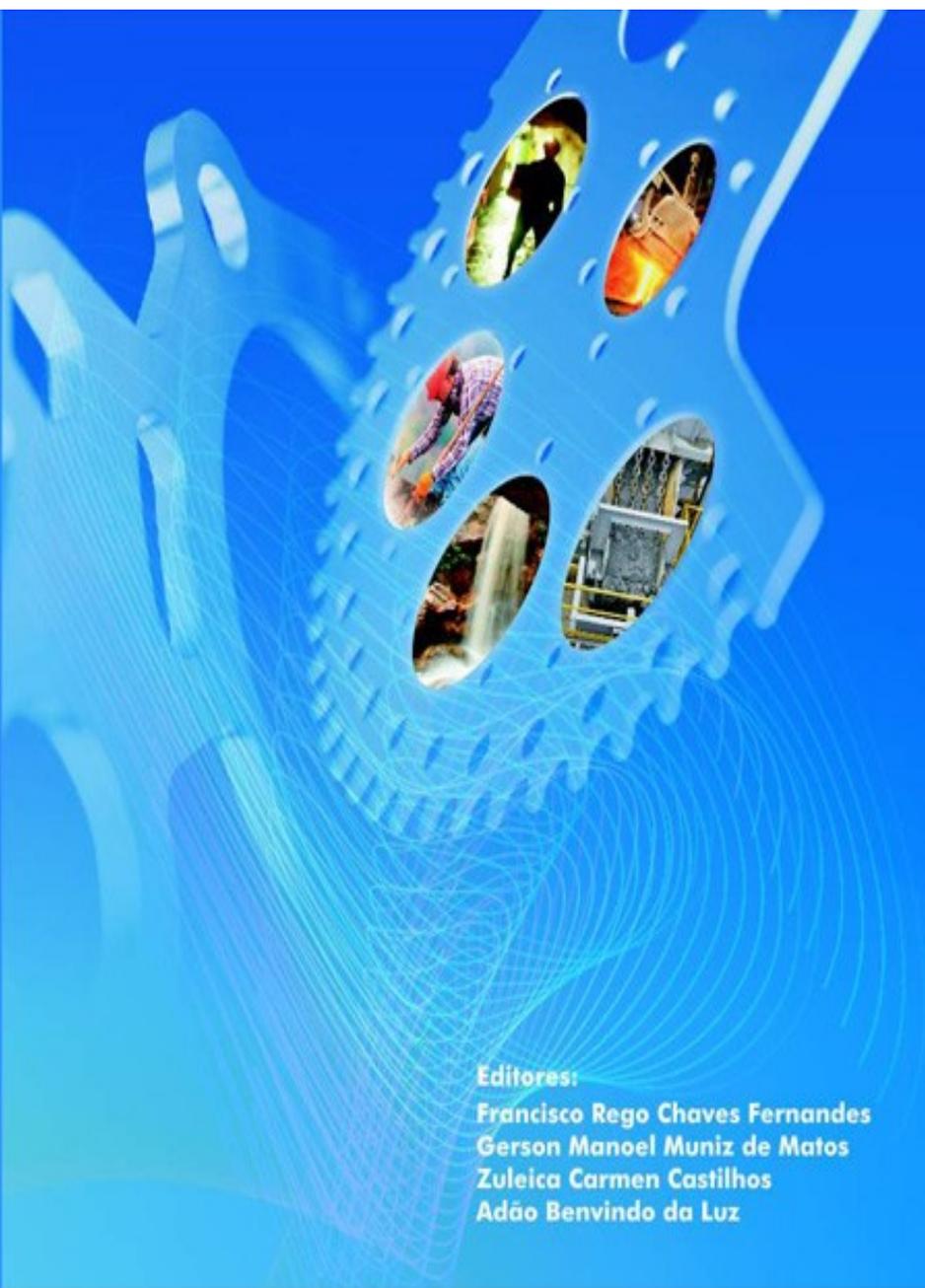


Tendências Tecnológicas Brasil 2015 Geociências e Tecnologia Mineral



Editores:

Francisco Rego Chaves Fernandes

Gerson Manoel Muniz de Matos

Zuleica Carmen Castilhos

Adão Benvindo da Luz

Tendências Tecnológicas Brasil 2015

Geociências e Tecnologia Mineral

TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS BRASIL 2015

Geociências e Tecnologia Mineral

Francisco Rego Chaves Fernandes
D.Sc. em Engenharia Mineral

Gerson Manoel Muniz de Matos
D.Sc. em Geociências

Zuleica Carmen Castilhos
D.Sc. em Geociências – Geoquímica Ambiental

Adão Benvindo da Luz
D.Sc. em Engenharia Mineral

**SGB/CPRM – Serviço Geológico do Brasil
CETEM - Centro de Tecnologia Mineral
2007**

**TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS
BRASIL 2015
Geociências e Tecnologia Mineral**

EDITORES

Francisco Rego Chaves Fernandes
Gerson Manoel Muniz de Matos
Zuleica Carmen Castilhos
Adão Benvindo da Luz

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

FRANCISCO REGO CHAVES FERNANDES
Coordenação Editorial

VERA LÚCIA DO ESPÍRITO SANTO SOUZA
Design Gráfico

THATYANA PIMENTEL RODRIGO DE FREITAS
Revisão

Centro de Tecnologia Mineral

Tendências Tecnológicas Brasil 2015: Geociências e Tecnologia Mineral/Eds. Francisco R. C. Fernandes, Adão B. da Luz, Gerson M. M. Matos, Zuleica Carmen Castilhos. - Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007.

380 p.: il.

1. Beneficiamento de minério. 2. Geociências. 3. Tecnologia Mineral. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Fernandes, Francisco R.C. (Ed.). III. Luz, Adão B. (Ed.). IV. Matos, Gerson M.M. (Ed.). V. Castilhos, Zuleica C. (Ed.).

ISBN 978-85-7227-243-8

CDD 658.577

APRESENTAÇÃO

Este livro aborda um estudo prospectivo, centrado na Visão de Futuro e nos Desafios Tecnológicos e Sistêmicos, nas áreas de Geociências e Tecnologia Mineral. Teve como objetivo a elaboração de uma agenda de prioridades para os desafios tecnológicos, visando servir como subsídio à tomada de decisões em âmbito governamental, no que tange ao setor mineral brasileiro. Como resultado, apresentou projeções qualitativas e quantitativas para um horizonte de 10 anos, o que equivale a dizer, para o setor mineral brasileiro no ano 2015.

O estudo contou com a participação de pesquisadores de instituições de ciência e tecnologia, comunidade acadêmica, empresarial, formuladores de políticas governamentais, consultores, organizações não governamentais, representantes de classes etc. e foi viabilizado pelo MCT/FINEP/CT – Mineral.

A editoração e a impressão deste livro contaram com apoio do Centro de Tecnologia Mineral – CETEM e do Serviço Geológico do Brasil – CPRM e suporte financeiro da Subsecretaria de Coordenação das Unidades de Pesquisa/SCUP – MCT e o Ministério de Minas e Energia – MME.

Sem sombra de dúvida, a riqueza e a diversidade de conteúdo desta obra, registrando o conhecimento e experiência adquirida ao longo da vida profissional de cada um dos seus colaboradores, farão deste livro instrumento de referência e consulta para os Setores de Geociências, Mineiro e Metalúrgico, para os próximos 10 anos.

Está de parabéns toda a equipe de pesquisadores e consultores envolvidos, sendo digno de registro o grande esforço no desenvolvimento dos estudos e eventos realizados. Ao final de cada capítulo são sugeridas agendas de prioridades, constituindo valiosíssima contribuição ao planejamento e à elaboração de políticas de médio prazo para o Setor.

Rio de Janeiro, agosto de 2007.

AGAMENON DANTAS
Presidente da CPRM

ADÃO BENVINDO DA LUZ
Diretor do CETEM

PREFÁCIO

O Projeto Setor Mineral – Tendências Tecnológicas, patrocinado pelo Fundo CT – Mineral e financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e desenvolvido ao longo do ano de 2006, teve como meta a elaboração de estudos especializados em cada uma das áreas do conhecimento científico e tecnológico no campo das Geociências, coordenados pela CPRM/SGB – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil, e no campo da Tecnologia Mineral, coordenados pelo CETEM/MCT – Centro de Tecnologia Mineral/Ministério da Ciência e Tecnologia, visando o estabelecimento de uma agenda de prioridades para os desafios tecnológicos aplicados ao setor mineral, subsidiando a tomada de decisões em âmbito governamental.

O enfoque do Projeto Setor Mineral – Tendências Tecnológicas contemplou projeções qualitativas e/ou quantitativas para um horizonte de 10 anos, o que equivale a dizer, para o setor mineral em 2015, abrangendo os contextos: internacional, caracterizado por mudanças muito rápidas, próprias de uma economia globalizada que modificaram profundamente todas as atividades econômicas, atingindo também o setor mineral; nacional, que se refere à importância do setor minero-metalúrgico como fornecedor de matérias-primas para o mercado interno, sobretudo nas cadeias produtivas de base mineral; e regional, referindo-se à geração de empregos através de milhares de pequenas e médias empresas, além das grandes, que se localizam de forma descentralizada no território brasileiro devido à rigidez imposta pela situação das jazidas, as quais geram atividade produtiva local e também impostos para retorno em forma de benefícios para as populações dos municípios produtores. Trata-se, ainda, de um setor no qual a maioria do valor de produção é exportada, concentrada em poucas substâncias.

Para atingir essa meta, grandes blocos de pesquisas foram estabelecidos:

- 1 - *Desafios Tecnológicos em Geociências, Tecnologia Mineral e Questões Sistêmicas*, no qual foram desenvolvidos estudos por especialistas convidados, produzindo o que se denominou de Texto Base. Esta fase compreendeu a realização de painéis no âmbito das Geociências e da Tecnologia Mineral, nas seguintes áreas de atuação definidas pelo Comitê Gestor do Fundo CT – Mineral: Conhecimento Geológico, Exploração Mineral, Geologia Ambiental e Recursos Hídricos (Geociências); Lavra, Cominuição, Flotação, Hidrometalurgia, Rochas e Minerais Industriais e Mineração e Meio Ambiente (Tecnologia Mineral). A execução deste bloco de pesquisa contou com o prévio envio do Texto Base para os diversos convidados para o painel. Após a apresentação em plenária do Texto Base, pelo especialista convidado, foram abertas as discussões técnicas visando a elaboração de agendas de prioridade. Contou com a mobilização e participa-

ção das comunidades acadêmica, empresarial, governamental e não governamental, entidades representativas patronais e laborais do Setor Mineral, propiciando a apresentação, discussão e elaboração de um documento consensual sobre cada uma das áreas temáticas contendo suas prioridades. No presente livro, esta agenda foi integrada ao final do capítulo de cada especialista convidado.

- 2 - *Questões Sistêmicas: Mineração e Globalização, Reciclagem de Materiais, Questões Sócio-econômicas, Investimentos em Pesquisas Geológicas e Visão de Futuro – Brasil 2015*, onde foram desenvolvidos por especialistas convidados estudos centrados na visão de futuro.
- 3 - *Agenda de Prioridades de P&D voltados para o SM – Setor Mineral*. Essa metodologia de trabalho caracterizou-se por adotar um processo participativo com forte interação entre a equipe coordenadora do projeto e os atores relevantes envolvidos. O processo de identificação dos atores e sua articulação e cooperação entre si foi realizado desde o início da execução do projeto, de forma participativa e democrática, tendo mobilizado a comunidade que participou ativamente nos painéis realizados. As conclusões desses estudos serviram para construir uma agenda de prioridades de investimentos em P&D para subsidiar a aplicação dos recursos do CT – Mineral, bem como assessorar o governo, através da atualização do conhecimento no setor, dotando-o de uma Visão de Futuro – Brasil 2015 e de robustas prioridades nas suas áreas tecnológicas estratégicas.

Foi ainda criada uma página na internet (www.cetem.gov.br/tendencias/) de livre acesso a todas as apresentações e agendas de prioridade resultantes deste projeto.

Finalmente, no presente livro *Tendências Tecnológicas – Brasil 2015: Geociências e Tecnologia Mineral* são apresentados os *Desafios Tecnológicos em Geociências e em Tecnologia Mineral*, as *Questões Sistêmicas* e a *Visão de Futuro - Brasil 2015*, revestindo-se de grande importância, como um novo instrumento de aprendizado disponível agora no Brasil para os especialistas, estudiosos, profissionais, estudantes e para a sociedade em geral.

Rio de Janeiro, agosto de 2007

FRANCISCO REGO CHAVES FERNANDES

GERSON MANOEL MUNIZ DE MATOS

ZULEICA CARMEN CASTILHOS

ADÃO BENVINDO DA LUZ

SUMÁRIO

PARTE I - GEOCIÊNCIAS

1. A ÁGUA NO BRASIL E OS INSTRUMENTOS DE GESTÃO E O SETOR MINERAL – *Paulo Canedo de Magalhães* 03
2. EXPLORAÇÃO MINERAL - TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS – *Elpidio Reis; Cristina P. Bicho e Eduardo Melo* 23
3. GEOLOGIA AMBIENTAL: CONTRIBUIÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – *Antônio Ivo de Medina; Jorge Pimentel Cássio; Roberto da Silva; Fernanda G. da Cunha; Patrícia Durringer Jacques; Andrea F. Borges* 35
4. LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS NO SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL/ CPRM COMO TECNOLOGIA SOCIAL: A BUSCA DE NOVOS PARADIGMAS – *Agamenon S. L. Dantas e Reginaldo Leão Neto* 57

PARTE II – TECNOLOGIA MINERAL

1. A LAVRA E A INDÚSTRIA MINERAL – ESTADO DA ARTE E TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS – *Jair Carlos Koppe* 81
2. COMINUIÇÃO – *Homero Delboni Jr.* 103
3. FLOTAÇÃO – *José Farias de Oliveira* 133
4. HIDROMETALURGIA – *Virginia S. T. Ciminelli* 157
5. ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS – *Renato Ciminelli* 175
6. MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE – *Luiz Henrique Sánchez* 191

PARTE III - QUESTÕES SISTÊMICAS

1. MINERAÇÃO E GLOBALIZAÇÃO – *Iran F. Machado* 211
2. MINERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – DIMENSÕES, CRITÉRIOS E PROPOSTAS DE INSTRUMENTOS – *Maria Amélia R. S. Enriquez e José Augusto Drummond* 245
3. RECICLAGEM DE MATERIAIS: TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS DE UM NOVO SETOR – *Heloisa V. de Medina* 273
4. A INDÚSTRIA EXTRATIVA MINERAL: ALGUMAS QUESTÕES SÓCIO-ECONÔMICAS – *Maria Helena Machado Rocha Lima* 303
5. INVESTIMENTOS EM PESQUISA GEOLÓGICA – *José Guedes de Andrade* 327
6. VISÃO DE FUTURO DA MINERAÇÃO: HORIZONTE 2015 – *Eduardo Vale* 351

PARTE I

GEOCIÊNCIAS

CAPÍTULO 1

A ÁGUA NO BRASIL, OS INSTRUMENTOS DE GESTÃO E O SETOR MINERAL

*Paulo Canedo de Magalhães**

1. ÁGUA: O OURO AZUL DO SÉCULO XXI

Os rios e lagos sempre desempenharam papel fundamental no desenrolar da vida dos povos. A procura por terras em climas mais úmidos sempre guiou os passos do homem. A lenda chinesa do arqueiro Hou Yi, que salvou o reino do imperador Yao dos dez sóis que produziam secas nas colheitas e espalhavam fome, ou a saga migratória dos antigos povos da mesopotâmia, que dirigiram-se das terras secas do sul para os vales férteis do norte, são exemplos da importância da água, ou da falta dela, na vida e costumes dos povos.

A carência desse recurso mineral sempre foi uma ameaça ao bem-estar do ser humano e dos ecossistemas vivos. Quando o homem começou a se organizar em cidades, elas eram construídas, preferencialmente, nas proximidades dos corpos d'água. Quando essa riqueza natural foi disputada por dois povos, guerras foram travadas pelo seu controle. Quando a sua escassez se fez sentir, restrições sociais foram estabelecidas.

