas e complementares de governo e do setor privado, considerando a relevância estratégica desses elementos e produtos para o País.

Pode-se considerar, ainda, que há nesse momento sinais evidentes de alinhamento entre o setor público e privado no tocante a implantação de uma cadeira produtiva de terras raras no Brasil, tendo em vista as iniciativas efetuadas por ambas as partes nesse sentido. Há que se destacar, ainda, o aumento considerável dos requerimentos de áreas para pesquisa mineral em terras raras, que tem acontecido nos últimos três anos.

Por oportuno, o Apêndice J apresenta a lista atualizada dos projetos mais promissores para explotação de terras raras no mundo, segundo a análise do especialista Garet Hatch. Na visão desse autor, no caso do Brasil, somente aparece nessa lista o projeto Araxá, mostrando o interesse efetivo do setor privado na exploração de uma das reservas consideradas como das mais promissoras do País.

8. BIBLIOGRAFIA

ABN Newswire (2010) – [ag.abnnewswire.net]. Acesso em 29/06/10

ABRÃO, A. (1994) – Química e tecnologia das terras raras. CETEM, Série 'Estudos e Documentos' Nr. 66, 212 p.

ALMADA, M.C.O. & VILLAS, R.N. (1999) - O Depósito Bahia: um possível exemplo de depósito de sulfeto vulcanogênico tipo besshi arqueano em Carajás. Revista Brasileira de Geociências 29(4):579-592.

ANDRADE, F.R.D. de (1998) Geoquímica do sistema de alteração do carbonatito de Barra do Itapirapuã. Tese de Doutordo, UNESP

AQUINO, J.A. & ALBUQUERQUE, R.O. (1996) - Estudo de beneficiamento físico do minério de terras raras da Ultrafértil. Relatório RC-CT5-09/96 CDTN/CNEN. Inédito.

ASIAN METAL (2010) – The World Rare Earth Center. [www.asianmetal.com].

AVALON RARE METALS INC. (2009) – Rare Earth Elements And The Green Energy Economy. www.avalonraremetals.com

BAETA, S. (1988) – O longo caminho da tecnologia. "Minérios", out. 1988, p.68-71.

BAECKER, M.L. (1983) – A mineralização de nióbio do solo residual laterítico e a petrografia das rochas ultramáficas-alcalinas do domo de Catalão, I Goiás. Brasília: UnB, Tese Mestrado.

BARBOSA, J.P. (2001) – Lixiviação de um concentrado de xenotímia. Tese DSc., Escola de Química-UFRJ.

BARRETTO, P.M.C. & FUJIMORI, K. (1986) Natural analogue studies: Geology and mineralogy of Morro do Ferro, Brazil. Chemical Geology, v. 55. issues 3-4, p. 297-312.

BETTENCOURT, J.S. et al. (1988) – Depósitos estaníferos secundários da região central de Rondônia. In: Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, DNPM/CVRD, 1988, v.3, p. 213-241.

BLOOMBERG NEWS – Acesso em 09/07/10.

BORGES, J.A.L., ALMEIDA, S.L.M. & COSTA, L.N. (1995) – Beneficiamento de minérios de terras raras: minério do Córrego do Garimpo. RT12/95, CETEM/CNPq, 45 p.

BRAGA, C. & SILVA, A. (2011) - . Crescendo na área de maior desenvolvimento agrícola. I Seminário Brasileiro de Terras raras, [www cetem.gov.br].

BRITISH GEOLOGICAL SURVEY (2010) – Rare Earth Elements/Rare Earth Project [www .MineralsUK.com].

CARUSO JR., F. (1999) - Shell deposits in the Santa Catarina coastal area, Southern Region of Brazil. In: MARTINS, L. R.; SANTANA, C. I. (Ed.). Non living resources of the southern brazilian coastal zone and continental margin. Porto Alegre: [s.n.], p. 69-79.

OAS/IOC-UNESCO/MCT. Special Publication.

CARVALHO, W.T. de (1974a) – Recursos minerais do complexo ultramáfico-alcalino de Catalão I, GO. Anais XXVIII Congr. Bras. de Geol., Porto Alegre, v. 2: 103-109.

CARVALHO, W.T. de (1974b) – Aspectos geológicos e petrográficos do complexo ultramáfico-alcalino de Catalão I, GO. Anais XXVIII Congr. Bras. de Geol., Porto Alegre, v. 5: 107-123.

CASTRO, L.O. & SOUZA, J.M. (1970) – Estudo da mineralização de urânio e terras raras associadas ao nióbio de Araxá. I.P.R., Belo Horizonte.

CHAVES, A.P. & CHIEREGATO, A.C. (2002) - Estado-da-Arte em Tecnologia Mineral no Brasil em 2002. CGE, maio de 2002.

CHENG, Z. (2011) – Global rare earth resources and scenarios of a future rare earth induastry. Jounal of Rare Earths vol. 29, no 1, p.1-6.

"CHINA RARE EARTH INDUSTRY REPORT" 2009-2007-2008-2006 [www.researchinchina.com] – acesso em 22/09/10

CHRISTIE, T., BRATHWAIT & TULLOCH, A. (1998) – Rare Earth and Related Elements, USGS – Mineral Commodity Report 17.

COMMITTEE OF OFFSHORE WIND TURBINES (2011) – Structural Integrity of Offshore Wind Turbine, Special Report 305, Washington D.C.

CORREA, R.L. (1971) – Diatremas na região de Bambuí. Anais XXV Congr. Bras. Geol., v. 2, p.103-109.

COSTI, H.T., BORGES, R.M.K. & DALL'AGNOL, R. (2005) – Depósitos de estanho da mina de Pitinga, Estado do Amazonas. In: MARINI, O.J.;

QUEIROZ, M.T.de & RAMOS, B.W. (Editores) - Caracterização de Depósitos Minerais em Distritos Mineiros da Amazônia, DNPM–CT Mineral/FINEP-ADIMB, Brasília.

CULLERS, R.L. & GRAF, J.L. (1984) – Rare earth elements in igneous rocks of the continental crust: predominantly basic and ultrabasic rocks. In: HENDERSON, P. Rare Earth Elements Geochemistry. Elsevier, 1984, p.237-273.

CVRD-REVISTA (1986) – Projeto titânio. V.7, no 23, p. 15-30.

FIGUEIREDO, C.M. & LAPIDO-LOUREIRO (1984) – Projeto Fontes Alternativas de Terras raras: Peixe (TO). São Paulo, NUCLEMON, (Rel. Int.)

FRAYHA, M.O. (1962) – Urânio e tório n o planalto de Poços de Caldas. B. Departamento Nacional da Produção Mineral, DNPM. Rio de Janeiro, n. 116, 75 p.

FRAENKEL, M.O. et al. (1985) – Jazida de urânio do Planalto de Poços de Caldas. In: "Pricipais Depósitos Minerais do Brasil", Brasília, DNPM / CVRD, v. 1, p. 89-103.

FUJIMORI, K. (1982) – Silicato de terras raras (Ce, La, Nd, Cs, Th)SiO4 e cheralita (Th, Ca, Ce, La) (PSi)O4, minerais responsáveis pela anomalia do Morro do Ferro, Poços de Caldas, MG. In: Anais XXXII Congr. Bras. de Geologia, Salvador.

FUJIMORI, K. (1984) – Minerais toríferos do Morro do Ferro, Poços de Caldas, MG. Anais XXXIII Congr. Bras. de Geologia, Rio de Janeiro.

GIRÉ, R. (1996) – Formation of rare earth minerals in hydrothermal systems. In: JONES, A.P., WALL, F. & WILLIAMS, C.T. "Rare Earth Minerals: Chemistry, origin and ore deposits".

GRAUCH, R.I. et al. (2010) – Chemistry of Selected Core Samples, Concentrate, Tailings, and Tailings Pond Waters: Pea Ridge Iron

(Lanthanide-Gold) Deposit, Washington County, Missouri. USGS Open-File Report 2010–1080.

GREENLAND MINERALS AND ENERGY LTD (2010) – Rare Earths at the Crossroads. [www.ggg.gl]

GROSSI SAD, J.H. & TORRES, N. (1976) – Geology and mineral resources of the Barreiro Complex, Araxá, Brasil. Intern. Symp. On Carbonatites, 1. Field Trip Guide.

GROUPE D'INFORMATIONSUR LES ÉOLIENNES (2011) – Bilan énergétiques et écologiques des véhicules électriques [www.leseoliennes.be].

GUIMARÃES, D. (1956) – Rocha torífera do Onça, Sul de S. João del Rei, MG. Eng., Miner. e Metal., vol. 23, no 5

GUIMARÃES, D. (1956a) – Concentrados estaníferos do município de São João del Rei. DNPM/DFPM, Rio de Janeiro, no 90, p. 43-72.

HATCH, G. (2011) - The TMR Critical Rare Earths Report, August 16, 2011.

HATCH, G. (2011) - Introducing The TMR Advanced Rare-Earth Projects Index, January 7, 2011.

HAXEL, G.B.; HEDRICK, J. B. & ORRIS, G.J. (2002) – Rare Earth Elements—Critical Resources for High Technology. Fact Sheet 087-02. Reston, VA: USGS.

