

Marcio Silva Teixeira

**POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE TERRAS RARAS NO ESTADO DO
RIO DE JANEIRO (TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO)**

Trabalho de Conclusão de Curso
(Bacharelado em Geologia)

UFRJ
Rio de Janeiro
2012



UFRJ

Marcio Silva Teixeira

**POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE TERRAS RARAS NO ESTADO DO RIO DE
JANEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador:

José Mário Coelho

Marcio Silva Teixeira

**POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE TERRAS RARAS NO ESTADO DO RIO DE
JANEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação em Geologia do Instituto de
Geociências, Universidade Federal do Rio
de Janeiro – UFRJ, apresentado como
requisito necessário para obtenção do grau
de Bacharel em Geologia.

Orientador:

José Mário Coelho

Aprovada em:

Por:

Orientador: Prof. Dr José Mário Coelho (UFRJ)

Prof. Dr. Adão Benvindo da Luz (UFRJ)

Prof. Dr. Gilberto Dias Calaes

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal do Rio de Janeiro, pela excelente estrutura de ensino de Geologia, agradeço ao meu orientador José Mario Coelho e aos outros professores que me proporcionaram o conhecimento. Gostaria de agradecer também aos meus amigos de turma e aos meus familiares que me ajudaram nesta fase de minha vida.

RESUMO

TEIXEIRA, Marcio Silva. **Potencial de produção de Terras Raras no Estado do Rio de Janeiro**. 2012. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Os elementos de Terras Raras (ETR) fazem parte do grupo dos lantanídeos da tabela periódica, incluindo o ítrio e o escândio. São utilizados frequentemente na fabricação de telas de LCD, ímãs permanentes, baterias, além de serem importantes para a indústria petrolífera agindo como catalisadores durante o refino do petróleo. Os principais grupos minerais de Terras Raras são os fosfatos, representados, sobretudo, pela monazita e xenotímio e os minerais fluocarbonatos, figurados pela bastnasita. No mundo, os principais depósitos destas *commodities* estão localizados em Mountain Pass, nos EUA e em Bayan Obo, na China, sendo o primeiro inativo desde 2002 e caracterizado como um depósito carbonatítico e o segundo por um depósito hidrotermal plutogênico, correspondendo como a principal fonte global de Terras Raras. A produção mundial destes elementos é dominada pela China, assumindo 97% desta e 37% das reservas, seguida pela Comunidade dos Estados Independentes (CEI) e os EUA. As principais reservas de Terras Raras brasileiras, segundo estimativas da USGS, encontram-se no Amazonas, município de São Gabriel da Cachoeira e na jazida de Araxá, em Minas Gerais. Entretanto, a produção brasileira atual concentra-se essencialmente no Rio de Janeiro, nos depósitos de areias monazíticas de São Francisco de Itabapoana. Nestes depósitos a monazita se acumula nas faixas litorâneas, constituindo os depósitos quaternários da Formação Barreiras, juntamente com areias quartzosas. Os Elementos de Terras Raras no Rio de Janeiro envolve estes depósitos, os quais, atualmente, são os únicos em produção no Brasil.

Palavras-chave: Terras Raras; Rio de Janeiro; Monazita.

ABSTRACT

TEIXEIRA, Marcio Silva. **Potential for production of rare earth in State of Rio de Janeiro**. 2012. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The rare earth elements (REE) belong to the group of lanthanides in the periodic table, including scandium and yttrium. They are frequently used in the manufacture of LCD screens, permanent magnets, batteries, and are important for the oil industry by acting as catalysts for petroleum refining. The main groups of rare earth minerals are phosphates, represented mainly by monazite and xenotime and carbonate-fluoride minerals, figured by bastnasite. In the world, the main deposits of these commodities are located in Mountain Pass, in the U.S. and Bayan Obo, China, the first being inactive since 2002 and characterized as a carbonatite deposit and the second by a hydrothermal plutogenic deposit, corresponding to the principal source rare earth. The world production of these elements is dominated by China, assuming that 97% and 37% of reserves, followed by the Commonwealth of Independent States (CIS) and the U.S. The main reserves of rare earths in Brazil, according to USGS estimates, are in Amazonas, city of São Gabriel da Cachoeira and Araxá deposit in Minas Gerais. However, the current Brazilian production is concentrated mainly in Rio de Janeiro at the deposits of monazite sands of São Francisco de Itabapoana. In these deposits the monazites are accumulated along the coasts, constituting quaternary deposits of Barreiras Formation, together with quartz sand. The Rare Earth Elements in Rio de Janeiro involves these deposits, which currently are the only in production in Brazil.

Key-Words: Rare Earth; Rio de Janeiro; Monazite.

Lista de Figuras

<i>Figura 1 Produção mineral de Terras Raras da China versus o resto do mundo (10³).....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2 Localização geográfica do Estado do Rio de Janeiro.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 3 Mapa de divisão regional do Estado do Rio de Janeiro.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 4 Mapa geológico da região de São Francisco de Itabapoana.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 5 Imagem de MEV mostrando cristais de fosfato de Terras Raras (ftr), crescidos sobre a matriz (ma), junto à borda de um grão detrítico de quartzo (q).....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 6 Fluxograma simplificado do processo de beneficiamento da monazita da jazida de Buena.....</i>	<i>28</i>

Lista de Tabelas

<i>Tabela 1 Concentração de ETR na crosta terrestre.....</i>	<i>5</i>
<i>Tabela 2 Tamanho e qualidade dos principais depósitos mundiais de ETR.....</i>	<i>6</i>
<i>Tabela 3 Composição percentual dos principais ETR nos minerais fundamentais.....</i>	<i>10</i>
<i>Tabela 4 Produção e reservas de Terras Raras no mundo.....</i>	<i>11</i>
<i>Tabela 5 Principais dados da produção e outros fatores comerciais dos ETR no Brasil.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabela 6 Reservas de Minerais Metálicos no Estado do Rio de Janeiro – 2009.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabela 7 Situação legal junto ao DNPM no Estado do Rio de Janeiro.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabela 8 Produção de monazita e minérios metálicos no Estado do Rio de Janeiro.....</i>	<i>30</i>

Lista de Anexo

<i>Anexo 1 Mapa Geológico do Rio de Janeiro.....</i>	<i>32</i>
--	-----------

Lista de siglas e abreviaturas

CEI – Comunidade dos Estados Independentes
CETEM – Centro de Tecnologia Mineral
CIDE – Contribuições de Intervenção no Domínio Econômico
CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear
CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais
CSF – Cráton São Francisco
DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral
DRM-RJ – Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro
DRX – Difração de Raios - X
EDS – *Energy Dispersive x-Ray Detector*
ETR – Elementos de Terras Raras
ETRL – Elementos de Terras Raras Leves
EUA – Estados Unidos da América
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGEO – Instituto de Geociências
INB – Indústrias Nucleares do Brasil
IUPAC – *International Union of Pure and Applied Chemistry*
LCD – *Liquid Cristal Display*
MEV – Microscópio Eletrônico de Varredura
OMC – Organização Mundial do Comércio
OTR – Óxidos de Terras Raras
pH – Potencial Hidrogeniônico
PIB – Produto Interno Bruto
PNM 2030 – Plano Nacional de Mineração 2030
RCSB – *Rift Continental do Sudeste do Brasil*
REE – *Rare Earth Elements*
REO – *Rare Earth Oxide*
ROM – *Run of Mine*
SIG – Sistema de Informação Geográfica
TR – Terras Raras
UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro
USGS – *United States Geological Survey*
USP – Universidade de São Paulo

Sumário

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - Objetivos.....	1
1.2 - Metodologia.....	2
1.3 - Composição Mineralógica.....	2
1.3.1 – Haloides, Fluocarbonatos e Carbonatos	2
1.3.2 – Fosfatos	3
1.3.3 – Silicatos e Óxidos.....	4
1.4 - Principais Tipos de Depósitos de Terras Raras do Mundo	4
1.4.1 – Depósitos Carbonatíticos	5
1.4.2 – Depósitos Hidrotermais Plutogênicos	6
1.4.3 – Depósitos Pegmatíticos	7
1.4.4 – Depósitos de Veios.....	7
1.4.5 – Depósitos Metassomáticos	7
1.4.6 – Depósitos de <i>Placers</i>	8
1.4.7 – Depósitos Sedimentares e Metamorfogênicos	8
2 – ANÁLISE DO MERCADO DE TERRAS RARAS	9
2.1 - Usos e Funções dos Terras Raras	9
2.2 - Produção Mundial	10
2.3 - Produção Brasileira	12
2.4 - Reservas Brasileiras.....	14
2.5 - Beneficiamento.....	15
2.6 - Comércio dos Terras Raras	15
2.7 - Minerais Substitutos.....	16

3 – TERRAS RARAS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.....	17
3.1 - Geologia Regional	17
3.1.1 – Terreno Ocidental.....	18
3.1.2 – Terreno Paraíba do Sul.....	18
3.1.3 – Terreno Oriental	19
3.1.4 – Terreno Cabo Frio	19
3.2 - Geologia Econômica	20
3.2.1 – Petróleo e Gás Natural	20
3.2.2 – Minerais Não Metálicos	20
3.3 - Geologia da Região de São Francisco de Itabapoana.....	21
3.3.1 – Formação Barreiras	23
3.3.2 – Depósitos Quaternários	24
3.4 - As Areias Monazíticas de São Francisco de Itabapoana.....	24
3.5 - Terras Raras na Formação Resende.....	25
3.6 - Beneficiamento na Jazida de Buena.....	26
3.7 - Reservas de Terras Raras no Estado do Rio de Janeiro	28
3.8 – Situação Legal dos Direitos Minerai s Relativos aos Terras Raras no Estado do Rio de Janeiro.....	29
4 – CONCLUSÕES	31
5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

1- INTRODUÇÃO

O termo Terras Raras (TR) ou elementos de Terras Raras (ETR) é utilizado na denominação de um grupo relativamente abundante de elementos químicos, classificados de acordo com a IUPAC (União Internacional de Química Pura e Aplicada), como o grupo dos lantanídeos, este grupo faz parte do período 6 da tabela periódica e engloba os elementos de número atômico entre $Z=57$ e $Z=71$, ou seja do lantânio ao lutécio, além do ítrio ($Z=39$) e do escândio ($Z=21$), os quais se assemelham quimicamente e mineralogicamente aos lantanídeos. A denominação Terras Raras é utilizada até hoje erroneamente, uma vez que estes elementos não são raros na natureza, o que só foi descoberto com o avanço e aperfeiçoamento dos métodos de análise química e do conhecimento de sua geoquímica (Lapido-Loureiro, 1994).

Estes elementos são amplamente utilizados na fabricação de telas LCD, lâmpadas fluorescentes compactas e os fortes ímãs permanentes, em baterias de carros híbridos e turbinas eólicas. Seu uso em baterias de carros híbridos e em equipamentos militares exige a adição de elementos mais pesados a fim de manter os materiais magnetizados em suas altas temperaturas de operação.

Por diversos anos, o principal mineral de minério de onde se extraíam os metais de Terras Raras foi a monazita. Este mineral é constituído por arsenatos, fosfatos e silicatos monoclinicos, sendo a monazita fosfática o mineral mais comum para extração de ETR, ocorrendo em vários ambientes geológicos, com ampla diversidade de composição e morfologia (Smirnov, 1976).

1.1- Objetivos

O objetivo deste trabalho é o estudo do potencial de produção de Terras Raras no estado do Rio de Janeiro, bem como a caracterização e análise do mercado mundial destes elementos, envolvendo as principais reservas e produção global. Além disto, são indicadas algumas possíveis áreas para exploração de Terras Raras no estado do Rio de Janeiro.

