

69

SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS

Disponibilidade, suprimento e demanda de minérios para metalurgia

EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS

**Disponibilidade, suprimento e
demanda de minérios para metalurgia**

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Luiz Inácio Lula da Silva

José Alencar Gomes da Silva

Vice-Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Sérgio Rezende

Ministro da Ciência e Tecnologia

Luís Manuel Rebelo Fernandes

Secretário Executivo

Avílio Franco

Secretário de Coordenação das Unidades de Pesquisa

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Adão Benvindo da Luz

Diretor do CETEM

Ronaldo Luiz Correa dos Santos

Coordenador de Processos Metalúrgicos e Ambientais

Zuleica Carmen Castilhos

Coordenadora de Planejamento, Acompanhamento e Avaliação

João Alves Sampaio

Coordenador de Processos Minerais

Antônio Rodrigues de Campos

Coordenador de Apoio à Micro e Pequena Empresa

Arnaldo Alcover Neto

Coordenador de Análises Minerais

Cosme Antonio de Moraes Regly

Coordenador de Administração

SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS

ISSN 0103-6319

ISBN 85-7227-241-4

SED-69

Disponibilidade, suprimento e demanda de minérios para metalurgia

Eduardo Camilher Damasceno

Geólogo formado pela Universidade de São Paulo — USP, M.Sc. e D.Sc.
em Geociências pela USP, com Pós-doutorado em Engenharia de Minas
pela USP.

CETEM/MCT

2006

SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS

Carlos César Peiter

Editor

Zuleica Castilhos

Subeditora

CONSELHO EDITORIAL

Francisco E. de Vries Lapido Loureiro (CETEM), Francisco R. C. Fernandes (CETEM), Gilson Ezequiel Ferreira (CETEM), Alfredo Ruy Barbosa (consultor), Gilberto Dias Calaes (ConDet), José Mário Coelho (CPRM), Rupen Adamian (UFRJ), Saul Barisnik Susick (UNICAMP).

A Série Estudos e Documentos publica trabalhos que busquem divulgar estudos econômicos, sociais, jurídicos e de gestão e planejamento em c&t, envolvendo aspectos tecnológicos e/ou científicos relacionados à área minero-metalúrgica.

O conteúdo deste trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

Jackson de Figueiredo Neto

Coordenação editorial

Maria Helena Hatschbach

Revisão textual

Thatyana Pimentel Rodrigo de Freitas

Revisão de provas

Ana Sofia Mariz

Capa e Editoração eletrônica

Damasceno, Eduardo Camilher

Disponibilidade, suprimento e demanda de minérios para metalurgia /Eduardo Camilher Damasceno. — Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007.

145p. it. (Série Estudos e Documentos, 69)

1. Metalurgia 2. Minas e recursos minerais. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Título. III Série.

CDD – 669.02

PREFÁCIO

É com grande interesse e satisfação que o CETEM edita este texto do Prof. Eduardo Camilher Damasceno. Muito mais do que uma simples monografia, **DISPONIBILIDADE, SUPRIMENTO E DEMANDA DE MINÉRIOS PARA METALURGIA** é uma valiosa abordagem contendo denso conjunto de informações acumuladas pelo autor, durante vários anos, como professor universitário, orientador de numerosas teses e pesquisador na área **mínero-metalúrgica-siderúrgica**.

Este livro reproduz, em grande parte, as apostilas elaboradas pelo Prof. Damasceno para os alunos de várias disciplinas de cursos de graduação, pós-graduação e de extensão, no Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, e em outras instituições.

O enorme volume de conhecimentos acumulados pelo Prof. Damasceno, na sua longa carreira como professor e pesquisador, permitiu que ele elaborasse uma síntese valiosa, de caráter técnico-econômico, sobre as reservas, características e aplicações dos minérios utilizados em metalurgia e siderurgia no Brasil.

Neste livro são abordados diversos minérios, fonte de 24 elementos químicos distintos, ou grupo de elementos, no caso das terras raras, utilizados nas indústrias metalúrgica e siderúrgica do Brasil.

Como geólogo de formação, o Prof. Damasceno, além de apresentar informações sobre usos e perfil de consumo de mais de uma vintena de substâncias, enriqueceu o trabalho com sínteses de natureza geológica, mineralógica, geoquímica, e sobre recursos e reservas dos minérios, sempre com a preocupação de enquadrar todo este somatório de dados no cenário econômico de demanda/suprimento e de comércio interno/externo brasileiros.

O Prof. Damasceno ao disponibilizar, de forma atualizada, uma síntese de suas apostilas e o CETEM ao publicá-la, estão con-

tribuindo para resolver o problema da escassez de textos editados em língua portuguesa e, simultaneamente, sintetizar e apresentar extensa bibliografia específica, dispersa em diversas publicações.

Este livro representa, antes de tudo, uma homenagem ao Professor Eduardo Damasceno, que tanto colaborou na titulação de vários pesquisadores do CETEM e, certamente, passará a ser um valioso instrumento de consulta para pesquisadores, profissionais da indústria e alunos das áreas mínero-química-metalúrgicas.

Adão Benvindo da Luz

Diretor do CETEM/MCT

SUMÁRIO

RESUMO/ABSTRACT ▶ 10

1 | INTRODUÇÃO ▶ 13

2 | DISPONIBILIDADE, SUPRIMENTO E DEMANDA DE MINÉRIOS FERROSOS ▶ 20

- 2.1 | Aço e Ferroligas ▶ 20
- 2.2 | Minerais e Minérios de Ferro ▶ 22
- 2.3 | Minério de Manganês ▶ 32
- 2.4 | Minério de Níquel ▶ 39
- 2.5 | Minério de Cromo – Cromita ▶ 45
- 2.6 | Minério de Nióbio (e tântalo) ▶ 48
- 2.7 | Minério de Tungstênio ▶ 52
- 2.8 | Minérios de Metais Ferrosos “Menores” ▶ 53

3 | MINÉRIO DE SILÍCIO – QUARTZO E ROCHAS QUARTZOSAS ▶ 56

4 | DISPONIBILIDADE, SUPRIMENTO E DEMANDA DE MINÉRIOS NÃO-FERROSOS ▶ 57

- 4.1 | Minério de Alumínio – Bauxita ▶ 59
- 4.2 | Minério de Estanho ▶ 65
- 4.3 | Minério de Cobre ▶ 72
- 4.4 | Minério de Zinco ▶ 78
- 4.5 | Minério de Chumbo e Prata ▶ 81

5 | METAIS NÃO-FERROSOS ESPECIAIS ▶ 86

- 5.1 | Minério de Titânio ▶ 86
- 5.2 | Minério de Zircônio/Hafnio ▶ 89
- 5.3 | Minério de Lantanídeos – Terras Raras ▶ 90

6 | OUTROS MINÉRIOS DE METAIS NÃO-FERROSOS ▶ 93

7 | DISPONIBILIDADE, SUPRIMENTO E DEMANDA DE MINÉRIOS DE METAIS PRECIOSOS ▶ 96

7.1 | Minério de Ouro ▶ 97

7.2 | Minério de Platina e Platinóides ▶ 101

8 | DISPONIBILIDADE, SUPRIMENTO E DEMANDA DE CARVÃO MINERAL ▶ 103

9 | DISPONIBILIDADE, SUPRIMENTO E DEMANDA DE MINÉRIOS FUNDENTES ▶ 109

9.1 | Calcários e Dolomitos ▶ 109

9.2 | Fluorita e Criolita ▶ 110

10 | DISPONIBILIDADE, SUPRIMENTO E DEMANDA DE MINÉRIOS PARA REFRAATÓRIOS ▶ 114

10.1 | Argilas Silicosas, Sílico-Aluminosas e Aluminosas ▶ 114

10.2 | Bauxita e Alumina ▶ 115

10.3 | Magnesita ▶ 116

10.4 | Cromita Refratária ▶ 117

10.5 | Cianita-Sillimanita-Andaluzita ▶ 117

10.6 | Areia de Zircão ▶ 118

10.7 | Grafita ▶ 118

10.8 | Quartzito ▶ 119

10.9 | Dunito e Forsterita ▶ 119

11 | DISPONIBILIDADE, SUPRIMENTO E DEMANDA DE MINÉRIOS PARA FUNDIÇÃO ▶ 120

12 | REFERÊNCIAS ▶ 122

12.1 | Minérios Ferrosos ▶ 122

12.2 | Minérios Não-Ferrosos ▶ 129

12.3 | Minérios de Metais Preciosos ▶ 136

12.4 | Carvão ▶ 139

12.5 | Minérios para Fundentes ▶ 140

12.6 | Minérios para Refratários ▶ 141

12.7 | Minérios para Fundição ▶ 142

RESUMO

O acervo de informações contido neste texto é fruto de vários anos de pesquisa e de compilações sobre os minérios utilizados na metalurgia e na siderurgia. O objetivo deste livro é contribuir com subsídios para o melhor conhecimento dos minérios e preencher a lacuna de textos editados, em língua portuguesa, sobre os recursos minerais.

O enfoque do texto é técnico e econômico, com ênfase nos minérios existentes no Brasil. Serão apresentadas e oferecidas informações sobre os seus usos; perfis de consumo; natureza geológica, geoquímica e mineralógica; composição mineralógica; potencial de recursos e reservas; cenário econômico: oferta e demanda dos minerais, exportação e importação e outras especificidades do mercado dos minérios. Todo o universo dos minérios utilizado pela indústria metalúrgica e siderúrgica encontra-se agrupado em subconjuntos caracterizados pelos respectivos usos: minérios ferrosos, não ferrosos, preciosos, carvão mineral e materiais fundentes, refratários e para fundição. Busca-se, com essa estrutura, sintetizar em um único texto as principais informações técnicas e econômicas sobre os minérios destinados à metalurgia que, na bibliografia específica, encontram-se dispersas em diversas publicações e periódicos.

Os temas aqui abordados foram objeto das aulas ministradas pelo autor em diversas disciplinas, tanto nos cursos de graduação como nos de pós-graduação e de extensão, ministradas no Departamento de Engenharia

ABSTRACT

The collection of information contained in this text is the result of years of research and notes about minerals demanded by metallurgical and steel industry. The aim of this book is to contribute with information for better knowledge of ores and fill the blanks of edited texts, in Portuguese language, about mineral resources.

The focus of the text is technical and economic, with emphasis in the minerals found in Brazil. Information will be presented and offered about minerals and their uses; consumption profiles; geological, geochemical and mineralogical nature; mineralogical composition; reserves and resources potential; economic background: minerals supply and demand, minerals exports and imports and other specificities of the minerals market. The universe of minerals used by the metallurgical and steel industry can be grouped in sub-categories characterized by their main applications, such as: ferrous metals, light metals, precious metals, coal and flux, refractory and casting materials. The intention is to synthesize in one text the main technical and economic information about the metallurgical minerals that, along the specific bibliography, are found dispersed throughout a series of publications and periodicals.

The theme approached has been the aim of lectures in many subjects, for under-graduation, post-graduation and continuing learning students, of the Department of Mining and Petroleum Engineering, of the Polytech-

de Minas e de Petróleo, da Escola Politécnica da USP e em outras instituições. Parte das informações e dos dados incorporados ao texto são oriundos de monografias, dissertações de mestrado e teses de doutorado elaboradas por dezenas de pós-graduandos que participaram da Área de Concentração "Engenharia Mineral" e de investigações conduzidas no âmbito do GTEM – Grupo de Pesquisa em Economia Mineral.

Esta publicação é destinada aos estudantes das áreas de mineração, metalurgia, materiais e geologia, bem como aos interessados em mineração, metalurgia e siderurgia.

Palavras-chave: minerais, metalurgia, siderurgia, economia mineral.

nic School of USP and of other institutions. Some information and data incorporated to this text came from monographs, masters and doctorate dissertations elaborated by dozens of post-graduate students that participated in the 'Mineral Engineering' concentration area and by the investigations conducted together with GTEM-Mineral Economy Research Group.

This book is directed to students of mining, metallurgic, materials engineering and geology, as well as those interested in mining, metallurgy and steel industry.

Key-words: minerals, metallurgical industry, steel industry, minerals economics.

1 | INTRODUÇÃO

Os diversos minérios utilizados pela indústria metalúrgica e siderúrgica são subdivididos e classificados de acordo com os seus respectivos usos, nas seguintes categorias:

Minérios ferrosos – ferro, manganês, níquel, cromo, nióbio, tungstênio, cobalto, vanádio e molibdênio, subconjunto que agrupa os recursos minerais utilizados na produção de ferro, aço e ligas. Os elementos químicos que formam os minerais dos minérios ferrosos apresentam afinidade geoquímica pelo ferro, sendo frequente a ocorrência de minérios caracterizados pelas combinações entre o Fe e o Mn, Ni, Cr, Nb, V e W (exceto molibdênio e cobalto, em parte), em diversas proporções. Exemplos dessa afinidade são os minérios do tipo ferro-manganês e as associações Fe-Mn-W no mineral wolframita, Fe-V em tipologias específicas de magnetita, Fe-Cr na cromita e Nb-Ta, na columbita-tantalita. Essas associações entre os elementos constituintes dos minerais são determinantes na definição do uso dos minérios nos processos siderúrgicos. No subconjunto dos minérios ferrosos, predominam os minerais óxidos (silicatos, wolframatos, niobatos).

Conta o Brasil com enorme potencial de recursos e reservas de minérios ferrosos, exceto molibdênio, cujas fontes são tipologias específicas de minérios de cobre, ainda não conhecidas no país. No tocante ao vanádio, existem recursos no estado da Bahia (Campo Alegre de Lourdes, Jequié) ainda não explorados. Minério de tungstênio já foi produzido na região de Currais Novos até meados da década de 1990, quando foram paralizadas as minas.

A existência de reservas, de importantes empreendimentos de mineração, de unidades siderúrgicas e de sistemas logísticos eficientes de transporte e portos de embarque promoveram o Brasil a uma posição de destaque, tanto no mercado interno como externo, na produção e na exportação de minérios ou de produtos intermediários (concentrados) de ferro, man-

ganês e nióbio, de aço, de ferro-ligas (Fe-Mn, Fe-Nb, Fe-Ni, Fe-Si) e silício metálico.

Afigura-se como promissor o aumento da produção de minérios de níquel e de Fe-Ni, a curto prazo, tendo em vista os diversos empreendimentos em desenvolvimento no país.

Minérios Não-Ferrosos – subconjunto que inclui os minérios de alumínio, cobre, estanho, chumbo, prata, zinco, cádmio, molibdênio, cobalto e outros metais especiais, esses últimos geralmente obtidos como subprodutos nas operações metalúrgicas e de refino dos metais principais. Cádmio e prata são subprodutos dos minérios de zinco-chumbo ou chumbo-zinco, enquanto o molibdênio e o cobalto provêm de minérios de cobre. Embora considerado neste texto como um metal precioso, o ouro também é recuperado como subproduto de cobre, chumbo e zinco. Jazidas de minérios não-ferrosos ocorrem em ambientes geológicos específicos, sendo observadas afinidades geoquímicas determinantes na composição dos minerais de minério, fato que possibilita a recuperação de co-produtos e de subprodutos nas operações metalúrgicas: tipologias de minérios de cobre permitem a recuperação de molibdênio, cobalto, ouro, prata e selênio; minérios de zinco podem conter chumbo, cádmio, gálio, prata, ouro e cobre; minérios polimetálicos de estanho podem conter tungstênio, cobre, chumbo, zinco, bismuto e antimônio; e a bauxita, minério de alumínio, é uma fonte potencial de gálio.

Os minérios não-ferrosos são constituídos, predominantemente, por minerais sulfetados, exceto a bauxita e a cassiterita que são óxidos. Como os sulfetos são pouco resistentes ao intemperismo, é comum a presença de tipologias de minérios oxidados nas porções superficiais das jazidas, sob a forma de carbonatos e silicatos de zinco, chumbo, cobre e níquel. A composição de sulfetos, a presença de diversos elementos/minerais nos minérios e a possibilidade da sua recuperação como subprodutos determina o uso de rotas de beneficiamento, de concentração e de metalurgia extrativa complexas.

14 Dentre os minérios não-ferrosos principais, apenas os de cobre

não suprem, por enquanto, a demanda nacional. Concentrados de cobre são importados e constituem um dos principais itens da pauta de importações minerais do país, ao lado do petróleo, carvão mineral, sais de potássio e enxôfre. No entanto, a dependência de suprimento externo estará sendo superada com a entrada em operação, em meados de 2004, da Mina do Sossego, em Canaã dos Carajás, sul do Pará, com capacidade instalada de 140.000 t/a Cu contido em concentrados, e que dispõem de apreciáveis reservas. Além dessa nova mina recém-inaugurada, há outros projetos em desenvolvimento em jazidas na região de Carajás (Salobo, Alemão, Cristalino, Alvo 118, Igarapé Bahia) e em Goiás (Chapada/Alto Horizonte).

Minérios de chumbo também são carentes, existindo modesta produção interna como subproduto do zinco obtido na mina de Morro Agudo, Paracatu, Minas Gerais. No entanto, a carência de fontes internas é atenuada pelo elevado índice de reciclagem do chumbo de acumuladores. Por outro lado, a bauxita e o alumínio, o estanho e o zinco são exportados.

Minérios de Metais Preciosos – subgrupo que inclui os minérios de ouro e de platina/platinóides (Pd, Os, Ir, Rh). No passado, a prata também integrava este conjunto, quando o seu valor era elevado. Atualmente a prata é considerada um metal do grupo dos não-ferrosos, caracterizada pelas aplicações industriais.

O ouro é obtido de diversas tipologias de minérios ou como co-produto do refino do cobre, chumbo e zinco.

Minérios de platina e platinóides ocorrem em ambientes geológicos conspícuos e específicos, fato que justifica a sua produção como privilégio de poucos territórios, particularmente os da África do Sul, Rússia e Canadá. A platina e o paládio podem ser recuperados do ouro (“ouro preto” ou “ouro paladiado” e “ouro branco” ou platinado).

O Brasil produz ouro desde o período colonial, dispendo de significativas reservas e potencial de recursos. É carente de recursos de platina/platinóides, embora sejam conhecidos no país ambientes potencialmente favoráveis à existência desses metais.

Carvão Mineral – matéria-prima e insumo energético importantíssimo para a siderurgia, tanto na produção do coque como fonte de energia e agente redutor no processo de obtenção de ferro e aço. Adicionalmente, tem importante participação na matriz energética de vários países. O carvão integra o conjunto de recursos minerais energéticos fósseis.

O carvão mineral tem origem na carbonização de vegetais, em ambientes sedimentares, e a sua qualidade (poder calorífico, composição de macerais e de voláteis, dentre outras) depende da evolução geológica da bacia carbonífera. Os recursos de carvão no Brasil, existentes nos estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Paraná, são grandes, caracterizando-se, porém, como insumos energéticos pouco adequados para uso siderúrgico e para a produção de coque. O suprimento de carvão mineral grau metalúrgico depende de importação, constituindo-se num dos principais itens da pauta de importações minerais do país. Para atender à produção nacional de aço, superior a 32 milhões t/a, há necessidade da importação de mais de 15 milhões t/a de carvão grau metalúrgico.

Minérios Fundentes – subconjunto que inclui calcário, dolomito (cal), fluorita e criolita. Esse grupo de minerais pertence ao universo dos minerais não-metálicos.

Os calcários e dolomitos são recursos abundantes e a sua produção, na maioria das situações, é decorrência da existência de minas nas imediações de pólos metalúrgicos/siderúrgicos consumidores ou em locais com infra-estrutura adequada ao transporte. Assim, por exemplo, as minas da região de Arcos/Pains abastecem a CSN – Companhia Siderúrgica Nacional, em Volta Redonda; o suprimento de dolomito da COSIPA – Companhia Siderúrgica Paulista, em Cubatão, é feito a partir de minas situadas em Salto de Pirapora.

A fluorita é fundente e fluxante muito utilizado na metalurgia e na siderurgia. Além do uso como fundente, é matéria – prima para a produção de criolita sintética e de fluoretos, aplicados na produção do alumínio, via processo Hall – Héroult. Em de-

corrência da importância da criolita sintética para a indústria do alumínio, são observados os interesses das principais empresas produtoras de alumínio na mineração de fluorita. Para a aplicação como fundente metalúrgico, há preferência para os minérios de fluorita de granulação grossa, tipo “lump”, variedade mais rara. Em consequência dessa carência, adota-se a aglomeração de “finos” de fluorita, frequentemente obtidos como subproduto de minérios de metais não-ferrosos, nos quais a fluorita é a ganga. As reservas brasileiras de fluorita são modestas.

A criolita natural é um mineral muito raro. Durante décadas foi produzida na insólita mina do “fjord Ivigtut”, na Groenlândia, desativada no final da década de 80 do século passado. No Brasil é conhecida a ocorrência de criolita associada aos granitos estaníferos da Mina do Pitinga, Amazonas.

Minérios para Refratários, categoria que inclui uma grande variedade de matérias-primas minerais usadas como componentes de diversos tipos de refratários: argilas silicosas, sílico-aluminosas e aluminosas, quartzito, dolomito, magnesita, cromita, grafita, zircão (zirconita) e cianita – sillimanita – andaluzita. As argilas silicosas e sílico – aluminosas são materiais abundantes, comumente encontrados em aluviões de rios, onde são acumuladas pela ação do intemperismo e sedimentação, durante vários anos. O vale do Alto Tietê, hoje na Grande São Paulo, foi uma importante área-fonte dessas argilas. As variedades aluminosas e de alta – alumina, que aproximam-se da composição da bauxita, originam-se em ambientes específicos pela lateritização de rochas contendo minerais aluminosos. As principais jazidas encontram-se em de Uberaba, Sacramento, Poços de Caldas e no Baixo Amazonas, as duas últimas também importantes regiões produtoras de bauxita. O potencial de recursos de bauxita refratária, particularmente no Baixo Amazonas é grande, e afigura-se como promissora a ampliação da produção desse minério naquela região (além da produção de bauxita para uso metalúrgico na produção de alumínio).

Os quartzitos – variedade de rocha quartzosa, de origem metamórfica – são utilizados na composição de refratários silicosos.

Magnesita calcinada e cromita são componentes dos refratários básicos. As reservas e o potencial de recursos de magnesita no Brasil são expressivos, situando-se as principais minas na região de Brumado, no estado da Bahia. A disponibilidade de magnesita contribuiu para a liderança do Brasil no mercado internacional de refratários à base de magnesita calcinada. Quanto à cromita, observa-se carência de minérios com características adequadas para a fabricação de refratários, apesar da disponibilidade de reservas importantes de cromita no estado da Bahia, mas com composição apropriada apenas para uso metalúrgico na produção de FeCr.

A grafita é uma variedade de carbono, utilizada na fabricação de cadinhos, eletrodos para fornos elétricos, dentre outros usos metalúrgicos. Jazidas de grafita estão associadas a ambientes metamórficos, e as principais minas estão situadas no estado de Minas Gerais. O Brasil figura como exportador de algumas variedades de grafita cristalina e lamelar.

O zircão (ou zirconita, na denominação comercial) é mineral bastante comum como acessório em diversos tipos de rochas. Acumula-se em jazidas nas areias de praia e aluviões fluviais. Apesar da existência de depósitos em vários pontos no país, é importado.

Cianita-sillimanita-andaluzita, família de silicatos de alumínio, são minerais que se caracterizam pelo alto teor estequiométrico de alumina, mais elevado do que a bauxita. São usados em refratários especiais, com destaque para as mulitas de alta alumina.

Minérios para fundição – areia – base, areia de “zirconita” e bentonita. A areia – base é usada na confecção de moldes para fundição; são variedades especiais de areia, caracterizadas pela seletividade da distribuição granulométrica e elevado grau de arredondamento e de esfericidade. São produzidas, principalmente, na região de Descalvado e Analândia, no estado de São Paulo. A areia de “zirconita” é importada, apesar da sua

ocorrência em vários pontos do litoral, em especial nos estados da Bahia, Espírito Santo e Rio de Janeiro, onde o zircão é um dos minerais componentes da areia monazítica.

A bentonita, denominação comercial de argilo-minerais do grupo das smectitas – montmorillonitas, é utilizada como aglomerante da areia-base nos moldes para fundição e na pelotização de finos de minério de ferro. São classificadas em bentonitas sódicas, a variedade com maior poder aglomerante, cálcicas e cálcicas-ativadas. No Brasil existem jazidas e minas de bentonita cálcica na região de Campina Grande, estado da Paraíba, cujas propriedades são melhoradas mediante ativação. As variedades sódicas são importadas.

2 | DISPONIBILIDADE, SUPRIMENTO E DEMANDA DE MINÉRIOS FERROSOS

2.1 | Aço e Ferroligas

O consumo de minérios ferrosos depende, quase que integralmente, das indústrias siderúrgica e de ferroligas. Por isso, a produção de minérios ferrosos, especialmente os de ferro, depende da demanda das siderúrgicas. O suprimento dessas matérias-primas minerais é efetuado a partir de minas cativas, cujos concessionários são as próprias siderúrgicas que os consomem e que produzem minérios dentro das características e na quantidade demandada, ou por meio de contratos de fornecimento de longa duração, fixando-se o padrão de conformidade do minério e as tonelagens desejadas. Por essa razão, os minérios ferrosos não são considerados “commodities” e nem tampouco são comercializados em bolsas de metais. A única exceção é a do níquel porque, além do uso no segmento do ferro e aço, tem como metal usos não-ferroso.

Na última década foi observado o aumento na demanda e na produção do aço (Quadro I). A partir de 2000, por influência da China, a demanda se acentuou, acarretando forte aumento da produção e elevação dos preços do aço, ferroligas, dos minérios ferrosos e do carvão mineral.

Quadro I – Produção de aço em alguns países, 2004, milhões t.

China	220	25,5%
União Européia	196	19%
Japão	112	11%
Estados Unidos	96	9,3%
Rússia	64	6,2%
Índia	33	3,3%
Brasil	32,9	3,2%
Total mundial	1.030	

Em 2004 a produção mundial de aço foi de 1.030 milhões t, com crescimento superior a 7% em relação a 2003. Naquele mesmo ano a produção de gusa atingiu 703 milhões t (JESUS, C.A G., 2005).

A China é o maior produtor de aço, 220 milhões t, cerca de 25% do total mundial e, também, o maior consumidor (cerca de 22% do consumo mundial). Japão, União Européia, Estados Unidos e Rússia, na sequência, são outros importantes produtores de aço (Quadro I).

O Brasil é o sétimo produtor e o oitavo exportador de aço e, ainda, de produtos acabados e de ferroligas. A capacidade instalada da indústria do aço é da ordem de 34 milhões t/a, existindo vários projetos de expansão e novas unidades a serem implantadas a curto prazo. A produção de aço atinge 32,9 milhões t, correspondendo a 3,2% da produção mundial (Quadro I). A produção de gusa atingiu 34,5 milhões t e a de ferro esponja 439.700 t. Foram exportadas 11,9 milhões t.

A produção de aço na América Latina supera 44 milhões t/a, com a liderança do Brasil, seguido do México, Argentina e Venezuela.

Além da expressiva produção de aço, o Brasil é o oitavo produtor mundial de ferroligas de manganês, silício, cromo, níquel, nióbio e de silício metálico (Quadro II). As ferroligas são usadas na produção de aço comum, fundidos de ferro, aço inoxidável, ligas especiais e como agentes dessulfurantes e desoxidantes. O silício metálico é usado na metalurgia do alumínio e nas indústrias química e eletrônica. A produção de ferroligas em 2003 superou 1 milhão t, parte consumida no mercado interno, além de expressiva quantidade exportada: cerca de 55% da produção. Em 2004 a produção de silício metálico foi de 113.607 t (ALVES, 2005).

Quadro II – Produção nacional de ferroligas, 2003, em 1.000 t

Ferroligas à base de Mn	438
Ferroligas à base de Si (*)	337
Ferroligas à base de Cr	179
Ferroligas à base de Ni	19
Ferroligas especiais e inoculantes	108

(*) inclui Si metálico

Fonte: ABRAFE, < www.abrafe.ind.br >

2.2 | Minerais e Minério de Ferro

O minério de ferro é o recurso mineral metálico extraído em maior volume da crosta da Terra. Em 2004 a produção mundial de minério de ferro superou 1.260 milhões t (Quadro III), destacando-se a China como o maior produtor (22,2% do total), seguida pelo Brasil (20,8%), Austrália (17,5 %) e Rússia (8%). Na América do Sul, além do Brasil, a Venezuela produziu 18 milhões t.

Quadro III – Produção de minério de ferro em alguns países, em milhões t, 2004

China	280	22,2%
Brasil	262	20,8%
Austrália	220	17,5%
Índia	110	8,7%
Rússia	95	7,5%
Ucrânia	66	1,4%
Total mundial	1.260	

Fonte: JESUS, 2005, modificado.

O ferro é um dos elementos maiores da crosta da Terra, situando-se entre os mais abundantes. Apresenta *clarke* de 5,6% ou 56.300 ppm (partes por milhão). *Clarke* indica o conteúdo normal médio de um elemento químico na crosta continental da Terra.

A abundância do elemento Fe propicia a ocorrência de depósitos e a acumulação de minérios em diversos ambientes geológicos e em vários territórios. No entanto, jazidas contendo minérios de alta qualidade, com características tecnológicas para o desenvolvimento de minas e para o aproveitamento na siderurgia, são menos comuns. Essas jazidas foram acumuladas pela ação de processos geológicos que atuaram na gênese do minério e tornaram-se minas diante das condições econômicas e logísticas para a produção. A existência dessas condições justifica a produção de grandes volumes de minérios em alguns poucos países: apenas China, Brasil e Austrália produzem mais de 50% do total mundial de minério de ferro (Quadro III).

Jazidas de minério de ferro – entendendo-se como **jazidas** os depósitos passíveis de aproveitamento econômico – são formadas em ambientes geológicos tanto ígneos como sedimentares e metamórficos. Jazidas de origem ígnea são menos comuns e pouco contribuem no suprimento de minérios de ferro. As mais importantes são aquelas de origem sedimentar – metamórfica, com enriquecimento em ferro a partir de **protominérios** – rochas preexistentes contendo ferro – formados por precipitação química em ambiente aquoso. Os **itabiritos** e os **jaspilitos** são os protominérios de ferro: o primeiro é de origem sedimentar – metamórfica e contém óxidos de ferro, em geral, hematita e quartzo como componentes essenciais; o segundo, é de origem sedimentar e contém óxidos de ferro e sílica amorfa. As unidades litológicas contendo jaspilitos ou itabiritos são denominadas **formações ferríferas** (*banded iron formations* ou *BIF's*”, WALDE, 1986). No interior dessas formações ferríferas podem ser formadas jazidas de minério de ferro mediante a contribuição de agentes geológicos, climáticos e morfológicos que promovem enriquecimento em ferro e provêm as características adequadas ao aproveitamento econômico. Para que sejam formadas jazidas é necessário o **fator de enriquecimento** do ferro em relação ao *clarcke*. No caso das jazidas de ferro o fator de enriquecimento é 6 a 10, respectivamente, para miné-

rios de baixo e de alto teor. O enriquecimento é proporcional à ação dos processos geológicos e fisiográficos envolvidos.