HEYMANN, L. (2010) – The Valuation of Rare Earth Deposits. Society for Mining, Metallurgy and Mining, SME 2010, Phoenix Annual Meeting.

HOCQUARD, C. (2008) – Exploration minière : Au-delà de la crise, le défi n'a pas changé. Rattraper la demande, impératif de l'exploration minière. [partie3_quebec-explo_2008_hocquard]

HOCQUARD, C. (2010) Ressources minérales, nouvelles frontières. École thématique CNRS-INSU. 3-5 février 2010, Nancy.

[www.mineralinfo.org/Lettres/L2010/CNRS-INSU-2010-B-2009.pdf]

HOGARTH, D.D. (1989) – Pyrochlore, apatite and amphibole: distinctive minerals in carbonatite. In: BELL, K (Ed.), Carbonatites: Genesis and Evolution. London: Unwin Hyman, 1989. p.105-148.

HUMPHRIES, M (2011) Rare Earth Elements: The Global Supply Chain Congressional Research Service Rport, Sept. 2011.

HURST, C. (2010) – China's Rare Earth Elements Industry: What Can the West Learn?, Institute for the Analysis of Global Security – IAGS, Washington.

KANAZAWA, Y. & KAMITANI, M. (2006) – Rare earth minerals and resources in the world. Journal of Alloys and Compounds, v. 408-412, p. 1339-1343.

KEYSER, H. (2010) – Bokan Mountain U-REE Project. Society for Mining, Metallurgy and Mining, SME 2010, Phoenix Annual Meeting.

KENNEDY, J. (2010) – Critical and Strategic Failure of Rare Earth Resources. Society for Mining, Metallurgy and Mining, SME 2010, Phoenix Annual Meeting. Technical Paper and Power Point Presentation.

KINGSNORTH, D. (2010) – Facing New Challenges in the New Decade. Society for Mining, Metallurgy and Mining, SME 2010, Phoenix Annual Meeting.

KITAJIMA, L.F.W. (1998) - Caracterização mineralógica e avaliação do potencial econômico preliminar da monazita e allanita do complexo alcalino de Peixe-TO Dissertação de Mestrado – UnB.

KOURY & ANTONIETTO Jr. (1988) – A mina de estanho de Pitinga, Amazonas. In: Princpais Depósitos Minerais do Brasil", Brasília, DNPM/CVRD, 1988, v. 3, p.01-211.

LAPIDO-LOUREIRO, F.E. (1994) – Terras raras no Brasil: Depósitos, Recursos Identificados, Reservas. Série Estudos e Documentos, 21. 183p.

LAPIDO-LOUREIRO, F.E. (2003) - Estudo de recuperação de alumínio, terras raras, nióbio residual e urânio-tório em escórias da produção de ferro--nióbio standard – CBMM / Araxá. CETEM, Resumo Executivo RI2003-035-00, maio de 2003, 6 p.

LAPIDO-LOUREIRO, F.E. & FIGUEIREDO, C.M.V. (1984) – Fontes alternativas de terras raras: Mato Preto (PR) / Barra do Rio Itapirapuã (SP-PR). NUCLEMON, São Paulo, Rel. Interno.

LAPIDO-LOUREIRO, F.E. & FIGUEIREDO, C.M.V. (1985) – Fontes alternativas de terras raras. Relatório de viagem a Xambioá, Boca Nova e Salinópolis, NUCLEMON, 1985.

LAPIDO-LOUREIRO, F.E.; FIGUEIREDO, C.M. & TOREZAN, M.J. (1989) – Os elementos terras raras nos complexos carbonatíticos brasileiros. In: Formoso, M.L. et al. (eds.), "Geoquímica dos elementos terras raras no Brasil", CPRM/DNPM/SBGq, Rio de Janeiro, 1989

LAPIDO-LOUREIRO, F.E. & SANTOS, R.C. dos (1988) - The intra-intrusive uranium deposits of Poços de Caldas, Brazil. Ore Geology Reviews, v.3, Issue 1-3, April 1988, p.227-240.

LAPIDO-LOUREIRO, F.E. & TAVARES, J.R. (1983) – Duas novas ocorrências de carbonatitos: Mato Preto e Barra do Rio Itapirapuã Rev. Bras. Geoc., v.13, no1, p. 7-11.

LEVIN, E.M. et al. (2011) - Analysis of Ce- and Yb-Doped TAGS-85 Materials with Enhanced Thermoelectric Figure of Merit. "Advanced Functional Materials", v. 21, 3, p. 441-447.

LIFTON, J. (2009) – Is the rare earth supply crisis due to peak production capability or capacity? GLG News, 06/09/2009. [www.glgroup.com].

LIFTON, J. (2010) – The battle over rare metals. Journal of Energy Security, Jan. 2010.

LIFTON, J. (2011) – Implications for investors of the dramatically increasing chinese virtual demand for rare earths. [www. techmetalresearch.com].

LIFTON, J. (2011a) – The Chinese yuan, rare earths and the selection of critical mining projects. [www. techmetalresearch.com].

LONG et al. (2010) - The Principal Rare Earth Elements Deposits of the United States—A Summary of Domestic Deposits and a Global Perspective. USGS Scientific Report 2010-5220

MACIEL, A.C. & CRUZ, P.R. (1973) – Perfil analítico do tório e terras raras. DNPM, B. no 28, 72 p., Rio de Janeiro.

MARIANO, A.N.; COX C.A. 7 HEDRICK, J.B. (2010) – Economic Evaluation of REE and Y Mineral Deposits. Society for Mining, Metallurgy and Mining, SME 2010, Phoenix Annual Meeting.

MBAC Reports NI 43-101. (2011) – Resource estimate for world class Araxá rare earth oxide/niobium/phosphate deposit.

MENDES, M.J.C., MURTA, C.C. & CASTRO, L.O. (1968) – Mineralogia do depósito de terras raras, nióbio e urânio na Área Zero, Araxá (MG). I.P.R., Belo Horizonte.

MIEKELEY, N. VALE, M.G.R.; TAVARES, T.M.; LEI, W. (1982) – Some aspects of influence of surfaces and ground water chemistry on the mobility of thorium in the Morro do Ferro environment. In: Int Symp. On the Scientific Basis for Nuclear Wastes Management, v.5, p. 725-744.

MINUZZI, O.R.R. et al. (2008) - Rare earth element and yttrium geochemistry applied to the genetic study of cryolite ore at the Pitinga Mine (Amazon, Brazil). An. Acad. Bras. Ciênc., vol.80, nº.4, Rio de Janeiro, Dez. 2008.

NEUMANN, R. (1999) - Caracterização tecnológica dos potenciais minerais de terras raras de Catalão I, GO. Tese DSc., USP / IG, 204 p.

PAMBRUN, S. (2010) – Chine : la ruée vers les terres rares. Novethic, 04/0510 – Stéphane Pambrun à Pékin

PAVLENKO, A.S. et al. (1965) – Thorium fluorcarbonate, thorbastnaesite. Mem. All-Union Mineral Society, v. 94, p. 105-113.

RIBEIRO, C.C. (2008) – Geologia, geometalurgia, controles e gênese dos depósitos de fósforo, terras raras e titânio do complexo carbonatítico Catalão I, GO. UnB, Inst. de Geoc., tese de doutorado, 450 p.

ROLF, P.A.M.A. (1948) – Possibilidades econômicas da monazita de São João del Rei. Rev. Esc. De Minas de Ouro Preto, v. 13, no4, p. 15-18.

ROLF, P.A.M.A. (1951) – Notas sobre alguns minerais radioativos em São João del Rei. Rev: Esc. De Minas de Ouro Preto, v. 16, no6, p. 7-8.

ROSKIL (2007) – Roskill HK Rare Earth Conference, November 2007.

ROY, P. & GOSSELIN, C. (2010) – Terres rares et lithium: une nouvelle vague d'exploration au Québec. Bulletin d'Information Minières [www.mrnf.gouv.qc.ca/mines].

SAMPAIO, J.A.; LINS, F.F. & PORPHÍRIO, N.H. ((1989) – Concentração de minérios de terras raras de Poços de Caldas – MG. CETEM RP 11/89.

SANTOS, B.A. dos (2002) - Recursos minerais da Amazônia. Estudos Avançados, 16 (45), p. 123-152.

SANTOS, R.V. (1988) – Geologia e geoquímica de depósito de fluorita do complexo alcalino-carbonatítico de Mato Preto – Paraná. UnB, tese de mestrado.

SCHEIBE, L.F & FORMOSO, M.L.L. (1982) – Contribuição da geoquímica das terras raras à caracterização dos carbonatitos da Fazenda Varela, Lages, SC. Rev. Bras. Geoc., v. 12, no 4, p. 553-561.

SEAMAN (2010) – Rare earth and clean energy: Analysing China's Upper Hand. ISBN 978-286592-771-5, Ifri.

SILVA, A. & BRAGA, C. (2011) – Apresentação I Seminário Brasileiro de Terras raras, dezembro 2011. Disponível em [cetem.gov.br].