Depois da segunda grande guerra, povos que sempre viveram em regiões de certa abundância hídrica começaram a sofrer as dificuldades econômicas e sociais decorrentes da carência da água. Novos valores culturais começaram a surgir gradativamente nos vários cantos do mundo, até que, em meados dos anos 70, os já crônicos problemas de escassez de água forçaram as autoridades mundiais a incluir os recursos hídricos no rol de suas preocupações estratégicas. Tornou-se imperativa a necessidade de uma forte mudança de comportamento para com esse bem natural. Atualmente, mais de 1 bilhão de pessoas sofrem pela falta de acesso à água potável e quase 2,5 bilhões pela falta de saneamento.

Em diversos países, a água ganha o status de um setor da administração pública, da economia e da organização social. Os governos decidem desenvolver ações quanto ao seu planejamento e gestão, consolidando o conceito de sustentabilidade.

No fechar do século XX, em 1992, após vários encontros mundiais preparatórios, a maioria dos países decide por um grande pacto mundial para o chamado "gerenciamento sustentável" do meio ambiente e, particularmente, da água.

* Professor da COPPE/UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Nos cinco últimos anos do século XX, a retirada de água anual cresceu 650 milhões de metros cúbicos, sendo que está na Ásia cerca de 57% das retiradas de água do mundo. Tal crescimento é absolutamente insustentável e, para o futuro, espera-se que a captação anual de água no planeta não ultrapasse a casa de 10% por década.

O século XXI nasce colocando a água no centro do jogo pela vida do homem no planeta. Definitivamente, o mundo terá que assistir ao fim de uma era de desperdício e mau uso hídrico, que deixou um rastro de poluição e um passivo ambiental sem precedentes. O século XXI terá que ser o século da segurança alimentar, do acesso físico, social e econômico a uma alimentação suficiente.

Atualmente, o mundo parece estar vivendo uma era de transição. Lentamente cessa o período em que os bens naturais são impunemente degradados sob os olhos das autoridades constituídas. Engatinha uma nova era, talvez ainda um tanto utópica, em que a vida humana concilia-se mais amigavelmente com a natureza. O mundo vive um período de transição em que se procura aprender como gerir adequadamente a pouca água doce limpa que nos sobra, e buscam-se maneiras de conseguir pagar, ainda que parcialmente, pelos passivos ambientais com os recursos financeiros disponíveis.

A água entra, também, no fenômeno da globalização, e a escassez deste recurso cruza fronteiras. O comércio internacional de grãos assume uma das formas eficientes para os países com déficit hídrico importarem água; 1.000 toneladas de água podem ser adquiridas através da importação de 1 tonelada de grãos, mas, para tanto, são necessários recursos financeiros nem sempre facilmente disponíveis em todos os países.

As diferenças registradas entre os países desenvolvidos e aqueles em desenvolvimento chocam e evidenciam que há uma persistente relação entre a crise mundial dos recursos hídricos e as desigualdades sociais dos povos. Regiões já empobrecidas vêem seus problemas agravados com a falta d'água ainda não poluída. Em algumas regiões de maior criticidade hídrica, há povos que têm que conviver com 200 vezes menos água do que o povo brasileiro, e a previsão para o futuro é de que o acréscimo populacional (de 3 bilhões de pessoas) até 2050, ocorra, particularmente, nas macro regiões do planeta, onde a água já é mais escassa.

Vivemos num mundo em que, cada vez mais, o bom uso da água e o desenvolvimento econômico e social estão indissociáveis. Apesar do despertar para a questão hídrica mundial e de uma leve melhoria no trato da água dos últimos 50 anos não permitiu ao mundo ver afastada a hipótese de um dramático legado às gerações por vir. De todos os ecossistemas estudados por 95 países, 2/3 ainda sofrem as conseqüências da forte degradação passada.

A gestão dos recursos hídricos é uma ferramenta administrativa, típica do século XXI, a ser aplicada pelos países com abundância ou escassez deste mineral. Àqueles com baixa disponibilidade hídrica por habitante não restará outra alternativa a não ser um extremo

cuidado com o uso eficaz de suas águas. Caso contrário, terão que pagar pela imprevisão com a fome de seu povo.

Há poucos anos atrás, depois de dois anos de baixa colheita mundial de grãos, os estoques reguladores mundiais chegaram a níveis alarmantes. Parte desta baixa nos estoques é explicada pela falta de investimentos, gerada pelos baixos preços anteriores dos grãos. No entanto, deve-se também às secas prolongadas nas regiões férteis e às águas subterrâneas exauridas.

As leis de mercado podem corrigir os estrangulamentos de estoques de grãos. É razoável esperar que a falta de grãos estimule um aumento de produção, ao mesmo tempo em que inibe uma parte do consumo. Isto é, aumenta-se a produção, diminui-se o consumo e reequilibram-se os estoques reguladores de grãos. No entanto, o que poderão fazer as leis de mercado para corrigir as secas prolongadas e as águas subterrâneas exauridas?

Quando a seca é climatológica, seus efeitos cessam com a chegada das chuvas, e a produção de alimentos se recupera rapidamente. No entanto, quando a seca advém da exaustão dos aquíferos ou do uso abusivo das águas superficiais, seus efeitos permanecem pressionando os estoques reguladores por muito tempo. Essa longa pressão sobre os estoques de alimento acaba se internacionalizando sobre os estoques reguladores dos países produtores, espalhando o problema por todo o mundo consumidor.

Estima-se que cerca de 8% dos 6,5 bilhões de habitantes da Terra estão sendo alimentados com grãos produzidos de forma não-sustentada, o que promove uma considerável pressão sobre os recursos hídricos disponíveis. Se isto perdurar, o mundo corre o risco de o déficit hídrico crescer de forma descontrolada, gerando insegurança alimentar para vários povos.

Aos países com abundância hídrica por habitante caberá o promissor mercado internacional de alimentos. A disputa desse lucrativo negócio põe a água como o ouro azul do século XXI.

Mas não é só na exportação de alimentos que os países ricos em água apresentam vantagem comparativa em relação aos demais. O padrão de conforto da vida moderna ocidental amplia a demanda pela água, e a lógica de urbanização faz com que uma família, ao ascender socialmente, aumente seu consumo em função de suas novas necessidades de alimentação e lazer. A vida nas cidades modernas gera maior demanda de água, e a pressão maior recai sobre o setor de produção de alimentos irrigados.

Os países com pouca água acabam vivendo o drama do "cobertor curto". Se priorizam suas águas para a produção de alimentos, diminuem suas atividades industriais e perdem competitividade. Se não priorizam a produção de alimentos, ficam dependentes de alimentos importados e perdem divisas. Vale observar que, sob o ponto de vista financeiro imediato, o setor industrial costuma converter a água em uma maior riqueza do

que o setor agrícola. Como um indicador genérico, sabe-se que 1m³ de água destinado à indústria pode gerar quase 40 vezes mais riqueza do que se destinado à agricultura.

O déficit hídrico mundial cresce a cada ano, tornando-se cada vez mais difícil sua administração, isto é, deste século em diante, enquanto houver pressão mundial sobre a água, os países desenvolvidos e com abundância de água têm grandes possibilidades de conservar e ampliar sua hegemonia sobre os demais. Os países pobres e com disponibilidade hídrica precária terão sérias dificuldades a vencer.

Cresce a idéia de que as guerras do futuro envolverão a disputa pela água. Uma guerra não necessariamente bélica, mas uma guerra travada nos mercados internacionais e, principalmente, no mercado de alimentos.

A água, que sempre desempenhou importante papel no desenvolvimento econômico especial de uma região, seguirá sendo o elemento estruturante do desenvolvimento sustentável e da inclusão social. Poderá desempenhar, doravante, o mesmo papel que o ouro e o petróleo desempenharam na história das civilizações. Vivemos a época do ouro amarelo, do ouro negro e, agora, do ouro azul.

2. A ÁGUA NO BRASIL

O Brasil é um país riquíssimo em água, possuindo algo em torno de 13,7% de toda água doce do mundo. Suas reservas são verdadeiramente continentais, o que dá ao Brasil uma significativa vantagem comparativa em relação aos demais países do mundo.

Tabela 1 – Disponibilidade de água nas regiões do Planeta

Regiões	Disponibilidade Anual	
	Trilhão m ³	m ³ /hab
PLANETA TERRA	42,0	6.400
África	4,2	5.150
América do Norte	5,4	17.450
América Central	1,1	8.050
América do Sul	10,1	30.350
Ásia	13,2	3.650
Europa	6,3	8.550
Oceania	1,7	54.800
BRASIL	5,76	30.400

Fonte: ANA, março/2002.

Seu clima úmido propicia uma das mais densas redes hidrográficas do planeta, com rios de grande volume e poucos lagos. O regime dos nossos rios segue a tendência do He-

misfério Sul, onde os meses de muita água são janeiro e fevereiro. A região litorânea do Nordeste, onde as chuvas maiores caem em junho e julho é exceção.

Nossos rios são majoritariamente perenes, correndo água por todos os dias do ano, com exceção de uns poucos localizados no sertão nordestino, que secam em alguns meses do ano.

Nossas águas subterrâneas são cerca de 100 vezes mais abundantes que as superficiais, mas encontram-se armazenadas na matriz porosa dos solos ou nas fissuras das rochas, o que dificulta sua utilização. O Brasil divide com o Paraguai, Uruguai e Argentina um dos maiores aquíferos transnacionais do mundo: o Aquífero Guarani.

Nem todos os aquíferos brasileiros possuem características hidrodinâmicas que possibilitam a extração econômica de água subterrânea. No entanto, algumas cidades precisam fazer uso intenso dos aquíferos para suprir suas necessidades, como por exemplo: Ribeirão Preto/SP, Maceió/AL, Mossoró e Natal/RN. Além disso, a água de poço é também utilizada por propriedades rurais, industriais e comerciais.

Em decorrência da natureza de nosso relevo, predominam no Brasil bacias de rios de planalto, que apresentam em seu leito rupturas de declive, vales encaixados, entre outras características, que lhes conferem um alto potencial para a geração de energia elétrica, 84% da geração, mas um pequeno potencial de navegabilidade natural. Entre as nossas grandes bacias, apenas a dos rios Amazonas e Paraguai são predominantemente de planície e largamente utilizadas para a navegação. Entre os rios de planalto, destacam-se o rio Paraná e, principalmente, o rio São Francisco.

As doze principais bacias hidrográficas, mostradas no mapa abaixo, são:

Bacia	% Area	% População	% Disponibilidade
1 Amazônica	45,0	4,5	70,0
2 Tocantins-Araguaia	11,3	4,7	9,6
3 Atlântico Nordeste Ocidental	3,0	2,8	1,6
4 Parnaíba	3,9	2,1	0,5
5 Atlântico Nordeste Oriental	3,4	12,7	0,5
6 São Francisco	8,0	8,0	2,0
7 Atlântico Leste	4,4	8,0	1,0
8 Paraguai	4,0	1,0	1,0
9 Paraná	10,3	32,0	6,5
10 Atlântico Sudeste	2,7	15,1	2,1
11 Atlântico Sul	2,0	6,8	2,6
12 Uruguai	2,0	2,3	2,6
	100	100	100



Fonte: ANA, março/2002.

- Bacia Amazônica: a bacia Amazônica é a maior do mundo, e seu rio principal apresenta larguras superiores a 10km, com as maiores vazões conhecidas. 15% dos deságües totais do mundo ocorrem concentradamente na foz do rio Amazonas. Tal volume de água é resultado do clima tropical úmido característico da bacia que alimenta a maior floresta tropical do mundo.

Sob o nome de Vilcanota, o curso principal nasce no Peru, entra no solo brasileiro sob o nome de Solimões e desce até encontrar o rio Negro, próximo a Manaus, quando então recebe o nome de Amazonas. Entre os afluentes do curso principal destacam-se os rios Negro, Trombetas, Jarí, Madeira, Xingu e Tapajós. Com seus quase 25.000 km navegáveis, a bacia Amazônica poderá viabilizar importantes projetos de integração na América do Sul.

- Bacia do Tocantins: a bacia do Araguaia/Tocantins é a maior bacia hidrográfica inteiramente brasileira. O rio principal nasce ao norte de Brasília, com o nome de rio Maranhão, e recebe o nome de Tocantins na junção com o rio Paraná.
- No nordeste de Mato Grosso, o rio Araguaia divide-se em dois braços – Araguaia e Javaés – por aproximadamente 320 km, formando assim a ilha de Bananal, a maior ilha fluvial do mundo. Pouco antes de chegar a Marabá, em São João do Araguaia, os rios Araguaia e Tocantins se juntam e descem sob o nome de Tocantins para desaguar na baía de Marapatá, perto de Belém.
- Bacia do Atlântico Nordeste Ocidental: a bacia nordeste ocidental, onde se localizam os rios Gurupi, Itapicuru, Mearim, Munim e Pericumã, ocupa cerca de 3% do território brasileiro. A região é predominantemente ocupada com biomas da Amazônia e de Cerrado e é habitada por menos de cinco milhões de brasileiros.
- Bacia do Parnaíba: por ser uma das maiores do Nordeste, tem um importante papel socioeconômico. Seu rio principal nasce na Chapada das Mangabeiras e desce 700 metros de altitude, nos seus 1400 km de percurso, para desembocar no Atlântico, num amplo e recortado delta, com três braços de rio.
- Com alguma similaridade com a bacia do São Francisco, o rio Parnaíba recebe, pela margem esquerda, afluentes perenes. Pela margem direita, predominam os tributários intermitentes oriundos do sertão semi-árido. No início do ano, na época das cheias, suas águas transbordam, inundando as várzeas e possibilitando a alimentação de lagoas ao longo de seu curso.
- Bacia do Atlântico Nordeste Oriental: ocupa cerca de 3,4% do território nacional onde habitam pouco mais de 20 milhões de pessoas. Os principais rios da região são Capibaribe, Jaguaribe, Mundáu, Piranhas-Açu, Paraíba e Uma.
- Bacia do São Francisco: a bacia do São Francisco é, sem dúvida, a mais importante bacia brasileira sob o ponto de vista político-social. Conhecida como a bacia da integração nacional, seu rio principal recebeu o carinhoso apelido de Velho Chico. Correndo

pelo planalto central e trazendo água do sudeste úmido mineiro para uma região basicamente semi-árida, ele une regiões com climas completamente distintos e com estágios de desenvolvimento diversos.

- Bacia do Atlântico Leste: abriga mais de 13 milhões de pessoas e apresenta algum vestígio de Mata Atlântica, alguma área de caatinga e cerrado. Possui diversos cursos de água com importância regional. Entre eles, podemos citar os rios Pardo, Jequitinhonha, Vaza-Barris, Itapicuru e Paraguaçu.
 - Bacia do Paraguai: abrange a maior área úmida continental do mundo: o Pantanal, região esta que foi considerada Patrimônio Nacional pela Constituição de 1988 e Reserva da Biosfera, pela Unesco, em 2000. O sinuoso rio Paraguai nasce na Chapada dos Parecis, em Mato Grosso, e, ao longo de seu curso, recebe vários afluentes pela margem esquerda, destacando-se os rios Cuiabá, Taquari e Negro. Ao desaguar no rio Paraná, na fronteira entre Argentina e Paraguai, o rio principal percorreu cerca de 1600 km de solo brasileiro. Atualmente, a expansão da pecuária e da soja tem aumentado o desmatamento e a erosão, gerando consequências ambientais à região do Pantanal. A navegação comercial ocorre principalmente entre Corumbá e Porto Murtinho.
 - Bacia do Paraná: com 10,3% da área do país, responde por boa parte da produção de energia hidrelétrica do Brasil. Seu rio principal vem da junção dos rios Paranaíba e Grande, na divisa dos estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e São Paulo. Os trechos navegáveis são suficientemente extensos para torná-la um fundamental elo de integração econômica de importantes regiões brasileiras. Os afluentes mais conhecidos são os rios Tietê, Paranapanema, Iguazu, Verde e Pardo.
 - Bacia do Atlântico Sudeste: com mais de 25 milhões de habitantes, reúne importantes rios como São Mateus, Ribeira do Iguape, Doce e Paraíba do Sul. Um destaque especial deve ser dado a este último rio, localizado nos três estados de maior significado econômico do país: Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo. Ele possui em seu curso diversos aproveitamentos hidrelétricos, importantes cidades ribeirinhas, grandes indústrias e a maior transposição de bacia do Brasil, que garante o abastecimento de água do Grande Rio - RJ. Essa antiga e significativa retirada de água do Paraíba do Sul para o rio Guandu faz com que possamos considerar que o rio Paraíba do Sul tenha dois distintos deságües ao mar; um ao norte fluminense e o outro na Baía de Sepetiba.
- O rio Paraíba do Sul é bastante importante por ter sido a primeira bacia hidrográfica de domínio federal, em que foram implantados todos os instrumentos de Gestão Hídrica, constituindo-se num paradigma para a implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos.
- Bacia Atlântico Sul: é composta por vários rios de importância regional como os rios Itajaí, Jacuí, Guaíba, Capivari e Camaquã. Tais rios participam do desenvolvimento local com

transporte hidroviário, abastecimento de água e geração de energia elétrica, numa área com mais de 11 milhões de habitantes.