Satisfeitas as condições naturais para a formação da jazida, podem ser estabelecidas as **minas** – a mina é o conjunto constituído pela jazida e instalações necessárias à produção de minério ou seus concentrados. Do ponto de vista econômico e tecnológico a mina deve contar com a disponibilidade de volume/tonelagem adequada de minério, elevados teores em ferro e baixos em contaminantes, granulometria natural adequada e facilidades para a lavra.

Na literatura são descritos centenas de minerais de ferro (KLEIN, HURLBUT, 1963). No entanto, os mais importantes **minerais de minério** – minerais úteis que constituem o minério – são:

- ▶ a **hematita**, Fe_2O_3 , conteúdo estequiométrico 69,9% Fe. É a variedade mineral que predomina nas jazidas originadas nas formações ferríferas, a exemplo dos minérios existentes no Brasil e na Austrália;
- ▶ a **magnetita**, Fe_3O_4 , 72,4% Fe, mineral característico de jazidas de origem ígnea, na tipologia magnetita + apatita, exemplificada pela mina de Kiruna, Suécia. No Brasil há depósitos de magnetita em ambientes metamórficos. Em alguns maciços alcalinos, embora não cheguem a constituir jazidas, as acumulações de magnetita foram importantes nos primórdios da siderurgia brasileira, quando despertaram a atenção e mereceram iniciativas, frustadas, de suprir as “fábricas de ferro”. É conhecido o projeto do Barão de Varnhagen que tentou implantar a Real Fábrica de Ferro da Fazenda Ipanema, cujas ruínas encontram-se na Serra de Araçoiaba, Iperó, estado de São Paulo.

Além da hematita e da magnetita, ocorrem na maioria das minas um conjunto de outros minerais óxidos de ferro, secundários, genericamente denominados **limonita**, que são formados pela alteração e hidratação das variedades primárias. Acumulam-se na porção superficial das jazidas, ocorrendo em cangas, tapiocangas, “chapinha” e outros tipos de minérios residuais, no capeamento das minas. Em consequência da origem secundária,

derivada da neoformação pelo intemperismo, contêm teores altos de contaminantes indesejáveis para o minério de ferro, tais como o fósforo, enxofre e alumina.

Outros minerais de minério de ferro são **maghemita**, variedade isomorfa da hematita; **goethita** – $\text{FeO}(\text{OH})$; **siderita** – FeCO_3 , raramente presentes em minérios, mas importantes nos protominérios; **pirita** – FeS_2 , variedade usada como minério de ferro e de enxofre em situações especiais e a **chamosita**, do grupo da clorita – $(\text{Mg,Fe})_3\text{Fe}_3^{3+}(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_8$.

Existem duas categorias de minérios de ferro: aqueles de **baixo teor**, contendo 35-40% Fe ou menos, confundidos com os proto-minérios. Essa categoria é produzida em alguns países como Rússia, Ucrânia, China, Estados Unidos e Canadá, na região dos Grandes Lagos.

Na América do Norte, o minério de ferro de baixo teor é o **taconito**, tipologia que, devido às dificuldades e premência de suprimento para as siderúrgicas norte-americanas durante a segunda guerra mundial, propiciou uma das mais importantes inovações da tecnologia mineral: a **aglomeração** de finos por **sinterização** e **pelotização**. O aproveitamento do taconito como minério de ferro tornava-se viável após a cominuição e a concentração com teores passíveis de utilização nas siderúrgicas. No entanto, a cominuição gerava material de granulação fina, não aceito naquela época pela indústria do aço. A solução encontrada pelo *USBM – United States Bureau of Mines* foi a adoção das rotas de aglomeração acima mencionadas que, além de propiciar o aproveitamento de minério de baixo teor e de granulação fina, fez com que o minério aglomerado como **sinter** ou **pelotas** (*pellets*) passasse a ser preferido pelas usinas siderúrgicas pelas vantagens que apresentava em relação aos minérios compactos e duros, até então utilizados. A partir dessa inovação, grandes volumes de recursos minerais de ferro contidos em frações finas, ou mesmo nos protominérios, até então considerados recursos paramarginais, passaram à categoria de reservas, aumentando o volume das jazidas. Os

itabiritos tornaram-se minérios. Atualmente, os finos para sintetização e pelotização representam 68% do total das exportações brasileiras de minério de ferro.

A outra categoria são os **minério de alto teor**, superior a 60% Fe, aproximando-se do conteúdo estequiométrico do mineral hematita. Os teores elevados observados nessa tipologia decorrem, em grande parte, do enriquecimento supergênico do ferro promovido pelo intemperismo, lateritização e lixiviação da sílica contida no itabirito ou jaspilito. Minérios de alto teor são encontrados nas minas do Quadrilátero Ferrífero, na Serra dos Carajás e Corumbá, no Brasil, Austrália, Índia, África do Sul e Venezuela (no vale do Orenoco, minas El Pao e Cerro Bolivar). Além de promover o enriquecimento em ferro, o intemperismo *abrandou* o minério e contribui no estabelecimento da sua granulação natural, a exemplo do “*pelletore*”, facilitando as operações de desmonte e reduzindo os custos de lavra e de beneficiamento. Com o abrandamento, algumas tipologias de minério de ferro, como o “*blue dust*”, podem ser desmontados nas frentes de lavra com a simples escarificação ou com os dentes das escavadeiras, dispensando o uso de explosivos. Os minérios de alto teor apresentam inerentes vantagens competitivas para uso siderúrgico, justificando a grande aceitação e procura pelos minérios produzidos no Brasil e na Austrália, territórios detentores das principais reservas dessa tipologia mais nobre. Até mesmo os países que produzem grandes volumes de minérios de baixo teor, como a China, adquirem quantidades crescentes da tipologia de alto teor, visando obter um *blending* mais favorável para as siderúrgicas.

Além do teor em ferro e em contaminantes – alumina, sílica, enxofre e fósforo – também a distribuição granulométrica é fator crítico na caracterização do minério de ferro. Os tipos básicos, classificados de acordo com a granulometria, são os seguintes:

- ▶ **minério granulado**, > 6 mm (¼ pol) , máximo de 10% < 6mm;

- ▶ **minério fino para sinterização** ou "*sinter feed*", < 6mm >0,1 mm, máximo de 20% < 0,1mm
- ▶ **minério fino para pelletização** ou "*pellet feed*", < 0,1 mm, dentre outros tipos.

Afigura-se, ainda, como promissor, o uso de tipologias específicas para redução direta.

As reservas mundiais de minério de ferro são estimadas em 330.000 milhões t, destacando-se os montantes disponíveis na Ucrânia, Rússia, China e Austrália (Quadro IV), em grande parte correspondentes a minérios de baixo teor. As reservas medidas disponíveis no Brasil superam 22.300 milhões t de minério de alto teor, cerca de 6,8% do total mundial, existindo ainda um adicional de pelo menos 37.600 milhões t de reservas inexploradas, além de um montante de recursos ainda não quantificado (JESUS, 2005).

No Quadro IV encontram-se referidos montantes de minérios de ferro, definidos por diferentes critérios de pesquisa mineral, decorrentes de situações locais. Para minérios de ferro não é de praxe estimar as reservas com base no metal contido, situação que, se fosse adotada, alteraria o ranking das maiores reservas mundiais. Nessa hipótese o Brasil ocuparia o topo dos detentores das reservas em ferro contido.

Na América Latina, além do Brasil, Chile, Perú e Venezuela dispõem de reservas de minério de ferro. No último país são estimadas em 2.000 milhões t.

Quadro IV – Reservas de minério de ferro em alguns países, 2003, milhões t

País	Reserva	% do total mundial
Ucrânia	68.000	20,6
Rússia	56.000	17
China	46.000	13,9
Austrália	40.000	12,1
Brasil	22.392	6,8
Estados Unidos	15.000	4,5

Fonte: JESUS, 2005, modificado.

MINÉRIO DE FERRO NO BRASIL

As formações ferríferas e os depósitos minerais de ferro são comuns no Brasil, território que dispõe de ambientes geológicos e fisiográficos favoráveis à sua existência. São muitas as ocorrências de ferro distribuídas em várias regiões do país (ABREU, 1973; DORR, 1964. DORR, 1965; TOLBERT et al., 1973; SANTOS, 1981; GUILD, 1960). No entanto, os maiores volumes de minérios hematíticos, com qualidades tecnológicas excepcionais, estão acumulados nas jazidas do Quadrilátero Ferrífero (70% das reservas), em Corumbá/Serra do Urucum (21,5% das reservas) e na região da Serra dos Carajás (7% das reservas), respectivamente, nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Pará. O volume de minério existente nessas três regiões torna menos interessantes vários outros depósitos menores.

Já foram explotadas pequenas jazidas de magnetita em Joinville, Antonina e Itapirapuã, hoje meras ocorrências. Atualmente estão sendo investigados depósitos e desenvolvidas minas de ferro na Bahia, no Amapá e em outros estados do Nordeste.

A formação ferrífera de Carajás tem expressão regional, distribuindo-se por uma extensa região e diversas serras (Norte, Sul, Leste e São Felix); a do Quadrilátero Ferrífero prolonga-se para o norte de Minas Gerais, adentrando o estado da Bahia (COELHO, 1986; VILELA, 1986). A de Corumbá, posicionada à margem do rio Paraguai, tem continuidade na Serrania El Mutum, na Bolívia.

A forte demanda mundial por minério de ferro, observada no início do século XXI, vem promovendo a ampliação da capacidade de produção das minas em operação, o desenvolvimento de novas minas nos distritos tradicionais de produção e o interesse pelo aproveitamento de outras jazidas, caso de Tartarugalzinho, Amapá (LIMEIRA, 2005) e Jucurutu, Rio Grande do Norte.

A excelente qualidade dos minérios, as elevadas escalas de produção das minas do Quadrilátero Ferrífero e de Carajás, complementadas pelos sistemas logísticos de transporte e de portos

de embarque, especialmente construídos para minérios, potencializam a competitividade do Brasil no segmento de minério de ferro, permitindo que o país ocupe o topo dos exportadores e a segunda posição no rol dos maiores produtores mundiais de minério de ferro (FERREIRA, 2000; FERREIRA, DAMASCENO, 2000). Como já foi mencionado, em 2004 a produção brasileira superou 262,7 milhões t (Quadro III), mantendo o ritmo crescente: aumentou mais de 10% de 2002 para 2003 e, deste para 2004, quase 12%, tendência que deverá ser mantida nos próximos anos, tendo em vista a forte demanda mundial e os novos projetos em andamento.

Conta o país com três dezenas de empresas que operam 48 minas, destacando-se a CVRD – Companhia Vale do Rio Doce e coligadas (168 milhões t produzidas em 2004), a MBR – Minerações Brasileiras Reunidas (42,3 milhões t em 2004), a SAMARCO, a CSN – Companhia Siderúrgica Nacional e a MCR – Mineração Corumbaense Reunida S.A, como as principais mineradoras. A Gerdau – Açominas deverá ingressar na produção de minério de ferro a partir de 2006 (ALVES, 2005).

Quadro V – Exportação de minério de ferro por empresas, em 2004 (milhões t)

Empresa	Exportação
CVRD e coligadas	150,7
MBR	33,9
SAMARCO	16,2

Fonte: ALVES, 2005; O PERFIL..., 2 005, modificados.

A CVRD opera as minas do Cauê (capacidade instalada 20 milhões t/a ROM) e de Conceição (19,8 milhões t/a ROM) em Itabira, Timbopeba/Mariana, Capanema/Itabirito, Brucutu/São Gonçalo do Rio Abaixo, Gongo Soco/Barão de Cocais, Fazenda/Catas Altas, Alegria/Mariana, Água Limpa/Rio Piracicaba e Córrego do Meio/Sabará no Quadrilátero Ferrífero (MELO et al., 1986; GUIMARÃES et al., 1986; BARCELOS, BÜCHI, 1986; VASCONCELOS et al., 1986). E na Serra dos Carajás, as minas

N4E e N5, cuja capacidade instalada deverá ser ampliada das atuais 70 milhões t/a ROM para 85 milhões t/a ROM a partir de 2006. Além da ampliação de Carajás, a CVRD deverá aumentar, a partir de 2006, a produção no conjunto de minas de Itabira para 46 milhões t/a ROM ; a da mina Fábrica Nova para 17 milhões t/a ROM; a da mina Brucutu para 24 milhões t/a ROM, além de iniciar a mina Fazendão com capacidade de 14 milhões t/a ROM (O PERFIL..., 2005).

A MBR opera as minas do Pico do Itabirito, Tamanduá, Capitão do Mato, Jangada e Capitão Xavier, todas no Quadrilátero Ferrífero. As minas da Motuca e Águas Claras foram desativadas (GOMES, 1986).

A CSN explora a mina Casa de Pedra, em Congonhas do Campo, cuja produção foi de 15,5 milhões t de minério beneficiado em 2004. A capacidade instalada atual de Casa de Pedra é de 25 milhões t/a ROM, devendo ser ampliada para até 30 milhões t/a. A CSN planeja ingressar, também, no mercado externo utilizando a ferrovia MRS e o Porto de Sepetiba, no estado do Rio de Janeiro.

A mina Pau Branco, Brumadinho, MG, é operada pela V&M Mineração Ltda.

Para dar vazão ao elevado volume de minério produzido, a ser levado para as usinas siderúrgicas ou para exportação, operam eficientes sistemas de transporte incluindo ferrovias, mineroduto e portos. A EFVM – Estrada de Ferro Vitória – Minas interliga as minas de Itabira e do sul/sudeste do Quadrilátero Ferrífero (Barão de Cocais, Mariana, Congonhas do Campo), via o ramal de Costa Lacerda, ao Porto de Tubarão/TVV – Terminal de Vila Velha, nas cercanias de Vitória, no estado de Espírito Santo. A EFVM é, também, o principal sistema de suprimento das siderúrgicas localizadas ao longo do Vale do Rio Doce, das empresas coligadas à CVRD, instaladas nas imediações do Porto de Tubarão, e para exportação do minério de ferro produzido no Quadrilátero Ferrífero. A EFC – Estrada de Ferro Carajás, com cerca de 800 km, liga a mina N4E ao Porto da Ponta da

Madeira, nas imediações de São Luis, estado do Maranhão. A MRS possibilita o transporte para as siderúrgicas situadas no Vale do Paraíba do Sul e na Baixada Santista e a exportação pelos portos situados no litoral do estado do Rio de Janeiro.

A SAMARCO utiliza mineroduto, com 397 km, para o transporte do minério entre o Complexo Alegria Samarco/Mariana (BARCELOS, BÜCHI, 1986) e o Porto da Ponta do Ubu/Anchieta, Espírito Santo. A capacidade do mineroduto é de 15,5 milhões t/ano. Visando aumentar o volume de minério transportado, tanto para o atendimento da duplicação das instalações no Porto de Ubu como para a ampliação das exportações, a SAMARCO está promovendo melhorias no atual mineroduto, cuja capacidade deverá ser elevada para 16,5 milhões t/ano, e estuda a possibilidade da construção de uma segunda linha de mineroduto. Em 2004 a SAMARCO produziu mais de 25,2 milhões t ROM e 15,4 milhões t de beneficiado (ALVES, 2005; O PERFIL..., 2005).

A MCR opera a mina Morraria de Santa Cruz, em Corumbá, Mato Grosso do Sul e exporta o minério pelo porto Gregório Curvo, no rio Paraguai, utilizando transporte da Ferrovia Novoeste S.A, por curta distância. Em 2004 a MCR produziu 1,2 milhões t de minério lavado. O plano de expansão da MCR prevê aumento da capacidade de produção das atuais 1,5 para 2 milhões t / a em 2005 e para 15 milhões t/a a partir de 2009. As reservas da MCR são estimadas em 330 milhões t e recursos adicionais em 430 milhões t (O PERFIL..., 2005).

A Urucum Mineração S.A., de propriedade da CVRD, também instalada em Corumbá, MS, produziu em 2004 cerca de 735.000 t de minério de ferro.

A exportação de minério de ferro em 2004, como mencionado acima, superou os 200,9 milhões t, destacando-se os montantes do conglomerado da CVRD (150,7 milhões t, cerca de 75% do total), da MBR (33,9 milhões t), da SAMARCO (16,2 milhões t) e da Corumbaense (Quadro V), as mais importantes provedoras de minério ao mercado externo. Nos últimos cinco anos a exportação de minério de ferro cresceu 30% , com a média de 6% aa.

A análise da exportação por tipo de minério indica a venda de 137,4 milhões t de finos (68,4% do total), 46 milhões t de peletas e 17,2 milhões t de granulado (ALVES, 2005).

Quanto ao destino, ocorreu venda para dezenas de países: somente a China importou 46,2 milhões t (23,2% do total), seguida do Japão (28 milhões t), Alemanha (25 milhões t), Coreia do Sul, França, Itália, Bélgica, Estados Unidos, Argentina e outros.

Ao mercado interno foram fornecidas 103,5 milhões t (JESUS, 2004).

2.3 | Minério de Manganês

O padrão da produção e da demanda de minério de manganês é similar ao do minério de ferro. Embora consumido em menor volume depende, fortemente, da indústria siderúrgica e de ligas à base de manganês, segmento que consome 85% da produção de minério de manganês. Algumas tipologias de minérios bióxidos de manganês, com propriedades eletrolíticas específicas, são usadas em pilhas (10% do consumo).

O minério de manganês é de vital importância para a produção do aço, onde é usado como agente dessulfurante e deoxidante. Embora objeto de investigações, têm sido infrutíferas as tentativas de encontrar materiais sucedâneos que viessem a substituir o manganês na produção de aço.

Os minérios de manganês também não são "commodities", como os minérios de ferro, e o suprimento realiza-se via contratos de fornecimento a longo prazo ou de minas cativas. Outra característica do comércio de manganês é que a maioria dos países grandes produtores de aço depende da importação. Dentre eles, apenas a Rússia conta com produção e suprimento internos.

O *clarcke* do manganês, de 0,1% (ou 1.000 ppm), é muito mais baixo do que o do ferro. Enquadra-se na categoria dos elementos menores da crosta e a disponibilidade de manganês

é muito inferior à do ferro. Além de mais raro, a distribuição das reservas é menos universal, concentrando-se em poucos territórios: cinco países detêm 98% da reservas, destacando-se a África do Sul (Quadro VI).

Quadro VI – Reservas de manganês em alguns países, 2004, em milhões t manganês contido

País	Reserva
África do Sul	4.000
Ucrânia	520
Gabão	160
Índia	160
Brasil	132
China	100
Austrália	82
Total mundial	5.200

Fonte: COSTA, FIGUEIREDO, 2005, modificado.

Os minérios de manganês se formam a partir de protominérios originados em ambientes sedimentares marinhos ou lagunares, tanto por precipitação química como por deposição clástica. São conhecidas desde a expedição pioneira de Darwin às acumulações de módulos polimetálicos no fundo do oceano onde o Mn é o metal predominante. Os sedimentos e protominérios contendo manganês, quando submetidos ao metamorfismo, intemperismo e lateritização, em condições climático-fisiográficas adequadas, podem ser enriquecidos, propiciando o aumento do conteúdo de manganês e dando origem aos minérios de alto teor.

Nos ambientes exógenos o manganês e o ferro têm afinidade geoquímica, particularmente, nos estados de valência Fe^{2+} e Mn^{2+} . Essa afinidade torna freqüente a associação paragenética entre os minerais de Fe e Mn e a acumulação de minérios contendo os dois elementos, em diferentes proporções. É comum a presença de acumulações de ambos em diversos distritos de mineração em formações ferríferas, onde são produ-

zidos tanto minérios de manganês como de ferro ou, ainda, minérios tipo FeMn. No Quadrilátero Ferrífero e na Serra dos Carajás há jazidas e produção de ambos; o mesmo acontece no Morro do Urucum, Corumbá (BARCELOS, BÜCHI, 1986; HARALYI, WALDE, 1986).

Os minerais de manganês apresentam complexidade química e mineralógica, decorrentes dos diversos estados de valência do Mn. Em ambientes exógenos podem co-existir Mn^{2+} , Mn^{3+} e Mn^{4+} no mesmo mineral e nos minérios óxidos. Por isso, a caracterização tecnológica dos minérios de manganês não é tarefa trivial: em geral todos são compostos por misturas de óxidos.

São registrados na literatura centenas de minerais de manganês, porém, somente alguns são componentes de minérios, destacando-se como os mais comuns nas minas do Brasil:

- ▶ **criptomelana**, $K_2Mn_8O_{16}$
- ▶ **manganita**, $MnO(OH)$
- ▶ **pirolusita**, α MnO_2 , γ MnO_2
- ▶ **hausmanita**, Mn_3O_4
- ▶ **psilomelana** e outros óxidos amorfos.

Nos protominérios, além dos óxidos, são encontrados a **rodonita** – $MnSiO_3$, a **rodocrosita** – $MnCO_3$, a **espessartita** – $Mn_3Al_2Si_3O_{12}$ e sulfetos de manganês.

Os minérios de manganês são classificados em duas tipologias:

- ▶ **baixo teor**, contendo de 25 a 30% Mn, correspondendo aos protominérios ou aos sedimentos originais, isentos da ação da lateritização e até mesmo do metamorfismo. Pertencem a essa categoria a maior parte dos recursos, das reservas e das minas produtoras de manganês. As minas de Urucum/Corumbá são exemplos;
- ▶ **alto teor**, contendo pelo menos 40% Mn, originados pelo enriquecimento dos protominérios pela ação do metamorfismo, lateritização e neoformação de minerais óxidos. São as variedades menos comuns, mais nobres e poucos países detêm reservas expressivas e produzem esse tipo. O Brasil é um deles.

- ▶ **alto forno** ou minério tipo **ferro-manganês**, com composição típica de Fe + Mn > 50%, P < 0,1% e baixos teores de sílica, alumina e enxofre. Na produção de gusa podem ser utilizados minérios com teores menores de Fe+ Mn;
- ▶ para **ligas FeMn** (FeMnAc, FeMnMc/Bc); composição típica, mínimo 42% Mn, relação Mn/Fe > 7; sílica max 6% , P < 0,1% e baixo teor em alumina e alcalis;
- ▶ para **ligas Fe-Si-Mn**, relação Mn/Fe 5,5 e sílica < 15%;
- ▶ **grau eletrolítico**, alto teor de MnO₂, baixo ferro e traços de outros metais; é fundamental o arranjo cristalino adequado dos minerais do minério para uso em pilhas.

As reservas mundiais de manganês são estimadas em 5.030 milhões t Mn contido e estão localizadas na África do Sul (4.000 milhões t), Ucrânia (520 milhões t), Gabão Índia, Brasil, China e Austrália, dentre outros países (COSTA, FIGUEIREDO, 2005).

Em 2004 a produção mundial de minério de manganês foi de 11 milhões t Mn contido, com acréscimo de 30% em relação a 2003. Destacaram-se como produtores e exportadores a Austrália (3,3 milhões t Mn contido) e a África do Sul (1,8 milhões t). O Brasil é o quarto produtor: 1,34 milhões t Mn contido (Quadro VII), sucedido do Gabão e Ucrânia. Assim, os países detentores de 98% das reservas são responsáveis por mais de 70% da produção. Na América Latina, além do Brasil, também o México figura como produtor.

Deve ser destacado que os dados de produção e de dos Quadros VI e VII referem-se à quantidade de manganês contido nos minérios, fato justificado pela grande variedade de minérios lavrados em condições locais específicas. A produção nacional de minério superou 3,1 milhões t, contendo 1,34 milhões t Mn.

A China é o principal consumidor, fato que decorre da liderança na produção mundial de aço, como já foi mencionado.

Quadro VII – Produção de manganês em alguns países, em 2004, milhões t Mn contido

País	Produção	% do total
Austrália	3,3	28,8
África do Sul	1,8	15,7
Brasil	1,34	11,8
Gabão	1,3	11,4
Ucrânia	0,88	7,7
Total mundial	11.000	

Fonte: COSTA, FIGUEIREDO, 2005, modificado

MINÉRIO DE MANGANÊS NO BRASIL

O arcabouço geológico do território nacional e as condições climáticas reinantes no decorrer do Período Recente foram favoráveis à acumulação de manganês, à semelhança do ferro. São comuns as ocorrências e os depósitos de minerais manganésíferos (ABREU, 1973; WALDE, 1986; HARALYI, WALDE, 1986; COELHO, RODRIGUES, 1986; ANDRADE et al., 1986; RODRIGUES et al., 1986; BASÍLIO, BROND, 1986).

O Brasil conta com significativas reservas, é importante produtor e exportador, não apenas de minério de manganês de alto teor, mas também de ligas FeMn e FeSiMn. Em 2004 a produção de minério superou 3,1 milhões t, como foi mencionado, com aumento de 22,5% em relação ao ano anterior. A produção provém, principalmente, das minas do Igarapé do Azul, Buritirama e Corumbá. Apenas a Rio Doce Manganês S. A, subsidiária da CVRD, produziu 2,7 milhões t, com aumento de 21,7% em relação a 2003, incremento que decorreu da expansão da capacidade de produção da mina do Igarapé do Azul para 2 milhões t/ a (ALVES, 2005).

No tocante às ligas FeSiMn, FeMnAc e FeMnAc/Bc, a produção em 2004 foi de 508.000 t (+16% em relação a 2003), quase 60% do primeiro tipo. Foram exportadas 147.000 t de ligas.

A exportação de minério foi de 1,8 milhões t (76% a mais do ano anterior) e o consumo interno cerca de 1,1 milhão t (COSTA, FIGUEIREDO, 2005).

Desde a primeira metade do século XX, o Brasil figura como produtor de manganês. O mina do Morro da Mina ou mina Merid, em Conselheiro Lafaiete e outras, localizadas no Quadrilátero Ferrífero, tiveram grande importância na produção e no suprimento de minério óxido de alto teor durante a segunda guerra e até meados do século XX, quando se esgotaram as variedades mais nobres. Na mesma época, manganês já era produzido na Serra do Urucum, Corumbá, MS e, no final dos anos 1950, foi implantada a mina da Serra do Navio, no Amapá, a mais importante do país. Passou a ser, naquela época, paradigma de empreendimento mineiro em região equatorial. A produção da Serra do Navio destinou-se à exportação, realizada até a exaustão da mina, na década de 1990. A produção acumulada totalizou cerca de 38 milhões t.

No final dos anos 1960, como fruto das campanhas de prospecção e de pesquisa mineral encetadas na região da Serra dos Carajás, foram definidas novas jazidas no sul do Pará: Igarapé do Azul, Buritirama e Sereno. Como consequência direta do desenvolvimento e da mineração de ferro em Carajás, no final dos anos 1980, a mina do Igarapé do Azul passou a ser a mais importante mina de manganês do país, substituindo a quase exaurida mina da Serra do Navio. O minério produzido no Igarapé do Azul seguiu a mesma rota do minério de ferro: a exportação.

Em 2002, foi iniciada a operação da mina de Buritirama, localizada em Marabá, cuja produção em 2004 superou 317.000 t de minério bruto, e 233.000 t minério beneficiado (cerca de 105.000 t Mn contido). Há projeto para expansão para 1 milhão t/a (O PERFIL..., 2005).

No entanto, apesar da significativa produção e exportação, são conhecidas as dificuldades com as quais se defrontam as indústrias siderúrgicas nacionais com o suprimento interno de manganês. Pode-se considerar que a situação é de pseudo-carência de manganês no sudeste-sul do país, região onde se localiza o parque siderúrgico nacional.

As causas deste cenário decorrem dos seguintes fatos:

- ▶ localização geográfica das principais minas no norte e no oeste, muito distantes do pólo siderúrgico;
- ▶ a concepção dos projetos de mineração de manganês, priorizando o mercado externo. As minas da Serra do Navio, Igarapé do Azul e Urucum são bons exemplos: a primeira supriu as siderúrgicas da costa leste norte-americana, até a exaustão; a segunda, acompanha a rota do minério de ferro de Carajás para o exterior e, a terceira, situa-se à margem do rio Paraguai e na bacia do Prata, caminho natural para exportação do minério para a Argentina e outros países;
- ▶ a inexistência de infra-estrutura para o transporte, tanto ferroviário como de navegação de cabotagem, ao longo da costa brasileira, e de manuseio de granéis nos portos, interligando os pólos de produção aos pontos de consumo de minério de manganês;
- ▶ a falta de política de governo contemplando o minério de manganês que, caso tivesse existido, teria evitado a exaustão das minas outrora existentes no Quadrilátero Ferrífero esgotadas antes do advento e desenvolvimento da siderurgia nacional. Essas minas exauridas estariam hoje muito bem localizadas em relação ao pólo siderúrgico. Embora o assunto tenha sido objeto de muitas discussões e propostas, especialmente no âmbito das universidades e dos centros acadêmicos estudantis, foram infrutíferas e tardias as iniciativas de adoção de política para o manganês, visando o suprimento interno.

A carência de manganês no sudeste-sul propiciou o desenvolvimento e o aproveitamento do minério de pequenas minas situadas em Goiás (São João da Aliança, Anicuns), Bahia (Urandi, Licínio de Almeida, Santo Antônio de Jesus) e até os protomínérios do Morro da Mina, que restaram abaixo da zona onde se desenvolvera a exaurida mina de óxidos de alto teor, tornaram-se aproveitáveis para a fabricação de ligas Fe-Si-Mn, mediante processo de calcinação.

das discrepâncias quanto ao seu montante, localiza-se na região de Urucum, Corumbá, Mato Grosso do Sul. A localização dos depósitos é privilegiada, situam-se no âmbito do Mercosul, porém persistem algumas dificuldades técnicas e econômicas para o melhor aproveitamento: a geometria das jazidas e a economicidade da lavra subterrânea de camadas de minério pouco espessas.

2.4 | Minério de Níquel

O níquel é utilizado nas indústrias siderúrgica e metalúrgica em aços inoxidáveis, aços ligas, galvanoplastia e em ligas com metais não-ferrosos (alpaca). As suas aplicações em aços ligas, inox e galvanoplastia, que decorrem das propriedades de resistência do níquel à oxidação, perfazem mais de 80% do perfil do consumo do metal.

Do ponto de vista geoquímico o níquel é um elemento-traço, muito mais raro na crosta da Terra do que o ferro e o manganês. O *clark* do níquel é de 84 ppm e os teores de jazidas situam-se em torno de 1 a 1,5% Ni.

Quadro VIII – Reservas de níquel contido em minérios em alguns países em 2004, milhões t

País	Reserva
Austrália	27
Cuba	23
Canadá	13
Nova Caledônia	12
África do Sul	12
Rússia	9,2
Brasil	8,3
Total mundial	137

Fonte: SILVA, 2005, modificado.