SILVA, A.B. (1978) – Relatório final de pesquisa (Brasília): DNPM.

SILVA, A.B. et al. (1988) – Geologia e petrologia do complexo Angico-dos-Dias (Bahia, Brasil), uma associação carbonatítica précambriana. Geochimica Brasiliensis, vol. 2, no 1, p. 81-108.

SILVA, C.R. da, Editor (2008) – Geodiversidade do Brasil. CPRM, Rio de Janeiro, 265 p.

SILVA, L.L. da (1980) – Projeto São Francisco, mapeamento geológico. Nuclebras / ECUR, Relatório Interno.

SILVA, D.C.D. & OLIVEIRA, L.M. (1984) – Projeto Barra do Rio Itapirapuã. MINEROPAR, Curitiba, Rel. Int.

SMIRNOV, V.I., edt. (1976) – Geology of Mineral Deposits. Mir Publishers, 520 p.

SOBRAL, L.G.S.; SANTOS, L.C. dos; LAPIDO-LOUREIRO, F.E. & ROSEMBERG, B. (2003) – Estudo de recuperação de alumínio, terras raras nióbio residual e urânio-tório em escórias da produção de ferro-nióbio standard – CBMM / Araxá. CETEM, Relatório Técnico Confidencial RT2003—047-00, 74p.

SOUZA, O.M. (1982) – Relatório final de pesquisa da área Catalão I – GO, DNPM, 801.562/68).

SOUZA, I.L.A de & PAIXÃO, J.E. (1989) – Estudo de impacto ambiental – Projeto Rio Sapucaí. Mineração e Metalurgia, v.53, no 506, p. 8-14.

TAVARES, J.R.P. ; MARQUEZAN, R.G. (1978). - Projeto Açungui Mapeamento Geológico. Relatório Final, ECUR/PM, NUCLEBRÁS. Curitiba (PR).

TAZAVA, E. (1999) – Mineralização de Au-Cu-(±ETR-U) Associada às brechas hidrotermais do Igarapé Bahia, Província Mineral de Carajás, PA.

TOLEDO, M.C.M. (1999) – Mineralogia dos principais fosfatos do maciço alcalino-carbonatítico de Catalão I (GO) e sua evolução no perfil laterítico. Tese de livre docência, Inst. Geociências, USP, 198 p.

TOLEDO, M.C.M. de et al. (2004) – Mineralogia, morfologia e cristaloquímica da monazita de Catalão I (GO, Brasil). Rev. Bras. de Geociência, 34(1):135-146.

TRE-AG (2010) – Tantalus Rare Earths AG publishes preliminary essay results: Up to 31% REO [www.tre-ag.com].

USGS (2010) – Rare Earths. Statistics and Information.

USGS (2010) – US new report on the Pea Ridge deposit in Missouri.

UTSUMI, O. et al. (1971) – Poços de Caldas. Congr. Bras. Geol. - Roteiro das Excursões,Boletim Especial 2, p. 7-13.

VALLARELI, J.V. (1971) – O minério de nióbio, titânio e terras raras de Catalão, GO. Tese de Livre Docência. Inst. de Geociências, USP, 104p.

VANUZZI, A.L. et al. (1984) – Jazidas de minerais pesados no litoral norte do Estado do Rio de Janeiro e sul dos Estados do Espírito Santo e Bahia. Anais do XXX Congr. Bras. Geol., v. 8, p. 3907-3016 33, Rio de Janeiro

VIERA, E.V. & LINS, F. (1997) – Concentração de minérios de terras raras: uma revisão. CETEM, Série Tecnologia Mineral, no 73, 51p.

VILLAVERDE, J. (2011) – Governo planeja forte estímulo a 'carro verde'. Valor Econômico - 04/10/2011

VILLWOCK, J. A. et al. (1979) - Concentraciones de minerales pesados a lo largo de la costa de Rio Grande do Sul. In: SIMINARIO SOBRE ECOLOGIA BENTÔNICA Y SEDIMENTACION DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DEL ATLÂNTICO SUR, 1979, Montevideo. Memorias… Montevidéo, Uruguay: UNESCO/ROSTLAC,. p. 405-414.

VLASOV, K.A. Ed. (1966) – Geochemistry and mineralogy of rare elements and genetic types of their deposits. Israel Progr. For Scient. Translation. Jerusalém, 1989, 3 volumes.WABER, N. (1992) – The supergene thorium-rare earth deposit at Morro do Ferro, Poços de Caldas, Minas Gerais, Brazil. Journal of Geochemical Exploration, vol. 45, 1-3, Nov. 1992, p. 113-157.

WEDOW. Jr. H. (1967) – The Morro do Ferro thorium and rare earth ore deposits, Poços de Caldas District, Brazil. U.S. Geol. Survey Bull., Washington, n. 1185-D, 34p.

WYLLIE, P.J.; JONES, A.P. & DENG, J. (1996) – Rare earth elements in carbonatite-rich melts to crust In: JONES, A.P., WALL, F. & WILLIAMS, Cb.T. "Rare Earth Minerals: Chemistry, origin and ore deposits".

YACINE, J.P. (2010) – Terres rares. La face cachée du monopole chinois. [www.questionchine.net] (acesso em 30/08/10).

ZAJEC, O. (2010) – Controle da matéria-prima e tecnologias em disputa. Le Monde diplomatique – Brasil, novembro 2010, p. 22-23.

APÊNDICES

APÊNDICE A

A questão das terras raras no Senado Americano

Fonte: H.R. 4866 (111th): Rare Earths Supply-Chain Technology and Resources Transformation Act of 2010

Nos EUA, em 28 de outubro de 2009, o Senador Christopher S. Bond enviou uma carta aos Secretários da Defesa e da Energia, alertando e mostrando que:

The United States is currently 100% import dependent upon a group of minerals called Rare Earths. A reliable and steady supply of these elements is essential to national security /.../. Rare Earth elements also hold unique chemical, magnetic, electrical, luminiscence, and radioactive shielding characteristics for environmental and "green technology" applications.

Em março de 2010 o senador Mike Coffman apresentou, no senado americano, uma proposta de lei to adress the looming rare earth crisis". Trata-se da House Resolution 4866, the Rare Earths Supply-Chain Technology and Resources Transformation Act of 2010 (RESTART Act). /.../

The Act would require that the United States develop a policy to: "take any and all actions necessary to ensure the reintroduction of competitive domestic rare earth suply chain, to include the reintruduction of the capacity to conduct mining, refining / processing, allowing and manufacturing operations using domestic suppliers to provide a secure source of rare earth materials as a vital component of national security and economic policy."

Acompanhando a proposta, voltou a acentuar aquilo que é também uma preocupação brasileira:

> *"The U.S. needs to support and encourage the development of a competitive, domestic rare earth supply chain to support American Jobs and manufacturing and ensure our national defense interests. This legislation is critical to creating a competitive, domestic rare earth supply chain in the U.S. over the next 5 years".*

Além do H.R. 4866, a Senadora Lisa Murkowsky introduziu o S.3521: Rare Earths Supply Technology and Resources Transfrmation Act of 2010.

Especificou que "*many modern defense technologies such as radar and sonar systems, precision-guided weapons, cruise missiles, and lasers cannot be built, as designed and specified, without the use of rare earths*."

> *The legislation introduced by Murkowski proposes assembling a task force chaired by the Secretary of Interior and composed of the secretaries of State, Energy, Defense, Commerce and Agriculture.*
>
> *The primary objective of the high-ranking panel would be to "monitor and assist federal agencies in expediting the review and approval of permits or other actions, as necessary, to accelerate the completion of projects that will increase investment in, exploration for, and development of domestic rare earths"*
>
> *Among proposals in Coffman's bill are assessments and implementations of "obtaining loan guarantees to support the re-establishment of mining, refining, alloying and manufacturing operations for (rare earth elements) in the United States."*
>
> *The legislation introduced by Murkowski proposes assembling a task force chaired by the Secretary of Interior and composed of the secretaries of State, Energy, Defense, Commerce and Agriculture.*
>
> *The primary objective of the high-ranking panel would be to "monitor and assist federal agencies in expediting the review and approval of permits or other actions, as necessary, to accelerate the completion of projects that will increase investment in, exploration for, and development of domestic rare earths."*
>
> *"Rather than further restrict mining in this country, the industry could be creating American jobs and producing minerals that are essential to clean energy technologies. Unless action is taken, we will trade our current dependence on foreign oil for an equally unsettling dependence on foreign minerals," the Alaska senator advised her colleagues.*

APÊNDICE B

"Minerals at Risk and for Emerging Technologies"

Fonte: GRAUCH, R.I. et al. (2010)

This program focuses on updating the existing geological information in mineral resources, such as rare earths, that are the subject of increasing demand from industry and elsewhere. /…/

With the growing interest of late in the need to develop rare earth deposits outside China, Wings has been promoting the presence of rare earths on its property in Missouri. The new USGS report, titled "Chemistry of Selected Core Samples, Concentrate, Tailings, and Tailings Pond Waters: Pea Ridge Iron (-Lanthanide-Gold) Deposit, Washington County, Missouri" was the result of a visit to the property in October 2008. It notes that the deposit "contains concentrations of lanthanides that may be economic as a primary product or as a byproduct of iron ore production", while noting that the dataset presented for the deposit is preliminary, has not been verified by the USGS or other entities, and that the inclusion of data from Wings was for comparative purposes only.