- Bacia do Uruguai: localiza-se em uma importante região do sul brasileiro. Seu rio principal é formado com a junção dos rios Canoas e Pelotas, entre Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Serve de fronteira entre a Argentina e o Brasil, até receber o afluente Quaraí que limita o Brasil com o Uruguai. Daí por diante, o rio Uruguai corre 500km por terras argentinas e uruguaias, até desaguar no rio da Prata.

A grandiosidade dos recursos hídricos brasileiros é bem representada pelas quatro grandes unidades hidrográficas acima citadas: Amazonas, Tocantins, Paraná e São Francisco. São três quartos do território, abrigando a metade da população e onde estão concentrados quase 90% da água do país.

Apesar de toda essa quantidade de água doce, o Brasil vive dois sérios problemas com suas águas. O primeiro refere-se à degradação da qualidade das nossas águas, principalmente nas proximidades das áreas urbanas. O segundo problema reside no melhor controle do excesso e da falta de água que atingem várias localidades brasileiras. Atualmente não são somente as enchentes que atingem várias cidades brasileiras. A escassez hídrica também impõe sérias restrições e elevados custos ao desenvolvimento econômico e social de muitas grandes cidades brasileiras. Ainda dentro do problema relativo à escassez hídrica, destacam-se as secas periódicas do semi-árido setentrional, que afligem os habitantes locais desde as épocas pré-cabralinas. De lá para cá, gerações se passaram, mas o secular problema das secas nordestinas ainda persiste, desafiando o século XXI.

3. A GESTÃO DAS ÁGUAS NO BRASIL

O Brasil vem tentando avançar na estruturação de um arcabouço legal e de um pacote de políticas públicas que busquem paulatinamente consolidar uma forma de valorização de seus recursos hídricos.

Em janeiro de 1997, o governo federal estabeleceu a nova política de gestão de recursos hídricos, aprovando a Lei no 9.433/97, que consolidou a valoração e valorização da água no setor produtivo brasileiro.

Os instrumentos para a efetivação da gestão das águas foram assim definidos:

- Plano Diretor da bacia e alocação das águas entre os grandes setores usuários.
- Outorga de direito de uso das águas.
- Enquadramento dos corpos de água.
- Fiscalização e monitoramento/ sistemas de informações dos recursos hídricos.
- Cobrança pelo uso da água.

Para coordenar a implantação do sistema nacional de recursos hídricos, o Governo Federal criou, em julho de 2000, a Agência Nacional de Águas – ANA, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH e iniciou a criação dos comitês de bacia de rios federais. Estrutura similar deverá funcionar em cada estado da União para a gestão das águas das bacias de rios de domínio estadual.

A história da gestão das águas no Brasil começou na bacia do rio Paraíba do Sul e vai se alastrando vagarosa, mas continuamente por outras bacias. Os trabalhos da sociedade organizada, dos diversos setores de usuários, dos Comitês e suas respectivas Agências já começam a dar inequívocos e importantes frutos.

O desafio desta tarefa é verdadeiramente enorme. O país é continental; os passivos ambientais são gigantescos; a máquina pública é ineficiente; faltam recursos humanos; e muito escassos são os recursos financeiros realmente disponibilizados. No entanto, as potenciais riquezas naturais do país estimulam o enfrentamento desses obstáculos.

A ainda curta experiência brasileira na gestão das águas já foi suficiente para mostrar uma importante falha nos procedimentos hoje utilizados. É necessário que sejam respeitadas as interdependências existentes entre os instrumentos de gestão da Lei nº 9.433/97. Para tanto, é importante que todos os instrumentos legais sejam planejados concomitantemente, muito embora eles possam ser implantados, um a cada tempo, de forma independente.

3.1 A Interdependência dos Instrumentos de Gestão das Águas

Particularmente em bacias onde já se inicia a escassez hídrica, todos os instrumentos devem ser planejados em conjunto, iniciando essas considerações já nos cálculos da disponibilidade hídrica e das vazões características. Por exemplo, os conceitos de disponibilidade hídrica, restrições ambientais e operativas são conceitos associados a uma variável aleatória com sazonalidade. Assim, a disponibilidade hídrica deveria ser expressa como uma vazão natural com certa permanência no tempo, ficando a sua representação restrita a duas grandes famílias de vazão característica, a saber: $Q_{7,10}$ e Q_{95} . No entanto, a disponibilidade hídrica em meses do período chuvoso costuma ser maior do que as do período seco, e a vazão característica $Q_{7,10}$ apresenta dificuldade em representar essa sazonalidade, o que restringe cada vez mais a sua utilização para efeito de alocação, outorga e cobrança.

Uma outra vazão característica importante é aquela ligada à manutenção da biota aquática de todos os rios da bacia. Uma vez que devam existir, para cada trecho de rio, restrições ambientais e/ou hidráulicas, há que se preservar sempre a existência de uma certa vazão de restrição, Q_{rest} , para satisfazer as referidas exigências. Assim sendo, não se pode alocar vazões maiores do que aquela expressa pela diferença entre Q_{95} e Q_{rest} .

3.1.1 Alocação

A alocação de água na bacia é um instrumento de responsabilidade central do Comitê de Bacia, e sua quantificação faz parte do processo de solução dos conflitos pela água na bacia, uma vez que a alocação de água é o primeiro grande pacto de repartição de água na bacia hidrográfica, fornecendo diretrizes gerais para a outorga e para a definição de regras operativas de reservatórios. Vale ressaltar que a alocação é feita, em geral, por grandes áreas e por grandes setores usuários, sem considerar diretamente as imediatas demandas individuais de cada usuário, pois tal consideração será abordada pelo instrumento de outorga.

A alocação de água é, irremediavelmente, um processo dinâmico, uma vez que as demandas surgem e se extinguem, crescem e decrescem com o tempo. Portanto, o tempo de validade de uma alocação deve refletir os conflitos potenciais de água que possam ocorrer na região de estudo.

3.1.2 Outorga

Alocadas, para os próximos anos, as águas da bacia, faz-se necessário atender às demandas individuais de cada um dos usuários de água do conjunto de setores usuários da bacia. Isto é, considerando a alocação vigente, é preciso que cada usuário, individualmente, seja oficialmente autorizado a fazer uso da água pretendida.

Tal tarefa será realizada pela outorga, instrumento de responsabilidade central do Poder Público, que, após análise técnica e condicionado pelo instrumento de alocação, autoriza o usuário solicitante a fazer uso de um determinado volume de água do rio, sob as limitações descritas nos Termos da Outorga. No processo de outorga, o Poder Público levará em conta todos os planos de desenvolvimento estadual e as políticas públicas estaduais pertinentes, de modo a fazer do uso da água uma alavanca de progresso econômico e social da região. Nesse sentido, os dois instrumentos discutidos, alocação e outorga, são complementares, guardando entre si grande dependência.

3.1.3 Enquadramento

O instrumento de enquadramento, por sua vez, afeta a alocação e, por conseguinte, a outorga, na medida em que esse instrumento classifica as características qualitativas com que as águas fluviais deverão ser mantidas. O enquadramento de um trecho de cabeceira fluvial em Classe Especial protegerá as águas de lançamento de efluentes. Neste trecho não há a possibilidade de concessão de outorgas. Por outro lado, o enquadramento de um trecho de rio como Classe 1 implica um menor volume de água para alocar aos diversos setores usuários desse trecho, e conseqüentemente, haverá menor atividade econômica na região. Além disso, um enquadramento mais restritivo também poderá interferir no instrumento de cobrança, majorando os valores a serem cobrados dos usuários.

Nesse sentido, os instrumentos de alocação, outorga, enquadramento e cobrança guardam entre si uma importante interdependência.

3.1.4 Fiscalização e monitoramento

Vale ressaltar que a fiscalização e o monitoramento também devem merecer atenção desde o momento em que se iniciam os estudos dos três instrumentos antes mencionados, mesmo que sejam implantados em tempos distintos. Por exemplo, por melhor que possa parecer ser um determinado critério de cobrança, não é operacionalmente aconselhável que se adote tal critério se ele exigir respostas e resultados que o monitoramento tenha dificuldade de fornecer, ou que a fiscalização tenha dificuldade de controlar.

3.1.5 Cobrança

Finalmente, vale ressaltar o fato de que, no instrumento da cobrança, estão intrinsecamente sintetizados os efeitos dos outros instrumentos. A cobrança pelo uso da água só será implementada após longa etapa de negociação com os usuários dentro do comitê. Nesse período de efetiva participação social, são esperadas complexas discussões. Portanto, caso os instrumentos tenham sido implantados sem o devido balizamento técnico ou sem a devida participação social, é de se esperar difícil operacionalidade ou, até mesmo, impasses.

Assim sendo, não se aperceber detalhadamente das interdependências que existem entre todos os instrumentos de gestão das águas, não qualificar tais interdependências e não quantificá-las corretamente poderá tornar a gestão dos recursos hídricos um processo com sérias dificuldades operacionais.

É muito mais eficiente e eficaz maximizar toda a performance do conjunto do que procurar a maximização da performance isolada de cada um dos componentes.

3.2 Uma proposta de metodologia de enquadramento

O enquadramento dos corpos de água em classes de qualidade tem por objetivo assegurar a qualidade requerida para os usos preponderantes, sendo mais restritivos quanto mais nobre for o uso pretendido. Além disso, visa diminuir os custos de combate à poluição com ações preventivas.

O enquadramento dos corpos de água não deve, necessariamente, estar baseado no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que deveriam, e que deverão, possuir para atender às necessidades da comunidade. Isto é, um corpo hídrico que apresente certa deterioração na qualidade de suas águas, pode vislumbrar uma melhora gradativa e atingir uma situação futura adequada, comandada pelos enquadramentos em classes.

Considerando-se os vários cenários de crescimento da região, é de se esperar que a prática da cobrança gere crescimento constante de arrecadação. Além disso, é também de

se esperar que, com o exercício da gestão dos recursos hídricos, novas fontes de financiamento à racionalização do uso da água sejam conseguidas para a bacia. Ou seja, é de se esperar uma crescente capacidade de investimento na bacia, de modo a contrastar com os baixos investimentos previstos para o futuro imediato.

Por outro lado, é também esperado que as primeiras medidas mitigadoras das desconformidades nas águas da bacia tenham uma boa relação custo-efetividade, de tal modo que os custos das primeiras melhorias sejam inferiores aos custos das melhorias subsequentes.

Por tudo isso acima relatado, é muito conveniente que a cobrança seja orientada por metas de qualidade de água que, gradativamente, se aproximam do enquadramento desejado. Assim, para compatibilizar esses cálculos, sugere-se a adoção de uma curva S para representar o avanço anual das metas de enquadramento intermediário, considerando o parâmetro objeto de melhoria. O exemplo mostrado a seguir considera a melhoria da qualidade em relação à Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO, que é indicador da carga orgânica presente no corpo de água.

A Curva de DBO a seguir apresenta três principais trechos:

- O primeiro, nos anos iniciais, com a característica de exigir uma pequena variação do valor do parâmetro enquadrado.
- O segundo trecho apresenta forte exigência de variação.
- No terceiro trecho, dos anos finais, novamente poucas exigências são feitas, pois as melhorias deverão requerer altos investimentos.

Tal fato se mostra adequado, uma vez que no início do processo ainda há poucos recursos financeiros, humanos e pouca experiência disponíveis à gestão hídrica. Nessa ocasião, é de se esperar que pouco seja possível alterar no valor da DBO. Já nos anos seguintes, com novos estudos avançando e com novas fontes de recursos financeiros, será possível exigir fortes avanços na variação da DBO. Finalmente, nos últimos anos, quando as soluções mais impactantes já tiverem sido implementadas, restarão as soluções de pior relação custo-efetividade; isto é, restarão soluções dispendiosas que limitarão as melhorias na DBO.

A proposta abaixo pode ser aplicada a qualquer outro parâmetro de enquadramento, além da DBO, com a função assumindo automaticamente a curvatura crescente ou decrescente, que lhe for pertinente.

Outrossim, vários trechos do rio podem já estar com mais usuários do que deveria, o que é o caso de muitos rios brasileiros próximos dos grandes centros urbanos. Uma vez que os usuários existentes não podem ser impedidos de permanecerem ativos, há que se encontrar uma solução de compromisso. O mesmo se dá quando a bacia está muito próxima de seu limite e o governo não pode, de repente, estancar completamente o de-

envolvimento e impedir novas outorgas. Nesses casos, a solução de compromisso pode ser encontrada com o uso da Curva S do enquadramento intermediário.

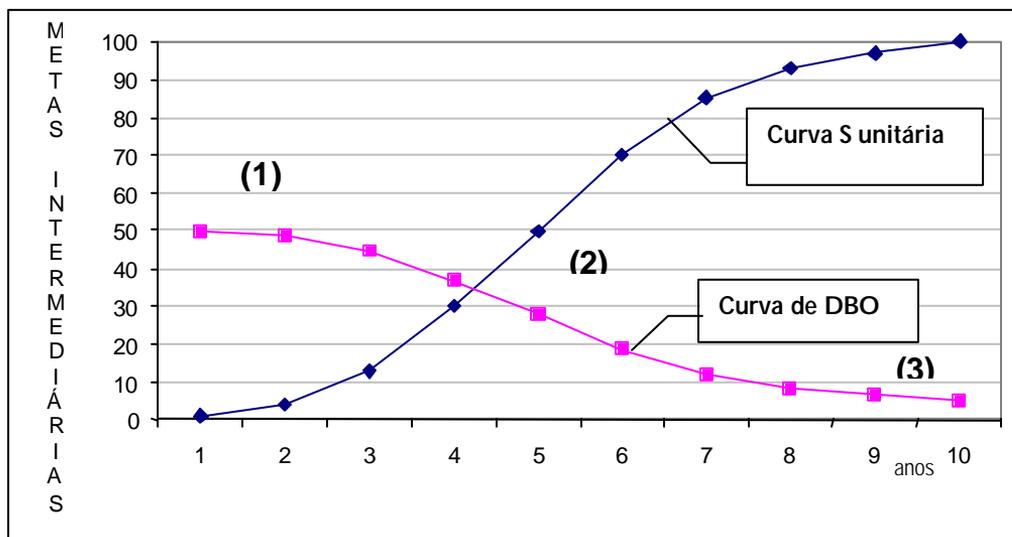


Figura 1 - Curva das metas intermediárias de enquadramento ao longo dos anos

3.3 O incentivo ao reúso de água na gestão das águas

Muito embora o reúso de água ou o uso de água residuária não seja exatamente um conceito novo, o avanço científico-tecnológico tem alargado bastante a sua prática no setor industrial.

Os instrumentos de gestão devem contemplar o reúso de água como parte de uma atividade mais abrangente. O reúso de água é o uso racional ou eficiente da água, que compreende também o controle de perdas e desperdícios e a minimização do consumo de água e da produção de efluentes. Nesse sentido, os efluentes tratados têm um papel fundamental no planejamento e na gestão dos recursos hídricos como um substituto para o uso de águas destinadas a fins específicos. Tal substituição é possível em função da qualidade requerida para tal uso específico e deve ser autorizada e controlada pelo poder público, devido ao seu eventual impacto nas questões de saúde pública.