Os depósitos minerais de níquel associam-se a maciços de rochas máficas-ultramáficas (gabros, peridotitos, piroxenitos) que se caracterizam pelo conteúdo em minerais .- silicatos, de ferro

e de magnésio. Os processos geológicos, tanto endógenos como exógenos, que se desenvolvem nessas rochas, favorecem a acumulação de jazidas de níquel, podendo formar dois tipos de minérios:

- ▶ **sulfetados**, caracterizados pela presença de sulfetos de ferro, níquel e cobre; predominam nos minérios os minerais **pirita** – FeS_2 , **pentlandita**.
- ▶ $(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_{8r}$, **pirrotita** – Fe_{1-x}S , (pode conter cobalto) e **calcopirita** – CuFeS_2 , dentre outros. Essa tipologia, também conhecida como **minério Ni+Cu+Co**, permite a produção de níquel, como principal produto, além de cobre, cobalto, platina e platinóides (paládio, ósmio, irídio rênio). Jazidas sulfetadas ocorrem em subsuperfície, sob forma filonar ou maciça. Os minérios apresentam teores da ordem de 1 a 1,5% Ni+Cu+Co, obtendo-se por flotação concentrado “bulk”, contendo cerca de 30% de metais, principalmente níquel, que se destina à pirometalurgia e ao refino eletrolítico. Minérios dessa categoria encontram-se na região de Sudbury, Ontário, Canadá e no Brasil, em Fortaleza de Minas, Minas Gerais, e em Americano do Brasil, Goiás. As minas de níquel sulfetado respondem pela maior parte do suprimento mundial de níquel, destacando-se a Rússia, Austrália e Canadá como os principais produtores (Quadro IX).
- ▶ **silicatadas** ou **lateríticas**, formadas pelo ação do intemperismo, lateritização e enriquecimento supergênico do níquel nas porções superficiais dos maciços máficos-ultramáficos. Essa tipologia é caracterizada pela presença do níquel absorvido ou adsorvido em serpentina, talco e argilo-minerais, genericamente denominados **garnierita**.

A ordem de grandeza dos teores também é de 1 a 1,5% de Ni e alguns minérios permitem a recuperação do cobalto contido na **asbolana** (nódulos de óxidos de manganês contendo cobalto, também de origem laterítica), como subproduto. Jazidas e minas de níquel laterítico ocorrem em diversos países: Nova Caledônia, Brasil, Colômbia (Cerro Matoso), Cuba e República Dominicana, dentre outros. O aproveitamento e o beneficia-

mento dos minérios silicatados é mais complexo, se comparado aos sulfetados. Como não existe tecnologia para a obtenção de concentrados de silicatos, há necessidade da produção de um produto intermediário (*midlling*), como o FeNi, em forno elétrico, na boca-da-mina. Outra rota é a hidrometalúrgica produzindo-se, por exemplo, carbonato de níquel na mina. Posteriormente, tanto o FeNi como o carbonato de níquel podem ser submetidos à eletrólise para obtenção do níquel eletrolítico em unidades metalúrgicas. O FeNi pode ser usado diretamente na obtenção de aço inoxidável.

As reservas mundiais de níquel são estimadas em 137 milhões t Ni contido, destacando-se aquelas existentes na Austrália, Cuba e Canadá (Quadro VIII).

A produção de níquel, a exemplo dos demais recursos minerais e metais, tem crescido nos últimos anos, observando-se ainda a elevação dos preços. Em 2004 foram produzidas 1,42 milhões t Ni, com acréscimo superior a 6% em relação ao ano anterior (Quadro IX).

Quadro IX – Produção de níquel em alguns países, 2004, mil t

País	Produção	% total mundial
Rússia	315	22
Austrália	210	14,7
Canadá	180	12,6
Indonésia	144	10
Cuba	75	5,3
Total mundial	1.420	

Fonte: SILVA, 2005, modificado.

MINÉRIO DE NÍQUEL NO BRASIL

São comuns as mineralizações de níquel no país, fato decorrente da existência de diversos maciços de rochas máficas e ultramáficas situados, principalmente, na região central do país, nos estados do Pará, Goiás e Minas Gerais (ABREU, 1973; FERRAN, 1974; SCHOBENHAUS FILHO, 1986; NILSON et al., 1986;. CRUZ et al., 1986; PEDROSO, SCHMALTZ, 1986; BAETA

JÚNIOR, 1986; ALVES et al., 1986; BERBERT, 1986; SANTOS, 1986; HEIM, CASTRO FILHO, 1986; CASTRO FILHO, MATTOS, 1986; BERBERT, 1986; MANO, KAHN, 2000).

Cerca de uma dezena dessas mineralizações constituem jazidas, destacando-se como as mais importantes aquelas de tipologia silicatada/laterítica situadas em Niquelândia, Barro Alto, Vermelho, Onça-Puma e São João do Piauí, além de Morro do Níquel, Liberdade e Ipanema, desativadas. A jazida de Americano do Brasil e a mina de Fortaleza de Minas são do tipo sulfetado, porém de menor porte.

As reservas de níquel no Brasil são estimadas em 8,3 milhões t, uma das mais importantes do mundo (Quadro VIII).

Há minas em operação em Niquelândia (Jacuba 1 e 3, Corriola Central e Sul, Córrego da Fazenda, Buriti, Fruta de Lobo, Mica Verde, Serra Pelada), em Barro Alto e em Fortaleza de Minas. Encontram-se na fase de desenvolvimento e de implantação novas minas em Niquelândia (Cachimbo 1 e 2, Fazenda Norte, Angiquinho, Morro Seco) e em Americano do Brasil, em Goiás; a do Vermelho, situada a 15 km da mina de cobre do Sossego e 7 km das minas de ferro da serra dos Carajás; Onça-Puma, Ourilândia do Norte, no Pará; São João do Piauí, no Piauí. A mina de Fortaleza de Minas encontra-se em processo de reavaliação e a jazida de Americano do Brasil, em desenvolvimento. A mina do Morro do Níquel, situada em Pratápolis, MG, foi desativada na década de 1990 devido à exaustão do minério. Morro do Níquel durante décadas se constituiu na mina de níquel no país, e o aproveitamento do minério silicatado ali existente, mediante a produção de FeNi, tornou-se possível graças ao fornecimento de energia elétrica proveniente da Usina Hidroelétrica de Furnas, situada na mesma região. Em passado mais remoto ocorreram iniciativas de produção de níquel em Liberdade e Ipanema, também em Minas Gerais.

Por enquanto, ocorre produção de minério em Niquelândia, GO, onde operam a CNT – Companhia Níquel Tocantins/VM – Votorantim Metais e CODEMIN/Anglo American Brasil;

em Fortaleza de Minas, onde opera a Mineração Serra da Fortaleza/VM; e em Barro Alto, onde atua a BAMISA – Barro Alto Mineração/Anglo American Brasil. O minério de Barro Alto é transportado para Niquelândia onde é agregado àquele produzido pela CODEMIM.

Para o aproveitamento do minério silicatado são adotadas duas rotas para obtenção de produtos intermediários: FeNi e carbonato de níquel, posteriormente, transferidos para transformação em unidades metalúrgicas. A partir do carbonato é produzido níquel metálico e recuperado cobalto, como sub-produto, na Companhia Nitro-Química/VM de São Miguel Paulista. Em Fortaleza de Minas, via rota de flotação e pirometalurgia é produzido matte contendo níquel, cobre e cobalto, além de pequena quantidade de platinóides. O matte é exportado.

A produção nacional em 2004 foi de 33.100 t Ni contido em carbonato e matte que, acrescida de níquel contido em FeNi, totalizaria em 47.446 t com a perspectiva de forte ampliação nos próximos anos (ALVES, 2005; SILVA, 2005).

Quadro X – Produção de minério de níquel, produtos intermediários e níquel metálico

EMPRESA	Minério processado	P. intermed.	Ni contido, Ni ⁰
CODEMIN/ANGLO BAMISA/ANGLO	528.000 t 227.000t (1)	20.326t FeNi	6.100t Ni cont.
SERRA FORTALEZA/VM	406.810 t		5.765 t Ni cont.
CNT/VM	1.994.752 t	44.1244	19.700 t Ni ⁰

Fonte: O PERFIL..., 2005. (1) SILVA, 2005

Na unidade de São Miguel Paulista/VM, além de níquel foram recuperadas 1.155 t Co.

A produção nacional de minério e de níquel metálico apresentou expressivo aumento nos últimos cinco anos. O cenário continua promissor com o desenvolvimento de diversos novos projetos e com a ampliação da capacidade das minas e das unidades metalúrgicas já existentes. A CODEMIN deverá ampliar a capacidade de produção da sua unidade de Niquelândia para 10.000 t/a Ni contido e até 2009, quando da plena operação da mina de Barro Alto, e deverá atingir cerca de 40.000 t/a. O conjunto da CNT/ VM, incluindo as minas de Niquelândia, de Fortaleza de Minas e a unidade metalúrgica de São Miguel Paulista, deverá produzir 23.000 t/a Ni. Afigura-se, ainda, como promissora, a existência de minério sulfetado nos horizontes mais profundos nas minas da CNT em Niquelândia, abaixo da tipologia silicatada/laterítica.

O projeto Vermelho da CVRD, previsto para 2005, deverá contemplar 46.000 t/a níquel, 2.800 t de cobalto, além de cobre. As reservas atingem 290 milhões t a 0,8% Ni e a escala de produção prevista é de 5,8 milhões t/a de minério que será submetido à rota extrativa hidrometalúrgica.

O projeto da MOP – Mineração Onça-Puma, da Canico Resources, previsto para 2008, deverá contribuir com 30.000t/a Ni contido em FeNi. As reservas parametrizadas para *cut-off* 1% Ni totalizam 98 milhões t (REIS, 2005)¹.

Desenvolvem-se, ainda, os projetos da Prometalica Mineração Ltda., que venceu a licitação para a lavra e a produção de concentrados de níquel e cobre em Americano do Brasil (com reservas de 4,2 milhões t a 1,5% Ni+Cu+Co), o da CVRD em São João do Piauí e da Falconbridge do Brasil Ltda., na Serra do Tapa e no Vale dos Sonhos, no sul do Pará. A previsão é de que venham a ser produzidas, até o final da primeira década de 2000, cerca de 100.000 t Ni no Brasil

Em 2004 foram exportadas cerca de 12.300 t Ni eletrolítico, 3.190 t de FeNi e 11.700 t de matte. No mercado interno foram con-

¹ A jazida de Onça-Puma foi adquirida pela Companhia Vale do Rio Doce – CVRD, no final de 2005.

sumidas cerca de 7.400 t Ni eletrolítico e 17.600 t FeNi, principalmente pela ACESITA, produtora de aço inox.

2.5 | Minério de Cromo – Cromita

A **cromita** (fórmula ideal FeCr_2O_4) é o único mineral contendo óxido de cromo que apresenta interesse econômico e possibilidade de aproveitamento. O minério, após o beneficiamento, é comercializado em concentrados de óxido de cromo ou como liga FeCr.

Os usos da cromita são diversificados: é utilizada na siderurgia e ligas, seus usos principais, mas encontra ainda outras aplicações na fabricação de refratários e na indústria química, na obtenção de cromatos para tintas anti-corrosão.

O cromo é um elemento – traço na crosta terrestre, *clarcke* de 0,035%. Os teores que viabilizam o aproveitamento econômico situam-se acima de 25% Cr_2O_3 .

Jazidas de cromita associam-se a maciços máficos-ultramáficos já mencionados no tópico referente ao níquel.

A cromita pertence ao grupo de minerais óxidos da família dos **espinélios**, caracterizados pela fórmula AB_2O_4 contendo variáveis de ferro, cromo, alumínio e magnésio, que podem ocupar as posições *A* ou *B*, dependendo do estado de valência. Nos espinélios são comuns as soluções – sólidas entre os minerais óxidos e, em consequência das diversas possibilidades de substituição entre os elementos, é muito rara a ocorrência do mineral cromita, puro. A composição variável dos espinélios, caracterizados pela co-existência no mesmo minério de óxidos dos elementos acima referidos, favorece as suas diversas aplicações industriais: os minérios contendo ferro e cromo encontram uso na siderurgia, na produção de aço inoxidável; as variedades contendo cromo e alumínio são usadas em refratários básicos; e os tipos mais ricos em cromo são os mais procurados para a indústria química. Por isso, os minérios de cromita classificam-se nos graus metalúrgico, refratário e químico.

No setor siderúrgico o minério de cromita tem aplicações na produção de ligas FeCr (12 a 18% Cr), insumo para os aços inoxidáveis. Para esse uso, os minérios devem conter o mínimo de 48% Cr_2O_3 , relação Cr/Fe > 2,8 e baixos teores de enxofre, sílica e fósforo. A África do Sul lidera a produção mundial de FeCr, uma decorrência do seu grande potencial em cromita.

Na confecção de refratários básicos, também muito utilizados em metalurgia e siderurgia, são usadas misturas de cromita com magnesita calcinada. Para essa finalidade, são utilizados os espinélios, onde a somatória de $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ (ambos óxidos refratários) deve superar 60%, com baixo Fe e Si.

Os recursos e as reservas de cromita têm distribuição restrita e estão acumulados em poucos territórios. As reservas mundiais são estimadas em 1,8 bilhões t Cr_2O_3 contido, localizadas no Casaquistão (26% do total), África do Sul (11%), Índia, Turquia, Zimbábwe, Finlândia e Albânia. As reservas brasileiras são da ordem de 7,6 milhões t de minério com teores variáveis entre 15 e 26% Cr_2O_3 , cerca de 0,4% das reservas mundiais (GONÇALVES, 2005).

A produção mundial de concentrados de cromita em 2004 foi de 17 milhões t, com expressivo crescimento de 9,7% em relação ao ano anterior. África do Sul, Casaquistão e Índia foram os principais produtores (Quadro XI).

Quadro XI – Produção de cromita em alguns países, 2004, milhões t de Cr_2O_3 contido.

África do Sul	8,0 (47,1 %)
Casaquistão	3,2 (18,8%)
Índia	2,3 (13,5%)
Brasil	0,25 (1,5%)
Total mundial	17,0

Fonte: GONÇALVES, 2005, modificado.

Praticamente todo o potencial nacional de recursos e as reservas de cromita estão localizados no estado da Bahia, nas regi-

ões de Campo Formoso, Santa Luz, Cansanção e Andorinha. Situam-se nessas localidades as principais minas, responsáveis por 80% da produção brasileira. Destacam-se as empresas mineradoras Companhia Ferro Ligas da Bahia – FERBASA (minas Coitizeiro, Pedrinhas e Andorinha), que detém 95% da produção nacional, e a Magnesita S.A (mina Fazenda Pedras Pretas, em Santa Luz, com capacidade 44.000t/a). O restante da produção provém dos estados do Amapá, onde atua a Mineração Vila Nova Ltda, no Igarapé do Breu, e de Minas Gerais. São registradas ocorrências em diversos pontos do país, especialmente nos estados de Goiás, Minas Gerais, Pará e Bahia (ABREU, 1973; QUEIRÓZ, 1986; DUARTE, FONTES, 1986; MELLO et al., 1986; CARVALHO FILHO et al., 1986).

A produção nacional em 2004 foi de 259.100 t Cr_2O_3 contido em concentrados e minério granular (*lump*), com incremento de cerca de 75% em relação a 2003 (ALVES, 2005).

Nas jazidas nacionais predominam os espinélios de ferro e cromo, mais adequados para uso metalúrgico, fato que propiciou o desenvolvimento do importante pólo produtor de liga FeCr no estado da Bahia. A produção de ligas FeCrAc, FeCrBc e FeSiCr foi de 216.000 t em 2004. A ACESITA é a principal empresa consumidora (GONÇALVES, 2005).

Por outro lado, não há produção interna de cromita grau químico e são raros os depósitos com especificações para refratários, decorrendo dessa carência a necessidade de importação de variedades específicas de cromita e de produtos acabados (20.000 t Cr_2O_3 contido em 2004). Algumas poucas e pequenas minas de cromita para refratários, exauridas pelo menos nas porções superficiais contendo minério eluvial, já foram exploradas no sul do estado de Goiás.

Em 2004 a FERBASA produziu 1,13 milhões t de minério bruto e, após beneficiamento, 253.000 t de cromita granular (“lump”), 191.000 t de concentrados de cromita e 17.500 t de areia de cromita, além de 188.800 t de ligas de cromo e 53.800 t de FeSi.

A Mineração Vila Nova Ltda. projeta o aumento da produção

na mina do Amapá com o desenvolvimento de mineração subterrânea.

2.6 | Minério de Nióbio (e tântalo)

O nióbio (colúmbio) é um metal de uso relativamente recente na indústria moderna, principalmente, em aços de elevada resistência (aços microligados ou “HSLA”), aços inoxidáveis e superligas, dentre outras aplicações. O consumo em aços microligados supera 80% da demanda total de nióbio.

O metal nióbio é componente de diversos materiais e de equipamentos de última tecnologia, como tomógrafos, dispositivos óticos e ligas supercondutoras.

A vinculação entre nióbio e tântalo decorre da presença dos dois metais no mineral **columbita-tantalita** – $(Fe, Mn)(Nb, Ta)_2O_6$ – do qual ambos podem ser recuperados. Cerca de 60% do uso do tântalo se destina a capacitores usados em dispositivos eletrônicos, além de usos em próteses cirúrgicas e em odontologia.

O processo hidrometalúrgico de extração do tântalo da columbita-tantalita permite recuperar o óxido de nióbio como subproduto.

O nióbio é um elemento – traço na crosta terrestre, com *clarcke* de 20 ppm. Os teores em minérios variam entre 0,3 a 1% Nb_2O_5 , podendo atingir teores excepcionais da ordem de 3% Nb_2O_5 em algumas jazidas, como aquelas existentes em Araxá, MG.

Depósitos minerais de nióbio ocorrem em dois ambientes geológicos distintos: em pegmatitos de filiação granítica e em maciços alcalinos, decorrendo da origem, duas tipologias de minérios:

► **columbita-tantalita**, mineral associado a litologias de composição granítica, especialmente, pegmatitos (PEGMATITOS..., 2003) e greissen. No passado a columbita-tantalita foi a principal fonte de nióbio, tendo sido substituída pelo **pirocloro**. No entanto, a columbita-tantalita permanece como fonte de **tântalo** e, secundária, de nióbio. Outra fonte de tântalo são

as **escórias tantalíferas**, resultantes da metalurgia do estanho contido em cassiterita. Os concentrados de cassiterita podem conter quantidades apreciáveis de columbita-tantalita, mineral que também se acumula nas jazidas residuais do tipo placer, devido a sua resistência ao intemperismo e ao elevado peso específico. Decorre desse fato a presença de columbita-tantalita em associação com cassiterita; e

- ▶ **pirocloro** – $(\text{Na}_2, \text{Ca}) (\text{Nb}, \text{Ti}) (\text{O}, \text{F})_7$ – mineral que ocorre em maços alcalinos carbonatíticos, neoformado por processos supergênicos e lateríticos. A variedade de pirocloro mais comum nas jazidas brasileiras é o **báriopirocloro** ou **pandaíta** – $(\text{Ba}, \text{Sr})_2 (\text{Nb}, \text{Ti}, \text{Ta})_2 (\text{O}, \text{OH}, \text{F})_7$. Na pandaíta, os cations de Na^+ e Ca^{++} estão substituídos pelo Ba e Sr.

A definição de jazidas de pirocloro muito mais volumosas e menos erráticas do que aquelas de columbita-tantalita em pegmatitos, bem como o desenvolvimento de rotas tecnológicas para a recuperação do Nb metálico nele contido, tornaram a pandaíta a principal fonte de nióbio.

Os produtos intermediários transferidos e comercializados entre a mina e as usinas metalúrgicas são os concentrados contendo 58% Nb_2O_5 e FeNb standard, base 65% Nb contido.

Minério de nióbio é produzido em alguns poucos países: Brasil, Canadá, República do Congo, Austrália e Nigéria (Quadro XII). As reservas mundiais são estimadas em 4,6 milhões t Nb_2O_5 , quase totalmente localizadas no Brasil: cerca de 4,5 milhões t Nb_2O_5 da tipologia pandaíta.

A produção mundial em 2003 foi estimada em 41.500 t, um pouco mais de 37.700 t obtidas no Brasil (SILVA, 2005).

Quadro XII – Produção de nióbio, 2004

Brasil	37.707 t	91%
Canadá	3.400 t	
Austrália	250 t	
Congo/Kinshasa	50 t	
Nigéria	30 t	
Total mundial	41.580 t	

Fonte: SILVA, 2005, modificado

MINÉRIO DE NIÓBIO NO BRASIL

O Brasil destaca-se no cenário mundial como território detentor de grandes reservas de minério de nióbio de alto teor: cerca de 97% do total mundial, além de um enorme potencial de recursos a ser definido. É, também, o principal produtor e exportador de nióbio. Em 2004 a produção brasileira foi de 37.000 t Nb_2O_5 contido, como já foi mencionado, grande parte exportada (ALVES, 2005).

Três minas, a do Barreiro, em Araxá, Minas Gerais, concessão da CBMM – Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração, e as de Chapadão e Boa Vista, em Catalão, e Ovidor, no sul do estado de Goiás, da Anglo American Brasil/Mineração Catalão de Goiás, possibilitam a manutenção desta liderança.

Minérios de pirocloro são abundantes em algumas das intrusões alcalinas existentes no território nacional, particularmente naquelas de Araxá e Catalão/Ovidor. Além disso, há grande potencial de recursos em outras intrusões, como no Morro dos Seis Lagos, município de São Gabriel da Cachoeira, Amazonas, além de Tapira, Salitre e outros maciços alcalinos da região do Alto Paranaíba, em Minas Gerais (SILVA, 1985; SCHOBENHAUS FILHO, 1986; CARVALHO, BRESSAN, 1997; MELO, 1997; MELLO et al., 1997).

Uma estimativa do montante dos recursos de minério de nióbio nos principais depósitos do Brasil, baseada em dados compilados de SILVA (1986), GIERTH e BAECKER (1986) e de JUSTO

e SOUZA (1986), relevando-se os diferentes critérios adotados na pesquisa mineral, indica uma tonelagem superior a 4.200 milhões t (Quadro XIII).

Quadro XIII – Recursos e teores de minério de nióbio no Brasil (*)

Barreiro, Araxá, MG.	Minério residual	461 a 2,5% Nb ₂ O ₅
	Minério primário	936 a 1,57% Nb ₂ O ₅
Catalão, GO.	Minério residual	31 > 0,5% Nb ₂ O ₅
M. Seis Lagos, AM.	Minério residual	2.897 a 2,8% Nb ₂ O ₅

(*) Compilado de SILVA, 1986; GIERTH e BAECKER, 1986; JUSTO e SOUZA, 1986, modificado.

As reservas são estimadas em 4,5 milhões de t Nb₂O₅ contido, 96% das quais situadas em Minas Gerais (SILVA, 2005).

Em Araxá opera a CBMM, cuja concessão conta com reservas de 258 milhões t de minério de pirocloro, com teor de 3% Nb₂O₅ e capacidade instalada de 2,5 milhões t/a . Em 2004 a produção da CBMM foi de cerca de 1,7 milhões t de minério, 56.100 t de concentrados (2003) e outros produtos de maior valor agregado como FeNb standard (66% Nb), NiNb e ligas especiais, nióbio metálico (99,9% Nb₂O₅), óxido de alta pureza (99% Nb₂O₅) e óxido grau ótico (99,8% Nb₂O₅). A exportação da empresa foi de 20.000 t Nb contido (O PERFIL..., 2005).

Nas duas outras localidades, ambas no estado de Goiás, opera a Mineração Catalão de Goiás, controlada pela Anglo American Brasil Ltda, cujas reservas superam 5 milhões t de minério. A produção em 2004 foi de 5.200 t Nb₂O₅ contido em concentrados.

A tipologia columbita-tantalita, já mencionada, perdeu o significado como a principal fonte de nióbio. Mantém, no entanto, importância como minério de tântalo. Durante muitos anos o minério de columbita-tantalita foi produzido em pegmatitos na região de São João Del Rei, MG, atualmente exauridos, pelo menos nas porções superficiais enriquecidas e de lavra mais fácil. Outras fontes de columbita-tantalita localizam-se nas províncias

pegmatíticas da Borborema, PB/RN (PEGMATITOS...2003) e no leste de Minas Gerais, nas regiões de Teófilo Otoni e Araçuaí, com produção intermitente em garimpos, decorrente da procura pelas gemas. Ocorre, ainda, associada com cassiterita nos aluviões e nos granitos estaníferos da Amazônia.

O principal projeto de mineração de columbita-tantalita e de produção de óxidos de tântalo e de nióbio no Brasil é conduzido pela Mineração Taboca/Paranapanema S. A., na mina do Pitinga, Presidente Figueiredo, no do estado do Amazonas. As reservas da tantalita na região do Pitinga montam a 88.000t, correspondendo a 46 % do total nacional. A produção em 2003 foi de 178 t Ta₂O₅ e 1.378 t de FeNb (HEIDRICH, 2005).

2.7 | Minério de Tungstênio

O tungstênio (ou *wolfrâmio*) é utilizado como componente de *aços rápidos* e de *vidia* (carbeto de tungstênio), ambas matérias com propriedades cortantes. Tem, ainda, aplicações em eletricidade, em filamentos de lâmpadas incandescentes e em produtos químicos. Os usos metalúrgicos perfazem mais de 70% da demanda de tungstênio.

A produção mundial é estimada em 59.500 t W contido em concentrados, em liga FeW ou em ATP – paratungstato de amônio. O principal produtor é a China, seguida do Canadá, Rússia e Estados Unidos. As reservas são estimadas em 4,2 milhões t W contido, cerca de 67% delas situadas na China (NESI, 2005).

São conhecidas duas tipologias de minérios de tungstênio, ambas associadas a maciços graníticos:

- ▶ **scheelita** ou **xilita** (CaWO₂), que se acumula em depósitos em zonas de metamorfismo de contato entre granitos e rochas carbonatadas (tactitos); e
- ▶ **wolframita** – (Fe,Mn)WO₄, variedades **ferberita** (maior quantidade de ferro) e **huebnerita** (predominância de manganês), mineral que forma depósitos associados às fases finais de solidificação de maciços graníticos.

No Brasil são conhecidas várias ocorrências e depósitos, tanto de scheelita, como de wolframita (ABREU, 1973). As minas de scheelita que operavam na região de Currais Novos foram desativadas no final da década de 1980, por falta de competitividade com a mineração de tungstênio da China.

Minério de wolframita chegou a ser produzido em São Paulo, na mina Inhandjara, em Itupeva, em Santa Catarina em Nova Trento, durante a segunda guerra, e no sul do Pará, nessa última localidade como co-produto da cassiterita.

O Brasil chegou a figurar entre os principais produtores e exportadores mundiais de tungstênio, principalmente, durante a Segunda Guerra, mas a produção atual é praticamente inexistente – de cerca de 9 t W contido em concentrados na mina Bodó, RN, a única em operação no país (NESI, 2005).

As reservas nacionais são modestas, estimadas em 8.530 t W contido, 63% das quais situadas no estado do Rio Grande do Norte. Apesar desse cenário, o Brasil dispõe de ambientes geológicos favoráveis à acumulação de depósitos de tungstênio.

Diversos produtos manufaturados contendo W são importados, destacando-se ligas FeW e FeSiW.

2.8 | Minérios de Metais Ferrosos "Menores" – Cobalto, Molibdênio e Vanádio

2.8.1 COBALTO

O cobalto é usado em ligas magnéticas e em catalizadores na indústria química.

Não existe minério isolado de cobalto e esse metal é obtido como subproduto, via recuperação secundária, de alguns tipos específicos de minérios de cobre e de níquel. As suas principais fontes são os minérios de cobre existentes no *Copper Belt* do Centro da África, no Zaire e na República do Congo, e os minérios de níquel, tanto do tipo sulfetado como silicatados/lateríticos, já referidos anteriormente. O Canadá lidera a produção, superando os países do centro da África, sempre conturbados

por lutas internas, embora no passado tenham sido importantes fornecedores de cobalto.

No Brasil o cobalto é recuperado como subproduto do minério de níquel de Niquelândia, onde ocorre na asbolana, associada ao minério laterítico. A VM recupera o cobalto no processo de obtenção de níquel eletrolítico nas instalações de São Miguel Paulista: 1.155 t Co em 2004, como já foi mencionado. Uma certa quantidade de cobalto encontra-se contida no matte produzido em Fortaleza de Minas, que é exportado (O PERFIL..., 2005).

O cobalto ocorre, também, associado aos minérios sulfetados de níquel de Americano do Brasil, contido em **pirrotitas cobaltíferas**.

Afigura-se como promissora a perspectiva de que a produção nacional de cobalto supere 6.000 t quando da posta-em-marcha dos diversos novos projetos e ampliações da produção de níquel. Apenas o projeto Níquel do Vermelho, da CVRD, previsto para ser iniciado em 2005, deverá contemplar 2.800 t/a Co.

2.8.2 MOLIBDÊNIO

O molibdênio é utilizado na metalurgia em aços especiais micro-ligados (como o nióbio e o vanádio), na indústrias automobilística, química e de vidro, como catalizador. Existem poucas minas de minério de **molibdenita** (MoS_2), a exemplo da legendária Climax, nos Estados Unidos e a Endako, no Canadá. A maior parte da produção primária de molibdênio provém da recuperação secundária de minérios de cobre do tipo disseminado ou porfirítico, bastante comuns em minas situadas na Cordilheira dos Andes e nas Montanhas Rochosas. É significativa, ainda, a reciclagem do molibdênio usado como catalizador.

As reservas mundiais são estimadas em 19 milhões t de Mo contido, situadas na China (43%), Estados Unidos (28%) e Chile (13%), dentre outros países. A produção em 2003 foi estimada 127.000 t, destacando-se os Estados Unidos como principal produtor (27%), seguido de perto pelo Chile (24%), países que também lideram a produção de cobre.

O Brasil importa molibdênio, sendo raras as ocorrências do metal no país. O registro mais significativo é o da presença de molibdênio associado aos minerais de cobre de Salobo, PA, cujo montante é estimado em cerca de 110.000 t Mo contido, com teores de dezenas de g/t. Outras ocorrências associam-se a granitos na Serra do Mel, Roraima e no Morro do Baú, Santa Catarina, à scheelita em Currais Novos, RN, aos minerais de urânio de Poços de Caldas, MG, e às mineralizações de esmeralda em Carnaíba, Bahia.

2.8.3 VANÁDIO

O vanádio é usado em aços e como catalizador na indústria petrolífera e química. A principal fonte primária desse metal são minérios de **magnetita-titanífera-vanadinífera**. Além disso, alguns tipos de minérios de urânio contêm vanádio.

As reservas são estimadas em 38 milhões t V_2O_5 , cujo maior montante encontra-se na China (36%) e na África do Sul (31%). A China é o maior produtor de vanádio.

Não existe produção de vanádio no Brasil e a demanda, estimada em 1.300 t de FeV e de outros produtos acabados, depende de importação. No entanto, são conhecidos no país depósitos de magnetitas-titaníferas-vanadiníferas no Morro da Carlota, Campo Alegre de Lourdes e em Jequié, na Bahia, com recursos apreciáveis. Nessa última localidade, o depósito da Fazenda Gulçari foi objeto de pesquisa mineral e de investigações tecnológicas promovidos pela CBPM – Companhia Baiana de Pesquisas Minerais e empresas privadas. A reserva nacional é estimada em 166.000 t V contido (COSTA, 2005).

3 | MINÉRIO DE SILÍCIO – QUARTZO E ROCHAS QUARTZOSAS

O **quartzo** (SiO_2), as rochas quartzosas e o silício metálico apresentam uma grande diversidade de aplicações: areia para construção, filtros, cerâmica, fabricação de vidro, ligas, silicone, dispositivos óticos, padrão de medidas físicas e chips para a microeletrônica, citando apenas alguns usos. A diversidade de usos decorre das propriedades físicas e químicas do quartzo (abrasividade, dureza, inércia, piezoeletricidade, reatividade).

No setor metalúrgico e siderúrgico o silício é utilizado na fabricação de ferroligas e no processo de obtenção de alumínio, a sílica em refratários silicosos e a areia em moldes de fundição.