According to the report there are four rare-earth-bearing breccia pipes in the deposit, containing a variety of minerals such as monazite and xenotime, with historical claims of 12-13% total rare earth oxide present. There are also significant tailings left over from prior iron ore mining campaigns, that also contain rare earths. The initial sampling work by the USGS produced results that were consistent with the prior data sets produced by prior mine owners, though the USGS was at pains to point out that the results did not confirm the historical numbers.

"The Pea Ridge lanthanide resource is high grade and enriched in heavy REE+Y as compared to world class lanthanide deposits such as Bayan Obo (China), Mountain Pass (California), and the South China Clay Type Lanthanide Deposits (southern China). However, the open-ended, probable REE+Y reserve of Pea Ridge is smaller in comparison to the others".

APÊNDICE C

Uses and Sources of the Rare Earth Elements

Fonte: HURST (2010)

La Lanthanum 57

Uses: Lanthanum is strategically important due to its use as a catalyst to create fuel for vehicles and aircraft. It is also used in alloys needed as part of fuel cells and batteries. Lanthanum is the key to modifying glass crystal structure and the refractive index, which makes it easier for optical lens designers to create their lenses. Lanthanum is used in night vision instruments. Lanthanum is also used as a compound in carbon arc lamps, color television sets, cigarette lighter flints, and optical fibers. Its phosphors are used in X-ray films and certain lasers to help reduce the dose of radiation to patients by up to 75%. There is current interest in hydrogen sponge alloys containing lanthanum. These alloys take up to 400 times their own volume of hydrogen gas, and the process is reversible. Each time they take up gas, heat energy is released. Hence, these alloys have possibilities in an energy conservation system.

Abundance earth's crust: 3.9x101 milligrams per kilogram.

Abundance Ocean: 3.4x10-6 milligrams per liter

Sources: Found in rare-earth minerals such as cerite, monazite, and bastnaesite. Lanthanum and other rare earths have become more available in recent years. The metal can be produced by reducing the anhydrous fluoride with calcium.

Ce Cerium 58

Uses: Cerium has many uses. It is used for catalytic converters in automobiles to reduce emissions. It is used as a catalyst in petroleum refining and in metallurgical and nuclear applications. As an oxide, it is used in glass polishing agents. Along with other rare earths, cerium is used in carbon-arc lighting, especially in the motion picture industry. It is also used in self cleaning ovens. As part of a Mischmetal, it is used to manufacture pyrophoric alloys for cigarette lighters. A cerium based conversion coating is non corrosive and may have significant military applications.

Abundance earth's crust: 6.65x101 milligrams per kilogram

Abundance Ocean: 1.2x10-6 milligrams per liter

Sources: Cerium is the most abundant rare-earth metal. It is found in allanite (aka: orthite), monazite, bastnasite, cerite, and smarskite. Monazite and bastnasite are most predominant. There are large deposits of monazite on the beaches of Travancore, India, and in Brazilian river sands. Alanite can be found in the western United States. Bastnaesite is in Southern California.

Pr Praseodymium 59

Uses: Praseodymium is used as an alloying agent with magnesium to create high-strength metals used in aircraft engines. It is also used in a Misch metal compound (5%) for the flints in lighters. Praseodymium forms the core of carbon arc lighting, used in the motion picture industry. It is added to fiber optic cables 35 as a doping agent where it is used as a signal amplifier. Praseodymium salts give color to glasses and enamels. It is also a component of didymium glass, used to make various types of welder's masks.

Abundance earth's crust: 9.2 milligrams per kilogram

Abundance Ocean: 6.4x10-7 milligrams per liter

Sources: Monazite and bastnaesite are the two primary commercial sources of

Praseodymium.

Nd Neodymium 60

Uses: Modern day technology, such as cell phones, portable CD players, computers and sound systems would be vastly different without the use of strong permanent magnets made from neodymium. The Neodymium-Iron-Boron (NdFeB) permanent magnets are so strong that they are ideal for the miniaturization of a variety of technologies. Neodymium based permanent magnets are also at the heart of anti-lock brakes, air bags, anti-glare automobile light glass and mirrors. Neodymium oxide can be added to CRT glass to enhance picture brightness by absorbing yellow light waves. The oxide also has a sky-blue color and is used to produce various coloring pigments for ceramic tile, artistic glass, and others. Neodymium compounds help stabilize electrical properties in ceramic capacitors. Many solid state lasers use neodymium due to its optimal selection of absorption and emitting wavelengths. Neodymium lasers are used in material processing, drilling spot welding/marking and medicine, where the neodymium light laser is

used for non-evasive surgical procedures. MRIs also use the neodymium magnet. Neodymium is also used in Mischmetal (18%) for the flint in lighters.

Abundance earth's crust: 4.15x101 milligrams per kilogram

Abundance Ocean: 2.8x10-6 milligrams per liter

Pm Promethium 61

Uses: Promethium is not found naturally on earth. Promethium is used as a beta source for thickness gages and can be absorbed by a phosphor to produce light. It can be used as a nuclear powered battery by capturing light in photocells which convert it into electric current. Such a battery, using 147Pm would have a useful life of about 5 years. Promethium shows promise as a portable X-ray source. It might also be useful as a heat source to provide auxiliary power for space probes and satellites. Promethium can be used to make lasers that can be used to communicate with submerged submarines.

Abundance earth's crust: Not applicable

Abundance Ocean: Not applicable

Sources: It now seems that Pm is missing from the earth's crust.

Sm Samarium 62

Uses: Samarium is combined with cobalt to create a permanent magnet with the highest resistance to demagnetization of any material known. Because of its ability to take continuous temperatures above 250 degrees, it is essential in both aerospace and military applications. Precision guided munitions use samarium-36 cobalt permanent magnet motors to direct the flight control surfaces (fins). Samarium-cobalt can be used as part of stealth technology in helicopters to create white noise to cancel or hide the sound of the rotor blades. These permanent magnets are also used as part of the aircraft electrical systems. They also are used to move the flight control surfaces of aircraft, including flaps, rudder, and ailerons. Samarium is used in both missile and radar systems' traveling wave tube (TWT). Samarium-cobalt magnets are used in defense radar systems as well as in several types of electronic counter measure equipment, such as the Tail Warning Function. Samarium is also used as carbon arc lighting for the motion picture industry. Samarium oxide has been used in optical glass to absorb the infrared. It is used in infrared absorbing glass and as a neutron absorber in nuclear reactors.

Abundance earth's crust: 7.05 milligrams per kilogram

Abundance Ocean: 4.5x10-7 milligrams per liter

Sources: Found in minerals such as monazite (2.8%) and bastnaesite, which are commercial sources.

Eu Europium 63

Uses: There are no commercial uses for europium metal. However, europium has been used to dope some types of plastics to make lasers. Europium is the most reactive of the rare earth elements. It is being studied for possible use in nuclear reactors. Europium oxide is widely used as a red phosphor in television sets and as an activator for yttrium-based phosphors. Europium-doped plastic has been used as a laser material.

Abundance earth's crust: 2.0 milligrams per kilogram

Abundance Ocean: 1.3x10-7 milligrams per liter

Sources: Identified spectroscopically in the sun and certain stars. 17 isotopes are now recognized.

Gd Gadolinium 64

Uses: Gadolinium has unique magnetic behavior, which allows it to form the heart of magneto-optic recording technology used for handling computer data. Magnetic resonance imaging (MRI) systems use materials that contain Gadolinium to enhance the images created. Gadolinium is also the most efficient element used to detect power plant radiation leaks. Gadolinium is used with yttrium to form garnets that have microwave applications. Gadolinium can be alloyed with certain metals, such as iron and chromium, to improve their workability and resistance to high temperatures and oxidation. Gadolinium compounds are also used to make phosphors for color televisions.

Abundance earth's crust: 6.2 milligrams per kilogram

Abundance Ocean: 7x10-7 milligrams per liter

Sources: Found in several other minerals such as monazite and bastnaesite, both of which are commercially important.

Er Terbium 65

Uses: Terbium with zirconium dioxide can be used as a crystal stabilizer in fuel cells that operate at high temperatures. It is used in energy efficient fluorescent lamps and metal alloys that provide suitable metallic films for magneto-optic recording of data.

Abundance earth's crust: 1.2 milligrams per kilogram

Abundance Ocean: 1.4x10-7 milligrams per liter

Sources: Found in cerite, gadolinite and other minerals along with other rare earths.