O reúso reduz a demanda sobre os mananciais de água devido à substituição da água potável por uma água de qualidade inferior. Ao liberar as fontes de água de boa qualidade para abastecimento público e outros usos prioritários, o uso de efluentes acrescenta uma nova dimensão econômica ao planejamento dos recursos hídricos.

Além do reúso indireto não-planejado da água, quando esta é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e pouco controlada, o reúso direto e planejado (ou simplesmente reúso de água)

é uma importante ferramenta de mitigação da escassez hídrica para o setor industrial e agrário.

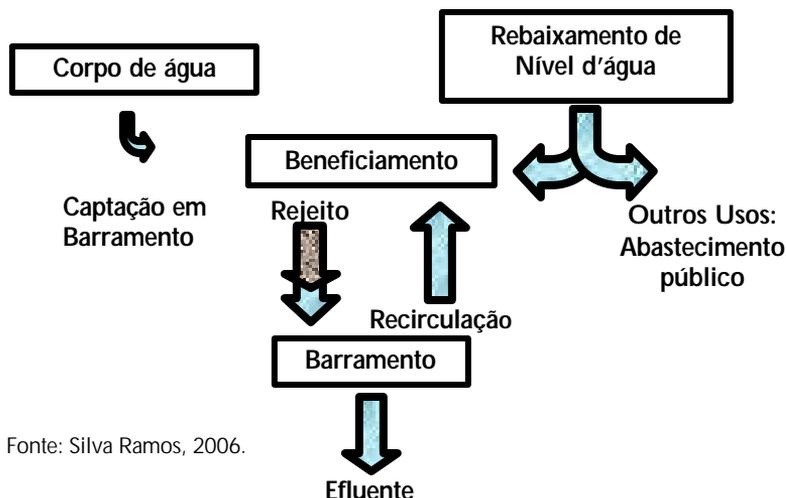
Vale ressaltar que o aumento do preço da água bruta e da água encanada tem justificado o surgimento de um novo mercado de serviços, o fornecimento de água servida, tratada especificamente para o fim a que se destina. Tal mercado tem crescido enormemente entre as indústrias com grande consumo de água.

Atualmente, muito se discute também a conveniência da adoção do reúso das águas pluviais de telhados e pisos impermeáveis para fins específicos.

4. OS RECURSOS HÍDRICOS NA ATIVIDADE MINERAL

A mineração é um motor do desenvolvimento e já foi a atividade pioneira na ocupação do território brasileiro (Maranhão, 2006).

O uso da água na atividade mineral apresenta particularidades que devem ser consideradas na gestão de recursos, nem tanto por seus volumes, mas tendo em vista seus impactos. As diversas formas e etapas de uso da água na atividade mineral podem ser representadas pelo fluxograma geral a seguir (Silva Ramos, 2006).



Fonte: Silva Ramos, 2006.

Figura 2 - Uso da água na atividade mineral

4.1 Particularidades do setor e características das obras hidráulicas usuais

As obras hidráulicas do setor mineral são, em geral, implantadas em cabeceiras de bacias onde há carência de dados hidrométricos e o regime de estiagem é condicionado pela geologia, dificultando a aplicação de técnicas convencionais de regionalização hidrológica. Como característica diferenciadoras tem-se:

- São necessárias obras hidráulicas singulares com estruturas complexas para desvio, condução de drenagem e extravasamento.
- São construídos reservatórios com grande inércia volumétrica, isto é, com alta relação entre volume de armazenamento e deflúvio médio anual e alta relação entre área inundada e área de drenagem da bacia.
- São implantadas obras hidráulicas como meio (estruturas secundárias) em locais adversos. As obras têm vida útil curta, compromissos com segurança e descomissionamento (Cicareli, 2006).

O dinamismo nas operações face à sua sensibilidade ao teor do minério e ao preço internacional requer um sistema de gerenciamento integrado de recursos hídricos, por parte das mineradoras, que devem ser capazes de adequar-se rapidamente a essas mudanças, com os objetivos principais de: garantir um suprimento confiável para atender à lavra e ao processamento dos minérios (quantidade e qualidade), garantir sua sustentabilidade e cumprir regulamentações e a legislação (Maranhão, 2006). Um exemplo é o plano de gestão integrada de recursos hídricos da Companhia Vale do Rio Doce – CVRD, que tem como objetivo “adequar o uso de recursos hídricos dos empreendimentos atuais e futuros à disponibilidade hídrica das unidades hidrográficas em que se inserem, considerando as demandas dos usuários concorrentes” (Centeno, 2006).

Na mineração muitos problemas ambientais são provocados pela ausência de medidas preventivas e pela falta de uma recuperação efetiva. Como exemplo de medidas mitigadoras de seus impactos, tem-se a possibilidade de utilização da água explotada no rebaixamento nas usinas de beneficiamento mineral para abastecimento de comunidades circunvizinhas ou em reposição aos usuários ou comunidades bióticas eventualmente prejudicadas (Mourão, 2006).

4.2 A gestão dos recursos hídricos e a atividade mineral

Os principais usos e intervenções nos sistemas hídricos realizados pela mineração, sujeitos à outorga, seriam (Silva Ramos, 2006):

- Derivação ou captação direta em curso de água.
- Captação em barramento com regularização de vazão.
- Poços tubulares e demais estruturas de captação de água subterrânea.
- Captação de água subterrânea com a finalidade de rebaixamento de nível de água.
- Desvio, retificação e canalização de cursos de água necessários às atividades de pesquisa e lavra.
- Barramento para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e/ou recirculação de água.

- Sistemas de disposição de estéril e de rejeitos.
- Lançamento de efluentes em corpos de água.
- Aproveitamento de bens minerais em corpos de água (dragagem).

A gestão das águas na atividade mineral pode ser abordada considerando-se os conceitos de água útil, e água nociva (Cicareli, 2006). A primeira compreenderia aplicações em usos industriais de beneficiamento de minério, em usos sanitários de consumo humano e diluição de efluentes e a segunda, o resultado do escoamento de águas pluviais (drenagens de pátios, cavas e pilhas), desaguamento de cavas, transporte de sedimentos, contaminação de efluentes.

Para o aproveitamento da água útil são projetadas estruturas de captação (tomadas de água, barragens de elevação de nível, barragens de regularização de vazões, barragens de recirculação e recuperação de água, poços profundos). No afastamento da água nociva utilizam-se: vertedores de barragens, desvios de cursos de água, drenagens de cavas a céu aberto, desaguamento de água subterrânea e drenagem de pilhas de estéril.

Além de cotejar a disponibilidade/demanda e enquadrar legalmente outorgas de captações e lançamentos de efluentes, o órgão gestor de recursos hídricos deverá (Silva Ramos, 2006):

- Definir os critérios mínimos para execução da atividade.
- Padronizar os estudos técnicos e informações necessárias.
- Acompanhar os efeitos e controle dos impactos nos recursos hídricos.
- Definir as medidas mitigadoras.
- Definir o destino da água bombeada em consonância com os planos de bacia e comitês (primeiramente como reposição de vazão em nascentes e o restante poderia ser utilizado na área da mina ou destinada a terceiros e ao descarte, necessitando de avaliação hidrológica).

O Plano Nacional de Recursos Hídricos – PNRH apresenta três cenários prospectivos para 2020. Tais cenários foram formulados considerando-se as incertezas e hipóteses para os cenários mundial e nacional de desenvolvimento. Considera a irrigação, energia, navegação e saneamento como os usos setoriais da água mais relevantes e estabelece programa e metas para os horizontes temporais 2007, 2011, 2015 e 2020. Com relação às águas subterrâneas, o PNRH propõe o detalhamento de seu programa em 2007 (Rocha, 2006).

Quanto aos setores energético e mineral em que este se relaciona com o primeiro, chamam atenção nos cenários elaborados no PNRH:

- No Água para Todos (PIB = 4,5% a.a.), considera-se o esgotamento do potencial hidráulico, com o uso de todo potencial das regiões Amazônica e Tocantins-Araguaia.
- No Água para Alguns (PIB = 3,5% a.a.), considera-se a mesma hipótese.
- No Água para Poucos (PIB = 1,5% a.a.), considera-se o uso de 50% do potencial das regiões Amazônica e Tocantins-Araguaia.

Como estas hipóteses esbarrariam em restrições ambientais, pode-se considerá-las de difícil concretização. Sendo assim, a matriz de energia elétrica brasileira certamente passará por grandes inflexões, e a energia abundante e barata deixará de ser uma vantagem comparativa. Isto terá reflexos, na realidade já percebidos, por exemplo, na indústria de alumínio – bauxita. O potencial de carvão mineral do Sul do Brasil deverá ser usado com maior intensidade, com as limitações de eficiência e ambientais existentes. Além deste, a alternativa nuclear parece ser a única que permitirá oferecer grandes blocos de energia elétrica, associando a eficiência econômica com a sustentabilidade ambiental, se bem aplicada (Lanna, 2006).

4.3 Desafios do setor mineral relacionados com os recursos hídricos

Da carência de dados nas cabeceiras, resulta que no cálculo das cheias de projeto são aplicados métodos indiretos - problemas do hidrograma unitário sintético por não simular o escoamento subsuperficial predominante nas cabeceiras - escoamento "não-hortoniano".

Há falta de dados para calibração e aplicação de modelos conceituais mais realísticos. Os estudos de chuvas realizados são estimativas de PMP pontual - PMP *versus* precipitação decamilenar, resultando hietogramas de chuvas de projeto. As disponibilidades hídricas são estimadas com base na vazão média de longo termo ($MLT = \text{PREC} - \text{ETP}_{\text{real}}$), nas vazões mínimas de referência (interferência da geologia local). Na Amazônia, verifica-se o paradoxo do regime hidrológico intermitente (Cicareli, 2006).

Com relação às barragens de rejeitos, há necessidade de estudos para concepção das estruturas de extravasamento, amortecimento de cheias em reservatórios assoreados e seu esvaziamento. Quanto às obras hidráulicas específicas da atividade de mineração, há que se ter compromisso com o esvaziamento de reservatórios de grande inércia volumétrica que alteram o regime hidrológico natural. Deve-se ainda resolver as questões relativas à falta de definição de critérios de projeto e das condições mais críticas. As estruturas hidráulicas singulares apresentam dificuldade para estabelecimento das seções de controle e complexidade das curvas de descarga. A implantação de obras em locais adversos exige o emprego de novos materiais e gera problemas de manutenção (Cicareli, 2006).

5. AGENDA DE PRIORIDADES BRASIL 2015¹

Deverão ser desenvolvidos estudos e pesquisas para aumentar o conhecimento das disponibilidades hídricas, considerando:

- Implantação de bacias representativas e experimentais: Amazônia e pequenas áreas.
- Estudos de processos hidrológicos em diversas escalas.
- Rede de monitoramento integrado (águas superficiais e subterrâneas) quantidade e qualidade nos principais aquíferos das províncias hidrogeológicas, prevista no PNRH - Plano Nacional de Recursos Hídricos (Rocha, 2006).
- Rede de monitoramento de águas superficiais, com adequada amostragem espacial (pequenas bacias) e temporal (registradores contínuos).
- Adequação dos métodos de regionalização do *U.S. Geological Survey*, com incorporação de variáveis geológicas.
- Pesquisa sobre amortecimento de cheias em reservatórios assoreados.
- Desenvolvimento de modelos reduzidos para aferir as estruturas hidráulicas singulares.
- Pesquisa sobre interação água de superfície – água subterrânea – nova concepção de monitoramento hidrológico integrado.
- Utilização de dados dos levantamentos geofísicos nos estudos hidrogeológicos.

Com relação à gestão dos recursos hídricos:

- Empresas de mineração devem buscar participação nos comitês de bacia hidrográfica.
- Os órgãos gestores de recursos hídricos devem trabalhar de forma pró-ativa em seus procedimentos.
- As águas minerais são águas subterrâneas: necessidade de inserção na gestão de recursos hídricos (ciclo hidrológico).
- Incorporar à gestão das águas minerais, além de suas especificidades físico-químicas, sua importância no contexto histórico, medicinal e socioeconômico.
- Planejamento concomitante dos instrumentos de gestão de recursos hídricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo, L. M. N. (2006), Recursos hídricos desafios tecnológicos, *Seminário do Projeto Setor Mineral: Tendências Tecnológicas – Painel Recursos Hídricos*, Rio de Janeiro, jul.

¹ As ações prioritárias a seguir sugeridas visam contribuir para o conhecimento das disponibilidades hídricas do país e a gerência sustentada desses recursos, baseam-se no estado da arte apresentado no texto-base sobre o tema elaborado por especialista na área e nas discussões com a comunidade mineral, empresarial e geocientífica, empreendidas durante a execução do painel e contribuições enviadas à coordenação do Projeto Setor Mineral: Tendências Tecnológicas.

- Campos, J.D. (2001), *Cobrança pelo uso da água nas transposições da bacia do rio Paraíba do Sul envolvendo o setor elétrico*, Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Canedo, P. M., Maranhão, N., Thomas, P., Thomaz, F.R. E Campos, J. D. (2003), Estudo comparativo de quatro metodologias para a cobrança pelo uso da água. Artigo apresentado no *XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos: desafios à gestão da água no limiar do século XXI*, Curitiba , 23 a 27 de nov.
- Centeno Cordeiro, J. R. (2006), Plano de gestão integrada de recursos hídricos: a Vale, *Seminário do Projeto Setor Mineral: Tendências Tecnológicas – Painel Recursos Hídricos*, Rio de Janeiro, jul.
- Cicareli, P. M. (2006), Recursos hídricos e mineração: os desafios das particularidades do setor e as oportunidades de desenvolvimento tecnológico, *Seminário Nacional Geociências do Projeto Setor Mineral: Tendências Tecnológicas – Painel Recursos Hídricos*, Rio de Janeiro, jul.
- Formiga-Johnsson, R.M., Campos, J.D., Canedo de Magalhães, P. et al (2003), A construção do pacto em torno da cobrança pelo uso da água na bacia do rio Paraíba do Sul, *XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Desafios à gestão da água no limiar do século XXI, Curitiba, 23 a 27 de nov.
- Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente/COPPE/UFRJ (1999), *Projeto qualidade das águas e controle da poluição hídrica (PQA): Programa estadual de investimentos da bacia do rio Paraíba do Sul – RJ*, Rio de Janeiro: SEMA-SEPURB/MPO-BIRD-PNUD.
- Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente/COPPE/UFRJ (2001/2002), *Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul (PGRH-RE-027-R1)*, Relatório para o Convênio ANA-Fundação COPPETEC.
- Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente/COPPE/UFRJ (2003), *Intrusão salina no rio Guandu/canal de São Francisco e sua repercussão na concessão de outorgas*, Relatório de pesquisa FINEP/CT-HIDRO, Rio de Janeiro.
- Lanna, A. E. L. (2006), Projeto Setor Mineral:Tendências Tecnológicas: alguns temas para debates e prospecção, *Seminário Nacional Geociências do Projeto Setor Mineral: Tendências Tecnológicas – Painel Recursos Hídricos*, Rio de Janeiro, jul.
- Maranhão, N. (2006), Planejamento de recursos hídricos e a atividade mineral, *Seminário Nacional Geociências do Projeto Setor Mineral: Tendências Tecnológicas – Painel Recursos Hídricos*, Rio de Janeiro, jul.
- Mourão, M. A. A. (2006), Água e Mineração, *Seminário Nacional Geociências do Projeto Setor Mineral: Tendências Tecnológicas – Painel Recursos Hídricos*, Rio de Janeiro, jul.
- Mishan, E.J. (1969), *Welfare Economics: an assessment*, Amsterdam, North Holland.
- Silva Ramos, M. L. (2006), A gestão das águas subterrâneas e a atividade mineral, *Seminário Nacional Geociências do Projeto Setor Mineral: Tendências Tecnológicas – Painel Recursos Hídricos*, Rio de Janeiro, jul.
- Rocha, G. (2006), Subsídios para o Programa Nacional de Águas Subterrâneas, *Seminário Nacional Geociências do Projeto Setor Mineral: Tendências Tecnológicas – Painel Recursos Hídricos*, Rio de Janeiro, jul.