1.2- Metodologia

O trabalho foi realizado através de pesquisa e leitura de teses, artigos, trabalhos e notícias já publicados, sobre o assunto. Dentre estes, destacam-se a monografia de Lapidou - Loureiro (1994), Viera & Lins (1997), Zayas (2003), o Plano Nacional de Mineração 2030, entre outros, além dos dados fornecidos pelo site do DNPM, como o Sumário Mineral e Anuário Mineral Brasileiro. Realizou-se também uma pesquisa junto ao portal Cadastro Mineiro do DNPM, a fim de verificar a situação legal dos direitos minerais titulados às empresas atuantes no estado do Rio de Janeiro com interesse em Terras Raras, bem como as empresas ativas e inativas, sobretudo os principais minerais minérios explorados.

Ao longo do estudo dos trabalhos acima citados foi possível avaliar a produção, consumo e fontes de Terras Raras no Brasil e no Mundo, assim como as perspectivas existentes nos contextos mundial, nacional e do Estado do Rio de Janeiro. Tornou-se possível, também, indicar algumas tendências e previsão do cenário futuro dos Terras Raras.

1.3- Composição Mineralógica

A produção de óxidos de Terras Raras (OTR ou REO em inglês) deriva principalmente de três minerais, que são: a bastnasita $(\text{Ce, La})\text{CO}_3\text{F}$, a qual possui cerca de 70% de OTR, apresentando ainda aproximadamente 0,1% de Y_2O_3 ; a monazita $(\text{Ce, La, Nd, Th, Y})\text{PO}_4$, com 60% de OTR, esta possui 2% de Y_2O_3 nos seus concentrados típicos e o xenotímo YPO_4 , o qual é considerado a maior fonte de ítrio, com 61,5%. Outrossim, há mais minerais importantes para a produção de Terras Raras como a apatita $(\text{Ca, Ce})_5((\text{P, Si})\text{O}_4)_3\text{F}$; lopanita $(\text{Ce, Na, Ca})_2(\text{Ti, Nb})_2\text{O}_6$; pirocloro $(\text{Na, Ca, Ce})_2\text{Nb}_2\text{O}_6(\text{OH, F})$, entre outros (Lapidou-Loureiro, op. cit.).

Muitas vezes, os ETR apresentam-se como elementos acessórios, podendo ocorrer como “cristais estranhos”, normalmente em inclusões que tiveram origem simultaneamente ao crescimento do mineral essencial, ou até mesmo como cristais acessórios que se alojaram acidentalmente em fendas, posteriores à formação do mineral principal. Os ETR ainda podem surgir como elementos anexos, que foram incorporados ao mineral original por isomorfismo.

1.3.1- Haloides, Fluocarbonatos e Carbonatos

A concentração de ETR nos fluidos residuais magmáticos se deve pela dificuldade de formação de minerais próprios dos Terras Raras, uma vez que estes possuem carga e

superfícies elevadas, a partir disto o aumento da concentração destes elementos procede de acordo com a retirada de voláteis durante a cristalização de magmas extremamente diferenciados e saturados em água (Ginzburg *et al* 1979).

Dos fluocarbonatos, a bastnasita é o mineral minério primordial para a extração de ETR, ocorrendo geralmente em pegmatitos, frequentemente associada à cerita, allanita e fluocerita (os últimos como mineral de alteração em escarnitos e carbonatitos).

Segundo Fleischer (1978), os ETRL (elementos de Terras Raras leves) aumentam de concentração dos granitos aos pegmatitos graníticos, ocorrendo, também, em rochas alcalinas e carbonatitos. Além destas rochas, a bastnasita pode ser encontrada em menor proporção nos albititos da Sibéria oriental apresentando 7,46% em peso de TR_2O_3 (Pavlenko *et al*, 1965; apud: Clark, 1984).

Mais raros, porém não menos importantes os carbonatos de TR podem ser encontrados em pegmatitos de rochas alcalinas e em carbonatitos, sendo seu mineral de minério mais comum a ancylita (Clark, 1984).

1.3.2- Fosfatos

A monazita é o principal mineral fosfato de TR. No Brasil e em diversos países, os ETR ocorrem em areias monazíticas, juntamente com outros minerais pesados (ilmenita, zirconita e rutilo). É comum encontrar a monazita em depósitos do tipo *placer*, devido à sua alta densidade e em territórios de paleopraias, uma vez que estes cristais podem ser retirados de sua rocha hospedeira pela água, se depositando em ambientes fluviais e praias. Estão normalmente associadas a pegmatitos fosfatados, mas são comumente achadas em rochas ígneas, metamórficas e em veios. O elemento essencial presente na monazita é o Th (o que a torna um mineral altamente radioativo), o Th_2O pode atingir valores de até 13%, em peso, na sua composição e em alguns casos como no Sri Lanka podem alcançar até 28,2% (Lapido-Loureiro, 1994).

O xenotímio é outro mineral minério que contém Terras Raras, ele possui como elemento principal o Y, comum de aparecer como YPO_4 (xenotímio); $YAsO_4$ (chernovita) e YVO_4 (wakefieldita). A exploração do xenotímio ocorre em depósitos aluvionares de cassiterita, na qual ele é o subproduto, ou em depósitos de columbita-tantalita. O xenotímio geralmente ocorre associado à monazita, porém, em quantidades menores que essa. Entre suas mais importantes propriedades físicas, pode-se mencionar que é mais fortemente magnético

que a monazita, fato que permite sua separação por métodos magnéticos No Brasil é comum encontrar estes cristais no depósito do Morro do Ferro, em Poços de Caldas, Minas Gerais (Lapido-Loureiro, op.cit).

Além destes, há a rabdofanita, a qual é considerada resultante do intemperismo da bastnasita, belovita, britolita e outros minerais de Terras Raras, e a florencita, comum em solos lateríticos.

Ainda pertencendo aos fosfatos há outro importante grupo que possui concentrações significativas de ETR, é o grupo da apatita. Dentro deste conjunto, a fluorapatita é a mais comum e, apesar de possuir pequenas quantidades destes elementos (em milhares de ppm), ainda é considerado um importante mineral de Terras Raras. Por outro lado, as apatitas em rochas alcalinas podem possuir até 12% de ETR (Clarck, 1984).

1.3.3- Silicatos e Óxidos

Os principais minerais representantes deste grupo são a allanita, britholita, eudialita, gadolinita, esfênio ou titanita, torita e zirconita. Destacando-se a allanita, a qual compõe o grupo do epidoto, é um mineral acessório comum em granitos, granodioritos, monzonitos e sienitos; o esfênio, importante concentrador de ETR, encontrado frequentemente em rochas ígneas e metamórficas e a zirconita, mineral isoestrutural do xenotímio, geralmente contém ETR ítricas, que entram na sua estrutura por meio de substituição isomórfica (Lapido-Loureiro, op.cit).

Os óxidos de Terras Raras são representados pela samarskita, fergusonita, brannerita, além do grupo do pirocloro.

1.4 - Principais Tipos de Depósitos de Terras Raras no Mundo

Os depósitos de ETR ocorrem distribuídos amplamente por toda crosta terrestre, em diversos tipos de ambientes geológicos, contudo os depósitos puros de TR são, geralmente, de baixa concentração, sendo mais comum a extração destes através de outros minerais, como é o exemplo da China, que extrai Terras Raras de magnetita e fluorita, na jazida de Bayan Obo, a qual contém as maiores reservas mundiais de Terras Raras e é uma das maiores produtoras do mundo. Assim como a China, na península de Kola na Rússia, a exploração dos ETR se dá

através das apatitas encontradas nos complexos alcalino-carbonatítico (Lapido-Loureiro, 1994).

Dentre os ETR encontrados no mundo, o cério é o mais abundante, com aproximadamente 60 ppm e mesmo os não abundantes ocorrem na crosta terrestre em maiores proporções do que outros elementos como Sb, Bi, Cd e Ag. Na tabela 1 são apresentados os ETR mais abundantes no mundo.

Tabela 1 – Concentração de ETR na crosta terrestre.

Elemento	Símbolo	Conteúdo (ppm)
Ítrio	Y	33
Lantânio	La	30
Cério	Ce	60
Praseodímio	Pr	8,2
Neodímio	Nd	28
Samário	Sm	6
Gadolínio	Gd	5,4

Fonte: Vasconcelos, 2006.

1.4.1 - Depósitos Carbonatíticos

Complexos carbonatíticos consistem em carbonatos magmáticos associados a rochas ígneas alcalinas. Este tipo de depósito é caracterizado por diversas fases de atividade sendo improvável encontrar ETR nas fases precoces calcíticas (Lapido-Loureiro, 1994, *apud*, Smirnov, 1976). Na região de Mountain Pass, na Califórnia, próxima à divisa com Nevada, há um complexo carbonatítico, o qual é explorado desde 1950 pela mineradora Molycorp, no entanto, em 2002, a mina foi fechada devido ao alto custo da limpeza somada a concorrência de baixo custo da China.

A bastnasita era o principal mineral minério que extraído na jazida de Mountain Pass é, este mineral se encontra em carbonatitos intrusivos, num complexo essencialmente granito-gnáissico. O minério contém cerca de 12% de bastnasita, 20% de barita, 10% de quartzo e

outros silicatos e completando, 58% de carbonatos, destacando-se a calcita. Os OTR (óxidos de Terras Raras) vão de 5 a 15%, segundo Lapido-Loureiro (1994).

No Brasil, o complexo ultramáfico-carbonatítico de Catalão I, em Goiás, além de possuir alguns dos maiores e mais preciosos diamantes do país, apresenta reservas significativas e de altos teores de TR, estas reservas são associadas aos minérios de apatita, anastásio e pirocloro, com teores mais baixos.

1.4.2 - Depósitos Hidrotermais Plutogênicos

Este tipo de depósito é representado pela maior jazida de Terras Raras do mundo, a de Bayan Obo, situada na Mongólia Interior, China. Nesta região, os ETR são recuperados a partir de corpos de minério de Fe-Nb-ETR, que foram explorados em mais de 20 sítios, desde 1957 (Drew *et. al.*, 1990). O corpo principal possui um teor de 35% de Fe e 6,19% de óxido de Terras Raras (OTR), enquanto que o do leste possui 33% de Fe e 5,17% de OTR. As reservas totais que têm sido relatadas são de aproximadamente 1,5 bilhões de toneladas de Fe, com teor médio de 35%, e no mínimo 48 milhões de toneladas de OTR, de teor médio 6%, além de 1 milhão de toneladas de Nb, com teor médio de 0,6% (Drew *et. al.*, op.cit). Desde 1998 a China vem sendo cada vez mais importante na produção de ETR do mundo através da jazida de Bayan Obo, ultrapassando as jazidas de Mountain Pass, nos EUA, já inativa, e a de Araxá, no Brasil, como mostra a Tabela 2, que apresenta os valores da produção anual por país.

Tabela 2 – Tamanho e qualidade dos principais depósitos mundiais de ETR.

Depósito ou Distrito	País	Tamanho (t de ETR)	% OTR	Tipo de Depósito
Bayan Obo	China	40.000.000	6	Ferífero
Araxá	Brasil	8.100.00	1,8	Carbonatítico Laterítico
Mountain Pass	EUA	1.800.000	8,9	Carbonatítico
Mount Weld	Austrália	1.700.000	11,2	Carbonatítico Laterítico
Dubbo	Austrália	700.000	0,86	Traquito
Mrima Hill	Quênia	300.000	5	Carbonatítico Laterítico
Nolan's Bore	Austrália	150.000	4	Veio

Fonte: Stephen B. Castor and James B. Hedrick, 2006.