Dy Dysprosium 66

Uses: Dysprosium, which is critical to improve the coercive force of high efficiency, high performance motors used in next-generation vehicles, energyconserving home electronics, and wind power generation, it is difficult to find a substitute. The metal, which has natural high oxidizing properties, is also difficult to store. Dysprosium is essential for Japanese technology, making electronic components smaller and faster. At this point, Japan is wholly dependent on China for a stable supply of this REE. *It can be an additive to enhance the coercivity in neodymium-iron-boron magnets. It has been used to make laser materials.*

Abundance earth's crust: 5.2 milligrams per kilogram

Abundance Ocean: 9.1x10-7 milligrams per liter

Sources: Dy occurs with other rare-earth elements in a variety of minerals such as xenotime, fergusonite, gadolinite, euxenite, polycrase, and blomstrandine. Monazite and bastnasite are the most important sources though.

Ho Holmium 67

Uses: Holmium is one of the least abundant rare earth elements. It has no commercial uses. However, it possesses unusual magnetic properties that could be exploited in the future.

Abundance earth's crust: 1.3 milligrams per kilogram

Abundance Ocean:2.2x10-7 milligrams per liter

Er Erbium 68

Uses: Erbium is used as an amplifier for fiber optic data transmission. Erbium has also been introduced in lasers for medical and dental uses because they are suited to energy delivery without thermal build up in human tissue. Erbium is used to color glass. It is the only pink colorant truly stable in glass melts. It is used in sunglasses and decorative crystal glassware. Erbium has also been finding uses in nuclear and metallurgy. For example, adding erbium to vanadium lowers the hardness and improves workability.

Abundance earth's crust: 3.5 milligrams per kilogram

Abundance Ocean: 8.7x10-7 milligrams per liter

Sources: Found in the same metals mentioned under Dy.

Tm Thulium 69

Uses: Thulium is the rarest of the rare earths. Its chemistry is similar to yttrium. It can be used in sensitive X-ray phosphors to reduce X-ray exposure. However, it is very expensive and therefore has few practical applications.

Abundance earth's crust: 5.2x10-1 milligrams per kilogram

Abundance Ocean: 1.7x10-7 milligrams per liter

Sources: Tm occurs in small quantities along with other rare earths in a number of minerals. It is obtained commercially from monazite, which contains about 0.007% of the element. Tm is the least abundant of the REEs. New sources, however, have been discovered and now it is considered as rare as silver, gold or cadmium.

Yb Ytterbium 70

Uses: When subject to very high stresses, ytterbium increases its electrical resistance by an order of magnitude and is used in stress gauges to monitor ground deformations caused, for example, by nuclear explosions. Ytterbium might have some use in improving the grain refinement, strength, and other mechanical properties of stainless steel.

Abundance earth's crust: 3.2 milligrams per kilogram

Abundance Ocean: 8.2x10-7 milligrams per liter

Sources: Occurs with other rare earths in a number of rare minerals.

Commercially recovered mostly from monazite sand (0.03%). Handling: Has a low-acute toxic rating.

Lu Lutetium 71

Uses: Stable lutetium nuclides emit pure beta radiation after thermal neutron activation. Therefore, it can be used as catalysts in cracking, alkylation, hydrogenation, and polymerization. Cerium-doped lutetium oxyorthosilicate (LSO) is currently used in detectors in positron emission tomography (PET).

Abundance earth's crust: 8x10-1 milligrams per kilogram

Abundance Ocean: 1.5x10-7 milligrams per liter

Sources: Lu occurs in very small amounts in nearly all minerals that contain yttrium. In Monazite, it is present about 0.003% of the time (commercial source). The pure metal has been isolated only in recent years. It is one of the most difficult to prepare.

Handling: Lu is radioactive.

Y Yttrium 39

Uses: Yttrium oxide is the most frequently used oxide. Every vehicle uses yttrium based materials to help improve the efficiency of fuels and eliminate pollution.

Yttrium is also used in microwave communication devices for the defense and satellite industries. Yttrium iron garnets are used as resonators for use in frequency meters, magnetic field measurement devices, tunable transistor s and Gunn oscillators. Yttrium with garnets are used in cellular communications devices. Yttrium and other lanthanides have many high-tech and defense uses, such as stabilizers for exotic light-weight jet engine turbines and other parts and 39 as a stabilizer material in rocket nose cones. They can also be formed into laser crystals specific to spectral characteristics for military communications. Yttrium ceramics can be used as crucibles for melting reactive metals and as nozzles for jet casting molten alloys. Cars contain oxygen sensors composed of yttrium based ceramic materials. Yttrium is also widely used to give the red color in color television tubes.

Abundance earth's crust: 3.3x101 milligrams per kilogram

Abundance Ocean: 1.3x10-5 milligrams per liter

Sources: Y occurs in nearly all of the rare-earth minerals. There has been found high Y content on lunar rocks. Y is recovered commercially from monazite sand (3%) and from bastnaesite (0.2%).

Sc Scandium 21

Uses: There are two primary uses for scandium. First, due to its luminescence and electrical conductivity properties, scandium is used in lighting, lasers and consumer electronics. Second, it is used as an alloy in aluminum to produce high-performance materials in the aerospace and sporting goods industries. There are currently no substitutes for scandium in its applications to lasers and the illumination industry. However, titanium/aluminum alloys and carbon fiber can be used to replace scandium/aluminum alloys in some cases, especially in the sports equipment industry.

Abundance earth's crust: 2.2x101 milligrams per kilogram

Abundance Ocean: 6x10-7 milligrams per liter Handling: Little is known about toxicity.

Sources: More abundant in the sun and certain stars than on earth. It is widely distributed on earth. It occurs in very minute quantities in over 800 mineral species. Found in Scandinavia and Malagasy. Most Sc today is recovered from thortveitite or is extracted as a by-product from uranium mill tailings.

APÊNDICE D

Uses of REE

Fonte: HURST (2010)

Catalysts

- *Petroleum refining*
- *Chemical processing*
- *Catalytic converter*
- *Diesel additives*
- *Industrial pollution scrubberElectronics*
- *Display phosphors*

-- *CRT*

-- *PDP*

-- *LCD*

- *Medical imaging phosphors*
- *Lasers*
- *Fiber optics*
- *Optical temperature sensors*

Glass

- *Polishing compounds*
- *Optical glass*
- *UV resistant glass*
- *X-ray imaging*
- *Thermal control mirrors*

- *Colorizers/Decolorizers Ceramics*
- *Capacitors*
- *Sensors*
- *Colorants*
- *Scintillators*

Metal Alloys

- *Hydrogen storage*

  -- NiMH batteries

  -- Fuel cells

- *Steel*
- *Lighter flints*
- *Aluminum/Magnesium*
- *Cast iron*
- *Superalloys*

Other

- *Water treatment*
- *Nuclear control rods*
- *Pigments*
- *Fertilizer*
- *Medical tracers*
- *Coatings Magnets*
- *Motors*
- *Disc drives & disk drive agnés*
- *Power generation*
- *Actuators*
- *Microphones & speakers*

- *MRI*
- *Anti-lock brake system*
- *Automotive parts*
- *Communication systems*
- *Electric drive & propulsion*
- *Frictionless bearings*
- *Magnetic storage disk*
- *Microwave agné tubes*
- *Magnetic refrigeration*
- *Magnetostrictive alloys*

APÊNDICE E

China's programs 863 and 973

Fonte: HURST (2010)

There is [in China] a great amount of interest in both the industry and the academics of rare earths elements. In fact, nearly 50 percent of the graduate students who come to study at the U.S. Department of Energy's Ames National Laboratory are from China and each time a visiting student returns to China, he or she is replaced by another Chinese visiting student.

China has long lagged behind the U.S. technologically. However, as of the early 1990s, China's vast rare earth resources have propelled the country into the number one position in the industry. Hence, it is only fitting that Chinese student interest follow suit. The study of rare earth elements in China is still new and exciting. Additionally, China has set out on an expansive effort to increase its overall technological innovation, effort which includes the use of rare earth elements. China's academic focus on rare earth elements could one day give the country a decisive advantage over technological innovation.

China first began its push for domestic innovation during the 1980's. Two programs came about as a result of China's desire to become a world leader in high-tech innovation. In March 1986, three Chinese scientists jointly proposed a plan that would accelerate the country's high-tech development. Deng Xiaoping, China's leader at the time, approved the National High Technology Research and Development Program, namely Program 863. According to China's Ministry of Science and Technology, the objective of the program is to "gain a foothold in the world arena; to strive to achieve breakthroughs in key technical fields that concern the national economic lifeline and national security; and to achieve 'leapfrog' development in key high-tech fields in which China enjoys relative advantages or should take strategic positions in order to provide high-tech support to fulfill strategic objectives in the implementation of the third step of China's modernization process5". Rare earth elements are an important strategic resource in which China has a considerable advantage due to the massive reserves in the country. Therefore, a great deal of money has gone toward researching rare earths. Program 863 is mainly meant to narrow the gap in technology between the developed world and China, which still lags behind in technological innovation, although progress is being made.

Program 863 focuses on biotechnology, space, information, laser, automation, energy, and new materials. It covers both military and civilian projects, with priority going to projects that may be used for both civilian and military purposes. 6. The use of rare earth elements can be found in each one of the areas in which Program 863 focuses.

Eleven years later, in March 1997, China's Ministry of Science and Technology announced Program 973. It is the largest basic research program in China.