CAPÍTULO 2

EXPLORAÇÃO MINERAL – TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS

*Elpidio Reis**; *Cristina P. Bicho***; *Eduardo Melo ****

1. INTRODUÇÃO

Exploração (ou pesquisa) mineral é uma atividade mundial que movimentou, em 2005, mais de US\$5 bilhões. Estes recursos de risco, dedicados exclusivamente ao descobrimento de novas jazidas minerais, são investidos desproporcionalmente em poucos países. O Brasil, devido à sua reconhecida fertilidade geológica e mineral, além da exponente produção de minérios de ferro, bauxita, dentre outros, tem se mantido entre os dez maiores captadores destes investimentos.

O Canadá tem liderado a lista destes países, com 19% do total captado, sendo seguido pela Austrália, com 13%. Em 2005, o Brasil perdeu a oitava posição para o Chile, com cerca de 3% do investimento total. A Argentina, apesar de possuir 1/3 de nossa extensão territorial, também capta cerca de 3%, o que reflete nossa timidez em atrair capital.

Investimentos em exploração mineral são altamente voláteis entre países receptores e refletem a percepção de investidores quanto ao potencial mineral, à capacidade de investimento nas várias fases da mineração e ao risco inerente à atividade e ao país.

Embora possua um crescente número de empresas de pequeno porte, denominadas juniores, que captam grande volume de recursos nas bolsas de valores de Toronto, Sidney, Londres, Nova Iorque e Vancouver, no Brasil, o investimento em exploração mineral é liderado pelas grandes empresas multinacionais, tais como: CVRD, BHP Billiton, Rio Tinto, Alcoa, Alcan, Falconbridge, Votorantim, dentre outras.

Em uma visão de futuro, a captação destes recursos de risco ocorrerá de forma crescente somente se o país mantiver estabilidade nas regras que regem a atividade mineral e estabilidade econômica/social.

No Brasil, não existe investimento de risco em exploração mineral proveniente de bolsas nacionais. O recente lançamento de ações da empresa MMX na bolsa brasileira reflete investimentos em projetos avançados de minério de ferro e metalurgia, e não um investimento de risco em pesquisa mineral.

A exploração mineral é o setor da indústria mineral que apresenta o maior risco, devido às incertezas decorrentes da complexidade dos jazimentos minerais. Em contrapartida, é

* Consultor independente.

** Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM).

*** Kinross Américas.

o investimento capaz de proporcionar o maior retorno ao investidor. A diferença entre o sucesso e o insucesso da atividade é a descoberta de um depósito mineral que seja economicamente viável de acordo com os padrões econômicos vigentes.

Outro valor relevante associado à pesquisa mineral é o pioneirismo relacionado ao desenvolvimento de pesquisa mineral em áreas de difícil acesso, baixa densidade populacional e regiões remotas, como a Amazônia e o Nordeste. O desbravamento destas regiões e a subsequente atividade mineira são reconhecidos nos grandes países mineradores, como o Canadá, Austrália, África do Sul e Chile, como atividades pioneiras de desenvolvimento socioeconômico, sendo responsável por uma parcela significativa do produto interno bruto do país.

2. ATIVIDADES DA EXPLORAÇÃO MINERAL

Desde a década de 60, quando a exploração mineral sistemática se iniciou no Brasil, empresas de exploração têm acumulado sucessos e insucessos em novas descobertas. Entretanto, por diversas razões, as atividades da exploração que promoveram o sucesso (ou insucesso) não são amplamente divulgadas, sendo consideradas, por algumas empresas, segredos industriais.

De forma a obter, no futuro, maior sucesso em novas descobertas, temos a necessidade de analisar individualmente estas atividades no Brasil e compará-las com aquelas praticadas em outros países líderes em exploração:

- Sensoriamento remoto: o sensoriamento remoto tem sido amplamente utilizado no mapeamento geológico, na seleção de ambientes prospectivos e na identificação de depósitos minerais. Dentre as ferramentas disponíveis, destacam-se as imagens dos sensores óticos e radar, obtidas por satélites ou levantamentos aerotransportados, e as fotografias áreas convencionais.
- Aerogeofísica: aerolevantamentos geofísicos específicos para alvos minerais, incluindo gamaespectrometria, eletromagnetometria, gravimetria e magnetometria.
- Mapeamento geológico: refere-se à atividade de campo, executada por geólogos e técnicos de mineração, que compreende observar detalhes físicos, geológicos e mineralógicos e transferir estes dados para mapas geológicos em várias escalas pré-estabelecidas. Esta atividade é suportada por dados de datações de rocha, geofísica, geoquímica, botânica, bem como demarcações de reservas federais e municipais, terras indígenas, parques florestais e áreas de exclusão da atividade mineral, como áreas urbanas etc. Estes mapas são utilizados amplamente no mundo como ferramenta básica na pesquisa mineral.
- Geoquímica: métodos geoquímicos incluem a caracterização química de solos, rochas, plantas, água e ar. Salientamos geoquímica de sedimento de corrente, geoquí-

mica de solo e rocha, biogeoquímica e também captação de emissões de gases provenientes da degradação de certos minerais e.g. sulfetos.

- Geofísica terrestre: a geofísica terrestre vem sendo aplicada no Brasil há mais de 60 anos, sendo desenvolvida com alto grau de sofisticação e precisão, principalmente com a popularização do GPS portátil. Dentre as metodologias mais utilizadas no Brasil, destacam-se: magnetometria terrestre, métodos eletromagnéticos (EM), polarização induzida e resistividade (IP), gravimetria, radar e sísmica de reflexão e refração.
- Sondagem: refere-se aos métodos mecânicos de penetração no solo e na rocha, que permitem recuperar material suficiente para sua identificação através de análises química e física. Dentre os tipos de sondagem, incluem-se: sondagem rotativa a ar - RAB, percursiva, circulação reversa percursiva - RC, testemunhagem a ar (*air-core*) e rotativa a diamante (testemunhagem).
- Estimativa de recursos e reservas: somatório do volume de minério calculado de seções geológicas multiplicado pela densidade aferida e teor químico dos minerais ou minério produto ou subproduto. Recurso mineral refere-se a minerais e metais de interesse e potencial econômico. Reservas de minério referem-se ao minério de comprovada viabilidade econômica.
- Estudos de viabilidade: avaliação, em vários níveis de precisão, de dados geológicos, de mineração e processamento e concentração de minério, comercialização, meio ambiente, legal e da economicidade de depósitos minerais.

3. SITUAÇÃO ATUAL DESTAS ATIVIDADES

Uma análise da aplicação, estado-da-arte e desenvolvimento das atividades de exploração mineral realizadas nos últimos 50 anos, no Brasil, está descrita em seguida:

3.1 Sensoriamento remoto

No Brasil, a utilização do sensoriamento remoto para a geologia tem como marco fundamental o início da década de 70. Neste período foi executado o Projeto Radam, maior programa de levantamento de radar aerotransportado já realizado no mundo. Inicialmente desenvolvido para a Amazônia, o projeto foi posteriormente estendido para todo o país, passando a se chamar RadamBrasil. As imagens de radar foram essenciais para a evolução do conhecimento geológico do país, pois, a partir da interpretação destas imagens, foram elaborados os primeiros mapeamentos geológicos sistemáticos do Brasil. O uso do radar permitiu a obtenção de imagens da Amazônia, pela primeira vez, livre de nuvens. Durante mais de uma década, as imagens de radar do RadamBrasil e as fotografias aéreas constituíram as bases de dados de sensoriamento remoto utilizadas no mapeamento geológico e na prospecção mineral.

Em julho de 1972, a NASA lançou o satélite imageador ERTS1, posteriormente batizado Landsat. A difusão das imagens do Landsat demorou a ocorrer no Brasil, ficando restrita, durante a década de 70 e meados dos anos 80, principalmente, ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e ao meio acadêmico. Atualmente, as cenas do Landsat estão entre as mais difundidas em todo o mundo e, no Brasil, são utilizadas rotineiramente pelas empresas de mineração, pelo Serviço Geológico do Brasil/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – SGB/CPRM e por órgãos de fomento do governo.

Lançado em 1978, o programa SPOT do governo francês não teve a mesma aceitação na comunidade geológica que o programa Landsat, visto que as características espectrais do SPOT não são adequadas ao mapeamento geológico.

Na década de 90 e início dos anos 2000, ocorreu uma “avalanche” de lançamentos de novos satélites, incluindo sensores radar (Ers, Jers e Radarsat), sensores óticos multiespectrais (Áster, CBERS, Irs, Ikonos, Quickbird) e hiperespectrais (Hyperion). Estes novos satélites trouxeram melhoras na frequência temporal e nas resoluções espectral e espacial. A maior diversidade de imagens, aliada à redução de custos dos programas de processamento de imagens, possibilitou o uso extensivo das imagens na exploração mineral. Atualmente, a utilização de imagens é premissa básica para qualquer programa de mapeamento geológico. Na prospecção mineral, por exemplo, a interpretação de imagens propicia maior rapidez e eficiência para a definição de alvos.

Cabe ressaltar a importância do lançamento do satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestre - CBERS, em 1999. Com ele, o Brasil ingressou no seleto grupo de países detentores da tecnologia de sensoriamento remoto. Além desta conquista tecnológica, a política de disponibilização gratuita das imagens CBERS vem permitindo a disseminação cada vez maior do uso do sensoriamento remoto nas diversas áreas de aplicação. O lançamento do CBERS 3, previsto para 2008, permitirá o acesso gratuito a imagens com cinco metros de resolução.

O Brasil tem ainda um enorme potencial de crescimento, quando se considera o programa do Sistema de Vigilância da Amazônia – SIVAM. A concepção do SIVAM incluiu a aquisição de sensores multiespectrais e de radares aerotransportados que foram instalados em aeronaves pertencentes à Força Aérea Brasileira (FAB). A capacidade instalada permite gerar uma enorme massa de dados sobre a Amazônia legal.

O sistema de radar instalado nas aeronaves R99 da FAB permite o imageamento do terreno nos comprimentos de onda das bandas X e L (3,6 e 23 cm, respectivamente). Na banda L, o radar do R99 é multipolarimétrico e possui resoluções de 3, 6 ou 18 metros. O sensor da banda X corresponde a um radar interferométrico, que permite a geração de modelos digitais de elevação. É importante salientar que, por serem capazes de obter imagens do terreno mesmo sob condições atmosféricas adversas, os radares representam os melhores sistemas imageadores para a Amazônia. Além dos sensores de radar, as ae-

ronaves do Sistema de Proteção da Amazônia - SIPAM possuem um sensor MSS com 31 canais (28 VIS/NIR, 2 SWIR, 1 termal) e um sensor ótico/infravermelho (OIS).

Somando-se as potencialidades das bandas X e L do sensor R99, o país também é detentor da tecnologia de radar que utiliza o comprimento de onda da banda P (75cm). Desenvolvido por uma empresa brasileira (Orbisat), o OrbiSar 1 corresponde a um sistema de radar interferométrico que utiliza duas frequências de mapeamento simultâneas (as bandas X e P), que permitem gerar modelos digitais de superfície (MDS) e de terreno (MDT). O MDS representa a superfície do topo dos objetos, incluindo a copa das árvores, enquanto o MDT representa a elevação do solo, excluindo a vegetação da floresta. Deve-se mencionar que a banda P é a única opção operacional viável para geração de modelos digitais abaixo da copa das árvores na Amazônia, já que a outra possível opção, o LIDAR (*Light Detection and Ranging*), apresenta grandes limitações em regiões de florestas densas. O sistema da OrbiSat possui resolução espacial de até 25cm e precisão altimétrica de até 12,5cm.

Finalmente, cumpre mencionar a intenção de lançamento do satélite MapSar, um radar orbital a ser desenvolvido em conjunto pelo INPE e Agência Espacial da Alemanha – DLR. Este satélite está em fase de aprovação pela Agência Espacial Brasileira, tendo sido concluída a fase de viabilidade detalhada. As características previstas para o MapSar incluem a utilização da banda L, operações em polarização única, dual e quad-pol, incidência de 20 a 45° e resoluções espaciais de 3, 10 e 20m.

Conforme exposto acima, o Brasil tem hoje uma oportunidade única de se tornar um dos maiores centros de excelência em radar. Os sensores brasileiros R99, OrbiSar e MapSar sintetizam todas as características possíveis para as tecnologias de radar atuais. Apesar do domínio destas tecnologias, não existe massa crítica de corpo técnico no país, o que limita a disseminação do uso e desenvolvimento de aplicações do radar. Neste contexto, é importante a participação do SGB/CPRM no processo de fomento de uso destas imagens, especialmente nos mapeamentos geológicos. Através de convênios com o Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM), foram realizados sobrevôos do sensor radar R99 em áreas de mapeamento do SGB/CPRM (ex. região de Anapu). É de extrema importância que este procedimento se estenda para todas as áreas de mapeamento, tanto na Amazônia como no restante do país. Procedendo desta forma, o SGB/CPRM teria um ganho substancial de informação para seus mapeamentos, além de estimular o uso e o desenvolvimento de novas técnicas de processamento e interpretação de imagens de radar.

Em relação aos sensores óticos, problemas operacionais ainda impedem a geração de imagens multiespectrais do SIPAM. No entanto, tão logo sejam reparados os problemas, o SGB/CPRM deveria adotar uma sistemática de uso rotineiro destes dados em seus mapeamentos. Neste caso, deveria enfatizar as áreas com menor cobertura vegetal, onde os sensores multiespectrais, teoricamente, produzem melhores resultados. Ainda na fase de

testes, seria adequada a participação do SGB/CPRM na validação dos dados do MSS, testando seu uso nos mapeamentos geológicos.

A política de distribuição gratuita de imagens CBERS adotada pelo INPE, a comercialização de cenas Áster a custos irrisórios adotada pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) e Remote Sensing Technology Center (RESTEC), agência espacial do Japão, bem como a disponibilização de um banco de imagens pelo Google, mostram a tendência mundial de disseminação de dados de sensoriamento remoto. Para o Brasil, seria de extrema importância que esta política de distribuição gratuita/baixo custo incluísse os dados dos sensores R99 pelo SIPAM, ao menos no que se refere ao uso destes dados pelos órgãos parceiros e comunidade científica. Ao estimular o uso das imagens do SIPAM nos mapeamentos geológicos sistemáticos, o SGB/CPRM estaria contribuindo muito para a formação de massa crítica em sensoriamento remoto no país.

3.2 Aerogeofísica

Em termos de geofísica aérea, o Brasil está bem servido com diversos programas de aerolevantamentos gamaespectrométricos e magnetométricos desenvolvidos em várias regiões. O sistema de gravimetria aérea desenvolvido pela Fugro (*Triaxial Gradiometer System*) e Falcon já está disponível no Brasil, sendo, até o momento, mais utilizado na pesquisa de petróleo.

Como exemplo de programas de aerolevantamentos geofísicos executados pelo Serviço Geológico do Brasil pode-se citar:

- 1971: MG – Projeto Brasil-Alemanha, (mag + gama), 570.000km²
- 1992: MG – Rio das Velhas, (mag + gama + HEM), 1.700km².
- 2001: MG, (mag + gama), 72.000km².
- 2005: Goiás – Mara Rosa, (mag + gama), 11.420km².
- 2005: Goiás – Faixa Brasília Sul, (mag + gama), 33.713km².
- 2006: Bahia – Companhia Bahiana de Pesquisa Mineral (CBPM) e SGB/CPRM (mag + gama), Campo Alegre de Lourdes-Mortugaba, 71.500km²; Ibitiara - R Contas, 11.000km².
- 2006: Tocantins (mag + gama), 75.564km².
- 2006: Sudeste de Rondônia (mag + gama), 43.146km².
- 2006: Amapá – (mag + gama), 50.557km².
- 2006: MG – Área 7 e 8, (mag + gama), 117.000km² (a licitar).