1.4.3 - Depósitos Pegmatíticos

Em rochas pegmatíticas é comum encontrar minerais de Terras Raras, entretanto sua quantidade é irrelevante. Estes minerais apresentam-se associados a outros elementos que compõem a química da rocha, por exemplo nos pegmatitos graníticos, os ETR estão ligados ao U, Th, Zr, Hf, Nb, Ta, Li e Be, como ocorre em depósitos pegmatíticos na Suécia, Canadá, Madagascar e Noruega (Lapido-Loureiro, 1994).

1.4.4 – Depósitos de Veios

Comumente são encontrados ETR em veios, contudo estes são, geralmente, veios carbonatíticos, como ocorre em Mountain Pass, na Califórnia. Por outro lado, também há ocorrência de Terras Raras em veios pegmatíticos e veios de quartzo, este último tendo como exemplo o Complexo Jequié, na Bahia, onde há anomalias radiométricas nos terrenos granulíticos associadas a veios de quartzo contendo ETR. Além disto, na região de Steenkampskraal, na África do Sul, localiza-se uma zona granito-gnáissica, onde a monazita e a apatita constituem 80% do minério (Lapido-Loureiro, op.cit).

1.4.5 - Depósitos Metassomáticos

É possível a obtenção de minerais de Terras Raras por intermédio de minerais metassomáticos, como feldspatos e álcali-granitos albitizados. Smirnov (1976) afirma que os ETR podem ser extraídos como subprodutos em depósitos de Ta-Nb associados a estes tipos de rocha, além disso, os ambientes onde ocorrem albititos ligados a rochas alcalinas como álcali-granito e sienitos são propícios para a formação de depósitos de Terras Raras. No Brasil, o maior exemplo disso é o granito albitizado de Madeira, no município de Pitinga, no estado do Amazonas, nessa região o subproduto do minério de cassiterita é o xenotímio (Lapido-Loureiro, 1994).

1.4.6 - Depósitos de *Placers*

Os depósitos de *placers* são separados em marinhos e aluvionares. Os *placers* marinhos ocorrem em diversos lugares do mundo, como Austrália, Índia, China, Brasil e etc. No Brasil toda a produção de Terras Raras provém dos *placers* costeiros do Rio de Janeiro (região Norte Fluminense) e Espírito Santo, nestes depósitos o principal mineral de minério é a monazita, geralmente possuindo teores elevados de Th e se apresentando como subproduto de um conjunto de minerais pesados (ilmenita, zirconita e rutilo) (Lapido-Loureiro, op. cit.).

Ainda segundo este mesmo autor, os depósitos de *placers* aluvionares são importantes para a obtenção de xenotímio, como ocorre na Malásia e na Tailândia, onde este mineral é subproduto do minério de cassiterita. No Brasil, o minério de cassiterita aluvionar de Pitinga, no Amazonas, também é fonte de xenotímio.

1.4.7 - Depósitos Sedimentares e Metamorfogênicos

Em Miriri, em Pernambuco, ocorrem fosforitos marinhos que são fontes de xenotímio e OTR nas suas apatitas, entretanto os depósitos sedimentares são de baixo teor.

Igualmente, os depósitos metamorfogênicos não são de importante relevância, uma vez que são pequenas as quantidades de ETR, os quais podem se concentrar em escarnitos, resultantes da intrusão de granitos ou sienitos alcalinos em calcários, como ocorre em Bastnasita, na Suécia (Lapido-Loureiro, op. cit.).

2- ANÁLISE DO MERCADO DE TERRAS RARAS NO BRASIL E NO MUNDO

Neste item são levantados os principais usos e funções dos ETR no Brasil e no mundo, bem como as reservas, produção e beneficiamentos destes. Também é analisado o comércio mundial deste minério e, por último, os minerais normalmente utilizados como substitutos.

2.1- Usos e Funções dos Terras Raras

Os elementos de Terras Raras possuem características físicas e químicas, as quais permitem o seu uso em uma grande variedade de aplicações tecnológicas, como na composição de telas de LCD, em computadores, *tablets*, materiais luminescentes, ímãs, catalisadores utilizados em refinação de produtos diversos, componentes para carros híbridos, fabricação de supercondutores, na composição de painéis solares, no refino do petróleo, na indústria de cerâmica, entre outras aplicações (CETEM, 2008).

A utilização destes elementos tem crescido conforme os anos, principalmente do neodímio, samário, lantânio, cério e ítrio. O primeiro é o ETR mais utilizado no mercado, estando presente nos superimãs. Estes, por sua vez, são cada vez mais úteis em motores que devem possuir pequenas dimensões, como os que regulam bancos e espelhos em carros mais luxuosos. Além disso, com a crescente necessidade de fontes renováveis, a construção de geradores de energia eólica com estes superimãs está se expandindo.

É importante destacar, também, que o lantânio é usado para fabricar gasolina. Numa das etapas da fabricação da gasolina, gases passam por um catalisador de óxido de lantânio, que promove a junção das moléculas do combustível. O lantânio está presente em maior quantidade na monazita e na bastnasita. A Tabela 3 mostra a distribuição percentual, em Terras Raras, da monazita, bastnasita e xenotímio.

Tabela 3 – Composição percentual dos principais ETR nos minerais fundamentais.

Elemento	Monazita	Bastnaesita	Xenotímio
Lantânio	23	32	-
Cério	46	50	-
Praseodímio	5	4	-
Neodímio	19	13	-
Samário	3	0,5	1,2
Gadolínio	1,7	0,15	3,6
Disprósio	0,5	0,12	7,5
Érbio	0,13	-	6,2
Ítérbio	0,06	0,015	6,0
Ítrio	2	0,1	60

Fonte: Vieira & Lins, 1997.

2.2- Produção Mundial

A produção mundial de Terras Raras, cada vez mais, vem sendo dominada pela China, ultrapassando grandes potências como os EUA. O país é o líder mundial na produção destes elementos, possuindo cerca de 37% das reservas mundiais, seguida pela Comunidade dos Estados Independentes (CEI) e os EUA, além disso é responsável por 97% do fornecimento mundial de Terras Raras. A demanda por esses bens minerais cresce conforme os anos, tendo em vista este crescimento a China aumenta progressivamente os preços de exportação destes bens. Contudo, recentemente, a China consolidou sua indústria de Terras Raras e reduziu a sua produção, estabelecendo quotas de exportação, numa tentativa de reter mais desses minerais para uso interno no futuro e pretendendo também “limpar” sua mineração, após denúncias de danos ecológicos e sociais. O governo da China anunciou no primeiro semestre de 2011, que vai reduzir suas quotas de exportação de Terras Raras em mais de 11% e além disso irá reduzir ainda mais o fornecimento destes bens em 2012. A Tabela 4 mostra a relação entre reservas e produção dos ETR no mundo.

Tabela 4 – Produção e reservas de Terras Raras no mundo.

País	Produção da Mina (t)		Reservas (t)
	2010	2011	
EUA	-	-	13.000.000
Austrália	-	-	1.600.000
Brazil	550	550	48.000
China	130.000	130.000	55.000.000
CEI	NA	NA	19.000.000
Índia	2.800	3.000	3.100.000
Malasia	30	30	30.000
Outros Países	NA	NA	22.000.000
Total (arredondado)	133.000	130.000	110.000.000

Fonte: USGS – Mineral Commodity Summaries, 2012.

Outro importante produtor mundial de ETR é os EUA, que possui uma das maiores jazidas de bastnasita do mundo, em Mountain Pass, na Califórnia, a qual até os anos 80 era considerada a maior reserva de ETR do planeta. A jazida de Mountain Pass contém de 8 a 12% de ETR, que estão mais concentrados na bastnasita e suas reservas restantes conhecidas são superiores a 20 milhões de toneladas de minério, utilizando um teor de corte de 5% e uma média de 8,9% de óxidos de Terras Raras. Apesar disto, os EUA - e outros países produtores de ETR como: Brasil, Austrália, Índia, África do Sul, Tailândia e Sri Lanka, onde as areias monazíticas possuem grande importância – perdem para a China no mercado de produção mundial. O gráfico da Figura 1 apresenta a comparação da produção da China com o resto do mundo, no período de 2004 a 2010.

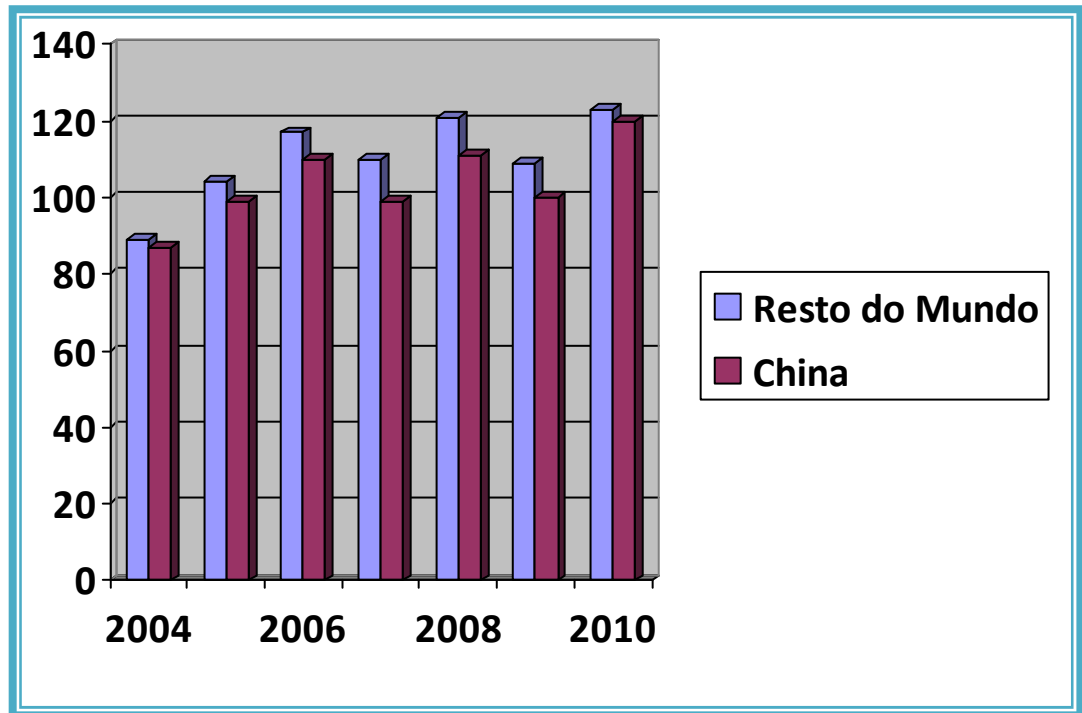


Figura 1 – Produção mineral de Terras Raras da China *versus* o resto do mundo (10³t).

Fonte: Dudley J. Kingsnorth, 2010.

2.3- Produção Brasileira

O Brasil pouco se destaca na produção de ETR. Em 2010, a produção obtida pela INB (Indústrias Nucleares do Brasil) foi de cerca de 249 toneladas de concentrado com 95% de monazita provenientes de paleoareias de metais pesados, da região de São Francisco do Itabapoana, no estado do Rio de Janeiro. As monazitas que não são comercializadas ficam em estoque e, juntamente, com o rutilo, zirconita e ilmenita, faz parte do grupo de metais pesados comercializados, que contém de 5 a 10% em peso da areia da jazida, na qual são extraídos (Rosental, 2008; Schnellrath *et. al.*, 2001).