5 Ministry of Science & Technology of the PRC, available from Internet;

http://www.most.gov.cn/eng, accessed 4 November 2009.

Research projects supported by Program 973 can last five years and receive tens of millions of RMB (10 million RMB = $1.46 million). Program 973 is specialized to meet the needs of the country. An example of a research project that would fall under Program 973, and which involves the study of rare earth elements, would be more efficient oil refining processes.

There are other programs as well, such as the Nature Science Foundation of China (NFSC), which generally lasts three years. However, no other program is as significant to China's technological innovation, including the research and development of rare earth elements, as Programs 863 and 973.

One cannot discuss the academics of rare earth elements in China without talking about Professor Xu Guangxian, who, in 2009, at the age of 89, won the 5 million yuan ($730,000) State Supreme Science and Technology prize, China's equivalent to a Nobel Prize. Xu was the second chemist ever to receive the prize.

Xu, considered the father of Chinese rare earth chemistry, persisted in his academic research despite numerous political setbacks and frustrations. China credits Xu with paving the way for the country to become the world's primary exporter of rare earth elements. Xu attended Columbia University, in the U.S., from 1946 to 1951, where he received a Ph.D. in chemistry. After the Korean War broke out, Xu returned to China, and was hired as an associate professor at Peking University. At first, he researched coordination chemistry, focusing on metal extraction. In 1956, he is said to have switched his focus to radiation chemistry, supporting China's efforts to develop atomic bombs. His work focused mostly on the extraction of nuclear fuels. After the Cultural Revolution began in 1966 1966, Xu's department stopped its atomic research and he turned his focus to theoretical research. Three years later, however, he, and his wife Gao Xiaoxia were

accused of being spies for the former Kuomintang government. Xu and Gao were held in a labor camp until 1972, after which time Xu returned to Peking University. Xu then began to study the extraction of praseodymium from rare earth ores as laser material.8 It was during this time that Xu made his greatest breakthrough. He applied his previous research in extracting isotopes of uranium to rare earth extraction and succeeded.

/…/

There are two basic types of research – applied and fundamental. Prior to the 1990's, China focused on the separation of rare earths, which falls under applied research. Gschneidner, who is also a senior scientist at the Ames Laboratory, stated that 20 years ago, China focused too heavily on applied research. Applied research is the scientific study and research directed toward trying to solve practical problems.11 China has since recognized this "weakness" and there is a bigger effort to conduct more fundamental research as well.

There are two state key laboratories in China, both established by Xu, that focus on rare earths. The State Key Laboratory of Rare Earth Materials Chemistry and Applications is affiliated with Peking University in Beijing. The State Key Laboratory of Rare Earth Resource Utilization is affiliated with the Changchun Institute of Applied Chemistry, under the Chinese Academy of Sciences and is located in Changchun.

The "Open Laboratory of Rare Earth Chemistry and Physics" was established in August 1987, at the Changchun Institute of Applied Chemistry with the approval of the Chinese Academy of Science (CAS). In 2002, it changed its name to the "CAS Key Laboratory of Rare Earth Chemistry and Physics." Then, in 2007, it became the "State Key Laboratory of Rare Earth Resource Utilization," falling under the Ministry of Science and Technology. There are currently 40 faculty members in the lab, including two CAS academicians and 20 professors.

/…/

The state key laboratory of Rare Earth Materials Chemistry and Applications made significant progress in the 1980s in the separation of rare earth elements. There are approximately 29 faculty members in the lab, including three CAS members, 13 professors, three senior engineers, and one administrative assistant.13 Currently there are 55 Ph.D. graduate students, four masters graduate students,

and 17 postdoctoral research fellows working in the lab. 14 The lab focuses on rare earth separation techniques, the exploration of new rare earth functional materials, and optical, electrical, and magnetic properties and materials of rare earth elements.

There are two other laboratories in China dedicated to rare earth elements. The Baotou Research Institute of Rare Earths was established in 1963. This organization has become the largest rare earth research and development institution in the world. 15.It focuses on the comprehensive exploitation and utilization of rare earth elements and on the research of rare earth metallurgy, environmental protection, new rare earth functional materials, and rare earth applications in traditional industry. The General Research Institute for Nonferrous Metals (GRINM) was established in 1952. This is the largest research and development institution in the field of nonferrous metals in China. The institute does not focus exclusively on rare earths, but also on many of the metals of the periodic table, other than iron.

While each of the four laboratories and institutes mentioned above complement each other, they each have different keystone research efforts. The State Key Laboratory of Rare Earth Resource Utilization focuses on applied research. The State Key Laboratory of Rare Earth Materials Chemistry and Applications focuses on basic research. Baotou Research Institute of Rare Earths and GRINM both focus on industrial applied research of rare earth elements.

14 Peking University, College of Chemistry and Molecular Engineering: The State Key Laboratory of Rare Earth Materials Chemistry and Applications: History and Development, available from http://www.chem.pku.edu.cn/page/relab/english/history.htm; Internet; accessed October 28, 2009.

15 According to Karl Gschneidner, Baotou Research Institute of Rare Earths has been the world's largest research organization of its kind for the past 30 years.

In addition to having state run laboratories dedicated to researching and developing rare earth elements, China also has two publications dedicated to the topic. They are the Journal of Rare Earth and the China Rare Earth Information (CREI) journal, both put out by the Chinese Society of Rare Earths.

These are the only two publications, globally, that focus almost exclusively on rare earth elements and they are both Chinese run.

APÊNDICE F

6th International Conference on Rare Earth Development and Application

Fonte: www.csre.org.cn/cres

Rare-earth industry is at a turning point. In order to promote the development of rare earth science & technology and industry, China Rare Earth Summit will be held by the Chinese Society of Rare Earths on Aug 2-6, 2010, Beijing of China, during the 6th International Conference on Rare Earth Development and Application. Its theme is "China rare earth industry policy and worldwide rare earth economy". The event aims at building a platform for enterprises on rare earths to understand the rare earth industry policy of China, to discuss and exchange issues on world rare earth resources, production, environment & protection, application, market and trade so as to promote the health development of rare earth industry worldwide.

The forum will focus on the impact of China rare earth industry policy on rare earth related industry, overview of the world rare earth resources, the relation between new energy industry and the rare earth industry, the status and the trends of rare earth new materials, the influence of rare earth industry on the environment, etc. Leaders from the relevant government, entrepreneurs of rare earth production, application, trading, and information, well-known experts and scholars will be invited to give wonderful speeches in the summit. For information in detail, please visit the conference website at http://www.cs-re.org.cn/cres/.

APÊNDICE G

Is America About to Become Even More Dependent on China?

Fonte: National Center for Public Policy Research – May 2010

The Case for Domestic Rare Earth Elements (REEs) Exploration and Excavation by Caroline May

REE minerals are essential to the function of such common devices as the catalytic converter, MRI machines, X-ray machines, iPods, cell phones and color televisions.3 Perhaps more critically, REEs are integral to America's defense systems, as they are used in night vision goggles, precision-guided munitions, cruise missiles and the like.

REEs also are critical if "green" energy is to replace today's carbon-based fuels, as most "green" technologies require vast amounts of these metals. For example, the permanent magnets used to manufacture one wind turbine use two tons of REEs and electric cars such as the Prius use up to 25 pounds of REEs.6 Furthermore, without REEs, there would be no such thing as a compact fluorescent light bulb.

In the last ten years two game-changing developments have made legislation hindering domestic mining more damaging to American interests. First, worldwide demand for REEs has tripled from an annual demand of 40,000 tons to 120,000 tons in the past decade.8 Second, the United States has moved from being completely self-sufficient to being 100% reliant on foreign nations for its REEs. Between 2005 and 2008, the United States imported 91% of its REEs from China and most of the rest from Russia, Japan and France.

Controlling 97% of global supply, China is a veritable REE powerhouse and is wielding its authority accordingly by severely restricting export of the precious resource. In the past seven years alone, China has reduced its exports of REEs by 40% the amount available for export. The Independent newspaper in Britain reports that by 2012 China could halt exports entirely, producing only enough to satisfy its own domestic need.

Jack Lifton, an independent consultant and leading commentator on nonferrous strategic metals, explains what such a halt means: "A real crunch is coming. In America, Britain and elsewhere we have not yet woken up to the fact that there is an urgent need to secure the supply of rare earths from sources outside China. China has gone from exporting 75% of the raw ore it produces to shipping just 25%… There has been an effort in the West to set up new mines but these are 5 to 10 years away from significant production".

APÊNDICE H

Fonte: China: Research Center for Rare Earth Materials - CREM

CREM is mainly engaged in the research and development of rare earth ore decomposition and purification, high purity rare earth compounds, rare earth metals and alloys, rare earth luminescent materials, rare earth magnetic materials, rare earth materials for agriculture development and other functional materials. Two special labs were set up: the lab of high purity rare earth compounds and the lab of rare earth metals and functional materials. Five production lines with certified ISO9001 Quality System Assessment were built up: rare earth metals and alloys, rare earth magnetic materials, rare earth luminescent materials, rare earth compounds and rare earth materials for agriculture development. Most of the products are exported to Japan, Europe and America.