O silício é um dos elementos maiores da crosta da Terra e componente dos minerais silicatados presentes nas rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. Apesar da abundância de minerais silicatos, o quartzo é o mineral mais utilizado na metalurgia.

O quartzo acumula-se nas rochas quartzosas, principalmente nas areias e nos quartzitos. A variedade de minério de quartzo mais valiosa e procurada para as aplicações mais nobres e de alta tecnologia são os cristais ou suas lascas, devido ao grau de pureza e baixo conteúdo de contaminantes. As lascas de cristais constituem a semente para a produção do quartzo cultivado.

Quartzo e rochas quartzosas são abundantes no Brasil, que se destaca como produtor/exportador de lascas, silício metálico e de ferroligas à base de silício (Quadro II). Em 2004 a produção de silício metálico superou 113.600 t (ALVES, 2005) e a de lascas de quartzo é estimada em 7.000 t. Destacam-se como empresas produtoras de silício metálico a CBCC (quase 57.00 t em 2004) e a Camargo Correa. A disponibilidade de minérios quartzosos e de energia levaram o país a uma posição de destaque no cenário mundial de Si^0 e de ligas à base de silício.

4 | DISPONIBILIDADE, SUPRIMENTO E DEMANDA DE MINÉRIOS NÃO-FERROSOS

Os recursos minerais não-ferrosos são utilizados em diversos segmentos do setor metalúrgico, em grande número de aplicações.

Neste tópico serão examinados os minérios de alumínio, cobre, estanho, chumbo, zinco e os subprodutos, tais como cádmio e prata. Outros metais não-ferrosos especiais, obtidos geralmente como subprodutos do refino dos metais principais, serão examinados com menor ênfase.

Os minérios de metais não-ferrosos, também denominados **metais base** – tradução de *base metals* – são muito importantes do ponto de vista dos seus usos, valor e características tecnológicas que permitem atender amplos setores industriais. Alguns dos metais desse grupo tornaram-se melhor conhecidos há algumas décadas. É o caso do alumínio, que pode ser considerado o “metal do século XX”: praticamente desconhecido no início do século, no final da década de 90 a sua produção aproximava-se dos 20 milhões t, passando a ser um dos metais mais consumidos pelo homem. Outro importante uso dos não-ferrosos é a cunhagem de moedas: na década de 1990, para a cunhagem de 16 milhões de moedas, nos Estados Unidos, foram consumidas 18.000 t de cobre, 122.000 t de zinco e 13.200 toneladas de níquel.

Os metais não-ferrosos apresentam elevado valor de mercado, constituindo-se em *commodities* de consumo diversificado. São comercializados em bolsas de metais, como a LME – *London Metal Exchange*, COMEX, Pennang e outras. Residem nas características do mercado e do consumo amplo as diferenças entre os minérios e metais não-ferrosos e os ferrosos, os últimos mais estáticos do ponto de vista econômico e da demanda centralizada.

Outra característica dos metais não-ferrosos é a recuperação secundária e a reciclagem. Na Alemanha são reciclados 95% do chumbo de baterias; 40% das chapas estanhadas; 40% do alu-

mínio; 38% do cobre e 18% do zinco. No Brasil, merece destaque o elevado índice da reciclagem das latinhas de alumínio. Jazidas de minérios não-ferrosos ocorrem em ambientes geológicos específicos, em geral diferentes daqueles em que se acumulam os minérios ferrosos. Nesse grupo também são observadas interessantes afinidades geoquímicas, especialmente com o enxofre (elementos **calcófilos**) e entre Al-Ga, Cu-Mo-Co-Au-Ag-Se-Te, Cu-Ni-Co-Pt, Sn-Cu-Zn-Pb, Pb-Zn-Ag-Au e Zn-Cd-Ga. Em muitas minas são explorados **minérios polimetálicos** contendo minerais compostos por vários elementos, o que permite a recuperação de co-produtos e de subprodutos nas operações metalúrgicas e de refino. Jazidas polimetálicas são conhecidas ao longo da Cordilheira dos Andes (Peru, Bolívia), nas Montanhas Rochosas (Estados Unidos e Canadá), no sul da Inglaterra (Cornwall), na Rússia, Austrália e na China, por exemplo.

A complexa composição dos minérios polimetálicos exige a utilização de rotas seletivas de beneficiamento, de concentração e de metalurgia extrativa, que devem permitir a perfeita separação entre os minerais para que os metais venham apresentar a pureza adequada à comercialização, em grau *standard* ou *high-grade*.

No Brasil observa-se cenário bastante favorável quanto à disponibilidade de minérios não-ferrosos, sendo grande o montante das reservas e o potencial de recursos. Há importante produção, consumo interno (Quadro XIV) e capacidade instalada, tanto de mineração como de metalurgia de minérios e de metais não-ferrosos, atendendo à demanda interna e permitindo a exportação. No presente ainda acontece importação de cobre, situação que está sendo mudada com o aporte da produção da mina do Sossego, na região da Serra dos Carajás, posta em marcha em meados de 2004, além de outros projetos em desenvolvimento que virão reforçar, brevemente, a produção interna. A produção de chumbo primário decorre da sua recuperação como subproduto de minérios de zinco, explorados na mina de Morro Agudo. Todas as minas de minérios de chumbo

no país estão esgotadas e o potencial de recursos é pequeno. No entanto, a dependência de importação é atenuada com o elevado índice de reciclagem do metal.

Bauxita – alumina – alumínio, estanho e zinco são produzidos em quantidades significativas, permitindo exportação. No segmento da bauxita – alumina – alumínio e do estanho o Brasil destaca-se como importante produtor mundial.

Quadro XIV – Produção de Metais Não-Ferrosos no Brasil, 2003 e 2004, em t

Metal	2004	2003
Alumínio	1.457.400	1.380.600
Cobre	208.019	173.378
Estanho	11.512	10.761
Níquel	31.998	30.513
Zinco	265.987	257.530

Fonte: ALVES, 2005, modificado

4.1 | Minério de Alumínio – Bauxita

Bauxita é a denominação do minério de alumínio, constituído por uma mistura de óxidos hidratados de alumínio ($Al_2O_3 \cdot nH_2O$), além dos contaminantes, principalmente sílica, óxidos de ferro e silicatos de alumínio. A bauxita é de origem laterítica, formada próximo da superfície pela ação do intemperismo químico sobre rochas aluminosas, que constituem o substrato do terreno. As condições fisiográficas, clima e morfologia da região e a natureza das “rochas-mãe”, em especial aquelas isentas ou com pouco quartzo livre, são fatores que favorecem a acumulação de bauxita de boa qualidade. As minas de bauxita situam-se em planaltos (Poços de Caldas e Saracá, na região do Trombetas, são exemplos), fato que demonstra a importância da morfologia do terreno. No Brasil a bauxita acumula-se em decorrência da lateritização de rochas argilosas (jazidas Baixo Amazonas, Trombetas, Paragominas e Jabuti), de rochas alcali-

nas (Poços de Caldas), de xistos (Mirai e Cataguazes). São ainda conhecidas acumulações de bauxitas sobre margas e calcários, caso dos depósitos da Jamaica.

Considera-se minério para uso metalúrgico a bauxita com teor superior a 40% Al_2O_3 *aproveitável* ou *disponível*, o que significa de óxidos de alumínio recuperáveis no processo Bayer, que é a rota de extração universalmente utilizada na obtenção de **alumina**. Os contaminantes devem se apresentar em baixos teores: no máximo 4-5% SiO_2 de sílica reativa (silicatos), além de ferro e titânio. Do ponto de vista mineral, a bauxita é constituída por uma mistura de óxidos mono, di e tri-hidratados de alumínio denominados, respectivamente, **diásporo**, **bohemita** e **gibbsita**. A **caulinita**, silicato de alumínio, é frequentemente associada à bauxita, pois forma-se no mesmo ambiente de lateritização, é impureza indesejável na bauxita porque acarreta dificuldades ao processo Bayer. Por essa razão, a bauxita é caracterizada pelo teor de Al_2O_3 disponível, o que corresponde ao conteúdo dos óxidos recuperáveis no citado processo. Cuidados especiais são devotados à sílica presente na bauxita, que não deve se apresentar sob a forma de silicatos. A bauxita produzida na MRN – Mineração Rio do Norte, por exemplo, apresenta 49,3% de Al_2O_3 disponível, em média (FLÔRES, DAMASCENO, 1988).

O segmento mínero-metalúrgico da bauxita se caracteriza por três etapas: a mineração de bauxita, realizada em minas a céu aberto em jazidas pouco profundas ou situadas na superfície, a transformação da bauxita em alumina e a obtenção do **alumínio**. A alumina é um produto intermediário, quando destinada à produção do alumínio, seu principal uso. Tem, ainda, aplicações não-metalúrgicas em abrasivos, refratários e na indústria química.

A caracterização tecnológica e o rendimento geometalúrgico esperado da bauxita são condicionados pelos processos Bayer e Hall-Héroult (ambos desenvolvidos no final dos anos 1880) que, simplificarmente, envolvem as seguintes etapas:

- ▶ obtenção da alumina por lixiviação com soda cáustica, em autoclaves, a 140-150°C (processo Bayer);
- ▶ transformação da alumina em alumínio metálico pelo processo Hall – Héroult, que consiste na eletrólise da alumina fundida em banho de criolita e de fluoretos.

As matérias – primas e os principais insumos para a produção de alumínio são a alumina, coque, piche, fluoretos e criolita, além de óleo combustível e energia elétrica (cerca de 15.000 Kwh/t Al).

As reservas mundiais de bauxita são estimadas em 33.000 milhões t localizadas principalmente na Austrália (8.700 milhões t) e na Guiné, detendo esses dois países 50% do total mundial. As reservas brasileiras são estimadas em 834 milhões t, cerca de 2,5% do total mundial, e o potencial de recursos supera 4.000 milhões t. Esta grande disponibilidade de recursos e de reservas de bauxita decorre da abundância do alumínio que é um dos elementos – maiores da crosta da Terra, com *clarke* de 8,1%.

Em 2003 a produção mundial de bauxita atingiu 144 milhões t, destacando-se como grandes produtores: Austrália (55 milhões t, cerca de 38% do total), Brasil (17,3 milhões t, 12%) e Guiné (16 milhões t, 11%). A produção brasileira vem apresentando forte crescimento, tendo ampliado 38% em 2003 e mais 13% em 2004, ritmo que deverá manter-se nos próximos anos, tendo em vista os novos projetos de produção e de expansão. Em 2004 a produção brasileira ultrapassou 19,8 milhões t (ALVES, 2005).

A produção mundial de alumina e de alumínio em 2003 foram, respectivamente, de 47 milhões t e 27,3 milhões t, com apreciável aumento em relação a 2002.

A produção de bauxita, alumina e de alumínio se notabiliza por ser controlada pelas “irmãs” ALCOA, ALCAN, KAYSER, REYNOLDS, ALUSSUISSE e PICHINEY. Essas empresas têm, adicionalmente, interesses na produção de outros minérios de importância para a produção de alumínio como o silício e a fluorita, mineral fundamental para obtenção de criolita sintética e fluoretos.

BAUXITA NO BRASIL

Como foi mencionado, o Brasil se destaca como detentor de grandes reservas e de potencial de recursos de bauxita. Na região do Baixo Amazonas estão localizadas 95% das reservas. Este enorme potencial decorre das condições climáticas favoráveis, dos processos de intemperismo e da lateritização de rochas, reinantes no território nacional durante a Era Cenozóica. Na região do Baixo Amazonas se localizam 95% das reservas de bauxita. O clima, equatorial e tropical, aliado à existência de rochas favoráveis e de morfologia adequada à acumulação de minérios residuais de natureza química, propicia a acumulação de bauxita (ABREU, 1973; KOTSCHOUBEY, 1988; HERNALSTEENS, LAPA, 1988).

A produção aproxima-se dos 20 milhões t/a, montante que coloca o país como o segundo maior produtor mundial. A principal mina é a da MRN – Mineração Rio do Norte S. A, situada em Oriximiná, PA, e que conta com a participação societária da CVRD, majoritária, da Billiton Metais, ALCANPar, CBA – Companhia Brasileira de Alumínio, ALCOA Brasil, Norsk Hydro, ALCOA World e Abalco. A produção da MRN em 2004 superou 24 milhões t de minério bruto e 16,7 milhões t de bauxita beneficiada, proveniente de três áreas: *plateau* Saracá, Almeida e Aviso. Em 2004 a MRN exportou 6,9 milhões t de bauxita, com apreciável incremento em relação a 2003 (4,7 milhões t). A MRN contribuiu com 84,2% da produção nacional de bauxita, seguida pela CBA – Companhia Brasileira de Alumínio (7,4%, 2,2 milhões t em 2004), ALCOA e ALCAN (ALVES, 2005; O PERFIL..., 2005).

Além da MRN, há outros dois pólos de mineração de bauxita no Sudeste: na Zona da Mata de Minas Gerais (São João Nepomuceno, Descoberto, Itamarati de Minas, Cataguases, Mirai) com reservas estimadas em 130 milhões t 41% Al_2O_3 aproveitável e 3% de sílica reativa; e no Planalto de Poços de Caldas, cujas reservas são da ordem de 50 milhões t a 46% Al_2O_3

aproveitável e 4,5% de sílica reativa (LOPES, BRANQUINHO, 1988; PARISI, 1988).

Afigura-se como promissor o aumento da produção de bauxita com a expansão das capacidades das atuais minas e o desenvolvimento de outras, destacando-se os projetos da Mineração Vera Cruz/CVRD em Paragominas, Pará, cuja primeira etapa deverá contemplar com o aporte de mais 4,5 milhões t/a, destinadas ao suprimento da refinaria de alumina da ALUNORTE, em Barcarena. Outro projeto é o da ALCOA, em Juriti, para suprimento da refinaria da unidade de produção de alumínio da ALUMAR, em São Luis, Maranhão. Um terceiro é o CBA, o projeto Mirai, em Cataguazes, Minas Gerais, prevendo-se o início da produção de 1 milhão t em 2006. A MRN planeja desenvolver duas novas minas em Oriximiná.

Outros depósitos e jazidas são conhecidos na região da Serra dos Carajás, no Baixo Amazonas, e em diversos pontos no Sudeste do país, como Itamonte, Morro Redondo, Lages, Nova Lima, Ouro Preto e Mariana.

O consumo interno de bauxita é da ordem de 13 milhões t/a.

A produção de alumina atingiu 5,1 milhões t em 2003. A ALUNORTE é a maior refinaria nacional, responsável por 50% da produção, seguida pela ALCOA (23%), CBA (12,3%), BILLITON e ALCAN. A capacidade de produção da ALUNORTE deverá dobrar até 2006, passando das atuais 2,4 para 4,2 milhões t. É registrada a exportação de alumina, material que era importado até meados da década de 1990.

A produção de alumínio no Brasil iniciou-se em 1945 e, desde então, tem crescido satisfatoriamente. Em 1994 chegava a 1,18 milhões t e, uma década depois, em 2004, atingia 1,45 milhões t. O ritmo da produção é crescente, tendo se ampliado 5,6% em 2004. A ALBRÁS, situada em Barcarena, PA, é a principal unidade produtora, seguida da CBA (Quadro XV).

Quantidades subordinadas de bauxita para usos não-metalúrgicos, cerca de 1,8% da produção total, são produzidas na região de Poços de Caldas.

Quadro XV – Produção de alumínio, t

Empresa	2004	2003
Albrás, PA.	440.500	435.900
Cba, SP.	345.300	313.800
Alcoa,mg., MA.	292.700	275.500
Bhp Billiton, MA.	174.800	154.300
Alcan, Mg., BA.	108.800	106.500
Valesul, RJ.	95.300	94.600
Total	1.457.400	1.380.600

Fonte: ALVES, 2005, modificado.

O segmento de produção de bauxita, alumina e alumínio apresenta algumas peculiaridades, principalmente, em relação ao meio ambiente. Em primeiro lugar, as jazidas de bauxita ocorrem próximas da superfície, o que exige sistema de lavra em tiras, com remoção do capeamento e recuperação concomitante das áreas lavradas. A obtenção da alumina gera lixívia fortemente poluente: a lama vermelha, cuja disposição adequada em ambientes controlados exige cuidados especiais de gerenciamento e constante monitoramento. A etapa de produção do alumínio por eletrólise demanda enormes quantidades de energia elétrica. E, finalmente, a reciclagem do alumínio, principalmente das latinhas de refrigerantes e cervejas, tem alcançado índices que tangenciam os 100% da recuperação do metal, constituindo-se em importante mecanismo de educação ambiental, de recuperação secundária e de conservação de energia e de recursos naturais. Esse conjunto de peculiaridades tem determinado políticas de governo de vários países, caso do Japão, que não autoriza a implantação de novas usinas metalúrgicas de alumínio e até mesmo a expansão daquelas já existentes no seu território, preferindo destinar a energia elétrica que seria consumida para outros usos mais relevantes. Essa política reflete-se diretamente nas diversas participações de empresas japonesas em empreendimentos congêneres em outros países,

inclusive no Brasil, onde há interesses nipônicos na ALBRAS e na ALUNORTE.

4.2 | Minério de Estanho

O revestimento de chapas de aço ou folhas-de-Flandres, utilizadas na confecção de latas para acondicionamento de alimentos, é o principal uso do estanho. A utilização do estanho decorre da resistência à oxidação e de suas propriedades organolépticas, que não altera ou transfere sabor aos alimentos acondicionados nas embalagens confeccionadas com as chapas estanhadas. Outras aplicações do Sn incluem a solda branca em liga com chumbo, utilizada em circuitos elétricos, ligas com zinco, níquel, antimônio e cobre, em produtos químicos e na fabricação de plásticos.

Nas últimas décadas as chapas estanhadas vêm sendo substituídas pelo alumínio, particularmente, na fabricação de latas para refrigerantes, cerveja e líquidos contendo gases. O estanho encontra, ainda, concorrência de outros materiais e dispositivos, como os circuitos impressos que têm levado ao desuso a solda branca. No entanto, a principal concorrência é a das latas confeccionadas com chapa de alumínio, cujo metal é facilmente reciclável, enquanto a fina camada de estanho, depositada nas chapas de aço estanhadas, é de difícil recuperação. As latas de chapas estanhadas são recicladas como sucata de ferro.

O estanho é um dos elementos-traço da crosta da Terra, apresentando clarke de 2,3 ppm. As mineralizações de estanho se relacionam a maciços graníticos de composição específica, acumulando-se os minerais estaníferos nas fases finais e residuais da cristalização dos granitos ou em rochas a eles associados (pegmatitos, greissen). Raramente os depósitos formados no interior dos maciços graníticos apresentam interesse econômico, predominando as jazidas secundárias de minérios de estanho residuais mecânicas. Jazidas primárias em granitos ou epi-genéticas são menos comuns.

Existem dois tipos de minérios e de jazidas de estanho:

- ▶ **residuais**, secundários, de acumulação mecânica em aluviões – tipo placer – ou eluvionares. Nesses depósitos o mineral de minério é a **cassiterita** – SnO_2 , conteúdo estequiométrico de 78,7% Sn – que se acumula junto ao cascalho, areia e outros minerais pesados em aluviões fluviais (a exemplo das minas de Rondônia e Amazonas), em sedimentos fluviais – marinhos (Kuala Langat, na Malásia) ou no capeamento alterado do substrato granítico (pegmatitos da região de São João Del Rei). Essas jazidas constituem a principal fonte de estanho, cuja participação aproxima-se da demanda total do metal. As minas do tipo placer são explotadas a céu aberto (open cast) e na boca-da-mina são produzidos concentrados com 65% Sn contido.
- ▶ **primários**, onde predominam os minérios contendo sulfetos polimetálicos e complexos de estanho e outros metais (**estanita** – $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$; **cylindrita** – $\text{Pb}_3\text{Sn}_4\text{Sb}_2\text{S}_{14}$, **franckeita** – $\text{Pb}_5\text{Sn}_3\text{S}_{14}$, **thealita** – PbSnS_2 e outros) e em alguns casos, a cassiterita. Nas minas primárias, em rocha dura, adota-se lavra subterrânea. São exemplos de jazidas primárias: as minas Século XX e Lallagua, na Bolívia; Wheal Jane e Geevor, em Cornwall, no sul da Grã-Bretanha; Dachang, China; Sungei Lembing, na Malásia; Ardletan e Cleveland, na Austrália continental e Renison Bell, e Neves Corvo, em Portugal, essa última implantada no final da década de 1980, tendo o cobre e o estanho como principais produtos. Muitas das minas de estanho primárias, contendo sulfetos polimetálicos, encontram-se desativadas desde a “crise de 1985”, por falta de viabilidade econômica perante os atuais preços do metal. Os baixos teores das minas de minérios sulfetadas, o custo das operações de lavra subterrânea, a complexidade das instalações e das rotas de beneficiamento desses minérios tornam crítica a economicidade de produção.

No entanto, diversas minas de sulfetos complexos de estanho foram importantes no passado recente e remoto: aquelas da região de Cornwall eram explotadas pelos fenícios, que transportavam o minério pela Europa até ao atual porto de Marselha,

atingindo o Mediterrâneo. Os romanos sucederam os fenícios na atividade. As minas de Dachang, China, são lavradas há, pelo menos, oito séculos, com registros de aproveitamento de minérios e metais na Idade do Bronze. A composição polimetálica dos minérios das regiões de Cornwall e de Dachang, contendo $\text{Sn}+\text{Zn}+\text{Cu}+\text{Sb}+\text{Pb}$, pode ter facilitado as rústicas operações metalúrgicas para a obtenção de metais naquela época. Há referências ao estanho na *Íliada*, de Homero, as “Ilhas Cassiterithes”; também Heródoto e Plínio mencionam o “*plumbum album*” ou “*cassiterus*”.

As características físicas da cassiterita – mineral óxido, resistente ao intemperismo, denso, com peso específico 6,9, não-magnético e de baixo ponto de fusão – favorecem sua acumulação em jazidas do tipo *placer* e facilitam a lavra, a separação, a concentração, especialmente nas jazidas aluvionares, além da obtenção do estanho metálico. Aluviões e eluviões são materiais inconsolidados ou pouco endurecidos, lavráveis por dragagem, escarificação, desmonte mecânico ou monitores de jato d’água e nos quais a cassiterita apresenta-se liberada, em grãos livres. Como mineral denso é separada, com facilidade, da ganga por processos gravíticos, e os concentrados são apurados por separação magnética, apartando-se a cassiterita da ilmenita, monazita, zirconita, xenotímio, wolframita e columbita-tantalita, minerais também pesados, com os quais associa-se em jazidas de acumulação mecânica. Instalações metalúrgicas e fornos singelos permitem obter o estanho a partir dos concentrados, mediante fusão em torno de 250° C.

Quadro XVI – Evolução da produção mundial de estanho 1960 – 2003, t Sn contido

1960	189.000
1970	232.000
1980	236.000
1985	198.400 (crise de outubro)
1990	210.700
1995	180.000
2003	263.500

As reservas mundiais são estimadas em 6,3 milhões t estanho contido, destacando-se os territórios da China (27,2% do total), Malásia (16%), Indonésia (12,8%), Brasil (11,9%) e Peru (11,4%).

A produção global em 2003 foi pouco superior a 263.500 t (Quadros XVI e XVII), destacando-se a China com a contribuição de 90.000 t, 34% do total, seguida pelo Peru (RODRIGUES, BEZERRA, 2004).

Quadro XVII – Produção de estanho em alguns países 2003, t Sn contido

China	90.000	34%
Perú	65.000	24%
Indonésia	61.000	23%
Brasil	12.200	4,6%
Total	263.500	

Fonte: RODRIGUES, BEZERRA, 2004, modificado.

Embora o estanho seja uma *commodity* comercializada em bolsas de metais, até 1985 o mercado internacional desse metal foi contingenciado por quotas de produção e de consumo, fixadas pelos Acordos Internacionais do Estanho, sob a égide do ITC – *International Tin Council*. No âmbito do acordo, as quotas de produção e de consumo eram estabelecidas pelos produtores de estanho, liderados pela Malásia, Indonésia e Tailândia, e pelos principais consumidores, Japão, EUA, Alemanha e França. Foram firmados seis acordos, até que o modelo fracassou. O

sistema funcionou durante vários anos e o preço do estanho metálico foi mantido elevado, em torno de US\$ 13.000/t, sustentado pelos produtores. Em outubro de 1985, o acordo ruiu e o preço despencou para cerca de US\$ 5.000/t, fato que levou ao fechamento imediato de muitas minas. Somente na Malásia, das quase 400 minas em operação, mais da metade foram desativadas. Vários projetos em andamento, inclusive no Brasil, foram suspensos.

O Brasil e a China, embora grandes produtores de estanho no período anterior a 1985, nunca participaram dos acordos. A violenta queda no preço alterou, drasticamente, o cenário da produção e do suprimento do estanho, passando o Brasil, particularmente a Mineração Taboca/Paranapanema graças aos elevados teores dos aluviões e baixos custos de lavra na mina do Pitinga, a liderar a produção mundial em 1990.

Após outubro de 1985 foi criada a ATPC – *Association of Tin Producing Countries*, liderada pelos grandes produtores do sudoeste da Ásia, procurando fixar, novamente, as quotas de produção para a manutenção do preço do estanho.

MINÉRIO DE ESTANHO NO BRASIL

São relativamente comuns as ocorrências e os depósitos de estanho no Brasil: na bacia do Camaquã, RS; Itapeva, SP; São João Del Rey, Nazareno, Cassiterita, São Thiago Ritápolis, Resende Costa e Coronel Xavier Chaves, em Minas Gerais; Livramento de Brumado, Rio de Contas e Água Quente, na Bahia; Nova Roma/Serra da Pedra Branca, Serra Branca, Pela Ema, Mata Azul, Cavalcante, Monte Alegre de Goiás, Goiás; Pitinga, Amazonas; São Pedro do Iriri, sul do Pará; São Francisco, norte de Mato Grosso; Massangana, Santa Bárbara, Jacundá, Cachoeirinha, Alto Candeias, Oriente Novo, Montenegro e Bom Futuro, Rondônia (FRANCESCONI, 1972; ABREU, 1973; DAMASCENO, 1988; KOURY, ANTONIETTO JÚNIOR, 1988; BETTENCOURT et al., 1988; CARVALHO, 1988; VEIGA, 1988, BOTELHO, ROSSI, 1988).

Muitos desses depósitos foram objeto de garimpagem e alguns se

constituíram em minas. Atualmente operam minas no norte do Amazonas (Pitinga, a mais importante do país) e em Rondônia (Bom Futuro, a de maior destaque).

A primeira notícia sobre estanho no Brasil é registrada na carta régia de 28 de fevereiro de 1765, que outorgava a Domingos Ferreira o direito de lavrá-lo na Comarca de São Paulo. Em 1813, Eschwege referiu-se à ocorrência de estanho em Ponte Nova do Paraopeba, MG, e, em 1903, foi encontrada cassiterita na bacia do rio Camaquã, no Rio Grande do Sul. Posteriormente, o estanho passou a ser produzido na região de São João Del Rei, onde a lavra de pegmatitos intemperizados, durante muitos anos, possibilitou importante produção de cassiterita. Apesar da exaustão das minas, permaneceu em São João Del Rei o pólo metalúrgico e de artesanato de peças de estanho e de liga *pewter*.

No entanto, a fase moderna do estanho no país inicia-se em 1956, quando da descoberta de cassiterita num igarapé do Seringal Oriente Novo, no então território Federal de Rondônia. A partir daí sucedeu-se a definição de várias outras jazidas aluvionares e de, pelo menos, uma primária em Rondônia, no sul do Pará, norte de Mato Grosso e no estado do Amazonas. Destacou-se a mina do Pitinga como uma das mais espetaculares jazidas de estanho do planeta, que chegou a produzir mais de 10% da produção mundial. Outra jazida muito interessante, com elevado teor de estanho, foi encontrada, posteriormente, em Bom Futuro, Ariquemes, Rondônia.

Com a definição e a exploração das jazidas aluvionares na região Amazônica, observou-se na década de 1980 a ascensão do Brasil, que era importador, a grande produtor e exportador de estanho. Em 1985, cerca de três décadas após a descoberta de Oriente Novo, o país chegava ao segundo lugar no ranking mundial, com a expressiva produção de 26.397 t Sn contido.

O sucesso da mineração e da produção de estanho no Brasil está relacionado a fatores geológicos, de tecnologia mineral e de política governamental:

- 70** ▶ o potencial geológico representado pela quantidade de ma-

ções graníticas “estaníferos” existentes, principalmente, na Amazônia;

- ▶ a ampliação do conhecimento geológico sobre a região Amazônica e a localização de diversos maciços de “*granitos rondonianos*”, potencialmente mineralizados em estanho, como consequência direta da disponibilidade das imagens de radar do Projeto RADAM (essa importante e louvável iniciativa do DNPM – Departamento Nacional da Produção Mineral mudou radicalmente o nível do conhecimento geológico básico da região Amazônica, ampliando a fronteira da pesquisa mineral e da mineração no país);
- ▶ a chegada a Rondônia de empresas de mineração produtoras de estanho no sudeste da Ásia, como a Billiton/FERUSA e a National Lead. Essas empresas não lograram sucesso, tendo sido sucedidas por grupos nacionais como a CESBRA, Itau, posteriormente adquirida pela Brumadinho, a Paranapanema, até então empresa de terraplanagem que construía a Transamazônica, e a Brascan;
- ▶ a proibição temporária da atividade de garimpo no então Território Federal de Rondônia, na época controlado *manu militari*, o que coincidiu com a implantação das primeiras minerações tecnicamente bem organizadas na região;
- ▶ o desenvolvimento de tecnologia adequada, com o insucesso das técnicas alienígenas trazidas do sudoeste da Ásia, a operação das minas aluvionares de Rondônia, cujas características eram muito pouco conhecidas, até mesmo quanto à alternância marcante das estações secas e chuvosas da região Amazônica;
- ▶ a política governamental de ocupação da Amazônia, com a construção de rodovias;
- ▶ a política da auto-suficiência nacional em matérias-primas minerais e de metais, preconizada pela doutrina da Escola Superior de Guerra, e
- ▶ o importante mercado interno de chapas estanhadas, produto do qual o Brasil é um dos principais produtores e consumidores, além da capacidade metalúrgica para produção de *folha-*

de Flandres, já instalada quando do início da mineração em Rondônia (a CSN – Companhia Siderúrgica Nacional dispunha de uma unidade específica para beneficiar concentrados estaníferos polimetálicos importados da Bolívia).

Em consequência desses fatos, na década de 1980 assistiu-se interessante mudança no cenário: o país passou da categoria de importador à de grande produtor e exportador de estanho. Em 1993 a produção brasileira de estanho atingia 23.100 t, cerca de 10% da produção mundial e, posteriormente, se estabilizou no patamar de 11.000 – 12.000 t/a . Em 2004 atingiu 12.500 t Sn contido em concentrados (ALVES, 2005; O PERFIL, 2005), destacando-se a contribuição da Mineração Taboca/Paranapanema (7.393 t). A CESBRA S. A . produziu 1.012 t no conjunto da mina Taboquinha, situada em Itapuã do Oeste, RO, onde opera lavras em aluvião e em “rocha dura” (RODRIGUES, BEZERRA, 2004).

A produção de metal foi de 10.700 t em 2003, tendo sido registrada exportação de cerca de 3.800 t.