Ainda no ano de 2010, o Brasil exportou alguns compostos químicos e produtos manufaturados, principalmente para Espanha e Reino Unido, respectivamente. É importante ressaltar que no Brasil, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) fiscaliza a exportação dos ETR, autorizando ou não a negociação, tendo em vista o conteúdo radioativo destes elementos, como o tório e o urânio. A Tabela 5 mostra os diversos fatores comerciais brasileiros em relação aos Terras Raras.

Tabela 5 – Principais dados da produção e outros fatores comerciais dos ETR no Brasil.

Discriminação		Unidade	2008	2009	2010
Produção	Monazita	(t)	834	303	249
Importação	Bens Primários	10 ³ US\$ - FOB	2	-	-
	Compostos Químicos	(t)	2.274	1.306	1.156
		10 ³ US\$ - FOB	11.240	6.340	6.062
	Manufaturados	(t)	635	327	686
10 ³ US\$ - FOB		5.840	2.927	8.092	
Exportação	Compostos Químicos	(t)	36	21	21
		10 ³ US\$ - FOB	659	386	365
	Manufaturados	(t)	421	321	506
		10 ³ US\$ - FOB	895	735	1.083
Consumo Aparente	Monazita	(t)	834	303	249
	Compostos Químicos	(t)	2.238	1.285	1.135
	Manufaturados	(t)	214	6	180
Preço Médio	Conc. de Monazita	(US\$/t)	870	870	870
	Conc. de Bastnaesita	(US\$/t)	8.820	5.730	6.870
	Metal Misto	(US\$/t)	8.500	8.500	50.000

Fonte: DNPM, 2011.

A China, ao longo dos anos, vem sendo a principal fornecedora de ETR para o país, o que pode ser um motivo da queda acentuada na produção nacional. Todavia, a crescente utilização destes elementos em materiais de alta tecnologia, vem incentivando o retorno da produção interna, uma vez que estes produtos possuem caráter estratégico para qualquer país consumidor. Sendo assim, no Brasil, as atividades de pesquisa mineral, a descoberta de novos depósitos e o desenvolvimento de tecnologias vêm se intensificando.

Outrossim, segundo o Plano Nacional de Mineração 2030, o setor mineral estará mais presente na economia brasileira, no início da terceira década do século XXI, devido às novas práticas de produção e consumo, além do uso de novos materiais,

energias renováveis e sistemas públicos de transporte e habitação sustentáveis. Neste contexto cresce a produção de *commodities*, como o urânio e os ETR, em função da grande demanda de produtos de alta tecnologia que são ofertados no mercado.

2.4- Reservas Brasileiras

No contexto mundial as reservas brasileiras de Terras Raras são da ordem de 31.000 toneladas, segundo dados do DNPM, em 2010. Atualmente, a única jazida de ETR, em atividade no país, é a de São Francisco do Itabapoana, de onde é extraída a monazita de areias de minerais pesados.

Apesar da baixa participação das reservas brasileiras de ETR, sobre o total mundial, o USGS estima em 3,5 bilhões de toneladas, o total de recursos de ETR existentes no país, o que pode levar a mudança deste panorama daqui a alguns anos. Contudo, a iniciativa de buscar novas jazidas e de pesquisa mineral, ainda se mostra fraca internamente, por outro lado esta atitude se faz necessária, haja vista o aumento dos preços de venda pela China e a progressiva premência em desenvolver tecnologia nacional. Do ponto de vista da pesquisa e do desenvolvimento, o Brasil precisaria estudar em escala piloto, uma vez que atualmente a escala é laboratorial, portanto, se houver decisão empresarial e de governo para o país entrar neste setor, o próximo desafio será desenvolver os processos em escala piloto para assim chegar à escala industrial (Simões, 2011).

A China vem aumentando, cada vez mais, as restrições quanto à exportação dessa matéria-prima, o que gerou um risco de abastecimentos para os demais países importadores, inclusive o Brasil, com isso o país vem buscando ao longo dos anos uma implementação definitiva de um programa de pesquisa e desenvolvimento para estes bens, além de traçar uma radiografia dos consumidores internos e identificar potenciais produtores, já que atualmente chama atenção as estimativas das reservas brasileiras.

Atualmente, as três companhias que detêm o direito de explorar os ETR são a Vale, a Mineração Terras Raras e a INB, entretanto os requerimentos para pesquisa mineral já somaram 153, em 2010 e 2011 (DNPM, 2011), destaca-se o caso da canadense MbAC, que busca deter direitos de mineração para ETR em Araxá, Minas Gerais, onde, segundo a empresa, há uma significativa fonte de Terras Raras.

2.5- Beneficiamento

O beneficiamento dos ETR pode ser efetuado por diversas técnicas, podendo utilizar a gravimetria, o magnetismo e a eletrostática, permitindo a separação dos minerais de minérios dos minerais acessórios. O processamento de minérios visa o máximo de recuperação possível, além de dimensionar o material de interesse a um tamanho consideravelmente bom para o seu transporte. No caso dos depósitos de Mountain Pass nos EUA, para obter um concentrado de bastnasita utilizam-se os processos de flotação, assim como é feito na jazida de Bayan Obo na China. Por outro lado, na Rússia, a gravimetria e o eletromagnetismo são os meios, pelos quais se obtém um concentrado de loparita. (Castor & Hedrick, 2006).

É comum nos depósitos de *placers* utilizar a gravimetria, juntamente com o eletromagnetismo, para obtenção de concentrados de monazita e xenotímio, essencialmente. O método de separação gravítica geralmente é utilizado para a pré-concentração do minério.

A extração de ETR da monazita e do xenotímio é efetuada através da dissolução em concentração a quente de ácido ou base, entretanto no passado eram usadas soluções concentradas em hidróxido de sódio a uma temperatura de aproximadamente 140°C (Kaczmarek, 1980), e após o seu resfriamento, hidróxidos de TR e tório eram recuperados por filtração e o tório era separado por dissolução e precipitação seletiva. O tório e o urânio são alguns dos rejeitos mais comuns durante o beneficiamento dos ETR e, por serem elementos radioativos, trazem grandes problemas para essa indústria mineral. A preocupação com os resíduos radioativos é significativa e para isso as indústrias geralmente impõem um rígido controle quanto à sua utilização e posterior descarte, visando à diminuição dos danos ambientais.

2.6- Comércio de Terras Raras

O preço e a produção dos concentrados de ETR e de seus compostos intermediários mantiveram-se relativamente estável dos anos 60 até os 80 (Castor, 1994). Contudo, a partir dos anos 90, a China acelerou sua produção, deixando para trás

outros países produtores da época, como a Austrália e os EUA e apesar deste crescimento da produção os preços se mantinham estáveis. Com o crescimento continuado de sua produção, em 2000, a China já controlava o mercado mundial de Terras Raras, sendo, atualmente, responsável por mais de 90% do suprimento mundial destas *commodities*. (Castor & Hedrick, 2006).

Há alguns anos, o governo chinês vem colocando restrições às exportações dos ETR, como a imposição de sobretaxas, o que causou um aumento significativo dos preços no mercado internacional. Todavia, esta atitude chinesa foge às regras do comércio internacional, devido a isso, a OMC (Organização Mundial do Comércio), recentemente, comunicou que pretende punir o governo chinês por tal prática. Em defesa, a China afirma que restringiu as exportações com o objetivo de diminuir os impactos ambientais, uma vez que a exploração destes elementos danifica o meio ambiente.

Embora a restrição da exportação chinesa de Terras Raras e conseqüentemente o aumento dos preços não seja benéfico aos países importadores, algumas empresas buscam formas de arrefecer esta limitação e assim diminuir os preços. Uma das formas é desenvolver esforços para o menor consumo do material necessário e assim estimular fontes alternativas, algumas delas menos poluentes (Yokota, 2011).

2.7- Minerais Substitutos

A extração dos ETR é um processo prejudicial ao meio ambiente, visto que para isto devem ser abertas extensas minas, o que pode causar a contaminação de rios e de terras, além de ser nocivo à saúde humana, podendo gerar câncer (Lipinski, 2012). Em virtude disto, a procura por minerais substitutos tem crescido ao longo dos anos. Outro motivo que incentiva esta busca é a restrição do comércio chinês, muitos países estão reunindo esforços para suprir a necessidade dos Terras Raras, com a utilização de elementos substitutos, entretanto estes não possuem a mesma eficiência que os ETR.

3- TERRAS RARAS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

A Figura 2 apresenta o mapa do Estado do Rio de Janeiro, com as principais rodovias de acesso, as cidades mais importantes e estados que fazem fronteira. O estado do Rio de Janeiro possui uma área de 44.268 km². No presente trabalho, o foco será no município de São Francisco de Itabapoana, onde na localidade de Buena está uma das maiores jazidas de areias de monazíticas do Brasil, explotada pela INB.



Figura 2 - Localização geográfica do Estado do Rio de Janeiro

Fonte: DRM, 2009.

3.1 - Geologia Regional

A região Norte Fluminense se encontra em terrenos pré-cambrianos sujeitos a metamorfismo de alto grau e formação de granitoides incluídos na Faixa Ribeira, em Almeida (1977). Esta entidade geotectônica se individualizou entre o final do Neoproterozóico e o Cambriano (630-450 Ma) e se estende do Rio Grande do Sul ao sul da Bahia.

O arcabouço geotectônico da região sudeste do Brasil, apresenta um núcleo estável representado pelo Cráton São Francisco, o qual possui a Faixa Brasília a oeste, a Araçuaí a leste e a Ribeira a sul-sudeste. O Estado do Rio de Janeiro está localizado na porção interna da Faixa Ribeira, sendo as unidades litológicas da região Norte Fluminense e Sul do Espírito Santo, situadas no segmento setentrional da Faixa Ribeira (Guimarães, 2011).

A Faixa Ribeira foi gerada durante a amalgamação do supercontinente Gondwana, como resultado da colisão entre o CSF e o Cráton do Congo, o que proporcionou o fechamento do oceano Adamastor, durante o evento Brasileiro/Pan-Africano, ela se caracteriza como uma cadeia de montanhas do tipo Himalaia, sendo representada pela Serra dos Órgãos e os *stocks* do Corcovado e Pão-de-açúcar (Heibron *et. al.*, 2000 *apud* Guimarães, 2011). A compartimentação tectônica desta entidade compreende quatro terrenos tectono-estratigráficos: o Ocidental, Oriental, Paraíba do Sul e Cabo Frio (Tupinambá, 2007).

3.1.1 - Terreno Ocidental

É constituído pela intercalação tectônica entre as rochas do embasamento pré 1,7 Ga, representado pelo Complexo Juiz de Fora e os metassedimentos Neoproterozóicos da Megassequência Andrelândia, de fácies granulito. O embasamento deste terreno compreende um conjunto bastante heterogêneo de litologias, denominado Complexo Juiz de Fora, onde ocorrem granulito gnáissicos de origem ígnea, com composições variando entre gabros, dioritos, tonalitos e granodioritos (Tupinambá, *op.cit.*).

3.1.2 - Terreno Paraíba do Sul

Nesta área o embasamento é representado pelos ortognaisses do Complexo Quirino (pré 1,7 Ga) e a cobertura apresenta metassedimentos do Grupo Paraíba do Sul, os quais se apresentam como sillimanita granada biotita gnaisses, muito micáceos e xistosos.

A rocha típica do Complexo Quirino é um gnaisse de granulação grosseira, meso a leucocrático, com foliação descontínua marcada por aglomerados de hornblenda, apresentando, também, enclaves dioríticos de dimensões decimétricas a métrica (Tupinambá *op.cit.*).