The mission of CREM is to conduct scientific research, technical development, hi-tech production and consulting service for strengthening the competitive position of China's rare earth materials.

CREM hopes to cooperate with different institutes and companies related with rare earth in various ways, to form a world famous research and production foundation of rare earth materials, to fulfill the changing of rare earth productions to hi-tech advance materials, to obtain economic advantage from the resource advantage.

/…/

CREM has courageously been taking up the historic mission to transfer the primary products to those with high additive values. CREM has made great efforts to develop advanced RE materials, and to improve the progress of the RE applications. Five production lines has already been built up: RE metals and alloys, RE magnetic materials, RE luminescent materials, RE fine chemical materials and RE materials for agriculture development. PDP-used phosphors, giant magneto-strictive materials, magneto-optical materials, catalytic and environmental materials, long afterglow materials, biological materials and other advanced RE function materials are being developed. Through technical innovation, system innovation and management innovation, and with the help of the social resources such as the capital market etc, jumping development is hoped to

be fulfilled, and the hi-tech enterprise with quite international influence is hoped to be established.

/…/

The history of CREM is splendent. The future of CREM is waiting for our creation.

Rare Earth is not rare. Rare earth materials have lots to be done.

APÊNDICE I

Hybrid Cars and Wind Turbines

Fonte: Editing by Alan Elsner and Mary Milliken (2012)

That makes market gasoline-electric hybrid car and other similar vehicles vulnerable to a supply crunch predicted by experts as China, the world's dominant rare earths producer, limits exports while global demand swells.

Worldwide demand for rare earths, covering 15 entries on the periodic table of elements, is expected to exceed supply by some 40,000 tonnes annually in several years unless major new production sources are developed. One promising U.S. source is a rare earths mine slated to reopen in California by 2012.

Among the rare earths that would be most affected in a shortage is neodymium, the key component of an alloy used to make the high-power, lightweight magnets for electric motors of hybrid cars, such as the Prius, Honda Insight and Ford Focus, as well as in generators for wind turbines.

Close cousins terbium and dysprosium are added in smaller amounts to the alloy to preserve neodymium's magnetic properties at high temperatures. Yet another rare earth metal, lanthanum, is a major ingredient for hybrid car batteries.

Production of both hybrids cars and wind turbines is expected to climb sharply amid the clamor for cleaner transportation and energy alternatives that reduce dependence on fossil fuels blamed for global climate change.

APÊNDICE J
TMR Advanced Rare-Earth Projects Index

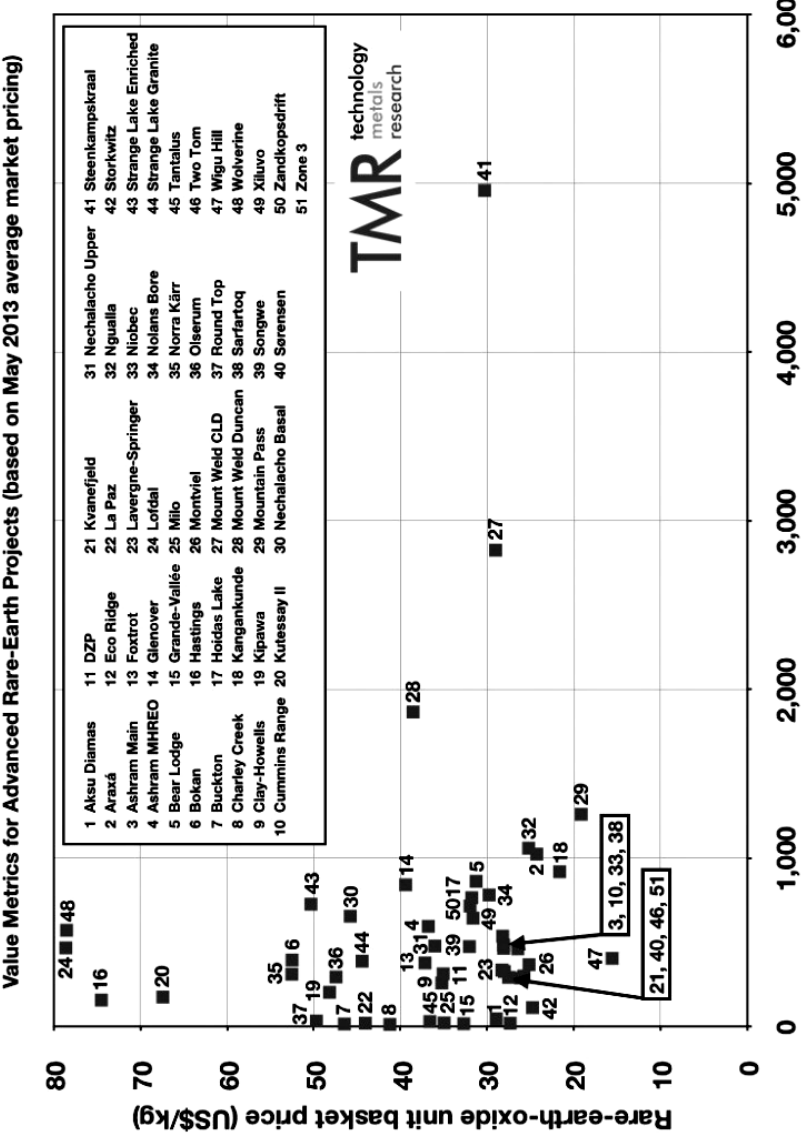
Project	Country	Owner	Ticket Symbol(s)	MR (Mt)	TREO (wt%)	TREO (Mt)	In-Situ TREO ($/t(MR))	Basket Price ($/kg)
Aksu Diamas	TUR	AMR Mineral Metal Inc.	N/A	494.00	0.07	0.345	19	27
Araxá	BRA	MBAC Fertilizer Corp.	TSX:MBC, OTCQX:MBCFF	28.29	4.21	1.190	1,022	24
Ashram Main	CAN	Commerce Resources Corp.	TSX.V:CCE, OTCQX:CMRZF, F:D7H	239.71	1.90	4.549	535	28
Ashram MHREO	CAN	Commerce Resources Corp.	TSX.V:CCE, OTCQX:CMRZF, F:D7H	9.35	1.61	0.151	594	37
Bear Lodge	USA	Rare Element Resources Ltd.	TSX.V:RES, MKT:REE	51.71	2.75	1.423	861	31
Bokan	USA	Ucore Rare Metals Inc.	TSX.V:UCU, OTCQX:UURAF	3.67	0.75	0.028	394	53
Buckton	CAN	DNI Metals Inc.	TSX.V:DNI, F:DG7	250.09	0.03	0.080	15	46
Charley Creek (JV)	AUS	Crossland Strategic Metals Ltd.	ASX:CUX	805.30	0.03	0.235	12	41
Charley Creek (JV)	AUS	Pancontinental Uranium Corporation	TSX.V:PUC	805.30	0.03	0.235	12	41
Clay-Howells	CAN	Canada Rare Earth Corp.	TSX.V:LL	8.48	0.73	0.062	258	35
Cummins Range	AUS	Navigator Resources Limited	ASX:NAV	4.90	1.74	0.085	460	26
DZP	AUS	Alkane Resources Ltd.	ASX:ALK, OTCQX:ANLKY	73.20	0.89	0.651	312	35
Eco Ridge	CAN	Pele Mountain Resources Inc.	TSX.V:GEM, OTCQX:GOLDF	59.30	0.16	0.093	45	29

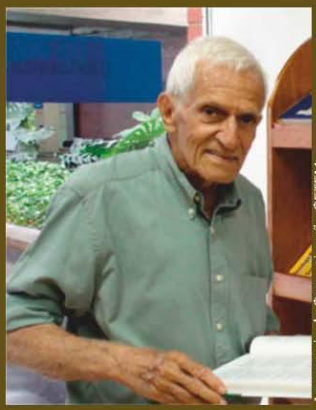
Fonte: http://www.techmetalsresearch.com/metrics-indices/tmr-advanced-rare-earth-projects-index/ (20 Junho 2013)

Foxtrot	CAN	Search Minerals Inc.	TSX.V:SMY	14.39	1.01	0.146	377	37
Glenover (JV)	ZAF	Galileo Resources PLC	AIM:GLR	10.37	2.13	0.221	840	39
Glenover (JV)	ZAF	Fer-Min-Ore (Pty) Ltd.	N/A	10.37	2.13	0.221	840	39
Grande-Vallée	CAN	Orbite Aluminae Inc.	TSX:ORT, OTCQX:EORBF	1209.64	0.05	0.606	16	33
Hastings	AUS	Hastings Rare Metals Limited	ASX:HAS	36.20	0.21	0.076	156	75
Hoidas Lake	CAN	Great Western Minerals Group Ltd.	TSX.V:GWG, OTCQX:GWMGF	2.85	2.40	0.068	763	32
Kangankunde	MWI	Lynas Corporation Ltd.	ASX:LYC, OTCQX:LYSDY	2.53	4.24	0.107	918	22
Kipawa (JV)	CAN	Matamec Explorations Inc.	TSX.V:MAT, OTCQX:MHREF	24.45	0.42	0.103	203	48
Kipawa (JV)	CAN	Toyotsu Rare Earth Canada, Inc.	N/A	24.45	0.42	0.103	203	48
Kutessay II	KGZ	Stans Energy Corp.	TSX.V:HRE, OTCQX:HREEF	18.01	0.26	0.047	174	67
Kvanefjeld	GRL	Greenland Minerals and Energy Ltd.	ASX:GGG, PK:GDLNF	619.00	1.06	6.547	291	28
La Paz	USA	AusAmerican Mining Corp. Ltd.	ASX:AIW	128.20	0.04	0.056	19	44
Lavergne-Springer	CAN	Canada Rare Earth Corp.	TSX.V:LL	16.90	1.16	0.196	326	28
Lofdal	NAM	Namibia Rare Earths Inc.	TSX:NRE	1.65	0.59	0.010	466	79