O Brasil, desta forma, está atualizado no que se refere ao acesso à tecnologia de sensoriamento e geofísica, e uma única nota de potencial melhoria refere-se à simplificação nos trâmites de entrada de equipamentos e aeronaves específicos para esta atividade no país.

3.3 Mapeamento geológico e coleta de dados

Esta é a tarefa mais importante na exploração mineral e, talvez, a mais negligenciada. No início da década de 70, os mapeamentos geológicos do Brasil tiveram sua fase glória, com integração do Brasil em escala 1:250.000 e em escalas menores, em distritos mineiros e áreas de interesse específico. Esta atividade era exercida por centenas de geólogos de campo, tanto governamentais quanto de universidades, e da indústria privada subcontratados para este fim. Esta atividade proporcionou excelentes avanços no conhecimento de nossa geologia e, por conseguinte, do nosso subsolo. Nas últimas décadas, entretanto, esta atividade foi colocada em segundo plano, o que acarretou perda significativa em termos de tecnologia e experiência em mapeamento e interpretação estrutural, geológica e geoquímica de campo. Sem estes elementos básicos, as empresas de exploração têm que aplicar os caros e raros recursos em captação de dados que já deveriam estar disponíveis pelo sistema público (SGB/CPRM/DNPM).

O Brasil, como todo o mundo, enfrentou pelo menos uma década de depressão no preço dos metais, deixando de atrair jovens para cursos de geologia, o que acarretou uma deficiência na quantidade e qualificação de novos profissionais no mercado de trabalho. Tal fato caracterizou uma maior limitação desta atividade e perda de continuidade do conhecimento profissional.

Nos últimos dois anos, um número significativo de programas de mapeamento foram elaborados ou estão em progresso.

Em maio deste ano, o SGB/CPRM lançou o mapa geológico do estado do Amazonas e a Minerais do Paraná (MINEROPAR), as cartas geológicas do estado do Paraná (em 1:250.000), que são uma comprovação da capacidade técnica existente no país. Além disso, a parceria do SGB/CPRM com as Universidades é uma das ações mais importantes do Programa de Geologia do Brasil (PGB). Já estão em andamento mapeamentos geológicos, na escala 1:100.000, com 10 universidades (UFRGS, UNISINOS, UnB, UERJ, UFRJ, UFMG, UFOP, UFBA, UFRN, UFPE e UFC) gerando 41 novas folhas.

3.4 Geoquímica

O projeto Brasil-Canadá, na década de 70, marcou o início da caracterização química de nosso solo e subsolo e gerou um grande banco de dados, utilizado até hoje por empresas de exploração. Infelizmente esta cobertura teve uma área limitada e não teve seqüência em termos de planejamento de longo prazo. Outros programas geoquímicos regionais existiram, mas ficaram restritos a áreas de interesse específico.

No que se refere a análises químicas de água, solo e rocha, bem como metais e ligas, o Brasil sempre teve acesso à tecnologia de ponta, com inúmeros laboratórios comerciais, de empresas públicas e universidades oferecendo estes serviços.

A geoquímica moderna introduziu sistemas de controle de qualidade mais conhecidos, como QA/QC, que regem as normas e procedimentos utilizados nos laboratórios químicos, em adição aos padrões ISO. Estas normas de qualidade e precisão de análises químicas de minério são a base para estimativas de teores de recursos e reservas.

O Brasil tem hoje um número reduzido de laboratórios que emitem resultados certificados e esta deficiência tem impacto direto em resultados de exploração, na medida em que, com o incremento da atividade, o tempo necessário para os laboratórios retornarem os resultados é excessivo e provoca atrasos substanciais na evolução dos projetos.

3.5 Geofísica terrestre

No Brasil, a aplicação de rotina de equipamentos geofísicos terrestres em prospecção mineral também data do início da década de 70. A maioria das empresas iniciou com equipamentos de magnetometria terrestre (Fluxgate e Próton) e algumas até com equipamentos simples de EM como o VHF. Para trabalhos mais complexos de IP, radar e sismologia, empresas especializadas eram usadas. Atualmente, com a sofisticação do uso de softwares avançados para tratamento de dados, os geofísicos têm gerado um maior número de anomalias, que têm ajudado na definição da qualidade dos alvos para sondagem.

A profundidade de intemperismo no Brasil tem sido um limitador na interpretação de dados elétricos e eletromagnéticos e, a exemplo da Austrália, serão necessários crescentes investimentos em desenvolvimento tecnológico de equipamentos e algoritmos de processamento para otimizar o desenvolvimento e a aplicação.

3.6 Sondagem

O Canadá lidera programas de sondagem para exploração mineral com cerca de 6 milhões de metros sondados ao ano. A Austrália vem em segundo com 4,5 milhões. O Brasil sondou, em 2005, cerca de 1 milhão de metros (incluindo a sondagem em minas em produção e excluindo água). Nosso número real de metragem para exploração deve ser da ordem de 300.000 metros anuais. Atualmente, a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) lidera o programa privado de sondagem brasileiro para exploração mineral com cerca de 200.000 metros anuais.

Análises químicas de amostras minerais de superfície e principalmente de sondagem são os únicos dados permitidos para estimativa de teor de reservas e recursos. Embora tenhamos um histórico de baixo volume de sondagem, o Brasil sempre teve acesso a equipamentos e tecnologia de ponta.

Nosso histórico de baixo volume de sondagem é cultural. Empresas nacionais tendem a utilizar métodos indiretos de geoquímica e geofísica antes de iniciar a sondagem. Países, como Canadá, Austrália e África do Sul, usam sondagem, principalmente percussão, como ferramenta de mapeamento e identificação de guias à mineralização.

Com o recente incremento de investimentos em mineração em todo mundo, a própria disponibilidade de sondas e pessoal especializado é um outro importante limitador de metragem no Brasil.

Alertamos que os programas de sondagem regional e estratigráfica, antes desenvolvidos pelo SGB/CPRM e órgãos estatuais, foram suspensos cerca de 30 anos atrás. Estes programas foram os alicerces do nosso avanço de conhecimento geológico, tendo sido atividade fundamental para subsidiar programas de pesquisa mineral privados. Países como Austrália e Canadá, usam programas estatais de sondagem estratigráfica e de anomalias magnéticas como grandes incentivadores de programas de exploração privados.

3.7 Estimativa de recursos e reservas

Inclui cálculos matemáticos diretos (e.g IQD) e geoestatísticos (e.g Kriging) visando calcular números confiáveis de tonelagem de minério contido e teor de minerais economicamente viáveis.

Em decorrência dos escândalos da Poseidon Níquel na Austrália, em 1970, e o escândalo da Bre-X Ouro na Indonésia, em 1996, somados a um numero crescente de ações legais advindas de disputas sobre estimativas de volume de minério, a Austrália e o Canadá avançaram na padronização de descrição em relatórios de resultados de exploração e estimativas de recursos e reservas. O objetivo era estabelecer regras claras e guias práticos suficientemente detalhados para minimizar ambigüidades e interpretações de texto e cálculos de recursos e reservas. Na Austrália este guia é chamado "Código JORC" e no Canadá, "Código de Estimativas de Reservas e Recursos do CIMM". Na África do Sul é chamado "*The SAMREC Code*" - que é o código Sul Africano de reporte de resultados de exploração, recursos minerais e reservas de minério.

Investidores e empresas estrangeiras de exploração que visitam o Brasil reclamam da ausência de um código moderno (normas) de relato de resultados de exploração e estimativas de recursos minerais e reservas de minério que seja aceito internacionalmente. Esta ausência tem gerado uma falta grave na padronização da terminologia, sendo os termos "reservas geológicas" e "potencial geológico das reservas" os maiores responsáveis pela errônea interpretação de resultados e conflitos entre o vendedor e o investidor em propriedades de exploração mineral no Brasil. Até que estes problemas tenham sido corrigidos, através de normas brasileiras de padrão internacional, continuaremos a ver migração de investimento de risco ir para outros países que já se adaptaram aos novos conceitos e terminologia e.g Chile, Peru, Indonésia e China.

3.8 Estudos de viabilidade

Esta é a atividade de exploração considerada mais complexa e exige a integração de profissionais de várias áreas trabalhando em conjunto. Na verdade quando um projeto de exploração é levado a um estudo de viabilidade, geólogos têm de definir a geologia

de um recurso mineral quase como uma ciência exata, de forma a aumentar o nível de confiabilidade e minimizar o risco. Para tal, se faz necessário definir cuidadosamente as dimensões do corpo mineralizado em três direções: através de dados de sondagem e geofísica, descrição dos furos de testemunhos de forma precisa e sistemática, análises químicas executadas em laboratórios credenciados, com duplicatas, e cheques em outros laboratórios. Estes dados serão a base do reporte qualificado dos recursos minerais e reservas de minério da jazida estudada. Além disso, durante um estudo de viabilidade, o corpo mineralizado deve ser submetido a uma detalhada investigação metalúrgica e de recuperação dos minerais econômicos. Como complemento, os assuntos legais, ambientais e de mercado, bem como aspectos econômicos de custo operacional e capital, devem ser definidos para se garantir que não haja impeditivos para se levar um corpo mineralizado ou jazida mineral ao nível de mina em produção.

No Brasil, existem empresas nacionais e internacionais especializadas em estudos de viabilidade, bem como laboratórios para testes metalúrgicos e investigação de impacto ambiental, que geram dados críticos para a definição econômica do depósito.

Numa visão futura se espera que, no Brasil, o nível de adesão e conscientização de empresas quanto a estes procedimentos cresça de tal forma que o nível técnico de avaliações seja superior ao atual, minimizando assim o risco em projetos mineiros. Quanto menor for o risco, maior será a atração para investidores na indústria de exploração e produção mineral.

3.9 Aspectos ambientais

A exploração mineral não é considerada uma atividade de impacto ambiental permanente. Apesar disso, nos últimos 30 anos, empresas que desempenham esta atividade estão mais conscientes da responsabilidade de preservação de nossas florestas e recursos hídricos. Geólogos modernos de exploração usam estes conceitos no dia-a-dia em decorrência de treinamento e crescente preocupação pessoal.

4. CONCLUSÃO

Em termos de avanço tecnológico para exploração mineral, o Brasil está atualizado e compete com seus pares. As principais áreas de carência residem na capacitação de corpo técnico (massa crítica) para processamento de dados, divulgação e distribuição. As maiores limitações para exploração mineral são o acesso aos dados aerogeofísicos; acesso aos dados e resultados de programas de exploração já efetuados ao longo dos anos pelas empresas privadas (via DNPM) e a ausência de um código de mineração moderno de padrão internacional (padronização de reporte de recursos e reservas minerais e reporte de avaliação de propriedades mineiras).

5. AGENDA DE PRIORIDADES – BRASIL 2015

Com a retomada dos mapeamentos do Subprograma de Levantamentos Geológicos Básicos do SGB/CPRM e sua correlação direta com os investimentos em exploração mineral, prevê-se para os próximos anos um aquecimento do setor e, conseqüentemente, a retomada do ciclo de geração de jazidas. O Brasil, em termos tecnológicos, tem condições de competir com os países grandes investidores na área de exploração mineral, sendo, entretanto, identificados, com a execução do painel sobre a exploração mineral, alguns entraves ao incremento dessa atividade no país.

As maiores limitações para o fomento da exploração mineral são: ausência de regras claras sobre cálculo de recursos e reservas minerais e avaliação de propriedades mineiras; carência de laboratórios de análises químicas especializados; dificuldades de acesso aos dados aerogeofísicos; e acesso aos dados e resultados de programas de exploração já efetuados ao longo dos anos pelas empresas privadas (via DNPM).

As ações prioritárias a seguir sugeridas visam minimizar essas limitações e baseiam-se nas considerações expostas no texto-base sobre o tema e nas discussões com a comunidade mineral, empresarial e geocientífica durante a execução do painel bem como nas contribuições enviadas à coordenação do Projeto Setor Mineral: Tendências Tecnológicas:

- Realizar estudos para estabelecimento de regras claras e guias práticos detalhados para minimizar ambigüidades e interpretações de texto no cálculo de recursos e reservas minerais. Definição e uniformização dos termos: *Recursos* e *Reservas*, de forma a serem compatíveis com as normas aceitas em outros países, colocando novos projetos de nível internacional e fomentando investimentos em pesquisa mineral, setor importante no cenário nacional.
- Exigência pelo DNPM de que os relatórios finais de pesquisa com estudos de viabilidade sejam adequados às normas internacionais, descrevendo planejamento de lavra, processamento de minério, estudos de mercado, transporte, exportação, custo operacional e capital, capital de giro, custo de fechamento de mina e recuperação ambiental etc., dentro de normas de desenvolvimento sustentável.
- Dotar o país de um laboratório de competência reconhecida pelos órgãos credenciadores oficiais do país e do exterior, equipado e capacitado a prestar serviços analíticos que atendam, com rapidez e qualidade, a crescente demanda do setor mineral por análises químicas e físico-químicas, em água, químicas e mineralógicas, em rochas, sedimentos e minérios. Tal laboratório seria um instrumento de geração de P&D para o Brasil.
- Efetuar a avaliação do potencial mineral e a caracterização tecnológica dos recursos marinhos da zona econômica exclusiva brasileira e áreas oceânicas adjacentes, priorizando-se as fosforitas marinhas da plataforma continental do Rio Grande do Sul e

Santa Catarina, para uso como insumo de fertilizantes na agricultura, desenvolvimento de biotecnologia na prospecção de sulfetos polimetálicos de fundo marinho. Esses recursos têm atraído o investimento de parte da indústria mineral internacional em zonas econômicas exclusivas de alguns países e também em áreas internacionais, as quais estão sob a jurisdição da Autoridade Internacional dos Fundos Marinhos. Trata-se de atividade de grande interesse econômico, podendo projetar a indústria mineral brasileira em áreas do Atlântico Sul, onde várias indústrias estrangeiras já se lançaram.

- Desenvolver técnicas exploratórias adequadas às condições intempéricas do território brasileiro, onde regiões de maior potencial mineral encontram-se cobertas por espessas coberturas de solo de natureza laterítica, que requerem especial atenção quanto às metodologias exploratórias a serem empregadas.
- Ampliar os programas de geoquímica regional, como apoio a projetos de cartografia geológica, introduzindo a utilização de equipamentos portáteis de raios-X e outros métodos analíticos de campo para acelerar o processo de análise de rochas e minérios.
- Criar parcerias com centros de pesquisas, tais como a CSIRO (*Commonwealth Scientific and Research Organization*), na Austrália, com o objetivo de desenvolver equipamentos geofísicos terrestres específicos à condição brasileira de intemperismo profundo ao nível de lençol freático.
- Desenvolver estudos no sentido de integrar aos mapas geológicos dados de sondagens de programas pioneiros da CPRM, inclusive furos das bacias sedimentares feitos pela Petrobras nos últimos 50 anos.
- Criar bibliotecas de sondagem, em sedes regionais do SGB/CPRM, para arquivamento de testemunhos de sondagem ou amostras de circulação-reversa, provenientes de campanhas de sondagem de empresas privadas, para amostragem e consulta a todos os interessados.
- Desenvolver programa para conscientização do profissional de exploração sobre o impacto, mesmo que temporário, causado pela atividade (superfície e subsuperfície).
- Exigir que as empresas de exploração investiguem e divulguem dados ambientais que antecedam a atividade de exploração e resultados de trabalhos executados visando a minimização do impacto ambiental em projetos de pesquisa.
- Desenvolver ações no sentido de desmistificar a exploração mineral como atividade maligna ao meio ambiente e apoiar projetos mineiros que atendam ao princípio do desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Governo lança novos levantamentos aerogeofísicos, São Paulo, *Brasil Mineral*, n. 258, 22 de junho de 2006. *Brasil Mineral on-line*. disponível em: www.brasilmineral.com.br/BMI/, acesso em: junho de 2006.