3.1.3 - Terreno Oriental

O Terreno Oriental não abrange as rochas do embasamento pré 1,7 Ga, nele ocorre uma sucessão metavulcano-sedimentar de fácies anfibolito alto a granulito, geralmente cortada por granitoides. Este terreno é dividido em três domínios: Cambuci, Costeiro e Klippe de Italva.

No Domínio Cambuci, a porção metavulcanossedimentar é constituída pela Unidade Cambuci, que consiste em gnaisses associados a rochas metamáficas, gnditos, rochas calcossilicáticas e mármore dolomíticos (Guimarães, 2011).

O Domínio Costeiro é composto por metassedimentos de fácies anfibolito alto e granulito, cortada por granitoides como o ortognaisses do Complexo Rio Negro, os leucocharnockitos e leucogranitos das unidades Bela Joana, Desengano e Angelim. As unidades metassedimentares são denominadas São Fidélis e São Sebastião do Alto.

O terceiro domínio do Terreno Oriental, denominado de Klippe de Italva, ocorre como um sinformal posicionado na parte superior do terreno, na região central e noroeste fluminense. É formado na base por dioritos, gabros e tonalitos do Complexo Rio Negro, enquanto que no topo ocorrem as unidades litológicas do Grupo Italva, as quais são definidas como uma sequência metavulcanossedimentar rica em mármore e anfibolitos.

3.1.4 – Terreno Cabo Frio

Diferentemente dos demais terrenos, que foram amalgamados há aproximadamente 580 Ma, o Terreno Cabo Frio somente foi colado aos outros nos 50 Ma subsequentes (Tupinambá, 2007).

Após os eventos brasileiros, toda a Faixa Ribeira foi afetada por reativações que ocorreram no Cretáceo (145-65 Ma), correspondendo à quebra de Gondwana e a formação do oceano Atlântico Sul. Este evento está representado pelo extenso magmatismo básico, através de intrusões de diques de diabásio e início do soerguimento dos blocos como os que deram origem à Serra do Mar. Posteriormente, já no final do Cretáceo e início do Cenozoico ocorreram diversas intrusões alcalinas (Guimarães, 2011). Durante o Cenozoico, continuaram a ocorrer diversos falhamentos, fraturamentos e movimentos de blocos, que deram origem às bacias da margem continental, como as Bacias de Campos e de Santos.

3.2- Geologia Econômica do Estado do Rio de Janeiro

A vocação mineral do Estado do Rio de Janeiro é claramente definida pelas grandes reservas de óleo e gás natural da Bacia de Campos, responsável pela maior produção de petróleo do país. Somado a isso, o Estado apresenta considerável produção de recursos minerais não metálicos e água mineral.

3.2.1- Petróleo e Gás Natural

O petróleo é o recurso mineral mais importante do Brasil, sendo que o Estado do Rio de Janeiro vem contribuindo com uma participação expressiva, tanto em termos de reservas, como na produção de petróleo e gás natural (Silva, 2007).

Em 2011, a produção estadual de Petróleo e Gás Natural foi da ordem de 1.578.027 bbl/d e 24.543 Mm³/d, respectivamente (ANP, 2011), sendo a produção de óleo muito superior aos demais Estados produtores. As grandes reservas brasileiras de Petróleo e Gás Natural estão localizadas no mar. A Bacia de Campos, considerada uma das mais importantes, produziu, em 2011, cerca de 1.797.729 bbl/d, seguida pelas bacias de Santos e Solimões, ambas com ordem de milhares de barris por dia. Essa mesma superioridade da Bacia de Campos também se observa na produção de Gás Natural.

O petróleo é extremamente importante na economia fluminense, isto fica evidente quando se compara o crescimento do PIB anual nos municípios onde há produção de óleo, sendo o município de Campos dos Goytacazes o principal beneficiado pela produção de Petróleo (IBGE, 2011).

3.2.2- Minerais Não Metálicos

O setor mineral do Estado do Rio de Janeiro, face o contexto geológico do seu território, caracteriza-se pela disponibilidade de recursos minerais não-metálicos, especialmente materiais para construção civil. Sendo assim, a vocação da indústria de mineração do Estado é predominantemente voltada para a produção de substâncias não

metálicas, destacando-se o calcário para a indústria de cimento e os agregados (brita e areia) para a construção civil.

É importante destacar que nos anos 70 a indústria mineral fluminense, empregava, na ocasião, cerca de 30% da mão-de-obra do setor mineral no Estado do Rio de Janeiro (DNPM, 1977).

Em 2009, a produção bruta de minério não metálico envolveu, principalmente, areia e rochas (britadas) mais cascalhos, sendo a primeira com 19.754.219 t e a segunda com 20.544.320 t, utilizadas essencialmente na indústria de materiais de construção e cerâmica. A produção beneficiada de água mineral no mesmo ano foi de 381.174. 10³L, enquanto que a de areia foi de 142.663 t e a de cascalho 18.907.620 t (DNPM, 2010).

Segundo DRM-RJ, 2010, o Estado do Rio de Janeiro, especialmente a Região Metropolitana, é considerado o segundo maior centro consumidor de agregados (brita e areia) de uso na engenharia civil, no Brasil. Atualmente possui mais de 30 pedreiras, distribuídas em 12 municípios (incluindo os municípios de Maricá e Itaguaí, hoje fora da Região Metropolitana oficial), que produzem cerca de 4,6 milhões de m³ de pedra britada/ano, matéria-prima básica para todo o segmento da construção civil e obras públicas.

3.3- Geologia da Região de São Francisco de Itabapoana

O município de São Francisco de Itabapoana (destacado em vermelho na Figura 3) localiza-se na região norte fluminense do estado do Rio de Janeiro e faz divisa com os municípios de Campos dos Goytacazes, São João da Barra e com o estado do Espírito Santo. Sua área abrange territórios terciários da Formação Barreiras e quaternários, sendo estes litorâneos, paludais e fluviais (Oliveira, Alves & Almeida, 2007).

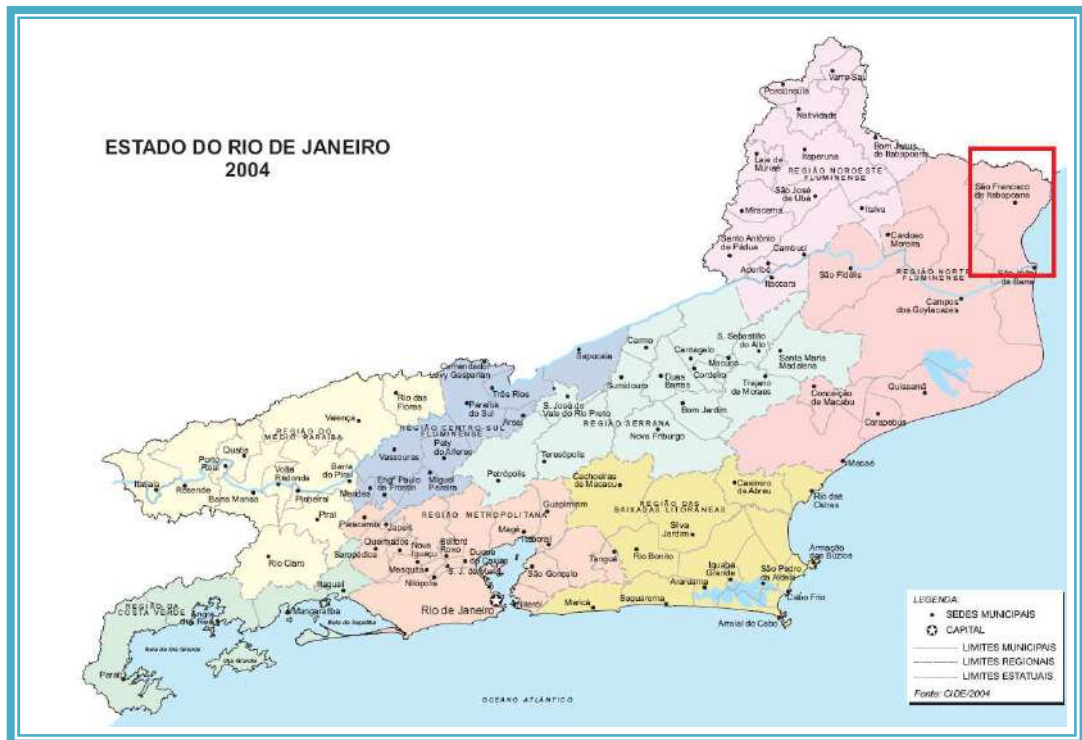


Figura 3- Mapa de divisão regional do Estado do Rio de Janeiro.
 Fonte: Internet – Wikipédia, 2012.

A geologia desta região envolve terrenos pré-cambrianos, representados pelas rochas da Unidade Bela Joana e São Fidélis. A primeira são rochas maciças, de granulação grosseira a média, apresentando tonalidades graníticas (cinza-esverdeada clara) e tonalíticas (cinza-esverdeada escura), que possuem como minerais essenciais: plagioclásio, ortopiroxênio, clinopiroxênio, quartzo, granada e k-feldspato. Já a segunda, é caracterizada por migmatitos de foliação marcante e granulação grosseira, que possuem k-feldspato, sillimanita, granada, biotita, quartzo e andesina (Oliveira, Alves & Almeida, op. cit). A Figura 4 representa um mapa geológico, mostrando as principais litologias.

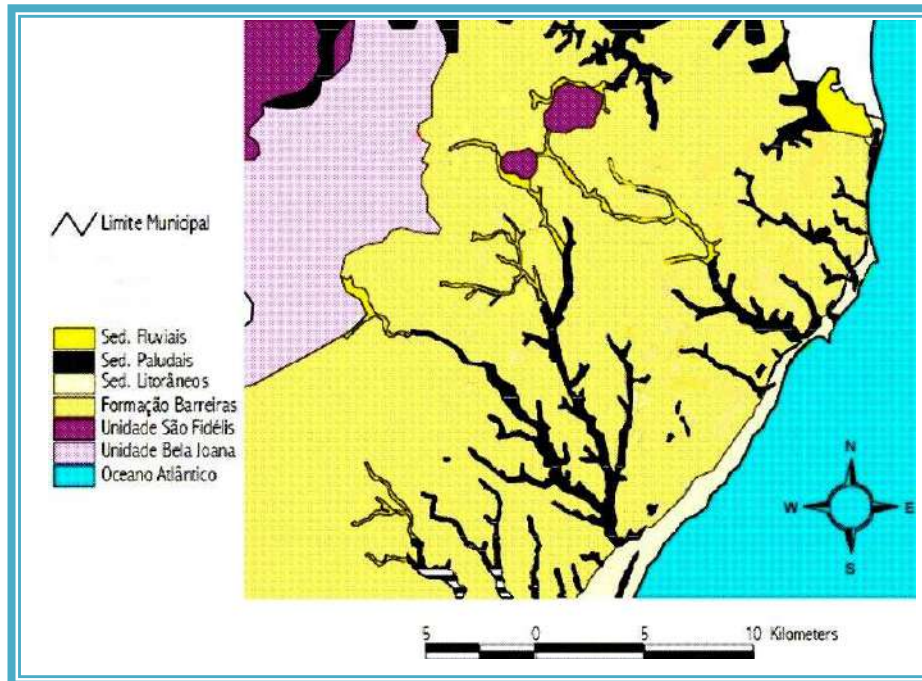


Figura 4- Mapa geológico da região de São Francisco de Itabapoana.
 Fonte: Reis *et. al.*, 1982 (modificado).

Além destes terrenos pré-cambrianos, ocorrem também rochas terciárias da Formação Barreiras e sedimentos quaternários litorâneos, fluviais e paludais.