A Mineração Taboca desenvolve o Projeto Rocha São, prevendo o aproveitamento de minério primário de cassiterita e de columbita-tantalita.

As reservas nacionais são estimadas em 730.000 t Sn contido (70% no Amazonas) e o potencial de recursos relaciona-se aos maciços graníticos especializados, abundantes no território nacional, particularmente na região Norte.

4.3 | Minério de Cobre

A elevada condutividade elétrica e a facilidade com que pode ser trabalhado fizeram com que o cobre participasse de diversos avanços tecnológicos importantes ocorridos a partir de 1850, tais como o telégrafo, o telefone, a lâmpada incandescente, o motor elétrico, o trem, o rádio, a televisão, o cabo elétrico e inúmeros outros dispositivos. E continua sendo consumido em larga escala, apesar da sua substituição em alguns usos: na dé-

cada de 1970 o alumínio substituiu o cobre na confecção de cabos condutores de eletricidade, sendo interessante recordar que essa substituição contou com a ajuda de fatos políticos, além dos avanços tecnológicos. No final dos anos 60 e início de 1970, o suprimento mundial foi afetado pelos movimentos nacionalistas, golpes e guerrilhas separatistas irrompidos em três países grandes produtores de cobre: Allende venceu as eleições no Chile, Alvarado assumiu, via golpe, o governo do Peru e o antigo Congo Belga mergulhou em revolução que culminou com a independência de dois novos países, Zaire e Zâmbia.

Valendo-se dessas conturbações políticas, as “irmãs” produtoras de alumínio apressaram-se em ocupar o espaço deixado no mercado pela falta de cobre para a fabricação de cabos de grande diâmetro, apesar da menor condutividade elétrica do alumínio relativa ao cobre. Rapidamente solucionaram o problema da ductibilidade do alumínio, cujos cabos suspensos se rompiam pelo efeito da catenária quando suspensos em torres, mediante a inclusão de uma alma de fio de aço nos cabos. Além disso, desenvolveram processo para a soldagem do alumínio, muito mais difícil de ser soldado do que o cobre.

Quando Pinochet assumiu, Alvarado caiu, o Zaire e a Zâmbia se tornaram países independentes e o suprimento de cobre voltou ao normal, já era um pouco tarde: o segmento dos cabos de grande diâmetro já estava ocupado pelo alumínio.

Mais recentemente, os circuitos impressos e a fibra ótica de silício tornaram-se, também, concorrentes e substitutos do cobre. Apesar disso, cerca de 50% do cobre consumido destinam-se, ainda, à indústria elétrica, particularmente, na confecção de fios elétricos. As ligas de bronze, latão e o seu uso como metal (chapas, tarugos, vergalhões), completam as principais utilizações do cobre.

O suprimento de cobre provém do metal primário produzido a partir de minérios e de concentrados obtidos nas minas, da reciclagem e da recuperação secundária como subproduto de outros metais.

O cobre é um elemento-traço, apresentando *clarcke* de 0,01%. Acumula-se em jazidas com teores da ordem de 0,4 a 1,5%, em ambientes vulcânicos ou sedimentares.

As jazidas e minas mais importantes, com maior significado econômico e que contribuem com a maior parte da produção mundial de cobre são aquelas do tipo **disseminado** ou porfirítico, caracterizadas pela presença de minério sulfetado de baixo teor. São encontradas, principalmente, ao longo da Cordilheira dos Andes, Montanhas Rochosas e em todo o “cinturão de fogo” da costa do Oceano Pacífico. Chuquicamata, no Chile, e Bingham, nos Estados Unidos, são exemplos. Outras tipologias são sedimentares, de origem ainda muito discutida, com teores mais elevados, exemplificadas pelos arenitos cupríferos do *Copper Belt* do Centro da África, onde estão situadas as minas do República Popular do Congo e de Zâmbia. Outras associam-se a seqüências vulcano-sedimentares (mina El Teniente, Chile), formações ferríferas, xistos contendo magnetita, anfíbolitos e máfiços máficos-ultramáficos; exemplos dessas tipologias encontram-se na Austrália, em Caraíba, BA, e na região da Serra dos Carajás (Sossego).

As minas do tipo disseminado respondem por mais de 80% do suprimento mundial e o restante da produção provém das demais tipologias. Como foi referido anteriormente, o cobre é obtido como subproduto em minérios de níquel.

Os minérios de cobre são constituídos por uma mistura de minerais sulfetados, destacando-se como mais importantes:

- ▶ **calcosina**, Cu_2S , conteúdo estequiométrico 79% Cu;
- ▶ **covelina**, CuS , 66% Cu;
- ▶ **bornita**, Cu_5FeS_4 , 63% Cu;
- ▶ **calcopirita**, CuFeS_2 , 34% Cu.

Outros sulfetos presentes nos minérios de cobre são a **enargita**, **tetraedrita** e a **tenantita**. **Cuprita** e **cobre nativo** são mais raros.

Nas porções superficiais das jazidas ocorrem minerais **oxidados** pela ação do intemperismo sobre os sulfetos primários. Dentre

os minerais oxidados mais comuns encontram-se a **malaquita**, carbonato, a **azurita** e a **crisocola**, silicatos de cobre. A recuperação do cobre contido nesses minerais oxidados é mais complexa, exigindo rotas diferenciadas de beneficiamento.

A partir do minério, na usina de concentração da boca-da-mina é obtido concentrado contendo de 32 a 35% Cu que é o produto intermediário destinado à metalurgia.

Minérios de cobre podem conter outros metais associados, geralmente recuperados nas operações de refino. Molibdênio, cobalto e níquel, já referidos anteriormente, e ouro. Bismuto, arsênico, antimônio, selênio e telúrio estão presentes em alguns minérios, em certos casos considerados contaminantes indesejáveis.

O aproveitamento de minérios de cobre promoveu grande desenvolvimento na tecnologia mineral ao longo do Século XX. Os métodos de lavra e as rotas de tratamento e de concentração dos minérios de cobre sofreram importantes aprimoramentos ao longo dos anos. A causa primeira desse progresso foi a exaustão das reservas de minérios de alto teor, geralmente filonares: há pouco mais de cem anos o teor de cobre em minérios era da ordem de grandeza de 3% Cu. A necessidade de manter a produção, perante a demanda constante e crescente do metal – o segundo mais consumido pelo homem – motivou os geólogos a investigar depósitos até então consideradas marginais do ponto de vista do aproveitamento. Eram maciços contendo cobre disseminado, caracterizados por uma grande massa mineralizada, porém com baixos teores, e cuja viabilidade de aproveitamento dependeria da lavra e do tratamento de grandes volumes de minério, para compensar os ínfimos teores. Na primeira década dos anos 1900 foi idealizada e desenvolvida a primeira mina desse tipo: *Bingham Canyon*, nos EUA. Além da lavra em grande escala, em enormes *open pits*, houve necessidade de adaptar a cominuição e a concentração dos minerais de cobre para os grandes volumes a serem tratados, utilizando-se a flotação, que já era conhecida, porém de

uso restrito, e foi desenvolvida a *froth flotation*. A partir dessas iniciativas e do marco pioneiro de *Bingham*, diversas outras novas minas de cobre disseminado foram sendo desenvolvidas, passando a operar com teores cada vez mais baixos, na casa de 1%Cu ou menos. Posteriormente, na metade do Século XX, foi desenvolvida a lixiviação em pilhas ou *heap leaching*, rota hidrometalúrgica que permitiu reduzir ainda mais os teores dos minérios, sem prejuízo da economicidade. Atualmente há jazidas operando com 0,35% Cu. E vários dos avanços e desenvolvimentos obtidos por conta dos minérios de cobre foram adotados para a mineração em geral. Além disso, toda a evolução tecnológica obtida para os minérios de cobre ilustra o caráter mutável do conceito de minério.

Em 2003 as reservas mundiais eram estimadas em 937 milhões t Cu contido e a produção em 13,8 milhões t Cu contido em concentrados, destacando-se como principais produtores o Chile (4,86 milhões t, 35% do total) e os Estados Unidos (1,12 milhões t, 8% do total). A quantidade de cobre refinado, incluindo estoques e reciclagem foi de 16 milhões t (RIBEIRO, 2004).

MINÉRIO DE COBRE NO BRASIL

O suprimento interno de minério de cobre ainda é desfavorável, mas deve ser alterado brevemente. O potencial de recursos é grande, as reservas são significativas e, em meados de 2004, foi inaugurada uma nova mina: a de Sossego, em Canaã dos Carajás. Além disso, novos projetos encontram-se em desenvolvimento, o que permitirá alterar o cenário de país importador a auto-suficiente e, talvez até, exportador de cobre.

Atualmente a importação de concentrados e de produtos acabados de cobre é um dos principais itens da pauta de importações do setor minero-metalúrgico.

O consumo aparente de cobre no Brasil é da ordem de 282.000 t. Em 2004 a produção interna situou-se em torno de 95.000 t Cu contido em concentrados produzidos 70.000 t na recém-inaugurada mina do Sossego, 70.000 t e 25.700 t. Foram im-

portadas 152.000 t Cu contido em concentrados (ALVES, 2005, modificado).

A Caraíba Metais é a única unidade metalúrgica que produz cobre no país. Em 2004 produziu 208.000 t cobre metálico, além de prata e ácido sulfúrico, como subprodutos. Há projeto de ampliação da capacidade metalúrgica instalada da Caraíba Metais para 220.000 t/a.

Operam, no Brasil, duas minas de cobre: a do Sossego, com reservas de 200 milhões t Cu contido, teor de 1% Cu e capacidade de 140.000 t/a Cu contido, além de 3 t/a Au como subproduto; e a de Caraíba, em Jaguarari, BA, cuja ocorrência de minerais "verdes" já fora registrada em "Os Sertões", a centenária obra de *Euclides da Cunha*, considerada há algumas décadas como uma das esperanças na redução da importação de cobre em decorrência da avaliação otimista da reserva recuperável, expectativa que não se concretizou. Manteve-se, por isso, com a capacidade de suprir cerca de 30 % da demanda interna.

No passado operou a mina de Camaquã, localizada em Caçapava do Sul, RS, atualmente desativada pela exaustão das reservas. São registradas ocorrências em diversos outros pontos do país (JOST, BROD, 1988; SILVA, 1988; TEIXEIRA, GONZALEZ, 1988; AMARAL et al, 1988; SILVA, SÁ, 1988; HORBACH, MARIMON, 1988; BRIZZI, ROBERTO, 1988).

As perspectivas futuras são alvissareiras, iniciadas em meados de 2004 com a entrada em operação da mina do Sossego, da CVRD. Outros projetos, da mesma empresa, encontram-se em desenvolvimento na região da Serra dos Carajás, PA:

- ▶ mina 118, reserva de 100 milhões t (0,8% Cu), com capacidade de 36.000 t/a, operação prevista para 2007
- ▶ jazidas do Alemão 170 milhões t (1,6% Cu), Salobo e Cristalino em diferentes estágios de desenvolvimento e investigações das rotas de beneficiamento e extrativas dos minérios, especialmente as tipologias oxidadas. As reservas e recursos da jazida do Salobo são da ordem de 1.000 milhão t a 0,84% Cu (+Au + Ag + Mo), além de 106 milhões t 0,75% Cu de minério oxida-

do (AMARAL et al, 1988). Trata-se de jazida de sulfetos – bornita, calcosina, calcopirita, em parte de oxidados, porém com granulação muito fina, fato que dificulta a concentração dos minerais de cobre pelos processos convencionais.

- ▶ Mineração Maracá, Alto Horizonte, GO, com reservas de 434 milhões t a 1% Cu+Au, em implantação visando produção de 60.000 t/a Cu contido e 4.154 kg Au, a partir do final de 2006.

Na jazida de Americano do Brasil e na mina da Serra da Fortaleza ocorre cobre associado aos minérios de níquel, fato já referido. Além disso, está previsto no projeto Níquel do Vermelho a recuperação de pequena quantidade de cobre como subproduto do níquel.

O arcabouço geológico brasileiro é muito diferente daquele existente na faixa Andina ou nas Rochosas, pródigo em jazidas do tipo disseminado. Mas os projetos de novas minas, acima referidas, mostram que outros tipos de jazidas estão sendo definidas graças ao aprimoramento do conhecimento da geologia no país.

4.4 | Minério de Zinco

O zinco é usado na fabricação de chapas anti-ferrugem, em ligas, produtos químicos, dentre outros usos menores. O perfil do consumo se caracteriza pelo uso em galvanização (47%, dos quais 66% em chapas zincadas), bronze (20%) e latão (14%).

O *clarcke* do zinco é de 20 ppm, enquanto minas operam com teores na faixa de 5% Zn, ou até menos, dependendo do conteúdo de chumbo e de prata associados (a mina de Morro Agudo, Paracatu, opera com teores de 5% Zn + 1,7% Pb). A afinidade geoquímica entre Zn, Cd, Pb, Ag e Au determina a acumulação conjunta desses elementos, com variações relativas de abundância: jazidas de chumbo + zinco ou vice-versa contêm cádmio, prata e ouro.

Os minérios de zinco são, predominantemente, constituídos por **esfalerita** ou **blenda** (ZnS), associada com outros sulfetos

subordinados, tais como a **galena** (PbS), pirita e calcopirita. Existem, ainda, os minérios **oxidados**, formados por silicatos – **calamina** ou **hemimorfita** e carbonato – **willemita**. Nas duas minas de zinco do Brasil, ambas em Minas Gerais, existem as duas tipologias: na mina de Vazante, MG, há minério oxidado nas porções superficiais, o que exige a adoção de rota hidrometalúrgica para extração do metal, diferente da pirometalurgia tradicional utilizada na fusão dos concentrados de esfalerita e, em profundidade, sulfetos. Na mina de Morro Agudo, Paracatu, ocorrem esfalerita e galena.

Minérios de zinco geralmente são polimetálicos e permitem a recuperação de alguns subprodutos: chumbo, cádmio, prata, ouro, cobre e gálio. O cádmio encontra aplicações em baterias Ni/Cd e em pigmentos. Não existem minérios de cádmio, sendo esse metal obtido de minérios de zinco.

Jazidas de zinco ocorrem em ambientes sedimentares do “tipo *Mississippi Valley*” e vulcanogênicos (ou seja de interação entre rochas vulcânicas e sedimentos ou metasedimentos). Mineralizações do primeiro tipo são características dos Estados Unidos, enquanto as vulcanogênicas podem ser exemplificadas por *Broken Hill* e *Mount Isa*, ambos na Austrália.

As reservas mundiais são estimadas em 460 milhões t zinco contido, localizadas na China (20%), Estados Unidos (19%), Austrália (17%) e Canadá (6,7%), dentre outros países. As reservas brasileiras perfazem cerca de 1% do total mundial.

A produção mundial em 2003 totalizou 8,5 milhões t Zn contido, destacando-se como maiores produtores: China (20%), Austrália (18,8%), Perú (14,7%), Canadá (11,8%) e Estados Unidos (9%). A produção nacional foi da ordem de 1,8% do total mundial (JESUS, 2004).

MINÉRIO DE ZINCO NO BRASIL

A produção de minério de zinco no Brasil é feita pela CMM – Companhia Mineira de Metais/VM nas minas de Vazante e de Morro Agudo, Paracatu, ambas em Minas Gerais (RIGOBELLO et

al., 1988; ROMAGNA & COSTA, 1988). No passado, operava a Companhia Ingá, cujos direitos minerais, lindeiros às concessões da CMM em Vazante, foram recentemente adquiridos pela VM. A Cia. Ingá contava com unidade de hidrometalúrgia situada em Itaguaí, no litoral do estado do Rio de Janeiro, atualmente desativada e onde estão acumuladas grandes quantidades de rejeitos poluentes, que se constituem num dos mais importantes passivos ambientais da indústria extrativa mineral no país. Em 2004 foram produzidas, na mina de Vazante, 290.500 t de concentrados contendo 124.800 t Zn; e na mina de Morro Agudo 73.800 t de concentrado contendo 34.100 t Zn (O PERFIL..., 2005).

No tocante ao metal, operam no país duas unidades metalúrgicas: a da CMM, em Três Marias, e a da Companhia Paraibuna Metais, em Juiz de Fora, ambas da VM. Em 2004 a produção de zinco metálico no Brasil foi de quase 266.000 t (257.500 t em 2003), cujas fontes foram os minérios de Vazante e Morro Agudo, acrescidos da importação de 261.800 t de concentrados (ALVES, 2005).

Em 2003 o consumo aparente de zinco foi de 218.000 t de metal. Há importação de zinco SGH e de manufaturados (28.000 t em 2003). No mesmo ano foi registrada exportação de 67.900 t (JESUS, 2004).

Diversas outras ocorrências e depósitos de minérios de zinco são conhecidos no país. Um das mais interessantes é a de Irecê, BA, contendo sulfetos de zinco e de chumbo, jazida já pesquisada pela CBPM e cujo potencial é de 4,6 milhões t a 7,9% Zn. Outros depósitos estão situados na Fazenda Santa Maria, imediações da antiga mina de cobre de Camaquã, RS, e em Palmeirópolis, Tocantins. Essa última foi pesquisada pela CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, caracterizando-se pela associação Zn+Cu+Pb. A primeira apresenta tonelagem significativa, mas teores baixos para viabilizar a lavra, ao passo que a segunda carece de melhor definição no controle (ARAÚJO, 1988; BADI & GONZALEZ, 1988).

4.5 | Minério de Chumbo e Prata

Esse tópico inclui, além do chumbo, a prata obtida como co-produto. Poucas são as minas exclusivamente produtoras de prata, embora no passado tenham sido mais comuns, principalmente, na época em que a prata era metal precioso. Fontes adicionais de prata primária são os minérios de ouro e de cobre.

A afinidade geoquímica entre Pb, Ag e Zn é determinante nos processos formadores de jazidas e faz com que a mineração e a metalurgia desses três metais tenham forte interdependência entre si, como co-produtos ou subprodutos. Em diversas situações os minérios são caracterizados como sendo de chumbo/zinco ou zinco/chumbo, ora com a predominância de um ou do outro metal.

O chumbo é utilizado em acumuladores para veículos automotores, uso que supera 70% do consumo. Outras aplicações incluem pigmentos, produtos químicos, ligas, aditivos para gasolina, vidros e cristais. O uso do chumbo como aditivo para a gasolina e pigmentos tem diminuído consideravelmente devido a restrições ambientais.

A prata é utilizada em material fotográfico e de uso radiológico, compostos químicos, odontologia, joalheria, galvanoplastia, soldas, espelhação de vidros e cunhagem de medalhas e moedas. O uso em películas, chapas e reagentes para fotografia perfaz mais de 60% do perfil do consumo.

Chumbo e prata se caracterizam pelas elevadas taxas de reciclagem, decorrentes dos seus respectivos usos principais: acumuladores e materiais fotográficos.

A produção mundial de chumbo em 2003 foi de 2,8 milhões t, destacando-se Austrália e China como principais produtores, respectivamente, 25% e 23% do montante global, seguidos pelos Estados Unidos, Canadá, Perú e México. A observação da série histórica da produção de chumbo indica cenário estável: em uma década cresceu cerca de 100.000 t (2,7 milhões t em 1994 para 2,8 milhões t, em 2003). Essa estabilidade decorre

de dois fatores: o elevado índice de reciclagem do metal, uso predominante em acumuladores, cujo comércio implica na devolução do equipamento usado, e as restrições ambientais impostas ao chumbo, um metal pesado e poluente.

As reservas são estimadas em 140 milhões t, acumuladas nos dois maiores produtores mundiais, acima referidos. As reservas nacionais são modestas e estimadas em 300.000 t, localizadas predominantemente no estado de Minas Gerais (RIBEIRO, 2004).

Os países que dispõem de indústria automobilística desenvolvida – Japão, Estados Unidos e União Européia – se destacam no consumo e na capacidade de produção metalúrgica de chumbo. Os países produtores de minério, exceto os Estados Unidos, têm demanda interna pequena, exportando o metal ou os seus concentrados.

Jazidas de chumbo, conforme já referido acima, ocorrem nos mesmos ambientes geológicos favoráveis à acumulação de zinco. O *Clarke* do Pb é da ordem de 20 ppm. São economicamente viáveis de aproveitamento minas com teores de 5 a 7% de Pb, ou até menos, dependendo dos teores e da recuperação do Zn, Ag e Au.

A **galena** – PbS – é o mineral predominante nos minérios de chumbo, permitindo a obtenção de concentrados na “bocada-mina” com 32 a 35% de Pb contido, mediante flotação. Os minerais oxidados mais comuns são a **cerusita** – carbonato de chumbo, **anglesita** – sulfato de chumbo e **piromorfita** – fosfato cloreto de chumbo – todos de difícil recuperação a custos competitivos.

A produção mundial de prata em 2003 foi da ordem de 19.000 t, destacando-se o México e Perú como principais produtores, cerca de 14% do montante global cada um, seguidos pela China e Austrália (esses dois últimos, os maiores produtores mundiais de chumbo). Estima-se que 2/3 da produção de prata primária provêm da recuperação como subproduto do refino do chumbo e, o restante, de minérios de prata.

As reservas de prata são estimadas em 570.000 t, localizadas principalmente na China, Estados Unidos, México, Perú, Austrália e Canadá (RIBEIRO, 2004). As reservas brasileiras são modestas e estimadas em 2.400 t, contidas em minérios de cobre, zinco/chumbo e ouro.

MINÉRIO DE CHUMBO E PRATA NO BRASIL

A produção de chumbo primário em 2004 foi de 14.700 t, apresentando crescimento de 38% em relação ao ano anterior (ALVES, 2005). Essa produção provém da mina Morro Agudo, Paracatú, Minas Gerais, concessão da CMM – Companhia Mineira de Metais/ VM, como subproduto do zinco. A produção secundária derivada da reciclagem de acumuladores é estimada em 60.000 t. A importação em 2004 foi de 69.200 t Pb contido em concentrados.

O consumo interno aparente é da ordem 145.000 t, cujas destinações principais são os acumuladores (baterias, 80% do consumo) e a produção de óxidos (18%). O óxido de chumbo é aplicado em cerâmica, vidro e tintas.

Conforme já foi referido acima, as reservas nacionais são modestas e quase restritas a subproduto do zinco na mina de Morro Agudo, a despeito de diversas ocorrências conhecidas de minerais de chumbo (DAMASCENO, 1967; CASSEDANNE, 1972; ABREU, 1973; DARDENNE, 1988; ESPOURTEILLE & FLEISCHER, 1988; ROMAGNA & COSTA, 1988; SILVA et al., 1988; ACCIARI JÚNIOR et al., 1988; ZACCARELLI, 1988).

Durante décadas a produção e o suprimento interno de chumbo se caracterizaram como oligopólio exercido pela PLUMBUM S.A., empresa detentora dos principais direitos minerais, controladora das minas e das unidades metalúrgicas de Adrianópolis, PR, e Santo Amaro da Purificação, BA, ambas desativadas nas décadas de 1980 e 1990. No período da atuação da PLUMBUM, a produção primária provinha da mina de Boquira, BA, a mais importante que operou no país, desativada em 1992 pela exaustão do minério, e de diversas outras minas menores – Panelas

das Brejaúvas, Ribeirão do Rocha, Basseti, Barrinha, Paqueiro – na região do Alto Vale do Ribeira, nos estados do Paraná e São Paulo, igualmente descomissionadas. A exploração dessas pequenas minas dependia da operação e da existência da unidade metalúrgica da Plumbum em Adrianópolis, pois o limitado porte das respectivas reservas sequer viabilizava instalações singelas para concentração do minério. Com a exaustão da maior mina no Alto Ribeira, a de Painelas, e a conseqüente desativação da unidade metalúrgica instalada nas suas imediações, as demais pequenas minas perderam, também, a viabilidade de aproveitamento. Enquanto operavam, as minas do Alto Ribeira produziam também prata e ouro como subprodutos. Em alguns minérios, como os da mina de Furnas, o teor de prata atingia 200 a 400 g Ag/t de chumbo (ACCIARI JÚNIOR et al., 1988; DAMASCENO, 1967; ZACCARELLI, 1988).

Carece o país de alvos mineralizados com chumbo que permitam vislumbar a possibilidade econômica de aproveitamento. Restam reservas distribuídas em pequenas mineralizações no Vale do Ribeira e de recursos potenciais, apesar de volumosos com teor baixo, na Fazenda Santa Maria, Caçapava do Sul, RS.

A produção de prata em 2003 foi estimada em 10 t e o consumo aparente em cerca de 280 t (RIBEIRO, 2004). Destacam-se como produtores a Caraíba Metais (subproduto do cobre), CVRD, Mineração São Bento, RPM – Rio Paracatú Mineração, Mineração Morro Velho e Mineração Serra Grande, todos produtores de ouro. A reciclagem de prata a partir de materiais fotográficos é estimada em 50 t. Registrou o DNPM a importação de 470 t de prata contida em diversos produtos manufaturados e compostos químicos.

A operação da mina do Sossego e o desenvolvimento de outros alvos mineralizados em cobre, em andamento, poderão contribuir com o aumento da produção interna de prata como subproduto. São conhecidos teores expressivos de prata na jazida de Chapada/Alto Horizonte, em Goiás, e estimadas 500 t de

prata contida associada ao minério de cobre de Salobo. São conhecidas ocorrências pontuais de minerais de prata no Grupo Bambuí (AMARAL, DAMASCENO, 1967; ABREU, 1973).

5 | METAIS NÃO-FERROSOS ESPECIAIS

Os metais não-ferrosos especiais (ou *minor metals*) são produzidos e consumidos em menor quantidade, se comparados com os principais metais. Neste grupo estão incluídos metais detentores de propriedades específicas e que são utilizados em aplicações especiais. São obtidos, via de regra, como subprodutos ou co-produtos.

No âmbito da metalurgia, destacam-se neste grupo o antimônio, berílio, bismuto, cádmio (já referido anteriormente), cobalto (idem), escândio, gálio, germânio, magnésio, lantanídeos (terras raras), platinóides (paládio, irídio, ósmio, rênio, ródio, rutênio), selênio, silício (ibidem), tântalo, telúrio, titânio e zircônio/háfnio. Cádmio, cobalto e silício já foram abordados anteriormente. Os platinóides serão tratados junto com a platina, da qual são recuperados como subprodutos.

5.1 | Minério de Titânio

A **ilmenita** – FeTiO_3 , o **leucoxênio** (mineral neoformado pela alteração da ilmenita, denominado **ilmenita leucoxenizada**) e o **rutilo** – TiO_2 – são os principais minerais de minério de titânio. Existem outros minerais que constituem fontes potenciais de titânio: **anatásio**, **perovskita** e **titanita**.

Os minérios de titânio são utilizados principalmente em aplicações não-metalúrgicas na indústria química como fonte de pigmento branco – TiO_2 , aplicado em tintas, papel e esmaltes cerâmicos.

As matérias-primas para a produção de titânio são os concentrados de ilmenita, rutilo natural (mais raro) e de **rutilo sintético**, obtido a partir da ilmenita, e das escórias titaníferas (*slags*). Os produtos finais são o pigmento TiO_2 , o titânio-esponja e o titânio metálico. Cerca de 95% dos concentrados destinam-se à obtenção de pigmento (OLIVEIRA & DAMASCENO, 1997; COELHO, 1997).

O titânio metálico apresenta algumas características de fundamental importância: leveza e resistência mecânica e à corrosão. É muito usado na indústria química, em equipamentos anti-corrosivos, instalações de desalinização, petroquímica, indústria naval, aeronáutica, espacial e nuclear, e em ligas com cobre, alumínio e vanádio.

O titânio é um elemento abundante na crosta da Terra, com *Clarcke* de 5.300 ppm e os teores em minas são da ordem de 5% TiO_2 . Minério de titânio provém de depósitos secundários de areias de praia, compostas de quartzo, ilmenita, rutilo, zircão, monazita, turmalina e outros minerais pesados. Existem, ainda, depósitos primários associados com magnetitas-vanadíferas, menos importantes do que os secundários no tocante ao titânio.

A produção mundial supera 4,8 milhões t/a TiO_2 contido em concentrados de ilmenita, rutilo natural ou sintético, *slags* e “esponja”. Esse último produto intermediário é destinado à extração do titânio metálico.

O principal produtor de minério de titânio é a África do Sul, seguida de perto pela Austrália, que o obtém de minas de areias de praia, em vários pontos do litoral. Zircão e monazita são subprodutos.

A produção brasileira em 2004 foi de 130.000 t de concentrados de TiO_2 , obtidos de dunas de areia de praia na mina do Guaju, Mataraca, estado da Paraíba. É operada pela *Millenium Inorganic Chemicals do Brasil S.A.*, empresa responsável pela produção 114.300 t de ilmenita e 1.960 t de rutilo, além de zircão. Além disso, a INB – Indústrias Nucleares Brasileiras S.A opera mina no litoral fluminense, em Buena, São Francisco do Itabapoana, onde a ilmenita é subproduto das areias monazíticas (O PERFIL...,2005; CAULA, DANTAS, 1997; MAIA, 2005; TOREZAN & VANIZZI, 1997; DIAS et al., 1997).

Outros depósitos de ilmenita são conhecidos ao longo da costa leste, em aluviões de diversas bacias hidrográficas, como no rio Sapucaí, no sul de Minas e na região Amazônica, associada

à cassiterita. No extremo sul da Lagoa dos Patos, em São José do Norte, RS, há projeto de mineração de ilmenita.

As reservas nacionais são estimadas em 8 milhões t de ilmenita + rutilo.

Há duas empresas produtoras de óxido de titânio: a Millenium, instalada na Bahia, cuja produção em 2004 foi de 54.000 t TiO_2 e a DuPont, em Uberaba, MG.

A produção interna é insuficiente para atender à demanda. Não há produção de titânio metálico, cuja tecnologia metalúrgica é privilégio de poucos países.

Adicionalmente, é conhecido no Brasil um grande potencial de recursos de titânio de tipologia pouco convencional que, se equacionados como reservas, poderiam superar aquelas existentes na China, Austrália e África do Sul. Esses recursos estão associados às chaminés alcalinas de Tapira e Salitre, MG, e em Catalão/Ouvidor, GO. O mineral de titânio encontrado nesses depósitos é inusitado e carente de processo extrativo competitivo. Trata-se do anatásio – TiO_2 , um mineral secundário originado da alteração de **perowskita** – CaTiO_3 , em ambiente de superfície. Durante vários anos a CVRD investigou a possibilidade do aproveitamento do anatásio existente em Tapira (atualmente mina de fosfato, mas detentora de recursos potenciais de titânio e de nióbio). Algumas indústrias, como a DuPont, chegaram a associar-se com a CVRD almejando industrializar os concentrados de anatásio, mas, apesar dos investimentos, o projeto foi abandonado por falta de competitividade com o minério clássico de ilmenita, pelos altos teores remanescentes de cálcio, de fósforo e radioatividade, decorrente da presença de urânio e tório associados. A legislação ambiental dos países produtores e consumidores de titânio exige que o somatório de urânio e tório não ultrapasse 100 ppm. No entanto, o potencial de recursos disponível se constitui em incentivo para novas investigações na procura de rota extrativa conveniente para o minério de anatásio. No maciço de Tapira o potencial de recursos supera 190 milhões t a 21% TiO_2 e, no

de Catalão, cerca de 340 milhões t com teores em torno de 15% TiO_2 (OLIVEIRA & DAMASCENO, 1997; MELO et al., 1997; MELO, 1997; CARVALHO & BRESSAN, 1997).