GEOLOGIA AMBIENTAL: CONTRIBUIÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Antônio Ivo de Menezes Medina ; Jorge Pimentel Cássio* ; Roberto da Silva* ;
Fernanda Gonçalves da Cunha* ; Patrícia Düringer Jacques* ; Andrea F. Borges***

1. INTRODUÇÃO

Em todas as atividades humanas, o início do século XXI é marcado pela busca da sustentabilidade, ou seja, ou descobrimos e colocamos em prática maneiras mais racionais de usar os recursos naturais, ou teremos cada vez mais desequilíbrios climáticos, poluição do ar, das águas e dos solos e uma conseqüente baixa da qualidade de vida de um número cada vez maior de pessoas. Neste cenário, a geologia ambiental ou geoambiental tem uma importante contribuição a dar.

A geologia ambiental é o estudo da geologia aplicada ao meio ambiente, buscando investigar os problemas geológicos decorrentes da relação entre o homem e a superfície terrestre. Este campo das geociências avançou bastante nos últimos 20 anos, em face da sua efetiva contribuição ao desenvolvimento sustentável do Planeta.

A geologia ambiental interage com outras áreas do conhecimento, como a geografia, a biologia, a geomorfologia, a agronomia, a química, a medicina, dentre outras, para estabelecer e definir os relacionamentos entre os diversos meios que integram os sistemas da paisagem. Sua importância está diretamente relacionada à capacidade de apoio à gestão ambiental e ao planejamento territorial.

O termo geoambiental, adotado pela *International Union of Geological Sciences* – IUGS foi criado para denominar a atuação dos profissionais das geociências no meio ambiente. Essa atuação contempla aplicações dos conhecimentos técnicos do meio físico aos diversos instrumentos e mecanismos de gestão ambiental, utilizando a cartografia, que inclui o uso de Sistemas de Informação Geográfica – SIG e de bancos de dados. Portanto, a incorporação do termo geoambiental amplia o campo de atuação profissional e favorece a integração de especialistas e de experiências de áreas afins.

Um dos principais objetivos de um estudo geoambiental é fornecer a administradores, planejadores e outros profissionais que atuam na área da organização e desenvolvimento territorial informações integradas sobre as principais características do meio físico e seu comportamento frente às várias formas de uso e ocupação. Este estudo é, também,

* Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM.

** Instituto de Geociências da UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

empregado, direta ou indiretamente, como instrumento de gestão ambiental de empreendimentos – minerações, hidrelétricas, túneis, estradas, indústrias, aterros sanitários, planos diretores, oleodutos, gasodutos e loteamentos – e de regiões geográficas, como bacias hidrográficas, unidades de conservação, áreas costeiras, regiões metropolitanas e zonas de fronteiras.

1.1 Prevenir em vez de remediar

Ao integrar dados sobre relevo, substrato rochoso, água, solos, uso e ocupação, o estudo geoambiental fornece informações sobre os ambientes geológicos em que se formaram os terrenos, bem como as suas potencialidades naturais e limitações face ao uso e ocupação das terras. Além disso, busca fornecer informações que permitam prevenir catástrofes atribuídas a causas naturais ou à ação do homem.

A geologia ambiental gera conhecimentos sobre a base física onde ocorrem os impactos da implantação e da operação de diferentes empreendimentos. Ela pode também ajudar a dimensionar os efeitos do aumento populacional sobre o meio ambiente.

Os estudos geoambientais são aplicados na avaliação de impactos sobre o meio físico, na recuperação de áreas degradadas, no monitoramento ambiental, em auditorias ambientais e na investigação de passivo ambiental. O estudo do meio físico e de suas possíveis interações com o empreendimento proposto é a principal contribuição da geologia em um Estudo de Impacto Ambiental – EIA.

1.2 O setor mineral

Desde o século XVI, quando os portugueses chegaram ao Brasil, a busca e o aproveitamento de recursos minerais têm contribuído para a economia nacional e determinado parte da ocupação do território. A indústria mineral no Brasil é responsável, hoje, por um produto interno bruto de US\$ 54 bilhões (excetuando-se petróleo e gás), que responde por US\$ 24 bilhões (20%) na pauta de exportações, sob a forma de bens primários, manufaturados e compostos químicos, correspondentes a 34% do saldo da balança comercial. A mão-de-obra direta ocupada na indústria extrativa mineral atinge, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, um total de 246 mil pessoas.

O subsolo brasileiro possui importantes depósitos minerais e produz hoje cerca de 70 substâncias, sendo 21 do grupo de minerais metálicos, 45 dos não-metálicos e quatro dos energéticos.

O setor mineral é composto por 95% de pequenas e médias minerações. Cerca de 4% das minas ficam na região Norte, 8% no Centro-Oeste, 13% no Nordeste, 21% no Sul e 54% no Sudeste.

A mineração é uma atividade industrial importante e necessária, embora possa produzir impactos ambientais nas fases de extração, beneficiamento, refino e fechamento de mina. Ela tem sido considerada uma atividade que tem causado problemas de poluição sonora, da água e do ar, erosão e subsidência do terreno. Também têm sido associadas à mineração questões sociais, como: conflitos pelo uso do solo, depreciação de imóveis circunvizinhos, geração de áreas degradadas e transtornos ao tráfego urbano.

No contexto urbano, os impactos da mineração são agravados pela proximidade entre áreas mineradas e aquelas habitadas. É o caso das vibrações, ruídos e dos impactos visuais causados pelos altos volumes de rocha e terra movimentadas.

Em termos gerais, os maiores problemas ambientais não se devem à mineração moderna, que dispõe de meios técnicos e recursos para manter a situação sob controle, de acordo com as legislações ambientais e atendendo às expectativas e reivindicações das populações locais. Uma parcela significativa dos problemas vividos hoje foi herdada do passado, em forma de passivo ambiental. Os rejeitos das minas contêm substâncias nocivas ao ambiente e ao homem, que continuam a causar problemas mesmo depois do fim do ciclo minerário. O ciclo do ouro do século XVIII, por exemplo, deixou seqüelas em Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e São Paulo e, na década de 1970, também na Amazônia. A extração de carvão em Santa Catarina até hoje causa danos aos recursos hídricos da região.

Estratégias de remediação (que incluem a descontaminação da água de uso doméstico e de solos) devem ser executadas a partir de um melhor conhecimento dos processos naturais, da implementação de tecnologias e da conscientização das autoridades, empresas e organizações civis.

O interesse em harmonizar a exploração dos recursos naturais com a preservação da natureza tem crescido de modo expressivo nos últimos anos entre as empresas do setor mineral. Esta nova forma de pensar e agir não é mais apenas fruto de pressões exercidas pelas autoridades: é uma ação própria, que reflete a inserção deste setor empresarial na expectativa da sociedade. Nesse sentido, várias empresas estão promovendo estudos necessários à implantação da ISO 14001.

O fechamento de mina (internacionalmente designado *decommissioning*, *mine closure* ou *cierre de mina*) é um tema que vem se materializando gradativamente no nosso ordenamento jurídico, a partir do advento da Constituição Federal de 1988. O artigo 225, § 2º da Constituição impõe àquele que explorar recursos minerais a responsabilidade de recuperar os danos ambientais causados pela mineração.

A mineração é capaz de gerar riquezas, avanço tecnológico e bem-estar social sem danificar o ambiente, mostrando à opinião pública que é possível conciliar a extração de recursos com as práticas ambientais recomendadas pelos especialistas, através da conservação das características próprias de cada região explorada.

1.3 A questão do garimpo

A garimpagem provoca impactos ambientais nas áreas submetidas a este tipo de extração rudimentar e predatória (Foto 1), principalmente através da contaminação dos recursos hídricos. Nesse aspecto, cabe lembrar a contaminação com mercúrio em diversos locais da região amazônica e a paisagem de devastação resultante do desmonte hidráulico e outros processos de exploração.

O garimpo, pela informalidade das suas atividades, à margem dos compromissos legais, fiscais e trabalhistas, tem recebido do governo uma atenção e um tratamento diferenciados. Ele é considerado uma questão social, distinto, portanto, da mineração legalmente organizada.



Foto 1 – Aspecto da área degradada pelo garimpo de São João da Chapada, Diamantina, MG

2. SITUAÇÃO ATUAL

Nos países da América do Norte, Europa e parte da Ásia, a geologia ambiental tradicionalmente vem se desenvolvendo nas áreas de geologia de engenharia, geotecnia, águas subterrâneas e riscos geológicos. Nos últimos 15 anos, em vista da crescente preocupação com a degradação e as mudanças climáticas, outras áreas foram englobadas, como: informações para planejamento, geologia urbana, ordenamento territorial mineiro, geologia médica e geoturismo (geoparques, geositios, patrimônios geológicos mineiros).

No mundo inteiro, é notória a necessidade do uso sustentável dos recursos naturais. Nesse sentido, a Assembléia Geral das Nações Unidas considerou 2008 como o Ano Internacional do Planeta Terra das Nações Unidas – AIPT. As atividades terão duração de três anos (2007 a 2009) e estão sendo organizadas pela IUGS, que representa aproximadamente 250.000 geocientistas em 17 países.

A geologia ambiental enfoca a complexa relação entre o homem e o planeta. Com a certeza de que os geocientistas podem contribuir intensamente para harmonizar esta relação, foi criado um programa de ciência da terra, que constará dos seguintes temas: desastres naturais; Terra e saúde; recursos naturais (minerais e energia); oceano; megacidades; mudanças climáticas; água subterrânea; Terra e vida; solos; profundezas da Terra.

Esse programa interessa aos gestores e políticos, que necessitam de melhores informações sobre o conhecimento científico da Terra a ser utilizado no desenvolvimento sustentável, aos geocientistas e à população em geral, que necessitam saber como o conhecimento científico pode contribuir para uma sociedade segura, sadia e sustentada.

2.1 Cenário brasileiro

O modelo de desenvolvimento adotado no Brasil, na década de 70, do século XX, vem causando um aumento excessivo dos núcleos urbanos, a partir da criação e do crescimento dos parques industriais. Nesse contexto, a pressão por exploração de bens minerais experimentou um grande avanço em função da necessidade de recursos para a indústria e de materiais para construção civil.

Outro fator de pressão sobre os bens do subsolo é o desemprego, que provocou uma verdadeira corrida para a garimpagem, principalmente de ouro e gemas. Nesse cenário, os recursos naturais renováveis e não-renováveis vêm sendo explorados sem se considerar a sua fragilidade, comprometendo e, por vezes, impactando, de forma irreversível, o meio ambiente.

A degradação do subsolo, intensificada em meados do século XX, ocorreu principalmente por causa da agricultura, mineração e urbanização em locais inadequados, atividades econômicas em áreas de recarga de aquíferos subterrâneos e explorações irregulares em regiões com patrimônio paleontológico, espeleológico e arqueológico.

Um exemplo de exploração irregular é o uso intenso de areia, brita, saibro e argila na construção civil, que vem diminuindo as jazidas disponíveis destes materiais e provocando conflitos com outras formas de ocupação do solo. Atualmente, junto às grandes metrópoles brasileiras, é comum encontrarmos enormes áreas degradadas pela extração destes materiais. Por sua importância em habitação, saneamento e transportes, estes materiais são considerados como bens minerais de uso social e o índice de clandestinidade de sua exploração é bastante expressivo. Os impactos ambientais resultantes da extração destes materiais são grandes e descontrolados, degradando ambientes de delicado equilíbrio ecológico, como dunas e manguezais, além de alterar canais natu-

rais de rios e aspectos paisagísticos. As cavas, enormes buracos gerados pela sua extração, têm sido usadas como bota-fora da construção civil e até mesmo como lixões.

Em várias regiões brasileiras, há problemas de colapso da superfície do solo relacionados a cavidades subterrâneas naturais, em zonas cársticas, e a cavidades artificiais, em áreas de mineração subterrânea. Um exemplo é a região carbonífera do Sul brasileiro (Foto 2). A exploração não planejada em áreas carbonáticas induz também ao rebaixamento excessivo do lençol freático, com alteração no regime hidrológico.

A ação do homem, sobretudo devido à ocupação desordenada das terras, é responsável ainda por problemas de ordem geotécnica (subsistência, deslizamentos, erosão acelerada e inundações), que resultam na degradação do solo e do subsolo. Por outro lado, o conhecimento das ciências geológicas tem sido cada vez mais aplicado ao desenvolvimento de estudos e novos métodos e tecnologias a serviço da preservação ambiental e melhoria da qualidade de vida. Neste sentido, vêm sendo desenvolvidas, de forma sistemática, linhas de ação com enfoque na análise e mitigação de danos e perdas provocados por desastres naturais (em especial, desertificação, escorregamentos e inundações); na avaliação de anomalias geoquímicas em sedimento de fundo, água e solos e suas possíveis associações com problemas de saúde pública. A remediação de impactos ambientais causados pela atividade mineral tem sido realizada por meio de subsídios a planos de recuperação de áreas degradadas pela mineração.



Foto 2 – Mina de carvão Esperança, SC

2.2 Minas turísticas

Em relação ao patrimônio mineiro, uma iniciativa bastante interessante é a preservação e a valorização das antigas minas, que podem ser aproveitadas como atração turística, transformando o passivo ambiental em atrativo histórico e gerando emprego e renda para antigos mineiros, mineradores e para a população da região. Um exemplo é a Mina da Passagem (Foto 3), uma mina subterrânea de ouro localizada em Mariana, Minas Gerais, explotada de 1719 a 1996. Ela virou atração turística, com visitas às instalações subterrâneas. Sua usina de beneficiamento foi transformada em museu. Atualmente, porém, as visitas à mina estão suspensas devido a problemas técnicos.



Foto 3 – Mina da Passagem, MG. Visitantes no trole que era usado na época da mineração de ouro

2.3 Geoparques

Um outro segmento relacionado à geologia ambiental que vem sendo desenvolvido em vários países da Europa, América do Norte e Ásia é a caracterização e a criação de geoparques. Um geoparque, criado com a assistência da Unesco, tem objetivos ligados à conservação e à Educação. Ele preserva um patrimônio geológico expressivo para futuras gerações, desenvolve ações para ensinar ao grande público temas relativos a paisagens geológicas e matérias ambientais e também pode prover meios de pesquisas para as geociências. Um geoparque colabora na busca pelo desenvolvimento sustentável, já que, ao utilizar um bem natural para fins econômicos através do turismo, gera emprego e renda.

3. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E POLÍTICAS PÚBLICAS

A demanda interna e a necessidade de exportar implicaram no aumento da produção de bens minerais. Por outro lado, a exploração excessiva do patrimônio mineral obrigou o poder público a tomar decisões para minimizar os impactos ambientais decorrentes desta atividade.

A lei maior do país, a Constituição Federal de 1988, estabelece, em seu artigo 225, que todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. A Constituição também impõe àquele que explorar recursos minerais a responsabilidade de recuperar os danos ambientais causados pela mineração.

A obrigatoriedade do licenciamento ambiental está prevista na Lei nº 6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, extensiva também às atividades garimpeiras e à exploração de agregados para a construção civil. Esta lei instituiu ainda o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, encarregado de disciplinar atividades potencialmente impactantes.

Em casos de empreendimentos de mineração com significativo impacto de âmbito nacional ou regional, a competência para efetuar o licenciamento ambiental é do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis – IBAMA, órgão federal vinculado ao Ministério do Meio Ambiente – MMA. Os empreendimentos de mineração estão obrigados, quando da apresentação do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), a submeter o plano de recuperação de área degradada à aprovação do órgão estadual de meio ambiente (Quadro 1).

Quadro 1 - Atribuições governamentais em relação à proteção ambiental e ao planejamento da mineração

Atividade de Mineração	Poder Municipal	Poder Estadual	Poder Federal
Requerimento de Concessão ou licença	Leis de Uso e Ocupação do Solo	Licença Ambiental por Legislação Federal	Deferimento ou Indeferimento
Pesquisa Mineral	Leis de Uso e Ocupação do Solo	Licença Ambiental por Legislação Federal	Acompanhamento Aprovação Negação
Lavra Mineral	Alvará de Funcionamento	Análise do EIA/ RIMA e Licença Ambiental por Legislação Federal	Acompanhamento e Fiscalização Mineral
Recuperação da Área Minerada	Definição do Uso Futuro do Solo Criado	Licença Ambiental por Legislação Federal	

Fonte: Farias, 2002.