Milo	AUS	GBM Resources Ltd.	ASX:GBZ	187.00	0.06	0.114	21	35
Montviel	CAN	Geomega Resources Inc.	TSX.V:GMA	250.60	1.45	3.646	366	25
Mount Weld CLD	AUS	Lynas Corporation Ltd.	ASX:LYC, OTCQX:LYSDY	14.95	9.73	1.454	2,824	29
Mount Weld Duncan	AUS	Lynas Corporation Ltd.	ASX:LYC, OTCQX:LYSDY	8.99	4.84	0.435	1,865	39
Mountain Pass	USA	Molycorp Inc.	NYSE:MCP	31.55	6.57	2.072	1,258	19
Nechalacho Basal	CAN	Avalon Rare Metals Inc.	TSX:AVL, MKT:AVL	125.72	1.43	1.795	654	46
Nechalacho Upper	CAN	Avalon Rare Metals Inc.	TSX:AVL, MKT:AVL	177.73	1.32	2.353	477	36
Ngualla	TZA	Peak Resources Ltd.	ASX:PEK	41.70	4.19	1.748	1,057	25
Niobec	CAN	IAMGOLD Corporation	TSX:IMG, NYSE:IAG	466.80	1.65	7.702	464	28
Nolans Bore	AUS	Arafura Resources Ltd.	ASX:ARU, PK:ARAFF	47.16	2.62	1.235	780	30
Norra Kärr	SWE	Tasman Metals Ltd.	TSX.V:TSM, MKT:TAS, F:T61	58.10	0.59	0.343	310	53
Olserum	SWE	Tasman Metals Ltd.	TSX.V:TSM, MKT:TAS, F:T61	7.80	0.62	0.048	293	47
Round Top	USA	Texas Rare Earth Resources Corp.	OTCQX:TRER	1033.83	0.06	0.662	32	50
Sarfartoq	GRL	Hudson Resources Inc.	TSX.V:HUD, OTCQX:HUDRF	8.34	1.72	0.143	482	28
Songwe	MWI	Mkango Resources Ltd.	TSX.V:MKA	31.75	1.48	0.469	474	32

Sørensen	GRL	Greenland Minerals and Energy Ltd.	ASX:GGG, PK:GDLNF	242.00	1.10	2.662	288	26
Steenkampskraal	ZAF	Great Western Minerals Group Ltd.	TSX.V:GWG, OTCQX:GWMGF	0.45	16.36	0.074	4,956	30
Storkwitz	GER	Seltenerden Storkwitz AG	N/A	4.46	0.45	0.020	112	25
Strange Lake Enriched	CAN	Quest Rare Minerals Ltd.	TSX:QRM, MKT:QRM	20.02	1.44	0.288	725	50
Strange Lake Granite	CAN	Quest Rare Minerals Ltd.	TSX:QRM, MKT:QRM	472.46	0.87	4.119	387	44
Tantalus	MDG	Tantalus Rare Earths AG	F:TAE:GR	435.00	0.08	0.348	29	37
Two Tom	CAN	Canada Rare Earth Corp.	TSX.V:LL	40.64	1.18	0.480	335	28
Wigu Hill	TZA	Montero Mining and Exploration Ltd.	TSX.V:MON	3.30	2.59	0.085	404	16
Wolverine	AUS	Northern Minerals Limited	ASX:NTU	1.44	0.73	0.010	570	79
Xiluvo (JV)	MOZ	Galileo Resources PLC	AIM:GLR	1.11	2.03	0.023	642	32
Xiluvo (JV)	MOZ	Rare Earth International Ltd.	N/A	1.11	2.03	0.023	642	32
Zandkopsdrift (JV)	ZAF	Frontier Rare Earths Ltd.	TSX:FRO, PK:FREFF	42.48	2.23	0.948	714	32
Zandkopsdrift (JV)	ZAF	Korea Resources Corp.	N/A	42.48	2.23	0.948	714	32
Zone 3	GRL	Greenland Minerals and Energy Ltd.	ASX:GGG, PK:GDLNF	95.30	1.16	1.106	299	26


Value Metrics for Advanced Rare-Earth Projects (based on May 2013 average market pricing)
Rare-earth-oxide unit basket price (US$/kg)
Rare-earth-oxide value per unit mass of mineral resource (US$/t)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
0
1,000
2,000
3,000
4,000
5,000
6,000
1 Aksu Diamas
2 Araxá
3 Ashram Main
4 Ashram MHREO
5 Bear Lodge
6 Bokan
7 Buckton
8 Charley Creek
9 Clay-Howells
10 Cummins Range
11 DZP
12 Eco Ridge
13 Foxtrot
14 Glenover
15 Grande-Vallée
16 Hastings
17 Hoidas Lake
18 Kangankunde
19 Kipawa
20 Kutessay II
21 Kvanefjeld
22 La Paz
23 Lavergne-Springer
24 Lofdal
25 Milo
26 Montviel
27 Mount Weld CLD
28 Mount Weld Duncan
29 Mountain Pass
30 Nechalacho Basal
31 Nechalacho Upper
32 Ngualla
33 Niobec
34 Nolans Bore
35 Norra Kärr
36 Olserum
37 Round Top
38 Sarfartoq
39 Songwe
40 Sørensen
41 Steenkampskraal
42 Storkwitz
43 Strange Lake Enriched
44 Strange Lake Granite
45 Tantalus
46 Two Tom
47 Wigu Hill
48 Wolverine
49 Xiluvo
50 Zandkopsdrift
51 Zone 3
3, 10, 33, 38
21, 40, 46, 51
TMR technology metals research



Assessoria de Comunicação CETEM

O brilhante companheiro Lapido-Loureiro, como era referido, internacionalmente, formou-se em geologia pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e se especializou como Eng. Geólogo na Universidade de Nancy – França. Obteve o título de Doutor em Ciências pelo Instituto de Investigação Científica de Angola e pela Faculdade de Ciências de Lisboa. Profundo conhecedor dos carbonatitos, deixou contribuições de relevância nas províncias minerais do Brasil e de Angola. Dentre suas contribuições mais significativas está a premiação, em 1974, de um de seus livros editado em Portugal com o título Carbonatitos de Angola, que até hoje é referência para esse tema.

O Dr. Lapido-Loureiro iniciou sua destacada carreira profissional como Professor Assistente da Universidade de Luanda – Angola em 1963, permanecendo até 1975. Entre 1965 e 1975 acumulou o cargo de Professor Assistente e de Chefe do Departamento de Geologia do Instituto. Atuou como geólogo da NUCLEBRAS entre 1976-1988. Entre 1979-1982 foi consultor da Universidade do Colorado – Utah. Exerceu, ainda, atividades de consultoria para a CBMM nos períodos de 1983-1984 e 1987-1989. Retornou à NUCLEMON na condição de consultor nos anos de 1985 a 1987. Entre 1989 e 1991 foi requisitado para atuar na CPRM, novamente como consultor técnico. Ingressou no CETEM ao final de 1991, tendo recebido o título de Pesquisador Emérito em 1996. Durante sua passagem pelo CETEM participou de mais de uma dezena de projetos de P,D&I, elaborando projetos de pesquisa para instituições de fomento, assim como orientou e co-orientou futuros geólogos, mestres e doutores. Participou ativamente da elaboração de projetos de interesse nacional, tais como os do Grupo de Trabalho Interministerial MME-MCTI para Minerais Estratégicos e do Plano Nacional de Mineração 2010-2030.

Lapido-Loureiro, foi um dos mais estudiosos e conhecedores dos recursos minerais brasileiros e de além-mar. Foi um dos precursores pesquisadores que vislumbraram e propuseram o aproveitamento integral e, por conseguinte, mais racional e sustentável de reservas e jazidas polimineralicas. Essa sempre foi a sua proposta para viabilizar o aproveitamento de recursos minerais, até então, considerados antieconômicos.

A sua carreira profissional não se restringiu às valiosas contribuições prestadas, às empresas e institutos nos quais atuou, na forma de relatórios técnicos (68) e pelas várias publicações que gerou, dentre as quais se incluem, entre outras: quatro livros publicados e esse último, com o qual nos honra. *"Audax in intellectu et in labore"*.

CETEM 35 anos
CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL
Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA
ISBN 978-85-8261-001-5
9 788582 610015