3.3.1- Formação Barreiras

As rochas da Formação Barreiras abrangem áreas desde o Rio de Janeiro ao Pará, no município de São Francisco de Itabapoana, estão dispostas numa faixa de direção NE-SW, entremetendo-se entre os domínios de rochas pré-cambrianas e os sedimentos quaternários (Oliveira, Alves & Almeida, 2007, *apud* Reis *et. al.*, 1982). São descritas, por sedimentos arenosos, com níveis cascalhosos, alternados com sedimentos lamosos, possuem coloração branca-acinzentada, com forte mosqueamento vermelho-arroxeadado, devido à presença de óxido e hidróxido de ferro e estão dispostos geralmente sob forma de lentes, por vezes extensas, por outras subtabulares, nos afloramentos (Morais, 2001).

O ambiente deposicional da Formação Barreiras, no estado do Rio de Janeiro, é caracterizado por fluvial entrelaçado, com algumas variações dependendo da área. Na região norte fluminense, os depósitos dessa unidade estratigráfica são associados a uma sedimentação por processos trativos, com pouca participação de processos suspensivos e fluxo

gravitacional, são interpretados especificamente como de ambiente fluvial entrelaçado distal (Morais *et. al.*, 2006).

3.3.2- Depósitos Quaternários

Os depósitos de sedimentos quaternários são encontrados ao longo da região separados por diferentes ambientes de deposição: sedimentos fluviais, paludais e litorâneos.

Os sedimentos fluviais são descritos como sendo argilas, argilas-siltíticas e siltes, interpretados como de planície de inundação, são geralmente micáceos, bem compactados e possuem coloração castanho-amarelado a cinza escuro. Além disto, há também areias quartzosas, de granulometria fina a grossa, por vezes conglomerática, mal selecionada, podem conter feldspato, micas, anfibólio e piroxênio (Reis *et. al.*, 1982).

Nos ambientes de água doce, pouco salobra, são encontrados os sedimentos paludais, gerados pelos depósitos de lagos. Estes sedimentos se caracterizam pela presença de argila de coloração cinza escura, contendo matéria orgânica, interpretados como acumulação consolidada de organismos algais e ainda há sedimentos típicos de pântano ou brejos, caracterizados por turfa (Reis *et. al.*, op.cit).

Os depósitos litorâneos são constituídos por areias quartzosas, de coloração esbranquiçada, apresentam uma seleção moderada, podem ser finas a muito grossas e por vezes conglomeráticas. Associados às areias ocorrem elementos pesados como Tb, Zr e Ti, além de feldspato e micas. Estes sedimentos estão relacionados aos depósitos de monazitas que são extraídas na região e são, provavelmente, oriundos dos sedimentos da Formação Barreiras.

3.4- As Areias Monazíticas de São Francisco de Itabapoana

Os depósitos de areias monazíticas são caracterizados por uma concentração de minerais pesados (alta densidade, resistência física ao transporte e estabilidade química), que podem ocorrer ao longo da faixa litoral, em depósitos de praia, podendo também ocorrer em alguns trechos de rios (DRM, 2009).

A principal jazida de areia monazítica do Estado do Rio de Janeiro está localizada em Buena, município de São Francisco de Itabapoana, a qual, segundo dados do DNPM

em 2010, produziu cerca de 249 t de monazita contida 0,18% em peso do ROM e tem a INB com detentora dos direitos de lavra. Esta jazida possui reservas em torno de 20.000 t de monazita (CPRM, 2011). Além deste mineral, são extraídos, também, rutilo, ilmenita e zircão.

A monazita, que é explorada nessa jazida, destina-se à produção de ETR para a fabricação de tubos de televisão, catalisadores para petróleo e fibras óticas, dentre outros. O zircão é importante para compor peças de reatores nucleares, produtos refratários e moldes de fundição. O titânio é utilizado na indústria aeroespacial, como ligas em motores e turbinas e o rutilo é usado na fabricação de pigmentos nas indústrias de tintas.

Embora a unidade de Buena seja importante, economicamente, para o Rio de Janeiro, bem como para o Brasil, há um problema envolvendo sua diligência: a radioatividade. É comum nesta região que o fosfato de Terras Raras (monazita) contenha quantidades variáveis de óxido de urânio e óxido de tório, fazendo com que essas areias sejam radioativas.

Na vila de Buena, já foram registrados casos de radioatividade afetando a população. Elevadas concentrações de isótopos de rádio foram observados nas águas de um lago e nas macrófitas ao seu redor, além disso, já houve registro da presença de isótopos de rádio, chumbo, tório e urânio nas hortaliças da região. Conseqüentemente, a concentração superior ao normal dos radionucleicos das séries naturais do tório e urânio nas fezes dos trabalhadores e moradores da vila indica que estes elementos podem ter sido incorporados através da dieta alimentar e/ou da inalação (Zayas, 2003).

3.5- Terras Raras na Formação Resende

A Formação Resende é caracterizada por um sistema de leques aluviais associados a planícies aluviais de rios entrelaçados, gerado durante a instalação do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RCSB), definido por Riccomini (1989). A partir de estudos petrográficos e análises por MEV/EDS e DRX, em um depósito de lamito argilo-arenoso desta formação, foi possível identificar a ocorrência de um fosfato de cálcio e Terras Raras (La e Nd) (Sant'Anna *et. al.*, 1999).

O depósito é interpretado como sendo representativo do sistema de leques aluviais medianos da Formação Resende, situado na borda norte da bacia homônima. O mineral

fosfático, contendo cálcio e Terras Raras leves, é imputado ao grupo do rabdofânio, tendo em vista suas características químicas e morfológicas. O minério apresenta-se associado à apatita detrítica (Figura 5) e, de acordo com o contexto geológico da área, a geração desse fosfato, pode estar relacionada à percolação de soluções hidrotermais, as quais promoveram a dissolução dos grãos detríticos da apatita e liberaram cálcio, fosfato e Terras Raras (Sant'Anna *et. al.*, op.cit).

A ocorrência de um minério de característica alcalina pode ser explicada pela ação conjunta de alguns fatores, como: a abundância de rochas alcalinas no embasamento da Bacia de Resende e a presença de derrame de lava ankaramítica. Além disso, a existência de fraturas nos depósitos sedimentares da região proporcionou um meio favorável para a percolação de flúidos (Sant'Anna *et. al.*, op.cit).

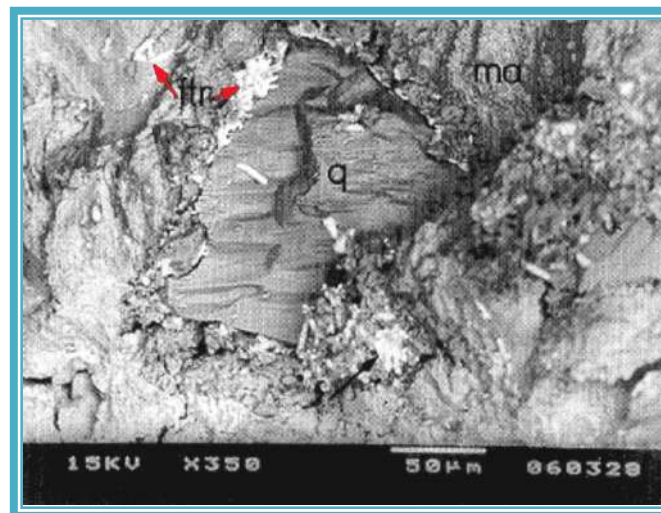


Figura 5 – Imagem de MEV mostrando cristais de fosfato de Terras Raras (ftr), crescidos sobre a matriz (ma), junto à borda de um grão detrítico de quartzo (q).

Fonte: Sant'Anna *et. al.*, 1999.

3.6- Beneficiamento na Jazida de Buena

Na jazida de Buena a lavra é feita a céu aberto. O minério que é extraído da jazida é separado do quartzo, que compõe a maior parte deste. Além da monazita também são obtidos concentrados de zircão, rutilo e ilmenita. As etapas principais de concentração no processo de beneficiamento são baseadas na secagem e separação eletrostática, magnética e gravítica. Primeiramente, o material é separado do quartzo por processos hidrogravimétrico, obtendo um concentrado de areias monazíticas, este procedimento é realizado na espiral Humphrey, conseqüentemente o que é produzido é secado a 120°C

em um forno rotativo (Schnellrath *et. al.*, 2001). Em seguida, antes de o material ser submetido à separação eletrostática, é feita a sua classificação granulométrica e as partículas de tamanho inferior a 0,6 mm são descartadas (Viera & Lins, 1997).

No processo de separação eletrostática primária em alta tensão ocorre separação do minério em dois produtos, um não condutor (NC), representado pela monazita, zircão e quartzo e outro condutor (C), rutilo e ilmenita, a partir disto, ambos os produtos sofrem novamente a separação eletrostática e o material resultante é conduzido à separação magnética, sendo os materiais intermediários recirculados.

A separação magnética é realizada em campos de baixa intensidade, aproximadamente 0,6 T, isto permite obter dos produtos condutores um concentrado de cerca de 97% de ilmenita e outro com 50% de rutilo, o qual é mais uma vez incorporado ao circuito de separação eletrostática, cujo processo resulta num concentrado com teor de 75% de rutilo. Por outro lado, os materiais não condutores são processados em um campo de alta intensidade, por volta de 1,6 T.

Dessa forma, a matéria resultante é dividida em magnética (M), contendo monazita, ilmenita e outros minerais magnéticos, e em não magnética (NM), que é processada ao circuito de concentração de zircão (Viera & Lins, *op. cit.*).

O último estágio do beneficiamento é a separação gravítica dos produtos magnéticos, a qual é realizada em mesas vibratórias pneumáticas. Neste processo, o teor de monazita alimentada na mesa é de 40% e gera um concentrado com 90% deste mineral, sendo o rejeito tratado em separadores magnéticos e em mesas pneumáticas, gerando um segundo concentrado com 20% de teor de monazita (Viera & Lins, *op. cit.*). A Figura 6 mostra um esquema simplificado do processamento dos minérios na jazida de Buena.