Adicionalmente, existe mais um potencial de recursos a ser melhor investigado no Morro da Carlota, Campo Alegre de Lourdes, Bahia e em outras localidades do Nordeste, onde são conhecidos depósitos minerais de titânio associados a magnetitas-vanadiníferas.

5.2 | Minério de Zircônio e Háfnio

O **zircão** (ZrSiO_4), mais conhecido sob a denominação comercial de **zirconita**, é o principal mineral de minério de zircônio/háfnio, secundado pela **baddeleyita** – ZrO_2 . Na zirconita a relação entre zircônio e háfnio é de 50:1 (SCHOBENHAUS FILHO & SANTANA, 1997).

No âmbito da metalurgia o zircão é utilizado como fonte de zircônio e háfnio, metais que interessam à indústria nuclear, pela capacidade de absorção de radiação gama que apresenta, sob a forma de *zircalloy*. Além disso, é usado em ligas com ferro, estanho e nióbio e na obtenção de **zircônia** (óxido puro de zircônio para refratários de alto desempenho e gema artificial que imita o diamante). A **areia de zircão** ou de **zirconita** é usada em fundição, em moldes monolíticos e em cerâmica.

O zircão é obtido como subproduto da ilmenita em jazidas de areias de praia, sendo a Austrália (450.000 t em 2004, cerca de 51% da produção total) e a África do Sul (302.000 t) os principais produtores. Mais de 40% das reservas situam-se na Austrália.

As reservas brasileiras são estimadas em 2.200 milhões t, distribuídas em vários estados (AM, BA, MG, PB, RJ e TO). Em 2005 a produção interna foi de 34.800 t, insuficiente para atender à demanda, suprida com o reforço de 23.800 t de importados – areia de zirconita, zircônio e outros produtos manufaturados. As empresas produtoras são a *Millenium Inorganic*

Chemicals, na mina do Guaju, Mataraca, Paraíba e a INB. Há projeto de produção de zircão no estado de Tocantins e na mina do Pitinga, Amazonas, onde seria obtido juntamente com terras raras (IWANUCH et al., 1984; SILVA, 2005).

Conta ainda o país com importante potencial de recursos não apenas em aluviões ou depósitos litorâneos, mas também na tipologia **caldasito** ou **zirkita**, material composto por uma mistura de baddeleyita e de zircão, com a predominância do segundo mineral. O caldasito é abundante no maciço de Poços de Caldas e tem sido investigado pela CBA e pela Mineração Curimbaba, que atuam na região como mineradoras de bauxita. A principal dificuldade para o uso do caldasito é o elevado teor em ferro, não aceito pela indústria cerâmica.

5.3 | Minério de Lantanídeos – Terras-Raras

Os **lantânídeos**, mais conhecidos como **Terras-Raras**, têm importantes aplicações em metalurgia em aços especiais, "misch-metal", metal "didímio", ferro-ligas, ligas pirofólicas e magnéticas, dentre inúmeros outros usos não-metalúrgicos (catalizadores, cerâmica, baterias, fontes de laser, microondas). Os usos em metalurgia correspondem a 95% do consumo.

Os minérios de terras-raras são caracterizadas por três tipologias: **bastnaesita** – fluor carbonato de cério e lantânio, **monazita** – fosfato de terras raras, especialmente cério, lantânio e ítrio e **xenotíma** – fosfato de ítrio. A bastnaesita e a monazita são as variedades mais importantes.

Os lantanídeos são subdivididos em dois grupos, com base nas similaridades dos raios iônicos: **grupo do cério** ou **leves** – lantânio, cério, praseodímio, neodímio, promécio, samário e európio; **grupo do ítrio** ou **pesados** – gadolínio, disprósio, hólmio, érbio, túlio, itérbio e lutécio. Os lantanídeos mais abundantes são o cério, neodímio e o lantânio e, o mais raro, o promécio (SCHOBENHAUS FILHO, BORGES, 1997).

foi de 102.600 t, das quais 95.000 t obtidas na China, destacando-se a contribuição da mina Bayan Obo, na Mongólia. Quase 60% das reservas mundiais, estimadas em 154 milhões t, estão situadas na China.

As reservas brasileiras, estimadas em 44.000 t, são modestas diante do expressivo potencial de recursos. Em 2004 não houve produção de minério, tendo sido registrada apenas a obtenção de 730 t de estoques da INB, empresa que detém o monopólio da União sobre os minérios de urânio e tório. As instalações de beneficiamento de monazita da INB situam-se em Buena, RJ (SILVA, 2005).

No passado, o Brasil tornou-se conhecido como produtor e detentor de reservas de **areias monazíticas**, uma mistura de quartzo, ilmenita, granada, monazita e outros minerais, acumuladas ao longo do litoral. As areias monazíticas foram objeto de calorosas discussões políticas nacionalistas, destacado-se os relatórios de Dagoberto Salles, influente deputado, e de denúncias de que navios de potências mundiais enchiam os seus porões com lastro de areias monazíticas que seriam utilizadas para obter o **tório** para fabricar a bomba atômica.

Na década de 60 atuava no país a ORQUIMA, uma indústria que processava a monazita e que chegou a isolar sais de lantanídeos, tecnologia ainda hoje de difícil aplicação, e privilégio de poucos países. Caso essa indústria tivesse permanecido atuante, provavelmente, o Brasil teria hoje posição de destaque no cenário econômico e tecnológico dos lantanídeos e seus derivados. No entanto, a política nuclear brasileira e o estabelecimento do monopólio da União em relação aos elementos radioativos U-Th, atingiram em cheio essa emergente indústria, simplesmente porque a monazita pode conter, em média, mais de 5% de Th_2O (em muitos minerais comerciais o teor está entre 6 e 12%, mas pode ir até 35%) e algumas centenas de ppm de urânio, elementos físeis, de interesse como combustível nuclear. A opção da utilização do tório como combustível nuclear, o que acontece na Índia, foi abandonado, no Brasil, com

o uso do **urânio**. Assim, o fato de as areias monazíticas, que não são minérios de urânio, terem sido incluídas no monopólio estatal, talvez tenha feito o país perder a oportunidade de avançar na tecnologia e na produção de lantanídeos (o autor deste texto, ainda como estudante, teve a oportunidade de visitar a ORQUIMA e de observar frascos contendo lantanídeos isolados).

Além das areias monazíticas situadas ao longo da costa, principalmente no litoral sul da Bahia, Espírito Santo e Rio de Janeiro, dispõe o Brasil de grande potencial de recursos em terras-raras em aluviões fluviais – vale do Sapucaí, no Sul de Minas Gerais, associado à cassiterita na mina do Pitinga (variedade xenotíma) e nos maciços alcalinos de Catalão Tapira, Poços de Caldas, Seis Lagos e outras. As reservas de minério de terras-raras em Catalão superam 15 milhões t, com teores acima de 4% $\text{CeO}_2 + \text{La}_2\text{O}_3$ (CARVALHO, BRESSAN, 1997; TASSINARI, KAHN, 2001).

6 | OUTROS MINÉRIOS DE METAIS NÃO-FERROSOS

Minérios de alguns outros metais que têm aplicações industriais similares aos não-ferrosos serão brevemente abordados neste tópico.

O **magnésio** usado em ligas leves com alumínio pode ser obtido por duas rotas extrativas: a partir da magnésia – MgO – obtida pela calcinação do cloreto de magnésio recuperado da água do mar, ou do **dolomito** – $Ca, Mg CO_3$, uma rocha sedimentar/metamórfica.

A produção mundial de magnésio supera 350.000 t/a. No Brasil não foi registrada produção do metal em 2004 (CORREIA, 2005).

O **berílio** é obtido da **bertrandita** – $4BeO.2SiO_2.H_2O$, 45% BeO e do **berilo** – $3BeO.Al_2O_3.6SiO_2$, 14% BeO , minerais que ocorrem em tufos e em pegmatitos, respectivamente.

Na metalurgia o berílio é usado em liga com o cobre, para aplicações em dispositivos eletrônicos, e com alumínio, níquel e magnésio. A produção mundial em 2004 foi estimada em 183 t, proveniente dos Estados Unidos, China e Rússia.

No Brasil o berilo é produzido em garimpos como subproduto de pedras semipreciosas (crisoberilo, alexandrita, esmeralda), especialmente nas Províncias Pegmatíticas do Leste (Vitória da Conquista Araçuaí, Itinga, Coronel Murta, Rubelita, Governador Valadares, Espera Feliz) e de Solonópole, CE (Quixadá, Quixeramobim, Solonópole, Jaguaribe). Não foi registrada produção em 2004 (HECHET, 1997; SACRAMENTO FILHO, 2005; PEGMATITOS..., 2003).

O **germânio** é recuperado como subproduto de tipologias específicas de minérios de cobre e de zinco. Outra possível fonte são as cinzas da queima de carvão mineral (*fly ash*). Os usos do germânio incluem dispositivos óticos, lentes especiais e visores para infravermelho, fibras óticas e semicondutores.

Selênio e telúrio são recuperados das lamas anódicas de variedades específicas de minérios de cobre. Estados Unidos, Canadá,

Bélgica e Japão destacam-se como produtores. Na metalurgia o selênio é usado em ligas com cobre e chumbo, aplicação que perfaz cerca de 10% do consumo. Os demais usos incluem componentes eletrônicos para fotocopiadoras, agentes descolorantes de vidros, pigmentos para cerâmicas, plásticos, baterias, fungicidas e micronutrientes. O telúrio é usado na metalurgia em ligas com prata, cádmio (baterias solares) e cobre (conectores, cabos elétricos e bases para transistores), representando $\frac{3}{4}$ do consumo. Encontra, ainda, aplicações na indústria química (catalise e vulcanização), eletrônica (fotoreceptores para fotocopiadoras, detecção de infravermelho), vidros e pigmentos.

O **gálio** associa-se à esfalerita, calcopirita, bauxita e alguns óxidos de ferro. A sua abundância na crosta da Terra é equivalente à do chumbo e do molibdênio. É material de grande interesse para a optoeletrônica (LED's, diodos laser, fotodetectores, células solares), circuitos eletrônicos e ligas.

O gálio é recuperado da esfalerita e da bauxita pelas rotas extrativas da carbonatação, eletrólise, troca iônica e extração por solventes, sendo as duas últimas as mais utilizadas. A demanda mundial é da ordem de algumas centenas de toneladas por ano.

As bauxitas contêm 50 ppm Ga, em média, e a estimativa da quantidade de gálio contido em bauxitas é da ordem de 1 milhão t.

As bauxitas das minas brasileiras contêm significativos teores de gálio, superiores aos da média mundial, e representam uma fonte potencial do metal. A possibilidade de recuperação de gálio, que se concentra na lixívia derivada da transformação da bauxita em alumina, foi exaustivamente investigada no Laboratório do Gálio, do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, da Escola Politécnica da USP, com apoio de entidades de pesquisa e da CBA (AVRITSCHER, MASSINI, 2002 ; AVRITSCHER, 1966; RIBEIRO, 2002; RIBEIRO, LEAL FILHO, 2002 ; SANSÃO, 1998).

tras, cotejada com as reservas nacionais de bauxita, permite admitir a existência de um potencial da ordem de 125.000 t Ga no país.

O **lítio** tem algumas aplicações como metal em ligas, em parte usadas na indústria nuclear. No Brasil a principal fonte de lítio é o mineral **espodumênio** – $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$, encontrado em pegmatitos e produzido no leste de Minas Gerais.

7 | DISPONIBILIDADE, SUPRIMENTO E DEMANDA DE MINÉRIOS DE METAIS PRECIOSOS

O ouro e a platina são os metais preciosos. No passado a prata era incluída neste grupo, mas adquiriu perfil industrial e passou a ser considerado apenas um metal não – ferroso, perdendo a grife de precioso.

Os platinóides ou PGM – *Platinum Group Minerals*, paládio, ósmio, ródio, irídio, rênio – embora não sejam preciosos, serão abordados neste tópico porque são recuperados como subprodutos da platina e alguns do ouro, caso do paládio. Paládio e ródio são os platinóides de maior interesse industrial.

Os metais preciosos são assim denominados pela raridade em que ocorrem na crosta da Terra: o *clarcke* do ouro é de 0,0035 ppm e o da platina, 0,046 ppm, fato que aumenta o valor de ambos. Além da raridade, têm grande resistência química e beleza, propriedades que promovem o seu uso em jóias. Discute-se qual é o mais precioso dos metais, o ouro ou a platina, pois os preços de ambos são próximos.

Teores de jazidas de ouro com economicidade para lavra e beneficiamento situam-se na faixa de poucas unidades de g Au/t em minas em “rocha dura”, e poucas gAu /m³, em depósitos aluvionares. No entanto, algumas minas, com elevada escala de produção e tecnologia adequadas, operam com teores de alguns décimos de gAu/t, caso da RPM – Rio Paracatu Mineração, em Paracatu.

O ouro sempre fascinou a humanidade e na Idade Média desafiava os alquimistas a obtê-lo a partir de outros metais. O setor joalheiro consome cerca de 78% do ouro, seguido pelo segmento industrial (9%) e investimentos. No tocante à platina, 42% do consumo é destinado a catalizadores e 33% para joalheria. Cerca de 50% do paládio são utilizados em catalizadores e 15% em materiais odontológicos.

Em 2004 a produção mundial de ouro foi de 2.470 t, destacan-

do-se a contribuição da África do Sul (334 t), Estados Unidos (247 t) e Austrália (240 t). As reservas são estimadas em 90.000 t, das quais 36.000 t localizadas em jazidas da África do Sul (OLIVEIRA, 2005).

7.1 | Minério de Ouro

O ouro é obtido diretamente de minérios de ouro, acumulados em vários ambientes geológicos e rochas, ou como co-produto do refino do cobre, chumbo, zinco e prata. Ocorre como elemento nativo no estado livre, incluído em sulfetos – pirita, arsenopirita, pirrotita, calcopirita, em ligas naturais com a prata (electrum), cobre, paládio platina e bismuto, em teluretos, antimonietos, selenietos, bismutinetos e sulfetos. Em muitas minas, as diversas associações mineralógicas permitem a recuperação de subprodutos como a prata, o paládio e, eventualmente, o arsênico (BERBERT, 1988).

Como ouro é resistente ao intemperismo e apresenta elevada densidade, ele se acumula em aluviões, jazidas secundárias, que podem ser facilmente explotadas, com processos rudimentares de lavra e de concentração. Aluviões são pouco consolidados, facilmente desagregáveis e onde é encontrado no estado livre e liberado. A separação da ganga e a concentração do ouro podem ser efetuadas em caixas rifladas e em batéia.

As jazidas primárias, ao contrário, têm estruturas e geometria complexas e assembléia de minerais que exigem operações de lavra subterrânea ou a céu aberto, e rotas de beneficiamento sofisticadas, incluindo cominuição, classificação, flotação e lixiviação em pilhas.

MINÉRIO DE OURO NO BRASIL

A procura e a lavra de ouro no Brasil estão ligadas à própria história do país, tendo sido uma das sagas que promoveram a expansão e a colonização do território. Os primeiros colonizadores encontraram aluviões contendo ouro, passíveis de serem

lavrados por processos simples – desvio dos rios, concentração em “caixas”, “palonges” e apuração em batéia. Em praticamente todas as bacias hidrográficas com ocorrências de ouro os Bandeirantes desenvolveram as “lavras”, embriões de muitas vilas no interior. Durante a Colônia foram enviadas para a metrópole europeia grandes quantidades do metal.

É ampla a distribuição de depósitos de ouro (SANTOS, 1995). Desde que a bandeira do taubateano Jacques Felix encontrou ouro nas corredeiras do Tripuí, em Vila Rica (atual Ouro Preto), o estado de Minas Gerais lidera a produção, detendo significativas reservas e importantes minas de ouro, destacando-se: o conjunto das minas da histórica Mineração Morro Velho, em Nova Lima e arredores: Mina Velha, Mina Grande, uma das mais profundas do planeta, Raposos, Cuiabá, Bicalho; Passagem de Mariana e outras nos arredores de Ouro Preto; São Bento, em Santa Bárbara; Caeté e Pitangui; aluviões de Jequitinhonha e tributários, onde o ouro é recuperado como subproduto do diamante; Riacho dos Machados; Itabira, onde o Au associa-se com os finos do minério de ferro, e Morro do Ouro, em Paracatu. Além disso, há outras localidades no vale do Sapucaí: a cidade de São Gonçalo desenvolveu-se em “lavras” de ouro.

Também os estados de Goiás e Tocantins, desde o Anhangüera, vêm mantendo a tradição de detentores de importantes depósitos de ouro em Crixás, Mara Rosa Chapada/Alto Horizonte, Cavalcante, mina Serra Grande e Meia Pataca, Almas e Natividade (VIAL, 1988; ABREU et al., 1988; ZINNI et al., 1988; ANGEIRAS et al., 1988; YAMAOKA & ARAÚJO, 1988; MAGALHÃES et al., 1998; VIEIRA & OLIVEIRA, 1988).

Outras regiões e localidades produtoras de ouro ou detentoras de depósitos são:

- ▶ Roraima, na zona fronteira com a Venezuela e nas terras dos Yanomani, objeto de garimpagem;
- ▶ norte do Amapá, regiões de Cassiporé, Calçoene e Vila do Lourenço, onde no passado trabalharam os franceses e, mais recentemente, operaram empresas de mineração e atuaram

- garimpos (igarapé Helená). Destaca-se na região o Morro do Salamangone (FERRAN, 1988), denominação considerada pela população local como uma alusão lendária “às minas do rei Salomão”, tal a sua riqueza em ouro;
- ▶ Pará, na região de Itaituba e Santarém, conhecida como Província Aurífera do Tapajós, a principal região de garimpos do país, que no período 1980 – 1993 chegou a produzir mais de 120 t Au; Serra das Andorinhas, Rio Maria (SILVA & CORDEIRO, 1988);
 - ▶ região da Serra dos Carajás e sul do Pará, que inclui a saga de Serra Pelada, atualmente desativada, a mina do Igarapé Bahia (paralizada) e novas jazidas e minas de cobre que poderão produzir ouro como subproduto do cobre em Sossego, Salobo e outros alvos (MEIRELLES, SILVA, 1988);
 - ▶ Mato Grosso, em Poconé, Cabaçal, Peixoto de Azevedo, Novo Planeta Alta Floresta e Bela Vista da Santíssima Trindade (MONTEIRO et al., 1988; VEIGA, 1988);
 - ▶ Rondônia no vale do rio Madeira (BASTOS, 1988);
 - ▶ Rio Grande do Norte, mina de São Francisco (FERRAN, 1988)
 - ▶ Bahia, na Serra da Jacobina, onde é conhecido depósito de ouro em metaconglomerados, tipologia similar à das famosas minas do Rand, na África do Sul; a mina da Fazenda Brasileiro, pioneira em *heap leaching* no país; Fazenda Maria Preta, Santa Luz e Rio Salitre (MOLINARI & SCARPELLI, 1988; SANTOS et al., 1988; GITEW/SUMEN-CVRD, 1988);
 - ▶ São Paulo: Morro do Ouro, em Apiaí, Barra do Batatal e Eldorado, no Baixo Vale do Ribeira; ouro obtido como subproduto nas extintas minas de chumbo do alto Ribeira, como Furnas; Araçariguama; a histórica “mina dos jesuítas” no sopé do Pico do Jaraguá, uma das primeiras lavras de ouro no Brasil Colônia;
 - ▶ no Paraná, a região de Povinho de São João, Campo Largo e São José dos Pinhais; ouro recuperado do chumbo e prata nas minas, hoje desativadas, de Panelas, Paqueiro, Barrinha e Ribeirão do Rocha, como subproduto do chumbo;
 - ▶ Gaspar, em Santa Catarina, e

- ▶ Rio Grande do Sul, além da recuperação do minério de cobre de Camaquã, ocorrências e depósitos em Caçapava do Sul, Lavras do Sul, Dom Pedrito.

As reservas brasileiras são estimadas em 1.430 t distribuídas pelos estados do Pará (43%), Minas Gerais (37%), Goiás, Bahia e Mato Grosso (DNPM, 2005).

A produção primária de ouro no país vem crescendo desde 1980, época em que ocorreu grande aumento nos preços, incentivando novos investimentos na pesquisa desse bem mineral. Nos anos 1990 houve um grande aumento na produção, que superou 100.000 kg, em grande parte obtida em garimpos. Paulatinamente, foi retornando ao patamar atual com o declínio da produção dos garimpos em consequência da exaustão dos depósitos mais fáceis de serem explorados e que dispensavam tecnologia mais apurada para o aproveitamento do ouro. A diminuição da produção garimpeira foi compensada, em parte, pela maior participação de empresas de mineração.

Em 2004 atingiu 47.573 kg Au, com aumento de 17% em relação ao ano anterior (ALVES, 2005), proveniente de duas fontes: empresas (28,5 t) e garimpos (cerca de 19 t, valor estimado indiretamente pelo DNPM). Lideram a produção a AngloGold Ashanti (7.487 kg) e a RPM – Rio Paracatu Mineração (6.000 kg), seguidas pela Mineração Serra Grande (5.802 kg), Yamana Gold (3.046 kg), Mineração São Bento (2.550 kg) e Sertão Mineração (2.538 kg). É registrada, ainda, produção de ouro recuperado na metalurgia de concentrados de cobre pela Caraíba Metais (O PERFIL..., 2005; ALVES, 2005).

As principais minas são as seguintes: em Goiás – Sertão, Faina; Mina III e Nova, Crixás e Bacia, Fazenda Nova; em Minas Gerais – São Bento, Santa Bárbara, Cuiabá, Sabará, Córrego do Sítio, Santa Bárbara; Morro do Ouro, Paracatu; na Bahia – Fazenda Brasileiro e Barrocas.

Afigura-se como promissor o aumento da produção de ouro tendo em vista o desenvolvimento de diversos projetos de ampliação e de implantação de novas minas:

- ▶ Mina Lamego, Sabará, AngloGold Ashanti Mineração Ltda;
- ▶ expansão da escala de produção do Morro do Ouro para 30 milhões t/ a;
- ▶ projetos São Vicente, Nova Lacerda e São Francisco, Vila Bela da Santíssima Tindade, MT e Alto Horizonte, GO.

7.2 | Minério de Platina e Platinóides

A **platina** tem propriedades importantes das quais decorrem os seus usos em joalheria – beleza, resistência, inalterabilidade, maleabilidade-, em fornos para a fabricação de vidro e em cadinhos – resistência mecânica, alto ponto de fusão ; em catálise nas indústrias química e petroquímica, aplicação estendida, recentemente, ao setor automobilístico em catalisadores de escapamentos, em termometria, na medicina como metal cirúrgico e de próteses – resistência, biocompatibilidade, inalterabilidade – e em dispositivos elétricos e eletrônicos – condutividade e resistência à oxidação. A platina passou a ter importância industrial em 1784 e o seu uso em joalheria é atribuído a Louis Cartier, em 1910. A fabricação de catalizadores e jóias respondem por 42% e 33% do consumo de platina, respectivamente.

O **paládio** é aplicado em catalizadores (50% do consumo) e em materiais odontológicos (33% do consumo).

O **ródio**, devido ao seu preço mais baixo em relação aos demais, tem sido muito usado em catalizadores para controle da exaustão dos gases de escape de motores de automóveis e em joalheria.

Minérios de platina e platinóides ocorrem em situações geológicas muito específicas, o que torna a sua produção um privilégio de pouquíssimos territórios, como a África do Sul, a Rússia e o Canadá. O paládio pode ser recuperado do ouro “paladiado”, conhecido como “ouro preto” (5 a 10% Pd). O “ouro branco” contém platina (10% Pt).

A África do Sul lidera o suprimento de platina e platinóides, proveniente de minas situadas no *Merenski Reef* e em outras uni-

dades de rochas máficas-ultramáficas. Seguem-se a Rússia e o Canadá onde a platina é recuperada como subproduto dos minérios sulfetados de tipo Ni+Cu+Co. Outra fonte de suprimento de platina é a reciclagem de catalizadores da indústria petroquímica.

A produção mundial de platina é da ordem de 218 t e a de paládio, 190 t, com tendência de crescimento. As reservas atingem 80.000 t, situadas na África do Sul (87%), Rússia (8%) e Canadá (OLIVEIRA & RICCIARDI, 2005).

Não são conhecidos depósitos e minérios de platina e de platinóides no Brasil, apesar da existência de ambientes geológicos propícios para tal e das similaridades geológicas do território nacional com a África do Sul, ambos partes integrantes de um antigo continente. É conhecido o fato de que o ouro da Serra Pelada é paladiado e é registrada produção de paládio como sub-produto do refino do ouro e de pequenas quantidades de platinóides no matte produzido em Fortaleza de Minas, como sub-produto do níquel.

O consumo interno é estimado em 916 kg de platina e 1.619 kg de paládio (OLIVEIRA & RICCIARDI, 2005).

A Colômbia é o único país da América Latina que produz platina.

8 | DISPONIBILIDADE, SUPRIMENTO E DEMANDA DE CARVÃO MINERAL

O **carvão mineral** e o **coque**, um resíduo carbonoso da pirólise do carvão, são insumos minerais da maior importância nos diversos processos metalúrgicos, em especial no siderúrgico, que demandam grandes quantidades desses materiais. O carvão, o coque de carvão e o **coque verde**, subproduto do refino do petróleo, chegam a representar 30% do custo final do aço, em algumas usinas. As frações de granulação grossa do coque são usadas em fundição e, as frações finas, em sinterização e em ferro-ligas.

A pirólise do carvão gera diversos subprodutos – gás de coquearia, alcatrão, piche, amônia, enxofre, óleos parafínicos e naftênicos – que são utilizados na indústria carboquímica. Decorre desse fato a estreita vinculação entre a indústria siderúrgica e a carboquímica: 80% do segmento carboquímico vincula-se ao setor siderúrgico.

O carvão tem origem na carbonização de restos de vegetais, em ambientes sedimentares continentais. A evolução geológica favorável da bacia que contém os sedimentos carbonosos propicia as condições ideais para a maturação dos restos vegetais e para a formação de carvões com composição adequada de **macerais**, de **matéria mineral** e com elevado conteúdo energético. Macerais são os litotipos carbonosos de origem orgânica, subdivididos em **vitritina**, **inertina** e **exinita**. Matéria mineral são os componentes inorgânicos acumulados junto ao carvão, essencialmente quartzo (areia) e argilas, considerados contaminantes ou “cinzas”. A evolução geológica adequada das **bacias carboníferas** é determinante na qualidade do carvão mineral, que pode apresentar características tanto para uso siderúrgico/coqueificável como energético.

As características físicas (moabilidade, granulometria, reologia, fluidez), químicas (matéria volátil, teor de enxofre, alcalis, alcatrão) e mineralógicas (quantidades de vitritina, exinita e

inertina) adequadas são críticas para o uso do carvão na siderurgia e na metalurgia.

Os carvões são classificados de acordo com a porcentagem de voláteis, poder calorífico (kcal/kg) e poder de reflexão da vitrinita. A reflexão da vitrinita em óleo é indicativa do grau de maturação do carvão; é diretamente proporcional à intensidade da carbonização e ao poder calorífico. Com base nessas características é definida a classificação ou "ranking" dos carvões (Quadro XVIII).

Quadro XVIII – Classificação dos carvões

Tipo	% Voláteis	% Reflexão	Poder calorífico kcal/kg
Turfa	62	0,28	< 3.500
Linhito	52	0,39	4.600
Sub-betuminoso	50 – 47	0,5	6.440
Betuminoso	42 – 14	1,9	7.800
Antracito	2	> 2,5	> 7.800

O carvão siderúrgico de boa qualidade apresenta reflexão média de 0,8%, conteúdo de matéria não-carbonosa inferior a 17%, máximo de 1,7% de enxôfre (geralmente < 1%). A produção mundial de carvão em 2004 superou 4.800 milhões t, destacando-se a China como principal produtor (Quadro XIX).

Quadro XIX – Produção de carvão em alguns países, 2004, milhões t

China	1.771
Estados Unidos	1.015
Austrália	357
Índia	337
África do Sul	245
Rússia	228
Brasil	5,1
Total mundial	4.890

Fonte: BORBA, 2005. modificado.

As reservas totalizam 909.000 milhões t, distribuídas nos territórios dos principais países produtores referidos no Quadro XIX:

Estados Unidos (27% do total), Rússia (17%), China (13%), Índia e Austrália (DNPM, 2005). Na América Latina, apenas a Colômbia dispõe de reservas expressivas de carvão de boa qualidade.

A China é o maior consumidor mundial, com demanda superior a 35% do total, secundada pelos Estados Unidos, Rússia e Japão.

CARVÃO MINERAL NO BRASIL

Ocorrências e depósitos de carvão são conhecidos na Bacia do Paraná nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, além de São Paulo, Bacia do Parnaíba, Acre e Amazonas (LENZ & RAMOS, 1985).

As reservas são estimadas em de 32.000 milhões t (28.800 milhões t no Rio Grande do Sul, 3.400 milhões t em Santa Catarina e o restante no Paraná). No entanto, apenas uma pequena parte dessa reserva é considerada passível de uso siderúrgico e quase toda a reserva corresponde ao carvão energético.

Embora sejam significativos os recursos e as reservas brasileiras de carvão, as suas características são pouco adequadas ao uso siderúrgico e obtenção de coque. Apresentam grande quantidade de "cinzas" – matéria não carbonosa, elevado teor de enxofre, decorrente da presença de pirita, e de alcalis. Em consequência, o suprimento de carvão siderúrgico depende da importação de grandes quantidades para atender à próspera produção nacional de aço: em 2004 foram adquiridas no exterior 18,4 milhões t, mantendo ritmo crescente ano a ano (15 milhões t em 2002). Como referido anteriormente, o carvão mineral é um dos principais itens da pauta das importações de produtos de origem mineral.

O aproveitamento do carvão nacional e a definição de novas jazidas com produto adequado à siderurgia continuam sendo um grande desafio tecnológico. A qualidade inferior do carvão brasileiro, presente nas camadas mais próximas da superfície, é uma consequência direta dos eventos geológicos que atuaram nas bacias carboníferas do sul do país, que não se completaram

idealmente, tendo faltado algumas etapas do processo evolutivo. Diante do nível atual de conhecimento geológico e tecnológico, não existem minas ou lavadores capazes de produzir carvão metalúrgico em quantidade e qualidade para suprir a indústria siderúrgica nacional. No entanto, existem perspectivas de definição de jazidas de carvão com melhor qualidade, eventualmente de grau siderúrgico, em camadas mais profundas; seria o caso do depósito de Santa Teresinha, RS, situado em horizontes carboníferos profundos, a 400-600 m (BORBA, 2005). Adicionalmente, sondagens exploratórias realizadas há alguns anos pela CPRM na região de Torres, no norte do Rio Grande do Sul, e que não tiveram continuidade, também encontraram indícios de carvão de melhor qualidade em horizontes mais profundos.

Apesar do significativo montante de reservas, pelo menos de carvão energético, a mineração de carvão encontra-se em crise desde que o governo Collor, em 1990, desregulamentou a atividade carbonífera, eliminando a obrigatoriedade do consumo de carvão nacional nas usinas siderúrgicas (estabelecidas por Getúlio Vargas, o grande incentivador da produção interna de carvão), extinguiu as cotas de produção de carvão e estabeleceu alíquota zero nos impostos de importação (SILVEIRA & DAMASCENO, 2003).