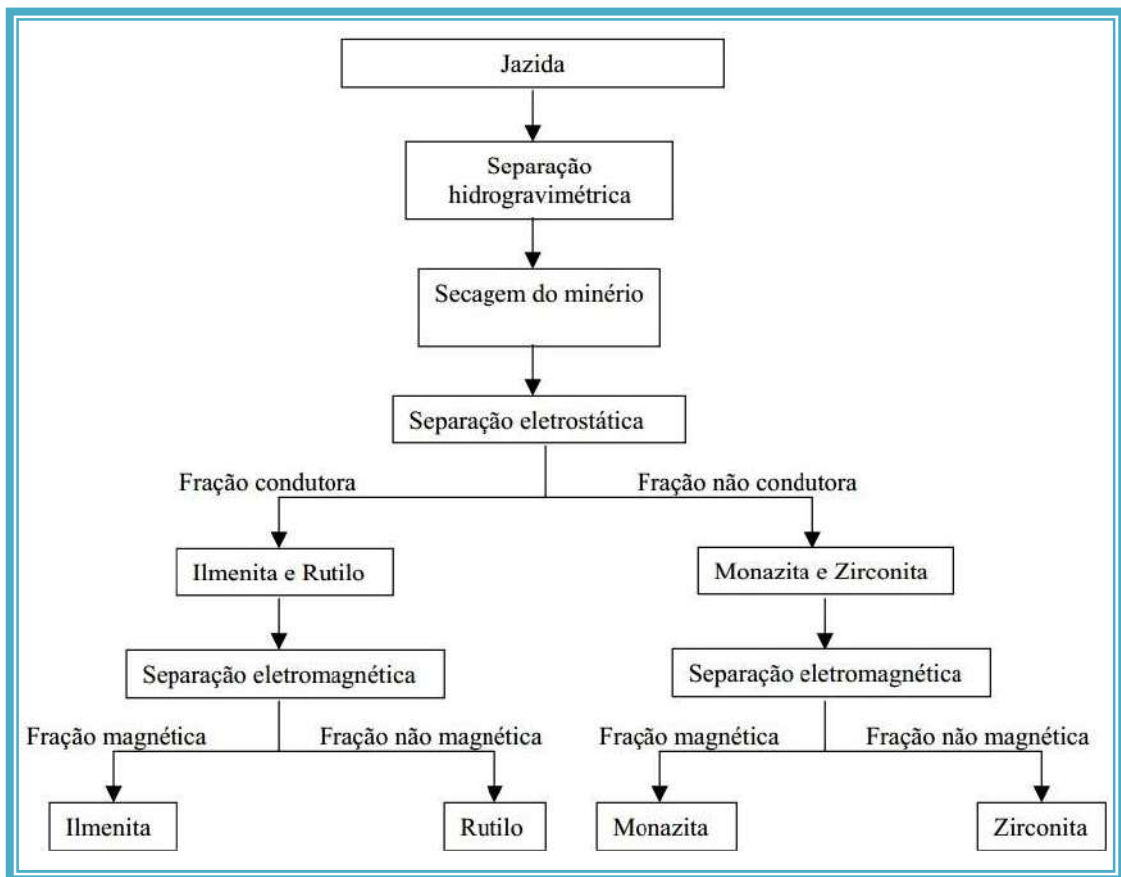


Figura 6 - Fluxograma simplificado do processo de beneficiamento da monazita da jazida de Buena.

Fonte: Zayas, 2003.

3.7- Reservas de Terras Raras no Estado do Rio de Janeiro

Segundo o Anuário Mineral Brasileiro (2010), o Rio de Janeiro possui reservas medidas de Terras Raras da ordem de 697 t, sendo estas exclusivamente através da exploração de monazita. A quantidade de monazita lavrável é de 627 t, um número bem inferior às demais reservas de minérios metálicos do Rio de Janeiro, como mostra a Tabela 6.

Tabela 6 - Reservas de Minerais Metálicos no Estado do Rio de Janeiro – 2009.

CLASSE/SUBSTÂNCIA	Reservas			
	Medida	Indicada	Inferida	Lavrável
Bauxita Metalúrgica (t)	2.291.143	—	—	1.951.644
Bauxita Refratária (t)	333.078	51.263	950	—
Monazita (t)	697	—	—	627
Titânio (Ilmenita)	9.555	—	—	8.600
Titânio (Rutilo)	1.545	—	—	1.391
Zircão (Primário)	6.028.000	—	—	5.425.000

Fonte: Anuário Mineral Brasileiro, 2010.

3.8- Situação Legal dos Direitos Minerais Relativos aos Terras Raras no Estado do Rio de Janeiro

Com base em uma pesquisa feita no Cadastro Mineiro do DNPM foi confeccionada uma tabela (Tabela 7) que demonstra a distribuição dos direitos minerais para os Terras Raras, no Estado do Rio de Janeiro, segundo situação legal e municípios em que se localizam.

A principal empresa detentora de direito mineral para Terras Raras no Estado do Rio de Janeiro, é a INB (Indústrias Nucleares do Brasil S.A.), a qual detêm duas concessões de lavra, sendo uma delas em Mendes e a outra em São Francisco de Itabapoana.

Tabela 7 - Situação legal junto ao DNPM no Estado do Rio de Janeiro.

Municípios	Requerimento de pesquisa	Autorização de pesquisa	Requerimento de lavra	Disponibilidade	Concessão de lavra	Ativos
Arraial do Cabo	—	02	—	—	—	02
Bom Jesus do Itabapoana	01	—	—	—	—	—
Cabo Frio	—	02	—	—	—	01
Carapebus	01	—	—	—	—	01
Itaperuna	—	01	—	—	—	01
Mendes	—	—	—	—	01	01
S. Francisco de Itabapoana	—	02	—	—	01	03
São João da Barra	01	02	01	01	02	01
Silva Jardim	01	—	—	—	—	—
Total	04	10	01	01	04	09

Fonte: Cadastro Mineiro, 2012 (modificado).

De acordo com o Anuário Mineral Brasileiro, 2010, o Rio de Janeiro produziu 362.243 t de ROM de monazita, tendo 303.000 t contido com teor de 0,08% de Terras Raras (Tabela 8), sendo esta produção quase que exclusiva da INB.

Tabela 8 – Produção de monazita e minérios metálicos no Estado do Rio de Janeiro.

CLASSE/SUBSTÂNCIA	Quantidade	Contido	Teor Médio
	(ROM)		
Monazita	362.234 t	303,00 t	0,08% TR
Titânio (Ilmenita)	362.234 t	4.171,00 t	1,15% TiO ₂
Titânio (Rutilo)	362.234 t	673,00 t	0,19% TiO ₂
Zircão (Primário)	362.234 t	2.625,00 Kg	0,001% ZrSiO ₄

Fonte: Anuário Mineral Brasileiro, 2010.

4- CONCLUSÕES

Os trabalhos consultados forneceram dados que permitem quantificar a produção, reservas e consumo dos ETR, no Brasil e no mundo. Além disto, foi possível fazer uma síntese da situação atual do mercado global, o qual é dominado pela China. Atualmente, há mais de duzentos projetos de exploração de ETR em desenvolvimento por cerca de 165 empresas em 24 países, sendo a maioria destes projetos concentrados na China, mas os EUA, a CEI e o Canadá também desempenham papel importante nessa expansão.

Outrossim, a partir das informações obtidas, pode-se concluir que o Brasil, embora não seja um grande produtor de ETR, pode vir a ser uma próxima potência neste mercado, podendo superar até mesmo a China, haja vista que no território nacional ocorrem inúmeras ocorrências e depósitos, principalmente nos estados da Bahia, Minas Gerais, Goiás, Rio de Janeiro e Amazonas.

Todavia, no Brasil há diversos problemas para dar início a exploração de novas jazidas, sendo um deles a baixa demanda interna. Uma solução para isto seria estabelecer parcerias/consórcios entre as empresas consumidoras – por exemplo, as fabricantes de motores com ímãs permanentes, as empresas produtoras de catalisadores automotivos e de refino de petróleo, entre outras – e as empresas mineradoras, com vistas a diminuir o risco de abastecimento e de volatilidade do mercado e a permitir uma margem adequada de lucro para as mineradoras, viabilizando, assim, investimentos nesse segmento estratégico.

No Estado do Rio de Janeiro, o potencial de produção de ETR está concentrado nos depósitos de areias monazíticas da região norte fluminense, em especial nos depósitos litorâneos da Formação Barreiras.

A lavra da jazida de Buena, pertencente à INB, localizada no município de São Francisco de Itabapoana, é caracterizado como o único sítio de exploração de ETR do Brasil, de onde se extrai a monazita para uso principalmente industrial e a areia para construção civil, além de outros minerais pesados como ilmenita, rutilo e zircão.

A previsão do mercado de Terras Raras é de aumento da sua produção, devido aos constantes desenvolvimentos das indústrias de alta tecnologia. Internamente, segundo o Plano Nacional de Mineração 2030, o Brasil poderá se tornar um dos focos

preferenciais dos investimentos globais em exploração e produção mineral até 2022, após superar os problemas de infraestrutura e mão de obra.

Neste contexto, o crescimento do conhecimento geológico possibilitará a descoberta de novas jazidas. Além disto, a eliminação de empresas que não se adaptem aos novos padrões de sustentabilidade possibilitará uma queda significativa dos conflitos empresariais, estabelecendo assim um ambiente pró-mineração no Brasil.

5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, F.F.M. **The Precambrian evolution of South American cratonic margin of Amazon River.** In: A.E.M. Nairs & F.G. Stehli (eds.) *The ocean basins and margins*. Vol. I, 1977, p 411-446.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Boletim da produção de Petróleo e Gás Natural.** Superintendência de Desenvolvimento e Produção – SDP, 2011.

Cadastro Mineiro – DNPM. <https://sistemas.dnpm.gov.br/SCM/extra/site/admin/Default.aspx>, acessado em 05/07/2012.

Castor, S.B.; Hedrick, J.B. Rare earth elements. In: Kogel, J.E.; Trivedi, N.C.; Krukowsk, S.T. **Industrial minerals & rocks: commodities, markets and uses.** Society for mining, metallurgy and exploration, 2006. 1548p. p.769-792.

Castor, S.B. 1994. **Rare earth minerals.** Pages 827–839. In: *Industrial Minerals and Rocks*. 6th edition. Edited by D.D. Carr. Littleton, CO: SME.

Clark, A.M. **Mineralogy of the rare earth elements.** In: **Hendersen, P. Rare earth element geochemistry.** Amsterdam: Elsevier, 1984. 510p. p.33-61.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Estado do Rio de Janeiro, Brasília 2001 p.2-92, p.235-261.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. Economia Mineral. Sumário Mineral, 2011. **Terras Raras.** Elaborado por Andrade, P.H.R. In: www.dnpm.gov.br, acessado em 30/05/2012

Drew, L.J., Q. Meng, and W. Sun. 1990. **The Bayan Obo iron-rare earth-niobium deposits, Inner Mongolia, China.** *Lithos* 26:43–65.

DRM – Departamento de Recursos Minerais. Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro. In: www.drm.rj.gov.br, acessado em 28/05/2012.

Fleischer, M. **Relative proportions of the lanthanide in the minerals of the bastnaesite group.** *Can. Miner.*, v.16, p361-363, 1978.

Ginzburg, A.N.; Zdorik, T.B.; Feldman, L.G. **Rare-metal carbonatites and rare-metal pegmatites.** *Intern. Geol. Rev.*, v.21, n.3, p.291-298, 1979.

Guimarães, P.V. **Contexto Geológico – Geotectônico da Faixa Manganesífera localizada entre Itaperuna (RJ) e Volta Grande (MG).** 2011. 113f. Dissertação – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

Heibron, M.; Duarte, B.P.; Nogueira, J.R. 2000. **The Juiz de Fora complexo of the Central Ribeira belt, SE Brazil: a segment of Paleoproterozoic granulite crust thrust during the Pan-African Orogen.** *Gondwana Research*, 1: 373-382.

Kaczmarek, J. 1980. **Rare earths: discovery and commercial separations.** Address to the American Chemical Society. Monmouth Junction, NJ: Rhône-Poulenc.

Kingsnorth, D.J. **Rare Earths: facing new challenges in the new decade.** In: Industrial Minerals Company of Australia Pty Ltd. SME Annual Meeting. Phoenix, Arizona. 2010.

Lapido Loureiro, V.E.F. **Terras- raras no Brasil: depósitos, recursos identificados, reservas.** Rio de Janeiro; CETEM, 1994, 189p.

Lipinski, J. **Demanda por terras raras pode ultrapassar oferta.** In: <http://mercadoetico.terra.com.br/arquivo/demanda-por-terras-raras-pode-ultrapassar-oferta/>, acessado em 25/03/2012.

Morais, R. M. O; Mello, C.L.; Costa, F.C.; Santos, P.F. **Fácies sedimentares e ambientes deposicionais associados aos depósitos da Formação Barreiras no Estado do Rio de Janeiro.** *Revista do Instituto de Geociências – USP. Geol. USP Sér. Cient.*, São Paulo, v.6, n. 2, p.19-30, out. 2006.

Morais, R.M.O. **Estudo Faciológico da Formação Barreiras na região entre Maricá e Barra de Itabapoana, Estado do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro, 113p. Dissertação (Mestrado em Geologia, Depto. Geologia - IGEO/UFRJ). 2001.

Oliveira, G.R.; Alves, M.G.; Almeida, F.T. **Aplicação de sistema de informação geográfica (SIG) na espacialização de elemento tóxico de origem geológica.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Anais, 13, Florianópolis, Santa Catarina. INPE, p.2931-2937. (2007).

Pavlenko, A.S.; Orlova, L.P.; Akhmanova, M.V.; Tobelko, K.I. **Thorium fluorcarbonate, thorbastnasite**. Mem. All-Union Mineral, Soc..v.94, p 105-1133, 1965.

PNM 2030 - Plano Nacional de Mineração 2030. In: http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/noticias/2011/PNM_2030.pdf, acessado em 11/05/2012.

Reis, A.P.; Castro, H.O.; Dalcomo, M.T.; Ferrari, A.L.; Melo, E.F.; Neves, L.F.L; Vaz, M.A.A.; Silva, V.P & Nassar, W.M. **Geologia das folhas Morro do Coco, Barra Sêca, Itabapoana, Travessão, São João da Barra, Campo, Muçurepe, Lagoa Feia e Farol de São Tomé - RJ**. In: SBG, Anais. Congresso Brasileiro de Geologia, 32, Salvador, Bahia. 1: 75-85. (1982).

Riccomini, C. 1989. **O Rift Continental do Sudeste do Brasil**. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de doutoramento, 256p.

Rosental, S. (2008). Terras Raras, Cap.36. In: **Rochas e minerais industriais: usos e especificações**. Adão B. Luz e Fernando Lins (Editores), p 817-840, CETEM/MCT, 2008.

Sant'Anna, L.G.; Riccomini, C.; Valarelli, J.V. **Ocorrência de fosfato de terras raras na Formação Resende, paleógeno do Rift Continental do Sudeste do Brasil**. Revista do Instituto Geológico, IG, São Paulo, 20(1/2), p. 37-47. Jan/dez 1999.

Schnellrath, J; Monte, M.B.M; Veras, A.J; Rangel Junior, H.; Figueiredo, C.M.V. **Minerais Pesados INB**. In: Usinas de beneficiamento de minérios do Brasil, João Sampaio, Adão B. Luz, Lins, F.F. (Editores); CETEM/MCT, p. 189-197, CETEM/MCT, 2001.

Silva, J.O. 2007. **As incertezas geológicas na previsão de receita de royalties para o Estado e Municípios do Rio de Janeiro**. Programa de pós-graduação em Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 200p.

Simões, J. **O Brasil pode ser dono de uma das maiores reservas de terras raras do planeta**. In: <http://www.inovacao.unicamp.br/noticia.php?id=944>, acessado em 22/06/2012.

Smirnov, V.I. (Ed.) **Geology of mineral deposits**. [s.l.]: Mir. Publishers, 1976, 520p.1976.

Tupinambá, M. *et. al.* **Geologia da Faixa Ribeira Setentrional: Estado da arte e conexões com a Faixa Araçuaí**, GEONOMOS 15(1), 2007, 67-79p.

USGS – United States Geological Survey. *In*: <http://www.usgs.gov>, acessado em 02/04/2012.

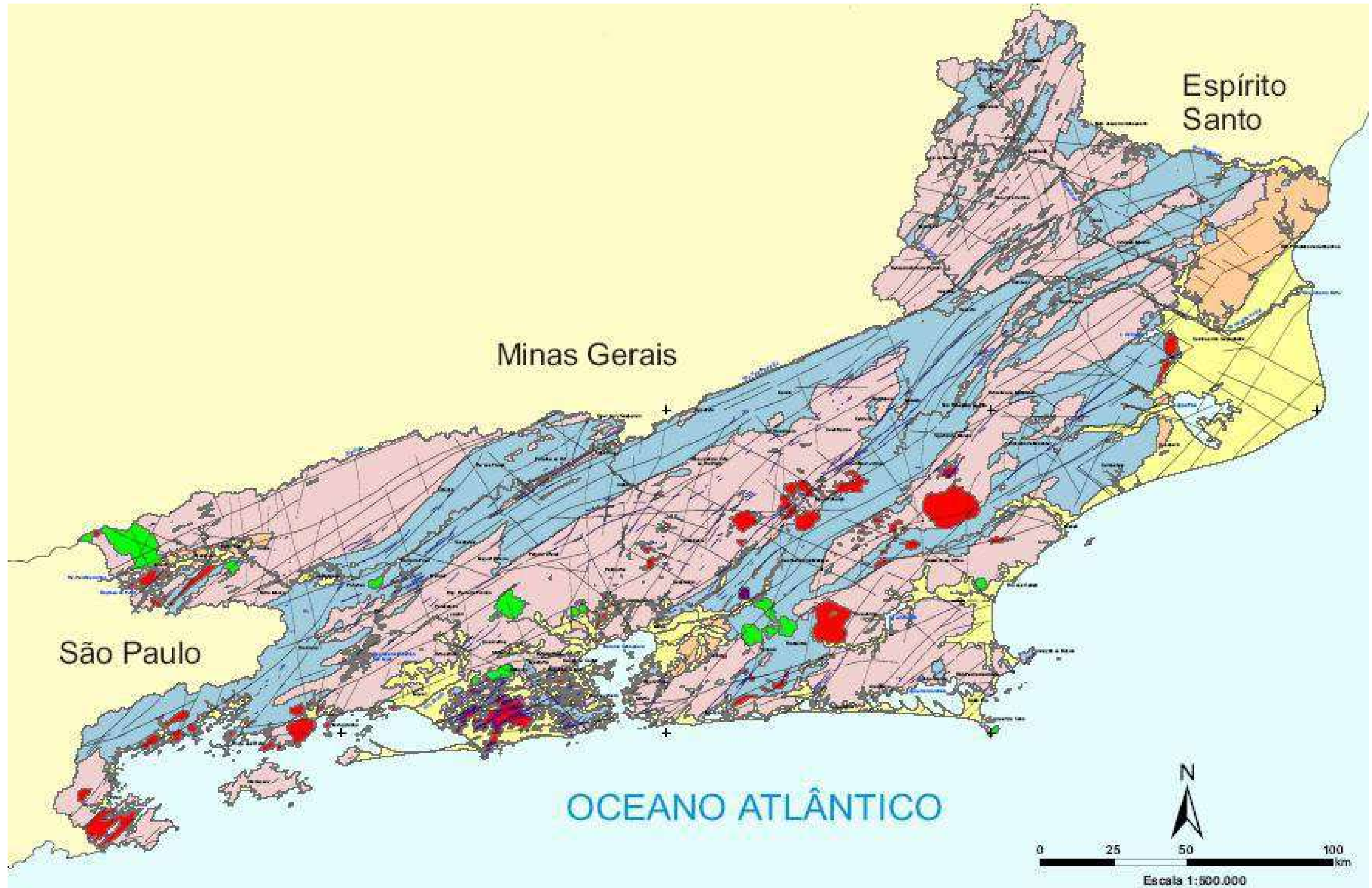
Vieira, E.V.; Lins, F.F. **Concentração de minérios de terras-raras: uma revisão**. Série tecnologia mineral, Rio de Janeiro, CETEM, 1997.

Wikipédia. http://en.wikipedia.org/wiki/Rio_de_Janeiro, acessado em 15/06/2012

Yokota, P. **Ásia Comentada: terras raras e outros exemplos mostram preços funcionando**. *In*: <http://www.asiacomentada.com.br/2011/09/terras-raras-e-outros-exemplos-mostram-precos-funcionando/>, acessado em 20/06/2012.

Zayas, Z.P. **Caracterização de aerossóis em uma região rica em areias monazíticas**. Dissertação (mestrado) – Departamento de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2003.


Anexo 1 – Mapa Geológico do estado do Rio de Janeiro





Fonte: DRM, 2009.


Legenda Comentada:

Rochas sedimentares:


 **Sedimentos Quaternários** (recentes): representados por lamas, turfa, areias, cascalhos e conglomerados depositados entre o presente e 2 milhões de anos atrás. Esses sedimentos se concentram principalmente próximo ao litoral, nos vales dos rios, nas bordas das lagoas e nos brejos.


 **Sedimentos Terciários:** foram depositados entre 65 e 2 milhões de anos. São rochas sedimentares ou sedimentos inconsolidados, depositados por processos fluviais e marinhos. No Estado são representados principalmente pela Formação Barreiras e pelas bacias sedimentares de Campos, Resende e Itaboraí. Esta última se destaca por ser a única do Estado com ocorrência de fósseis de animais e vegetais. Uma bacia sedimentar é uma depressão do terreno onde os sedimentos se acumulam.

 **Rochas alcalinas:** São rochas magmáticas caracterizadas por serem ricas nos elementos Sódio e Potássio. A rocha alcalina mais comum do nosso estado é o Sienito (rocha predominante no maciço do Itatiaia, por exemplo). Dentre as rochas ígneas do Estado, as alcalinas são as mais novas, tendo se formado entre 70 e 40 milhões de anos.

 **Diques de Diabásio:** são rochas magmáticas com a presença de minerais ricos em ferro e magnésio. Conhecida popularmente como "pedra-ferro". Sua composição é semelhante a das lavas do fundo dos oceanos e sua origem está ligada a abertura do oceano Atlântico, quando o continente sul-americano se separou do africano, há cerca de 130 milhões de anos.


A idade dos granitos homogêneos e das rochas básicas é de cerca de 500 milhões de anos.


 **Granitos homogêneos:** Dentre as rochas ígneas que não sofreram metamorfismo no Estado, os granitos são as mais comuns. São constituídos basicamente pelos minerais, quartzo, feldspato e biotita, que podem ocorrer em proporções variadas.


 **Rochas básicas:** devido à escala do mapa, somente um único corpo rochoso com esta composição pode ser representado: o Complexo Gleba Ribeira. Tem composição bastante diferente dos granitos, sendo mais semelhante à dos diques de diabásio.

Rochas metamórficas

As rochas metamórficas são as mais abundantes do Estado, representando mais de 80% do seu território. Possuem idades desde 500 milhões de anos até superiores 2 bilhões de anos.

 **Rochas ortoderivadas:** Formadas a partir do metamorfismo sobre rochas ígneas. As rochas ortoderivadas mais comuns no Estado são os chamados ortognaisses, que possuem uma composição semelhante ao granito, mas que mostram uma estrutura planar bem desenvolvida que os geólogos chamam de foliação.

 **Rochas paraderivadas:** Formadas a partir do metamorfismo das rochas sedimentares, podendo ser também chamadas de metassedimentares. As mais comuns no Estado do Rio de Janeiro são os paragnaisses, que possuem minerais típicos de metamorfismo sobre sedimentos, como a sillimanita e a granada (mineral vermelho ou rosa, com brilho de vidro). Os mármore de Cantagalo e Italva são rochas metassedimentares que indicam ter havido um grande depósito de corais num mar existente na região há cerca de 1 bilhão de anos atrás.

 **Falhas, Fraturas e Dobras:** estruturas de reação das rochas a esforços por ela sofridos. Dependendo das condições de pressão e temperatura, uma rocha pode ser dobrada (deformação dúctil = flexível). Por vezes, o esforço sobre as rochas geram fraturas (deformação rúptil = que quebra). Quando, numa fratura, um bloco de rocha se movimenta em relação ao outro, a estrutura resultante é denominada falha.