Em 2004 a produção brasileira foi ligeiramente superior a 5,1 milhões t, com tendência de crescimento (10% a mais do que em 2003, ALVES, 2005). São produzidas as variedades CE 3100, CE 3300, CE 3500, CE 4200, CE4500 kcal. Mediante beneficiamento em lavadores podem atingir 6300 a 6500 kcal, com redução do teor de enxofre.

As principais empresas produtoras de carvão mineral são:

- ▶ Copelmi Mineração Ltda., 18,9% da produção, em 2004, nas minas Recreio/Butiá, Faxinal/Arroio dos Ratos e Butiá Leste/Butiá, RS;
- ▶ CRM-Companhia Riograndense de Mineração S.A, 18,2% da produção, minas Candiota/Candiota e Boa Vista/Minas Leão, RS;

- ▶ Companhia Carbonífera Criciúma, 17,6% da produção, mina Unidade Mineira Verdinho/Forquilha, SC;
- ▶ Companhia Carbonífera Metropolitana, mina Esperança/Treviso, SC;
- ▶ Indústria Carbonífera Rio Deserto, mina Trevo/Siderópolis e Barro Branco/Lauro Müller, SC;
- ▶ Carbonífera Catarinense, mina Três/Criciúma, SC, mina Formosa/Lauro Müller, SC;
- ▶ Carbonífera Belluno, minas Cantão/Rio Fiorita, Marion/Morozoni, Treviso, Macarini/Rio Maina, SC;
- ▶ Carbonífera Cambuí, minas Amando Simões e 115, Fgueira, PR;
- ▶ Cocalit;
- ▶ Cooperminas, mina Três/Forquilha, SC;
- ▶ Carbonífera Palermo, mina Cerro Manoel Prates/Cachoeira do Sul, RS (O PERFIL..., 2005).

Quadro XX – Produção de carvão bruto ROM e beneficiado, por empresa, 2004

Empresa	Produção t ROM / beneficiado
Copelmi	1.916.586 ROM / 899.524
CRM	1.649.405 ROM / 1.590.377
Criciúma	1.175.504 ROM / 614.918
Cooperminas	1.008.000 ROM / 383.040
Metropolitana	1.302.964 ROM
Catarinense	989.885 ROM / 280.893
Rio Deserto	840.029 ROM / 376.497
Belluno	698.000 ROM / 247.266
Cambuí	346.666 ROM
Cocalit	192.257 ROM / 63.052
Palermo	101.100 ROM / 54.278

Fonte: O PERFIL..., 2005, modificado.

Há alguns projetos de implantação de novas minas ou de expansão da produção de carvão para uso energético em andamen-

to: a Carbonífera Criciúma desenvolve as minas UM III – Rio Queimado, em Lauro Müller, a UM IV – Volta Redonda, em Treviso, SC, e a mina Leão III, Minas do Leão, RS; a Rio Deserto, o Complexo Mineiro Esplanada, em São João, SC; a CRM deverá expandir a capacidade da mina Candiota para 4,5 milhões t/a ROM, visando o suprimento da termoelétrica Candiota III (O PERFIL..., 2005).

9 | DISPONIBILIDADE, SUPRIMENTO E DEMANDA DE MINÉRIOS FUNDENTES

Na indústria siderúrgica e metalúrgica os principais minérios fundentes e fluxantes são os **calcários, dolomitos e fluorita**.

9.1 Calcários e Dolomitos

Calcários e dolomitos fazem parte das rochas carbonatadas que constituem importante insumo mineral industrial. São usadas na fabricação de cimento, cal, corretivo de solos, fonte de cálcio e de magnésio na indústria química e fundente metalúrgico, dentre inúmeras outras aplicações. Nos processos metalúrgicos são utilizados, preferencialmente, os dolomitos e a cal (que é obtida pela calcinação de calcários e de dolomitos).

Dolomitos – $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ e **calcários** – CaCO_3 são caracterizados pelas diferentes proporções dos minerais **calcita** – CaCO_3 e **dolomita** – $\text{Ca, Mg}(\text{CO}_3)_2$ presentes nas suas respectivas composições. Tanto dolomitos como calcários são rochas abundantes, não cabendo análise genérica de reservas ou de potencial de recursos. No entanto, a existência de jazidas e minas nas proximidades das indústrias de transformação e dos pólos siderúrgicos e metalúrgicos é relevante. As rochas carbonatadas se caracterizam como insumos minerais de baixo valor unitário, não suportando transporte a grandes distâncias, devendo ser utilizadas ou transformadas nas proximidades das suas fontes.

No Brasil, dolomitos e calcários ocorrem em diversas unidades geológicas, bem posicionadas em relação aos pólos industriais, especialmente os das usinas siderúrgicas. As reservas e minas mais importantes estão localizadas no estado de Minas Gerais – arredores de Vespasiano, São José da Lapa, Sete Lagoas, Arcos, Pains, Itaú de Minas, dentre outras localidades, com destaque para o potencial de recursos do Grupo Bambuí. Nos estados de São Paulo e do Paraná destacam-se as regiões de Sorocaba, Votorantim, Salto de Pirapora, Capão Bonito, Apiaí, Itapeva,

Itararé e Campo Largo, como regiões detentoras de reservas de rochas carbonatadas, encontradas no Grupo Açungui.

A cal tem diversas aplicações em siderurgia e metalurgia: pelotização e sinterização de minério de ferro, fluxante em fornos LD e Siemens-Martin, fornos elétricos, metalurgia do alumínio e de metais de não-ferrosos. Estima-se o consumo de cal no setor metalúrgico e siderúrgico como da ordem de 2,5 a 3 milhões t/a. O segmento siderúrgico consome 18% da cal produzida no país, a metalurgia do alumínio 2% e a pelotização de minério de ferro 6% (ABPC, 2005).

As principais siderúrgicas – AÇOMINAS, CST, CSN e COSIPA – contam com minas cativas e/ou unidades produtoras de cal para o atendimento das próprias demandas.

Estima-se o consumo de 10 milhões t/a de calcários e dolomitos como fundentes.

9.2 | Fluorita e Criolita

A **fluorita** – CaF_2 (51,3% Ca, 48,7% F) – encontra aplicações como fundente siderúrgico e metalúrgico, em cerâmica e na indústria química como matéria-prima para a obtenção de ácido fluorídrico, **criolita** artificial e fluoretos. Na siderurgia, além de fundente, a fluorita aumenta a fluidez da escória e facilita a eliminação de componentes indesejáveis no aço, como o enxofre e o fósforo. O setor metalúrgico/siderúrgico é responsável por 75% do consumo de fluorita.

A criolita artificial, obtida a partir da fluorita e do ácido fluorídrico, é de fundamental importância no processo eletrometalúrgico de produção de alumínio. Embora exista o mineral criolita, raramente ele se acumula em jazidas e permite a instalação de minas. Uma insólita mina, situada no *fjord Ivigtut*, Groenlândia, foi desativada nos anos 1990.

A produção e o mercado de fluorita estão intimamente atrelados à obtenção de criolita e de fluoretos usados na produção de alumínio, até mais fortemente do que à siderurgia. No ce-

nário mundial da mineração de fluorita observa-se o interesse por parte das empresas produtoras de alumínio na mineração e na obtenção de fluorita.

Em função dos seus diversos usos, os minérios de fluorita são divididos nas categorias **grau metalúrgico**, **cerâmico** e **ácido** ou **químico**. A variedade destinada à siderurgia/metallurgia é usada *in natura*, com granulação grossa, *lump*, com 6 a 10 cm de diâmetro, com o mínimo de 58% CaF_2 e máximo de 5% SiO_2 e 0,3% S (convém recordar que uma das principais fontes de suprimento de fluorita são os minérios sulfetados de chumbo e zinco, nos quais a fluorita constitui a ganga, recuperada como subproduto) e traços de fósforo. A categoria grau ácido é de granulação mais fina, geralmente recuperada na flotação, durante a concentração de minerais não-ferrosos.

A fluorita é um mineral acessório, comum em vários tipos de rocha. As jazidas de fluorita ocorrem em ambientes geológicos semelhantes àqueles em que se formam os depósitos de chumbo e zinco, associando-se a sequências sedimentares de rochas carbonatadas, vulcanosedimentares e, eventualmente, a granitos e maciços alcalinos. Como já foi mencionado, a fluorita é um freqüente mineral de ganga nos minérios de zinco/chumbo, dos quais constitui subproduto.

Uma fonte secundária de flúor são os minérios de fosfato. A apatita, seu principal componente, contém normalmente apreciável quantidade de F que é transformado em ácido fluorsilícico durante o processo de solubilização de concentrados de apatita ou da fosforita para produção de ácido fosfórico. Nos Estados Unidos o F recuperado em unidades de solubilização de fosfatos supre algumas porcentagens da demanda de flúor.

As reservas de fluorita são estimadas em 230 milhões t e o potencial de recursos em 480 milhões localizados, principalmente, na China (DNPM, 2005). A maior parte desse potencial é constituída de fluorita grau ácido, com granulação fina. A disponibilidade de variedades mais graúdas, as preferidas para o uso metalúrgico/siderúrgico, é menor. Por essa razão, adota-

se a aglomeração dos finos de fluorita em pelotas para uso na metalurgia.

A produção mundial em 2004 atingiu quase 5 milhões t. A liderança é da China (2,7 milhões t ou 55% do total), seguida do México (750.000 t), Mongólia, Rússia e África do Sul.

FLUORITA NO BRASIL

Em 2004 a produção brasileira de fluorita foi 58.000 t (70% grau ácido e 30% grau metalúrgico), quantidade insuficiente para suprir a demanda interna e exigindo importação, inclusive de produtos manufaturados: 13.000 t de fluorita grau metalúrgico, 10.300 t de criolita e 3.400 t de ácido fluorídrico, além de fluoretos (PEÇANHA, 2005).

A demanda interna de criolita para atender à metalurgia do alumínio é estimada em 45.000 t/a . A Companhia Nitro-Química é a única produtora de criolita artificial, consumida pela CBA, também do Grupo Votorantim. Na produção de alumínio são consumidos de 30 a 50 kg de criolita/t Al, além de fluoretos.

O consumo de fluorita na siderurgia é estimado entre 2 a 7 kg/t de aço, dependendo do processo adotado. Para a produção de ligas Fe/Cr, Fe/Mn, Fe/Ni e outras, o consumo é maior, estimado em 80 kg fluorita/t de liga produzida.

O perfil do consumo de fluorita no Brasil é o seguinte (PEÇANHA, 2005):

► grau ácido

ácido fluorídrico	75%
solda e anodos para galvanoplastia	9%
metalurgia de não-ferrosos	6,5%
fundição	2,4%
ferro-ligas	1,5%

► grau metalúrgico

siderurgia	69%
soldas e anodos para galvanoplastia	13%
fundição	12,5%

ferro-ligas	1,4%
metalurgia de não-ferrosos	1,7%

São conhecidas no país diversas ocorrências de fluorita filiadas a granitos, maciços alcalinos e rochas carbonatadas. Existem poucas minas, localizadas nos estados de Santa Catarina, em Morro da Fumaça, Santa Rosa de Lima e Rio Fortuna; no Rio de Janeiro, em Tanguá; e no Paraná, em Mato Preto, Cerro Azul. Outros depósitos são conhecidos no Alto Vale do Ribeira, Paraná e São Paulo – Volta Grande, Mato Dentro, Sete Barras e Barra do Itapirapuã – e na Serra do Ramalho, Bahia (DARDENNE et al., 1997; FAGUNDES, P.R, 1997 ; JENKINS, R.E., 1997; CARVALHO et al., 1997; FERREIRA et al., 1997; JUSTI & MARAGNO, 1997; BASTOS, NETO et al., 1997; BECKER, 1997 ; MIRANDA, 1997).

Produzem fluorita a Companhia Nitro – Química Brasileira/Grupo Votorantim, a Mineração Nossa Senhora do Carmo, em Santa Catarina e a Emitang – Empresa de Mineração Tanguá Ltda., no Rio de Janeiro.

As reservas nacionais são estimadas em 7 milhões t com teor acima de 35% de CaF_2 , distribuídas nos estados de Santa Catarina (70% do total), Rio de Janeiro e Paraná.

Quanto à criolita natural, é conhecido o potencial de recursos estimado em 3 milhões t, associado aos granitos estaníferos da mina de estanho de Pitinga, Amazonas, como mencionado anteriormente. A Mineração Taboca, concessionária de Pitinga, desenvolve investigações visando o aproveitamento da criolita.

10 | DISPONIBILIDADE, SUPRIMENTO E DEMANDA DE MINÉRIOS PARA REFRAATÓRIOS

Diversos minérios são utilizados na fabricação de refratários. Esses materiais devem apresentar grau de refratariedade superior a 1450°C, inércia química, além de resistência mecânica, tanto ao verde, para facilitar a conformação, como a elevadas temperaturas, durante e após o aquecimento.

De acordo com a composição final do refratário, os minérios utilizados na sua obtenção podem ser agrupados em dois conjuntos principais:

- ▶ **argilosos**, incluindo as **argilas silicosas, sílico-aluminosas e aluminosas**;
- ▶ **não-argilosos**, compreendendo **magnesita, cromita, bauxita, cianita-andaluzita-sillimanita, zircão (zirconita), dolomita, grafita e quartzito**.

10.1 | Argilas Silicosas, Sílico-aluminosas e Aluminosas

As argilas silicosas e sílico-aluminosas são recursos abundantes, ocorrendo particularmente em aluviões recentes. São constituídas de uma mistura de **argilo-minerais**, dentre eles a **caulinita** – silicato de alumínio hidratado, a **illita** – silicato de potássio e **montmorillonita** – silicato de sódio e/ou cálcio. É incomum a ocorrência de depósitos de argilo-minerais puros em decorrência da própria gênese das argilas, que são derivadas do intemperismo de outras rochas precedentes e sujeitas à erosão e transporte em suspensão em torrentes, até a sedimentação. Como os argilo-minerais são muito similares entre si e não apresentam diferenças significativas de granulação, seu transporte e sedimentação são pouco seletivos.

A caulinita, por conter alumina, tende a ser refratária, cuja intensidade aumenta com o teor de Al_2O_3 . A partir de uma determinada quantidade de alumina, a caulinita quase se confunde com a bauxita refratária.

As argilas sílico-aluminosas são constituídas, essencialmente, por uma mistura de caulinita e quartzo. Essas variedades, especialmente as de alta alumina, são menos abundantes. Durante muitos anos a região do Alto Tietê foi a fonte de argilas silicosas e sílico-aluminosas. Atualmente são produzidas nas regiões de Poços de Caldas, Andradas, Caldas, Silverânia, Uberaba, Sacramento e Nova Ponte, em Minas Gerais. Existe ainda um potencial de recursos no Baixo Amazonas, onde são comuns depósitos de bauxita refratária e para uso metalúrgico.

Não existem dados individualizados sobre a produção de argilas refratárias. No entanto, existem diversas minas operadas pela Mineração Curimbaba, especialmente na região de Poços de Caldas (Chapadão, Quirinos, Vargem de Caldas, Campo de Aviação), pela Magnesita S.A (Campo do Meio, Córrego do Meio e Sítio São José, em Poços de Caldas; Vila Chiquita, em Silverânia; Tijuco, Jacaré e Caroço, em Uberaba e Nova Ponte e outras em Capão da Braúna, Esmeraldas, Conceição do Pará e Pitangui) e pela Varginha Mineração e Loteamentos Ltda, (Rex, Retirinho e Engenho) em Poços de Caldas. A Curimbaba registrou, em 2004, produção de argila (+ bauxita, provavelmente refratária) da ordem de 430.000 t. A Varginha registrou produção de 72.000 t de argila (+ 300.000 t de bauxita). Tanto a Curimbaba como a Varginha planejam implantar diversas novas minas em Poços de Caldas, Caldas e Andradas, MG (O PERFIL..., 2005).

10.2 | Bauxita e Alumina

A bauxita e a alumina, além do uso metalúrgico já referido anteriormente, são utilizadas, também, em refratários. A alumina pura ou combinada com outros óxidos refratários, como a **zircônia**, é muito utilizada em materiais refratários de alto desempenho. É grande o potencial nacional de reservas e de recursos de bauxita refratária ou para a produção de alumina, particularmente, na região do Baixo Amazonas.

10.3 | Magnesita

A **magnesita** – $MgCO_3$ pertence ao grupo dos carbonatos. É um produto de alteração de calcários e dolomitos por soluções magmáticas, ou de rochas ricas em silicatos de magnésio. Associa-se a maciços de dolomito, em ambientes metamórficos e máficos/ultramáficos (QUEIRÓZ, 1997).

A magnesita é utilizada, preponderantemente, na fabricação dos refratários básicos, após a sua calcinação. O produto calcinado, MgO ou magnesita calcinada à morte, **DBM** (*dead burned magnesite*) ou sinter magnésiano ou **periclásio** é o material refratário. O periclásio pode ser obtido, também, da **magnésia** – MgO , pela calcinação do cloreto de magnésio extraído da água do mar, em instalações de desalinização de água. Tanto a magnesita calcinada como a magnésia participam, com cerca de 50% cada, no suprimento mundial de MgO para refratários.

Além da destinação para refratários, a magnesita é utilizada nas indústrias farmacêutica, química, de fertilizante e alimentação animal.

A produção mundial de magnesita situa-se em 3,8 milhões t, destacando-se a China com principal produtor (1,1 milhões t), seguida da Turquia (600.000 t). O Brasil participou com 366.000 t em 2004. As reservas são estimadas em mais de 3.800 milhões t, situadas na China (22% do total), Coréia (19%) e Rússia (CORREIA, 2005).

As reservas brasileiras são da ordem de 345 milhões t (9% do total mundial), localizando-se nas regiões de Brumado e Castela/Sento Sé, respectivamente na Bahia e no Ceará (OLIVEIRA et al., 1997; OLIVEIRA, 1997; CASAES, 1997). A produção de magnesita superou 1,3 milhões t ROM. A produção interna supre a demanda e permitiu a exportação de 98.400 t de sinter e refratários em 2004.

Atuam no segmento de mineração e transformação da magnesita e na produção de refratários a Magnesita S.A, a Refratários

do Nordeste e as Indústrias Químicas Xilolite. A Magnesita S. A é responsável por 87% da produção de magnesita e planeja implantar nova mina em Iguatu, CE. (O PERFIL..., 2005).

10.4 | Cromita Refratária

A cromita, mineral já abordado no tópico dos recursos ferrosos, é usada, também, como refratário, em mistura com magnesita calcinada. A despeito das reservas e da produção de cromita conhecidas no estado da Bahia, usada, preponderantemente, na obtenção de ligas de cromo, o país não dispõe de tipologias mais aluminosas adequadas à produção de refratários. Por essa razão, cromita grau refratário é importada.

A Magnesita S.A opera a mina de cromita da Fazenda Pedra Preta, em Santa Luz, com capacidade de 44.000 t/a (O PERFIL..., 2005).

10.5 | Cianita-sillimanita-andaluzita

Os minerais **cianita-sillimanita-andaluzita** – Al_2SiO_5 , 63% Al_2O_3 – permitem a produção de **mulitas** aluminosas utilizadas em cerâmica refratária de alto desempenho. Esses minerais superam a bauxita em quantidade de alumina contida. No estado natural ou calcinados, apresentam elevada refratariedade e resistência ao choque térmico.

O maior produtor de sillimanita é a África do Sul.

No Brasil são conhecidos depósitos de cianita em Santa Terezinha de Goiás, Capelinha, Itamarandiba, Minas Novas e Mateus Leme em Minas Gerais, Vitória da Conquista na Bahia e em Mataraca, na Paraíba (SCHOBENHAUS FILHO, 1997).

A produção de cianita é estimada em 3.000 t, somando-se as contribuições da Magnesita S.A, que explora as minas Grota da Lapa e Grota da Candinha, em Itamarandiba e a da Millenium Inorganic Chemicals do Brasil em Mataraca, como subproduto da ilmenita (O PERFIL..., 2005).

10.6 | Areia de Zircão

Areia de zircão ou de **zirconita** é usada na confecção de moldes para fundição. O zircão é um mineral acessório comum em diversos tipos de rochas e acumula-se em aluviões fluviais e marinhos, como já foi mencionado em tópico precedente. As principais minas de zircão encontram-se em areias ao longo do litoral, principalmente na Austrália e África do Sul, principais produtores mundiais. Muitas vezes é subproduto da ilmenita. Em 2004 foram produzidas de 19.900 t concentrados de zircão pela Millenium Inorganic Chemicals do Brasil S.A, como subproduto da ilmenita na mina do Guaju, Mataraca (O PERFIL..., 2005). No mesmo ano foram importadas cerca de 24.000 t de produtos de zircão, incluído areia.

10.7 | Grafita

A **grafita** – C – é utilizada em metalurgia em cadinhos, tijolos refratários, lingoteiras e em eletrodos para fornos elétricos. Esses usos decorrem de três propriedades da grafita: refratariedade, resistência à combustão e condutividade elétrica. Além das aplicações em metalurgia, é muito usada em equipamentos elétricos (escovas de motores), pilhas, graxas, lubrificantes, tintas anti – corrosivas, lápis e como moderador de nêutrons.

A **grafita** é um mineral, enquanto a *grafite* ou grafita artificial é obtida como subproduto na indústria petroquímica. As variedades naturais, especialmente as cristalinas, do tipo *flake* ou lamelares são as mais procuradas e valiosas no mercado.

No Brasil são comuns as ocorrências de grafita, distribuídas em diversos estados. A empresa Nacional de Grafite Ltda lidera a produção e opera as minas de Tejuco Preto, em Itapecerica, Paca, em Pedra Azul e Califórnia, em Salto da Divisa, todas em Mina Gerais. Os minérios são xistos grafitosos (MORAIS, 1997; RESENDE e NERY, 1997; RESENDE, VARELLA, 1997).

Em 2004 a produção foi de 76.300 t, com crescimento de cerca de 8% em relação ao ano anterior (ALVES, 2005).

A China e a Coréia são os principais produtores e detentores da maior parte das reservas.

10.8 | Quartzito

Quartzito é uma rocha de origem metamórfica constituída essencialmente de **quartzito** – SiO_2 . Tem diversas aplicações industriais, dentre elas, a fabricação de silício metálico, ferro-ligas e refratários silicosos, materiais de interesse para a metalurgia e a siderurgia. Os refratários silicosos são os mais utilizados no país.

As principais regiões produtoras de quartzito situam-se nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Pará.

10.9 | Dunito e Forsterita

Dunitos são rochas de composição ferro-magnésiana constituídos fundamentalmente por olivina [$\text{SiO}_4(\text{Mg},\text{Fe})_2$]. O nome **olivina** designa uma série completa, isomorfa, que vai da **forsterita** [SiO_4Mg_2] até a **faialita** [SiO_4Fe_2]. Os dunitos são utilizados como refratários ou fundentes, dependendo das condições de uso na metalurgia. No Brasil a sua utilização é restrita, registrando-se produção de rochas com composição similares ao dunito na região de Ouro Preto, destinada ao pólo siderúrgico de Minas Gerais.

11 | DISPONIBILIDADE, SUPRIMENTO E DEMANDA DE MINÉRIOS PARA FUNDIÇÃO

Em fundição são utilizadas **areias quartzosas e areias de zircão (“zirconita”)**, além de **argilas aglomerantes, como a bentonita**. Esses minerais são usados na confecção de moldes para peças metálicas fundidas. A bentonita é usada, também, na **pelotização de minério de ferro**.

As areias de fundição (areia-base ou areia verde) devem apresentar características granulométricas rígidas (40 a 70#), elevado grau de seleção, arredondamento e esfericidade, características fundamentais para aumentar a porosidade e a permeabilidade que facilitam a liberação e o escape de gases dos metais em fusão, produzindo peças com melhor acabamento. Estas areias são formadas em ambientes geológicos e fisiográficos muito específicos, incluindo ação recorrente de processos naturais de erosão e de sedimentação que promovem a seleção, o arredondamento e a esfericidade dos grãos (NAVA, 1997).

Areia quartzosa é utilizada, ainda, na fabricação de sinter.

O mais importante pólo de mineração de areia para fundição situa-se na região de Descalvado e Analândia, no estado de São Paulo. A principal produtora de areia quartzosa para diversos usos, inclusive para fundição, é a Mineração Jundu Ltda. Em 2004 contribuiu com 2.2 milhões t de concentrados de areia quartzosa, provenientes de duas minas situadas nas localidades acima mencionadas. No passado, antes da urbanização, areia para fundição era produzida no litoral sul de São Paulo, entre São Vicente e Peruíbe (NAVA, 1997; THEOROVICZ et al., 1997; O PERFIL..., 2005).

Bentonita é a denominação comercial de argila em que predomina o argilo-mineral **montmorillonita**. O nome comercial deriva de *Fort Benton*, Wyoming, Estados Unidos, onde são produzidas bentonitas de qualidade. As montmorillonitas são argilas formadas em ambientes sedimentares muito específicos e apre-

sentam propriedades aglomerantes, absorventes e geológicas específicas, além de elevada capacidade de troca de cátions. Em decorrência do poder aglomerante, é usada como agente ligante da areia-base em moldes de fundição e na pelotização de minério de ferro. Classificam-se em **bentoníticas sódicas**, ou *high swelling*, a variedade mais nobre e de maior valor, **cálcicas** (*low swelling*) e **cálcicas ativadas**. A principal aplicação da bentonita é no setor de petróleo, onde é usada na composição da lama de sondagens de perfuração de poços.

A produção mundial de bentonita é da ordem de 10,5 milhões t, destacando-se os Estados Unidos (4,5 milhões t) e a Grécia como principais países produtores.

As bentonitas produzidas no Brasil são do tipo cálcicas, exploradas nas regiões de: Boa Vista, Campina Grande – PB; em Quatro Barras, PR; em Silva Jardim – RJ; em Taubaté e Tremembé, SP. Há ocorrências em Vitória da Conquista – BA (DANTAS et al., 1997; DEL MONTE & SILVA, 1997; MOREIRA & SAMPAIO, 1997; BALTAR et al., 2003; OLIVEIRA, 2005).

A bentonita cálcica pode ser ativada mediante tratamento com carbonato de sódio. O país carece de depósitos de bentonita sódica, que é importada.

A produção nacional em 2004 foi de 227.000 t, cerca de 90% provenientes da Paraíba. A principal empresa do setor é a Bentonit União do Nordeste S.A, com produção registrada de 193.000 t ROM. Em 2004, foram importadas 117.500 t.

12 | REFERÊNCIAS

12.1 | Minérios Ferrosos

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FERROLIGAS E SILÍCIO METÁLICO – ABRAFE. Disponível em: < <http://abrafe.ind.br> >. Acesso em set. 2005.
- ABREU, S.F. Recursos Minerais do Brasil. São Paulo: Editora Edgar Blücher/EDUSP, 1973.
- ALVES, C. A.; BERNARDELLI, A L.; BEISEIGEL, V.R. A jazida de níquel laterítico do Vermelho, Serra dos Carajás, Pará. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1986. v. 2, cap. 25, p. 325-324.
- ALVES, F. Mineração mais do que dobra participação no PIB nacional. Brasil Mineral, n. 240, p. 14- 27, jun. 2005.
- ANDRADE, F.G.; NAKISHIMA, J.; PODESTÁ, P.R. Depósito de manganês da Serra de Buritirama, Pará. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral.. Principais Depósitos Minerais do Brasil, Brasília, 1986. v. 2, cap. 13, p. 153 – 166.
- BARCELOS T.P.; BÜCHI, J., 1986. Mina de minério de ferro de Alegria, Minas Gerais. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1986. v. 2, cap. 5, p.77-85.
- _____. Mina de minério de ferro-manganês de Miguel Congo, Minas Gerais. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil, Brasília, 1986. v. 2, cap. 6, p.87-95.
- BASÍLIO, J.A F; BRONDI, M.A . Distrito manganésífero da região de Licínio de Almeida, Bahia. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1986. v. 2, cap.25, p.177-185.

- BAETA JÚNIOR, J.D.A . As jazidas de níquel laterítico de Barro Alto, Goiás. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1986. v. 2, cap. 24, p. 315 – 323.
- BERBERT, C. O. O depósito de níquel laterítico de Morro do Engenho, Goiás. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1986. v.2, cap. 26, p.335-340.
- _____. O depósito de níquel de São João do Piauí, Piauí. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1986. v.2, cap. 27, p.341 – 345.
- CASTRO, L.W.; MATTOS, S.C.. Depósitos de níquel laterítico de Jacaré e Jacarézinho, município de São Felix do Xingu, Pará. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1986. v. 2, cap. 29, p. 369-384.
- CARVALHO, W.T.; BRESSAN, S.R.. Depósitos de fosfato, nióbio, titânio, terras-raras e vermiculita de Catalão I – Goiás. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1997. v. 4, parte C, cap. 6, p. 69 – 93.
- CARVALHO FILHO, A R.; QUEIRÓZ,E.T.; LEAHY, G.A S. Jazida de cromita de Pedras Pretas, município de Santa Luz, Bahia. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1986. v. 2, cap. 19, p. 235 –248.
- COELHO, C.S. Depósitos de ferro da Serra dos Carajás, Pará., In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1986. vol. 2, cap. 3, p. 29-64.
- COELHO, C.E.S.; RODRIGUES, O.B. Jazida de Manganês do Azul, Serra dos Carajás, Pará. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1986. vol. 2, cap. 12, p. 145-152.

- COSTA, M.R.M.; FIGUEIREDO, R.C. Manganês. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília, 2005. Disponível em < www.dnpm.gov.br>. Acesso em out 2005.
- CRUZ, F.F.; BRENNER, T.L.; MOREIRA, A F.S.; CUNHA, A A B.R., GALLO, C.B.M.; FRANKE, N.D.; PIMENTEL, R.A C., 1986. Jazida de Ni-Cu-Co de Fortaleza de Minas, Minas Gerais. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1986. vol. 2, cap. 22, p. 275-306.
- DORR 2nd, J. N. Supergene iron ores of Minas Gerais, Brazil. Economic Geology, v. 59, n. 7, p. 1203-1240, 1964.
- DORR 2nd, J. N. Nature and origin of high-grade hematite ores of Minas Gerais, Brasil. Economic Geology, v. 60, n. 1. p. 1- 46, 1965.
- DUARTE, P.M.; FONTES, C.F. Minas de cromita das Fazendas Limoeiro e Pedrinhas, município de Campo Formoso, Bahia. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1986. v. 2, cap. 17, p.207-214.
- FERRAN, A. Panorama do níquel no Brasil. Geologia e Metalurgia. São Paulo, n. 35, 1974.
- FERREIRA, G.E. A competitividade da mineração nacional com ênfase no minério de ferro, 2000. 149p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.
- FERREIRA, G.E.; DAMASCENO, E.C. A competitividade da mineração nacional com ênfase no minério de ferro. São Paulo: EPUSP, 1997. (Boletim Técnico do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica, BT/PMI/123.)
- GIERTH, E.; BAECKER, M.L. A mineralização de nióbio e as rochas alcalinas associadas no Complexo Catalão I, Goiás. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1986. vol. 2, cap. 34, p. 455-462.
- GOMES, T.C.M. As minas de Águas Claras, Mutuca e Pico e outros depósitos de minérios de ferro no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia.

- Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1986. vol. 2, cap. 4, p. 65-75.
- GONÇALVES, M.M. Cromo. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília, 2005. Disponível em < www.dnpm.gov.br>. Acesso em out. 2005.
- GUILD, W. P. Geologia e recursos mineraiis do Distrito de Congonhas, Estado de Minas Gerais. Rio de Janeiro, 1960. Departamento Nacional da Produção Mineral, 1960 (Memória n. 1).
- GUIMARÃES, P.F.; NASSAHUD, J.S.; VIVEIROS, J.F.M. A mina de ferro de Capanema, na parte central do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1986. v. 2, cap. 7, p. 97-101.
- HARALYI, N.L.E.; WALDE, D.H.G. Os minérios de ferro e manganês da região de Urucum, Corumbá, Mato Grosso do Sul. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1986. vol. 2, cap. 11, p.127-144.
- HEIDRICH, N. Tantalita. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília, 2005. Disponível em < www.dnpm.gov.br > Acesso em out. 2005.
- HEIM, S.L.; CASTRO FILHO, L.W. Jazida de níquel laterítico de Puma-Onça, município de São Felix do Xingu, Pará. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1986. v. 2, cap.28, p. 347-368.
- JESUS, C.AG. Aço. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília, 2005. Disponível em < www.dnpm.gov.br> Acesso em out. 2005.
- _____. Ferro. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília, 2005. Disponível em < www.dnpm.gov.br>. Acesso em out. 2005.
- JUSTO, L.J.E.C.; SOUZA, M.M.. Jazida de nióbio do Morro dos Seis Lagos, Amazonas. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1986. v. 2, cap. 37, p. 463-468.

- KLEIN, C.; HURLBUT, C.S. Manual of mineralogy. John Wiley & Sons, 1963.
- LIMEIRA, A . Minério de Ferro – No Amapá, nasce um novo player mundial. Brasil Mineral, n. 238, p. 46-53, maio de 2005.
- MANO, E.S.; KAHN, H. Caracterização tecnológica de produtos de beneficiamento do minério de Ni-Cu-Co de Fortaleza de Minas, MG. São Paulo: EPUSP, 2000. (Boletim Técnico do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica, BT/PMI/179).
- MELLO, C.H.M.P.; DURÃO, G.; VIANA, J.S.; CARVALHO, C.J.C. Depósitos de cromita das Fazendas Medrado e Ipueira, município de Senhor do Bonfim, Bahia. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1986. v. 2, cap. 18, p. 215-234.
- MELO, M.T.V; BORBA, R.R.; COELHO, W.A , 1986. O distrito ferrífero de Itabira: minas do Cauê, Conceição, Dois Córregos, Periquito, Onça, Chacrinha e Esmeril. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1986. v. 2, cap. 2, p. 7-28.
- MELO, M.T.V; CHABAN, N.; SAD, J.H. G.; TORRES, N. Depósitos de fosfato, titânio e nióbio de Salitre, Minas Gerais. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1997. v. 4, parte C, cap. 5, p 57 – 68. MELO, M.T.V. Depósitos de fosfato, titânio e nióbio de Tapira, Minas Gerais. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1997. v. 4, parte C, cap. 4, p. 41 – 56.
- NESI, J.R. Molibdênio. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília, 2005. Disponível em < www.dnpm.gov.br>. Acesso em out. 2005.
- NESI, J.R. Tungstênio. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília, 2005. Disponível em < www.dnpm.gov.br>. Acesso em out. 2005.
- NILSON, A A; SANTOS, M.M.; CUBA, E. A; SÁ, C.M.G. Jazida de níquel, cobre e cobalto de Americano do Brasil. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da

- Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1986. v. 2, cap.21, p.257-273.
- O PERFIL DAS 100 MAIORES. Brasil Mineral, n. 240, p. 56 – 162, jun 2005.
- PEDROZO, A.C.; SCHMALTZ, W.H.. Jazimentos de níquel laterítico de Niquelândia, Goiás. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil.. Brasília, 1986. vol. 2, cap. 23, p. 306-314.
- PEGMATITOS DO NORDESTE: diagnóstico sobre aproveitamento racional e integrado. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2003. 49p. (Série Rochas e Minerais Industriais, 9).
- QUEIRÓZ, E. T. Geologia do cromo. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil.. Brasília, 1986. vol. 2, cap. 16, p. 189-206.
- REIS, R. L. G. Níquel – Com investimentos de US\$ 3 bi, Brasil será o 4º maior produtor. Brasil Mineral. n. 241, jul. 2005.
- RIBEIRO, J.A S.; CORREIA, D.M.B. Vanádio. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília, 2005. Disponível em < www.dnpm.gov.br> Acesso em out 2005.
- RODRIGUES, O.B.; KOSUKI, R.; COELHO FILHO, A . Distrito manganífero da Serra do Navio, Amapá. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1986. vol. 2, cap. 14, p. 167 –175.
- SANTOS, B.A. Amazônia: potencial mineral e perspectivas de desenvolvimento. São Paulo: T.A. Queiroz Editora, 1981.
- SCHOBENHAUS FILHO, C. Geologia do níquel. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1986. vol. 2, cap. 20, p.251- 255.
- _____. Geologia do nióbio e do tântalo. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1986. vol. 2, cap. 34, p. 439-433.

SILVA, A.B. Araxá – uma reserva inesgotável de nióbio. Belo Horizonte, 1985. Sociedade Brasileira de Geologia. Núcleo de Minas Gerais (Contribuições à Geologia e à Petrologia).

_____. Jazida de nióbio de Araxá, Minas Gerais. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil.. Brasília, 1986. vol. 2, cap. 35, p.435-453.

SILVA, C.S. Níquel. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília, 2005. Disponível em > www.dnpm.gov.br> . Acesso em out. 2005.

SILVA, C.S. Nióbio. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília, 2005. Disponível em < www.dnpm.gov.br> Acesso em out. 2005.

TOLBERT, G.E.; SANTOS, B.A.; ALMEIDA E.B.; RITTER J.E. Recente descoberta de ocorrências de minérios de ferro no Estado do Pará. Mineração e Metalurgia. Rio de Janeiro. V. 48, n. 288, p. 253-256, 1986.

TOLBERT, G.E.; TREMAINE, J.W.; MELCHER, G.C.; GOMES C.B. Geology and iron ore deposits of Serra dos Carajás, Pará, Brazil. In: Earth Sciences, n. 9, p. 271-280, 1973 / Proceedings of Kiev Symposium on Genesis of Precambrian iron and manganese deposits/.

VASCONCELOS, T.A.; SANTANA, F.C.; POLONIA, T.C. Minério de ferro de Timbopeba, Minas Gerais. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1986. vol. 2, cap. 8, p. 103-110.

VILELA, O V. As jazidas de minério de ferro dos municípios de Porteirinha, Rio Pardo de Minas, Riacho dos machados e Grão-Mogol, Norte de Minas Gerais. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1986. vol. 2, cap. 9, p. 111-120.

WALDE, D.H.G. Geologia do ferro. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1986. vol. 2, cap. 1, p.3-6.

_____. Geologia do manganês. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção

Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1986. vol. 2, cap. 10 p. 123-126.

12.2 | Minérios Não-Ferrosos

- ABREU, S.F. Recursos Minerais do Brasil. São Paulo: Editora Edgar Blücher/EDUSP, 1973.
- ACCIARI JUNIOR, D.; RIBEIRO, J.C.; DIAS, J.M; BRANDÃO, W. Mina de chumbo e prata do Rocha, Adrianópolis, Paraná. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 13, p. 135-145.
- ALVES, F. Mineração mais do que dobra participação no PIB nacional. Brasil Mineral, n. 240, p. 14- 27, jun. 2005.
- AMARAL, E.V., FARIAS, N.F.; SAUASSERESSI R.; VIANA JUNIOR, A; ANDRADE, V.L.L. Jazida de cobre Salobo 3A e 4A . In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1988. vol. 3, cap.4, p. 43-52.
- AMARAL, G.; DAMASCENO, E.C. Nota sobre a ocorrência de minerais de prata da Serra do Cantinho, Januária, Minas Gerais. Gemologia, São Paulo, 1967. v. 13 – 18, n.36.
- ARAÚJO, S. M; NILSON, A.A. 1988. Depósito de zinco, cobre e chumbo de Palmeirópolis, Goiás. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 16, p. 171-80.
- AVRITSCHER, W. Desenvolvimento de processo industrial para extração de gálio do licor Bayer. 1996. 110p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996.
- AVRITSCHER, W.; MASSINI, E.A . Desenvolvimento de processo para produção de gálio metálico a partir de licor Bayer da Companhia Brasileira de Alumínio – CBA. São Paulo: EPUSP, 2002. (Boletim Técnico do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica, BT/PMI/173)
- BADDI, W. S. R. Jazida de metais básicos de Santa Maria, Caçapava

- do Sul, Rio Grande do Sul. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 15, p. 157-170.
- BARBOSA, E. P.; LORENZI, V.E.; OJIMA, S.K. Jazida de cassiterita de São Pedro do Iriri, Pará. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 22, p. 261-5.
- BETTENCOURT, J.S.; DAMASCENO, E.C.; FONTANELLI, W.S.; FRANCO, J.R.M.; PEREIRA, N. M. Brazilian tin deposits and potencial. In: World Conference on Tin. Kuala Lumpur, Malaysia. Paper.Kuala Lumpur: I.T.C., 1981, v. 2I, p. 1-69.
- BETTENCOURT, J.S; MUZZOLON, R.; PAYOLLA, B.L.; DALL'IGNA, L. G.; PINHO, O. J. Depósitos estaníferos secundários da região central de Rondônia. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 19, p. 213-241.
- BOTELHO, N. F.; ROSSI, G. Depósito de estanho de Pedra Branca, Nova Roma, Goiás. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 23, p. 267-85.
- BRIZZI, A S.; ROBERTO, F.A C. Jazida de cobre de Pedra Verde – Viçosa do Ceará. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 7, p. 71-80.
- CASSEDANNE, J.P. Catalogue descriptif des gîtes de plomb du Brésil. 1973. 3 v. Tese (Doctorat d'État), Clermont- Ferrand. France, 1973.
- CARVALHO, R.T., 1988. Depósitos de cassiterita de Santa Bárbara, Jacundá e Alto Candeias. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 20, p. 243 – 53.

- CARVALHO, W.T.; BRESSAN, S.R.. Depósitos de fosfato, nióbio, titânio, terras raras e vermiculita de Catalão I – Goiás. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1997. v. 4 , parte C, cap. 6, p. 69 – 93.
- CAULA, J.A L.; DANTAS, J.R.A . Depósito de titânio/zircônio de Mataraca, Paraíba. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1997. v. 4, parte C, p. 593-598.
- COELHO, C.E.S. 1997. Geologia do titânio. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1997. v. 4, parte C, cap. 50, p. 565-575.
- CORREIA, D.B.M. Magnesita. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília, 2005. Disponível em < www.dnpm.gov.br> Acesso em out. 2005.
- DAMASCENO, E.C. Geologia da mina de chumbo do Paqueiro, Adrianópolis, PR. 1967. 110 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1967.
- DAMASCENO, E.C., 1988, Geologia do estanho. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1988. vol. 3, cap. 17, p. 183-99.
- DARDENNE, M.A . Geologia do chumbo e zinco.. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1988. vol. 3, cap. 8, p. 83-90.
- ESPOURTEILLE, F.; FLEISCHER, R. Mina de chumbo de Boquira, Bahia, In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1988. vol. 3, cap. 9, p.91-99.
- DIAS, G.T.M.; SILVA, C.G., RODRIGUES, P.C.H. Depósitos de minerais pesados da região de Buena – Estado do Rio de Janeiro. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento

- Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1997. v. 4, parte C, cap. 55, p. 611-617.
- FLÔRES, J.C.; DAMASCENO, E.C. A bauxita e a indústria do alumínio. Universidade de São Paulo. São Paulo: EPUSP, 1998. (Boletim Técnico do Departamento de Engenharia de Minas da (Escola Politécnica. BT/PMI/071).
- HECHT, C. 1997. Geologia do berílio. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1997. v. 4, parte B, cap., 31, p.331 – 336.
- FRANCESCONI, R. Pegmatitos da região de São João Del Rei, MG. 1972. 90 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1972.
- HERNALLSTEENS, C.M.O; LAPA, R.P. Bauxita de Porto Trombetas, Oriximiná, Pará. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 45, p. 621-639.
- HORBACH, R.; MARIMON, M.P.C. Depósito de cobre do Serrote da Lage, Arapiraca, Alagoas. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1988. v.3, cap. VI, p.61-70.
- IWANUCH, W.; SVISERO, D.P.; SOUZA, I.M. O minério de zircônio do complexo alcalino de Peixe, Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33. Rio de Janeiro. Anais. Sociedade Brasileira de Geologia. Congresso Brasileiro de Geologia. Rio de Janeiro, 1984. V. 8, p. 3831-3040.
- JESUS, C.A G. Zinco. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília, 2004. Disponível em < www.dnpm.gov.br >. Acesso em set. 2005.
- JOST, H.; BROD, J. A . Geologia do cobre. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. I, p.3-9.
- KOTSCHOUBEY, B. Geologia do Alumínio. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção

- Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 44, p. 599-619.
- KOURY, W.; ANTONIETTO JÚNIOR, A. Mina de estanho de Pitinga, Amazonas. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 18, p. 201-211.
- LIMA E SILVA, F.J.; CAVALCANTE, P.R.B.; SÁ, E.P.; SILVA, L.J.H.R.; MACHADO, J.C.M.. Depósito de cobre de Caraíba e o Distrito do Vale do Rio Curaçá, Bahia. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap.2, p.11-31.
- LOPES, R. F.; BRANQUINHO, J. A. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 47, p. 655-659.
- MAIA, A. Titânio. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília, 2005. Disponível em < www.dnpm.gov.br > Acesso em out. 2005.
- MELO, M.T.V; CHABAN, N.;SAD, J..H. G.; TORRES, N. Depósitos de fosfato, titânio e nióbio de Salitre, Minas Gerais. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1997. v. 4, parte C, cap. 5, p 57 – 68.
- MELO, M.T.V. Depósitos de fosfato, titânio e nióbio de Tapira, Minas Gerais. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1997. v. 4, parte C, cap. 4, p. 41 – 56.
- O PERFIL DAS 100 MAIORES. Brasil Mineral. n.240, p. 56-163, jun. 2005.
- OLIVEIRA, A. H.; DAMASCENO, E.C. Revisão da indústria mineral de titânio. São Paulo: EPUSP, 1997. (Boletim Técnico do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica, BT/PMI/072).

- PARISI, C.A ., 1988. Jazidas de Bauxita da região de Poços de Caldas, Minas Gerais – São Paulo. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 43, p. 661-670.
- _____. Jazidas de Bauxita de Morro Redondo, Rezende, Rio de Janeiro. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 49, p. 667- 670.
- RIBEIRO, L.P.B. Flotação de gálio a partir do licor de Bayer. 2002. 86 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- RIBEIRO, L.P.B., LEAL FILHO, L.S. Flotação de gálio a partir do licor Bayer. São Paulo: EPUSP, 2002 (Boletim Técnico do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica, BT/PMI/165).
- RIBEIRO, J. A S. Cobre. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília, 2005. Disponível em < www.dnpm.gov.br >. Acesso em out. 2005.
- _____. Chumbo. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília, 2004. Disponível em < www.dnpm.gov.br>. Acesso em set. 2005.
- _____. Prata. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília, 2004. Disponível em < www.dnpm.gov.br>. Acesso em set. 2005.
- RIGOBELLO, A.E.; BRANQUINHO, J.A; DANTAS, M.G.S.; OLIVEIRA, T.F.; NIEVES FILHO, W. Mina de zinco de Vazante, Minas Gerais. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 10, p. 101-110.
- RODRIGUES, A F.S; BEZERRA, D.A . Estanho. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília, 2004. Disponível em < www.dnpm.gov.br>. Acesso em set. 2005.
- ROMAGNA, G.; COSTA, R.R. Jazida de zinco e chumbo de Morro Agudo, Paracatú, Minas Gerais. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 11, p. 111- 121.

- SACRAMENTO FILHO, A L. Berílio. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília, 2005. Disponível em < www.dnpm.gov.br>. Acesso em out. 2005.
- SANSÃO, A M. M. Recuperação do gálio existente no licor de Bayer de Poços de Caldas por flotação iônica: estudo de coletores. 1998. 67 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- SCHOBBEHAUS FILHO, C.; BORGES, L.F. 1997. Geologia das terras raras. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1997. v. 4, parte C, cap. 51, p. 577-583.
- SCHOBHENHAUS FILHO, C.; SANTANA, P.R. Geologia do zircônio. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1997. v. 4, parte C, p. 585-592.
- SILVA, C.R.; SOUZA, I.M.; BRANDÃO, W. Mina de chumbo e prata do Perau, Adrianópolis, Paraná. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 12, p.123-134.
- SILVA, J. A .; SÁ, J.A G. Jazida de cobre de Chapada, Mara Rosa, Goiás. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 5, p. 55-70.
- SILVA, M.B.F. Zircônio. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília, 2005. Disponível em < www.dnpm.gov.br>. Acesso em out. 2005.
- _____. Terras raras. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília, 2005. Disponível em < www.dnpm.gov.br >. Acesso em out. 2005.
- TASSINARI, M.M.M.L., KAHN, H. Caracterização tecnológica do depósito de terras raras de Catalão I. Áreas: Córrego do Garimpo e Lagoa Seca. São Paulo: EPUSP, 2001. (Boletim Técnico do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica, BT/PMI/149).

- TEIXEIRA, G.; GONZALEZ, M. Minas de Camaquã, Município de Caçapava do Sul, RS. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 3, p 33-41.
- TOREZAN, M.; VANUZZI, A L. Depósito de minerais pesados do litoral dos Estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo e Bahia. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1997. v. 4, parte C, cap. 54, p. 599-608.
- VEIGA,, A .T. C. As minas de estanho de Igarapé Preto – Amazonas, Massangana – Rondônia e São Francisco – Mato Grosso, Província Estanífera de Rondônia. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 21, p. 255 – 265.
- ZACCARELLI, M.A . Mina de chumbo de Pannels, Paraná. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 14, p. 147-156.

12.3 | Minérios de Metais Preciosos

- ABREU, A S.; DINIZ, H.B; PRADO, M.G.B; SANTOS, S. P. Mina de ouro de São Bento, Santa Bárbara, Minas Gerais. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 27, p. 393-411.
- ALVES, F. Mineração mais do que dobra participação no PIB nacional. Brasil Mineral, n. 240, p. 14- 27, jun. 2005.
- ANGEIRAS, A G.; COSTA, L. A M.; SANTOS, R.C. Depósito de ouro de Mara Rosa, Goiás. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 36, p. 523- 534.
- BASTOS, J.B.S. Depósito de ouro do rio Madeira, Rondônia. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento

- Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 41, p. 575 – 580.
- BERBERT, C. O . Geologia do ouro. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 24, p. 289-300.
- FERRAN, A . Depósito de ouro de Salmangone e Mutum, Amapá. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 42, p. 581 – 588.
- _____. Mina de ouro de São Francisco, Rio Grande do Norte. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 43, p. 589 – 595.
- GITEW/SUMEN-CVRD. Jazida de ouro de Maria Preta, Santa Luz, Bahia. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 31, p. 445- 461.
- MAGALHÃES, L.F; LOBO, R.L.M.; BOTELHO, L.C.A; PEREIRA, R. C. Depósito de ouro de Meia – Pataca, Crixás, Go. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 35, p. 499 – 522.
- MEIRELLES, E. M; SILVA, A R.B. Depósito de ouro da Serra Pelada, Marabá, PA. . In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 38, p. 547 – 557.
- MOLINARI, L.; SCARPELLI, W. Depósitos de ouro de Jacobina, Bahia. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 32, p. 463-478.
- MONTEIRO, H.; MACEDO, P.M.; MORAES, A A; MARCHETTO, M.C.; FANTON, J.J.; MAGALHÃES, C.C. Depósito de ouro de Cabaçal I, Mato Grosso. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia.

- Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 37, p. 535 – 545.
- OLIVEIRA, M.L. Ouro. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília, 2005. Disponível em < www.dnpm.gov.br> Acesso em out 2005.
- OLIVEIRA, M.L.; RICCIARDI, O P. Platina. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília, 2005. Disponível em < www.dnpm.gov.br >. Acesso em out. 2005.
- O PERFIL DAS 100 MAIORES. Brasil Mineral. n.240, p. 56-160, jun.2005.
- SANTOS, B.A. O grande potencial de ouro do Brasil. Brasil Mineral, São Paulo, 1995. n. 134, p. 11-17, set. 1995.
- SANTOS, O . M.; VICTORASSO, E. C. L.; SILVA, R.M.; GUERRA, H.R.M.; CHAVES, J. L.; MANTOVANI, T.J.; ALBUQUERQUE E SILVA, R.; KALIL JÚNIOR, A R.; SANTOS, V. A M.; NAVARRO, L A G.; PENA, , L, S.T. Mina de ouro de Fazenda Brasileiro, Bahia. . In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1988. V.3, cap. 30, p. 431-444.
- SILVA, A R.B.; CORDEIRO, A A C. Depósitos de ouro da Serra das Andorinhas, Rio Maria, Pará. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 39, p.559 – 567.
- VIAL, D.S., 1988. Mina de ouro de Cuiabá, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 28, p. 413-419.
- VIAL, D.S. Mina de ouro da Passagem, Mariana, Minas Gerais. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 29, p. 421-430.
- VEIGA, A T C. Mina de ouro de Novo Planeta, Alta Floresta, Mato Grosso. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais

- Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 40, p. 569- 574.
- VIEIRA, F.W.R.; OLIVEIRA, G.A I. Geologia do distrito de Nova Lima, Minas Gerais. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 26, p. 377-391.
- YAMAOKA, W. N.; ARAÚJO, E.M. Depósito de ouro de “Mina” III, Crixás, Goiás. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 34, p. 471-498.
- ZINI, A; FORLIM, R.; ANDREAZZA, P.; SOUZA, A . Depósito de ouro do Morro do Ouro, Paracatu, Minas Gerais. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1988. v. 3, cap. 33, p. 479-489.

12.4 | Carvão

- ALVES, F., 2005, Mineração mais do que dobra participação no PIB nacional. Brasil Mineral. n. 240, p. 14-27, jun. 2005.
- BORBA, R.F. Carvão. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília, 2005. Disponível em < www.dnpm.gov.br >. Acesso em out. 2005.
- LENZ, G.R.; RAMOS, B.W., 1985. Combustíveis fósseis sólidos no Brasil: carvão. In: Inito, turfa e rochas oleígenas. In BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1985. v. 1, cap. 1, p.3-36.
- O PERFIL DAS 100 MAIORES. Brasil Mineral..n. 240, p 56 – 163, jun. 2005.
- SILVEIRA, S.R.; DAMASCENO, E.C. 2003. Retrospectiva histórica, diagnóstico e possibilidades da mineração de carvão na região de Criciúma. São Paulo: EPUSP, 2003. (Boletim Técnico do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica, BT/PMI/189).

12.5 | Minérios para Fundentes

- ABPC, 2005. Negócios da cal. São Paulo. n. 84, maio 2005.
- BASTOS NETO, A C.; HUBER, G.H.; SAVI, C.N. . Depósitos de fluorita de Segunda Linha Torrens (mina 2) e Cocal, Sudeste de Santa Catarina. In BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1997., v. 4, parte B, cap. 46, p. 537 – 553.
- BECKER, F.E.; VALLE, R.R.; COELHO, C.E.S. Depósito de fluorita de Tanguá, Rio de Janeiro. In Brasil. Ministério das Minas e Energia. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1997. v. 4, parte B, cap. 50, p. 591 – 611.
- BRANDÃO, W.; SCCHOEMHAUS FILHO, C. Geologia dos calcários e dolomitos. In BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil, Brasília, 1997. v. 4, parte C, cap. 30.
- CARVALHO, M.S.; AKABANE, T.; UZUMI, H.K.; GOTO, M.M. Depósito de fluorita de Mato Dentro, Apiaí, São Paulo. In BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1997. v. 4, parte B, cap. 49, p. 575 – 589.
- DARDENNE, M. A; RONCHI, L.H., BASTOS NETO, A C.; TOURAY, J.C. Geologia da fluorita. In BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1997. v. 4, parte B, cap. 43, p. 479-507.
- FAGUNDES, P.R. Depósito de fluorita de Sete Barras, Adrianópolis, Paraná. In BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1997. v. 4, parte B, cap. 47, p. 555 – 568.
- FERREIRA, A C.; FIGUEIREDO, A N.; SANTOS, J.L.A . Depósitos de fluorita do Sudeste de Santa Catarina. In Brasil. Ministério das Minas e Energia. Departamento nacional da Produção Mineral.

Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1997. v. 4, parte B, cap. 44, p. 509 – 524.

- JENKINS, R.E. Depósitos de fluorita de Mato Preto, Cerro Azul, Paraná. . In BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1997. v. 4, parte B, cap. 48, p. 569 – 573.
- JUSTI, R.P.; MARAGNO, O . Depósitos de fluorita da região de Morro da Fumaça, Pedras Grandes, Santa Catarina. In BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil, 1997. v. 4, parte B, cap. 45, p. 525 – 535.
- MIRANDA, L.L.F. Depósitos de fluorita da Serra do Ramalho, Bahia. In BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1997. v. 4, parte B, cap. 51, p. 613- 627.
- PEÇANHA, R.M. Fluorita. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília, 2005. Disponível em < www.dnpm.gov.br>. Acesso em out. 2005.

12.6 | Minérios para Refratários

- ALVES, F., 2005, Mineração mais do que dobra participação no PIB nacional. Brasil Mineral. n. 240, p. 14-27, jun. 2005.
- CASAES, L., 1997. Depósitos de magnesita da região de José de Alencar, Ceará. In BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1997. v. 4, parte C, cap. 20, p. 243 – 249.
- CORREIA, D.M.B. Magnesita. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília, 2005. Disponível em < www.dnpm.gov.br>. Acesso em out. 2005.
- MORAIS, E. N. Geologia da grafita. In BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1997. v. 4, parte C, cap. 14, p.179 – 184.

- MOREIRA, P.R.S.; NERY, M. A C. Depósitos de grafita de Maiquinique, Bahia. . In BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1997. v. 4, parte C, cap. 16, p.197 – 201.
- OLIVEIRA, V.P; FRAGOMENI, L.F.P; BANDEIRA, C. A Depósitos de magnesita de Serra das Eguas, Brumado, Bahia. In BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1997. v. 4, parte C, cap. 18, p.219 – 234.
- OLIVEIRA, V.P. Depósitos de magnesita de Sento Sé, Bahia. In BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1997. v. 4, parte C, cap.19, p. 253 – 242.
- O PERFIL DAS 100 MAIORES. Brasil Mineral, n. 240, p. 56 – 162, jun. De 2005.
- QUEIRÓZ, E.T. Geologia da magnesita. In BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1997. v. 4, parte C, cap. 17, p.205 – 218.
- RESENDE, E.F.; VARELLA, J.C. Província gráfitica de Itapeçerica e Pedra Azul, Minas Gerais. In BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1997. v. 4, parte C, cap.15, p.185 -195.
- SCHOBENHAUS FILHO, C. Geologia da cianita. In BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1997. v. 4, parte C, cap. 22, p. 251 – 254.

12.7 | Minérios para Fundição

- BALTAR, C.A; LUZ, A B.; OLIVEIRA, C.H.; ARANHA, I.B. Caracterização, ativação e modificação superficial de bentonitas brasileiras. In: Insumos minerais para perfuração de poços de petróleo. Rio de Janeiro, 2003. cap. 2, p. 22 – 46.

- DANTAS, J.R.A.; FREITAS, V.P.M.; GOPINATH, T.; FEITOSA, R.N.
Depósitos de bentonita da região de Boa Vista, Paraíba.
In BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília 1997. v. 4., parte B, cap. 15, p. 155 – 165.
- DEL MONTE, E.; SILVA, R.B, 1997. Geologia da bentonita e atapulgitaln BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília 1997. v. 4., parte B, cap. 14, p.147-153.
- MOREIRA, M.D.; SAMPAIO, D.R. Depósito de bentonita de Vitória da Conquista, Bahia. In BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília 1997. v. 4., parte B, cap.16, p. 167 – 171.
- NAVA, N. Geologia das areias industriais. In BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília 1997. v. 4, parte C, cap. 25, p. 325-331.
- NAVA, N. Depósito de areias quartzosas de Descalvado, São Paulo. In BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília 1997. v. 4., parte C, cap. 26, p. 333 – 343.
- OLIVEIRA, M.L. Bentonita. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília, 2005. Disponível em < www.dnpm.gov.br>. Acesso em out. 2005.
- O PERFIL DAS 100 MAIORES. Brasil Mineral. n. 240, p. 56 – 162, jun. 2005
- THEODOROVICZ, A M.G.; FRANCESCONI, O; FERRARI, C.P.
Depósitos de areia industrial do litoral paulista entre São Vicente e Peruíbe- São Paulo. In BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília 1997. v. 4., parte C, cap. 28, p. 357- 363.

SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2006, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, cerca de 200 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED), Gestão e Planejamento Ambiental (SGPA) e Inovação e Qualidade (SIQ). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visite-nos em www.cetem.gov.br/series.

Últimos números da Série Estudos e Documentos

SED-68 – Sustainable Indicators for the Extraction Minerals Industries
Roberto C. Villas Bôas, 2006.

SED-67 – O fósforo na agricultura brasileira: uma abordagem mine-ro-metalúrgica Francisco Eduardo de Vries Lapido-Loureiro e Ricardo Melamed, 2006.

SED-66 – A Indústria Brasileira de Gusa de Mercado Gilson Ezequiel Ferreira e Gilberto Dias Calaes, 2006

SED-65 – Avaliação de risco à saúde humana: conceitos e metodologia.
Zuleica Carmen Castilhos, Aline Machado de Castro, Alinne dos Santos Ramos, Cristiane Andrade de Lima e Ana Paula de Castro Rodrigues, 2005.

SED-64 - Micronutrientes na agricultura brasileira: disponibilidade, utilização e perspectivas. Álvaro Vilela de Resende, 2005.

SED-63 - Críticas ao Modelo Brasileiro de Fertilizantes Fosfatados de Alta Solubilidade. Arthur Pinto Chaves e Carlos Alberto Ikeda Oba, 2004.

SED-62 - Fabricação de um fertilizante organo-fosfatado. Carlos Alberto Ikeda Oba, 2004.

SED-61 - Fertilizantes e Sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas. Marisa Nascimento e Francisco E. Lapido Loureiro, 2004.

INFORMAÇÕES GERAIS

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral

Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária

21941-908 – Rio de Janeiro – RJ

Geral: (21) 3867-7222 - Biblioteca: (21) 3865-7218 ou 3865-7233

Telefax: (21) 2260-2837

E-mail: biblioteca@cetem.gov.br

Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

NOSSAS PUBLICAÇÕES

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.

Esta publicação foi composta nas famílias
tipográficas Frutiger e The Sans. Impressa na
gráfica Imprinta em papel Couchê Matte 90gr/m².