3.1 Implantação de políticas públicas

Em 1997, o MMA formulou políticas públicas para o desenvolvimento sustentável do setor mineral. Tais políticas incluem a criação de programas compartilhados com os atores do setor, apontando para o monitoramento e para mecanismos de auto-regulação. Verificou-se também a necessidade de identificar as principais áreas mineiras impactadas e desenvolver diagnósticos que definam riscos atuais e potenciais.

Em vários estados, políticas suplementares vêm sendo introduzidas gradualmente, visando preencher lacunas. Tais políticas são inseridas nas próprias constituições estaduais, como no Paraná e em São Paulo; são objeto de leis específicas, como em Rondônia (Lei nº 547/1993 – Política Estadual do Meio Ambiente); ou então estão previstas em códigos temáticos, como no Rio Grande do Sul (Lei nº 11.520/2000), na qual estão estabelecidas as diretrizes para a proteção e recuperação de áreas degradadas, proteção do patrimônio paleontológico, além de ser exigida licença prévia para mineração).

É interessante ressaltar que toda essa ação resulta de um amplo envolvimento do governo com a sociedade. Nos últimos anos, o país tem assistido a uma intensificação da participação pública na questão ambiental, através de fóruns judiciais, ações civis públicas e populares, além de audiências públicas nas quais são discutidos os empreendimentos setoriais, como, por exemplo, a implantação de gasodutos ou oleodutos. Nos municípios, essa preocupação se reflete na elaboração de códigos de proteção ao meio ambiente e na criação de conselhos municipais para tratar de questões associadas ao setor mineral.

A retomada gradual da elaboração dos planos diretores de mineração em Belo Horizonte, Porto Alegre, Brasília, Recife e Curitiba, reiniciados em 2002 pelo DNPM em conjunto com a SMM/MME e o SGB/CPRM, traz novo alento ao ordenamento da atividade mineira nas regiões metropolitanas, além de estabelecer parâmetros de referência para cidades de porte médio. O estatuto das cidades, consolidado na Lei nº 10.257/2001, também se associa à busca de um novo paradigma para a mineração em áreas urbanas.

Em busca do desenvolvimento sustentável, o governo instituiu em 1990, através do decreto nº 99.540, o programa de Zoneamento Ecológico-Econômico –ZEE do território brasileiro, cujo objetivo é elaborar um diagnóstico integrado do meio físico, biótico e socioeconômico e fazer prognósticos para o desenvolvimento, a recuperação, a preservação e a proteção da região estudada. Quinze anos depois, apenas 40% do território brasileiro foi zoneado. Em dezembro de 2001, foi criado o Consórcio ZEE-Brasil, constituído por MMA, Ministério da Integração Nacional – MIN, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias – EMBRAPA, SGB/CPRM, Agência Nacional de Águas – ANA, IBGE, IBAMA e Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas – IPEA, para executar o ZEE em escala nacional e apoiar os ZEE's Estaduais e em áreas de interesses específicas.

Instrumentos de gestão ambiental foram também desenvolvidos para proteger o patrimônio espeleológico (Foto 4). Inicialmente, eles foram materializados de forma indireta, através da proteção de mananciais hídricos ou da fauna, em ações de tombamentos e/ou criação de unidades de conservação. Mais tarde, o processo foi amadurecido com a criação de Áreas de Proteção Ambiental – APA, para as quais são exigidos estudos de zoneamento ecológico-econômico ou planos de manejo para uso turístico.

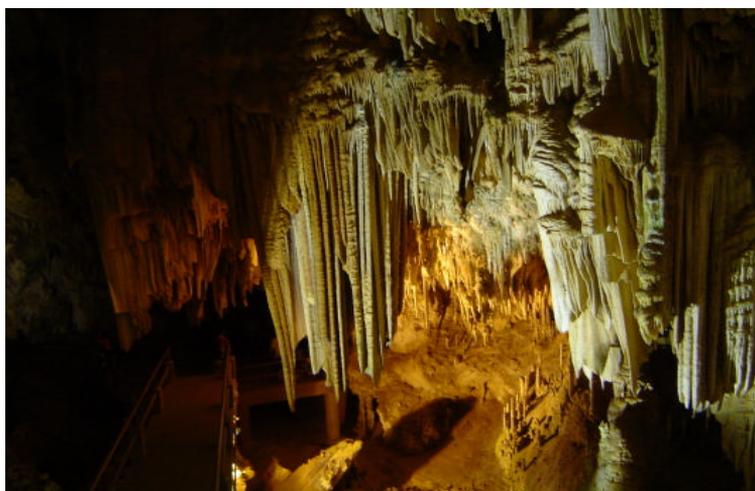


Foto 4 – Caverna do Diabo, Eldorado Paulista, SP

A legislação específica é contemplada pela Resolução do CONAMA nº 5 de 1987, que aprova o programa nacional de proteção a esse patrimônio; pela Constituição Brasileira de 1988, que reconhece as cavernas como bens da União (Art. 20 – X) e pelo Decreto nº 99.556 de 1990, que estabelece um programa nacional de proteção a cavidades naturais subterrâneas. Finalmente, em 1997, foi criado pelo IBAMA o Centro de Estudo Proteção e Manejo de Cavernas – CECAV, incumbido de conduzir a execução das políticas públicas.

4. APLICAÇÕES DA GEOLOGIA AMBIENTAL NO BRASIL

Os estudos geoambientais vêm se consolidando no país, com diferentes instituições gerando informações desde os anos 90. O mapeamento geoambiental tem crescido tanto em quantidade como em diversidade de enfoques e seu desenvolvimento metodológico vem se aprimorando com a produção de vários documentos de zoneamento. Muitos desses trabalhos passaram a usar as bacias hidrográficas como unidade de mapeamento com aplicação bastante abrangente nos estudos ambientais. A seguir, exemplos da atuação (segundo ABGE - Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 2004) de algumas instituições envolvidas com o setor.

No SGB-CPRM, os estudos de geologia ambiental e territorial vêm sendo conduzidos há aproximadamente 15 anos, desde a implantação, em 1991, do programa de Informações para gestão territorial. Esta atividade foi responsável pelo desenvolvimento de novos conhecimentos, metodologias e inovações tecnológicas, enfatizando as múltiplas formas com que a geologia pode contribuir para o desenvolvimento sustentável, a preservação da natureza e a qualidade de vida. Tem sido enfatizada a busca da harmonização da preservação ambiental com a inclusão social e o desenvolvimento econômico.

O SGB/CPRM tem disponibilizado seus recursos humanos, tecnológicos e operacionais para atender às demandas da sociedade brasileira relativas ao conhecimento do meio físico e à preservação ambiental, subsidiando e participando de projetos e estudos em parcerias com órgãos de planejamento federais, estaduais e municipais, entidades públicas e privadas, organizações não-governamentais e instituições acadêmicas. Com esse objetivo, a CPRM desenvolve a ação Geologia Ambiental desmembrada nas seguintes subações: Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) e apoio técnico aos municípios e regiões metropolitanas; riscos relacionados a eventos geológicos e desastres naturais (Foto 5); mineração e meio ambiente/recuperação de áreas degradadas; geologia médica e geotourismo.

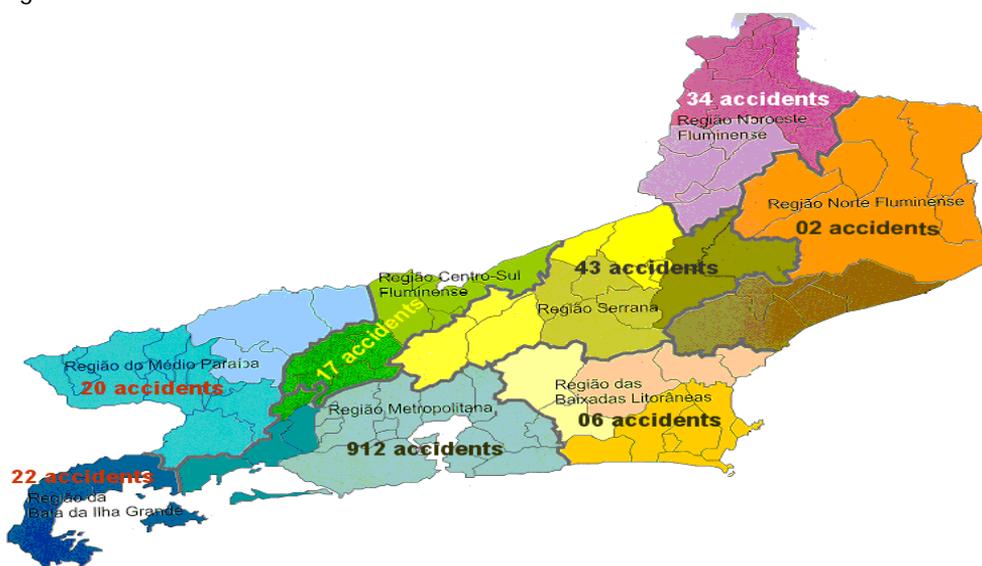


Foto 5 – Distribuição de escorregamentos por região no estado do Rio de Janeiro

A maioria dos projetos geoambientais produziu mapas temáticos nos quais destaca-se a localização de aterros sanitários, fontes de poluição; mapas hidrogeológicos; mapas morfológicos com localização de áreas de processos ativos, de riscos geológicos e de áreas inundáveis. Os mapas e seus cruzamentos seguiram, em linhas gerais, propostas metodológicas diferentes. Tais produtos são disponibilizados em forma analógica e digi-

tal e têm servido como subsídio para planos diretores municipais e metropolitanos das regiões estudadas.

A elaboração dos mapas geoambientais baseia-se na análise de imagens de satélite, fotografias aéreas, mapas geológicos, geomorfológicos, pedológicos e de vegetação, visando identificar áreas que dão uma mesma resposta ambiental à ação antrópica. Com base nessas características, são analisadas mais potencialidades e fragilidades e sugeridas as restrições de uso e ocupação de solo.

Recentemente, foi elaborado o Mapa Geodiversidade do Brasil, na escala de 1:2.500.000, tendo como base principal as informações armazenadas no Banco de Dados *Geobank*, as quais foram recuperadas e processadas em ambiente de Sistema de Informação Geográfica. Assim, as associações litológicas foram agrupadas sob o ponto de vista de suas propriedades e características geotécnicas. Nessas associações, denominadas unidades geológicas ambientais, foram analisadas as potencialidades e limitações quanto ao uso para fins minerais, água subterrânea, agricultura, execução de obras, comportamento frente à poluição e aspectos ambientais e turísticos.

A Universidade Federal de Viçosa – UFV tem desenvolvido projetos para a seleção de áreas adequadas à instalação de aterros sanitários, anéis rodoviários, aeroportos e para a avaliação de impactos ambientais causados por assoreamento de rios e contaminação de aquíferos. As principais aplicações dos estudos e trabalhos realizados estão voltadas para o apoio ao desenvolvimento de planos diretores de pequenas e médias cidades.

A Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP tem desenvolvido estudos ambientais em várias regiões dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Atualmente, os trabalhos têm buscado realizar diagnósticos geoambientais em bacias hidrográficas.

A Escola de Engenharia de São Carlos - EESC\USP vem desenvolvendo sistematicamente trabalhos que contemplam a execução de mapas básicos e cartas interpretativas de suscetibilidade, zoneamento e risco, incorporando o uso do geoprocessamento em boa parte dos seus trabalhos.

No Instituto Geológico de São Paulo – IG/SMA, para obtenção de unidades básicas de compartimentação, que consistem em células básicas para avaliações geotécnicas e geoambientais, a metodologia adotada considerou a compartimentação fisiográfica, a partir da análise de imagens de satélite, e a caracterização geoambiental, por meio de levantamentos de campo. O IG-SMA desenvolveu também metodologia para organizar e enquadrar os resultados de ensaios de laboratórios e de campo num banco de dados geotécnicos georreferenciados.

Na área de atuação da geologia costeira e marinha, a Fundação Universidade Federal do Rio Grande - FURG vem desenvolvendo cartas batimétricas, modelos de elevação digital, mapas temáticos básicos e interpretativos (ambientais, físico-naturais, geoambientais) para planejamento urbano e regional em ambientes costeiros.

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT de São Paulo utiliza a cartografia geotécnica e ambiental para subsidiar o desenvolvimento regional. As aplicações cartográficas mais comuns são avaliações de situações de risco geológico, escolha de áreas para expansão urbana, planejamentos para implantação de sistemas viários e saneamento básico, estudos para a construção de barragens e usinas hidrelétricas, criação de unidades de conservação, escolha de áreas para distrito industrial, planejamento de atividades minerárias, aproveitamento múltiplo e controle de bacias hidrográficas e estabelecimento de bases técnicas para legislação municipal, estadual e federal.

A linha de pesquisa e atuação adotada pela maioria das instituições mencionadas tem sido a aplicação de metodologias de geoprocessamento e de modelagem espacial de dados, utilizando Sistemas de Informação Geográfica – SIG's, sistemas de tratamento digital de imagens de sensores remotos e de bancos de dados. Esses sistemas possibilitam o tratamento e a análise de imagens de satélite, imagens de radar e de dados geofísicos. A integração de diferentes tipos e formatos de dados auxilia na tomada de decisão e na seleção de áreas para diversos fins.

O Ministério das Cidades normatizou procedimentos e tem disponibilizado recursos para implantar o plano municipal de redução de riscos, a fim de minimizar danos decorrentes de deslizamentos e inundações que possam causar acidentes fatais.

5. AVANÇOS TECNOLÓGICOS

5.1 Sistemas de Informação Geográfica - SIG

Metodologias de integração de dados do meio físico criadas por diferentes escolas têm sido rapidamente inseridas e incorporadas aos atuais métodos de captura, armazenamento, tratamento e integração de dados dos SIG.

Desde o final dos anos 80 até a sua consolidação e disseminação nos dias atuais, a revolução tecnológica no tratamento da informação e da cartografia se reflete nas diversas aplicações da tecnologia SIG na elaboração de estudos geoambientais realizados por empresas públicas, universidades e outras instituições. Essa revolução tecnológica está em contínuo movimento e evolução. A cada dia novos aplicativos e sistemas são desenvolvidos e disponibilizados. A disseminação do uso de Sistemas de Posicionamento Global - GPS é um exemplo marcante de como a sociedade rapidamente incorporou as facilidades e aplicações do sistema de georreferenciamento em atividades científicas, de segurança pública, comunicação e lazer.

O acesso democrático à informação em escala mundial, viabilizado pela Internet, possibilitou o atendimento de demandas de diversos setores da sociedade. Com as facilidades da *web*, as instituições passaram a disponibilizar dados, imagens e a publicar mapas, que podem ser recuperados e usados pela comunidade a custos muito baixos ou mesmo gratuitamente. No universo de dados ofertados na *web* destacam-se, entre ou-

tras, as imagens *Geocover* e *SRTM*, disponíveis para *download* no *site* da Nasa e de ampla utilização em estudos do meio físico.

Os SIGs evoluíram de forma marcante na última década, passando a incorporar em uma única plataforma funções variadas relacionadas com as diferentes etapas de tratamento digital de dados e da cartografia. Assim, os SIGs atuais possibilitaram a execução de tarefas que, no passado recente, exigiam diferentes *softwares* para a realização tanto de procedimentos básicos como para desenvolver modelagens mais complexas, tais como: entrada de dados vetoriais e *raster*; edição vetorial; análise e modelagem espacial de dados; tratamento de imagens; banco de dados e plotagem de mapas.

A integração dessas funções em uma plataforma única e de mais fácil assimilação por técnicos e especialistas que estudam o meio físico levou a uma ampliação expressiva do universo de usuários. A disseminação do uso dos SIGs nas diversas etapas dos estudos ambientais é uma realidade, deixando evidente que se trata de um caminho sem retorno, levando à ampliação e consolidação dos SIGs como ferramenta de apoio fundamental para todos os geocientistas.

5.2 Bancos de dados

Intrinsecamente relacionados aos SIGs, os bancos de dados espacialmente referenciados permitem armazenar grande volume de informações sobre objetos e entidades gráficas, como pontos, linhas e polígonos. Bases de dados cadastrais relacionadas a processos dinâmicos, como erosões e movimentos de massa e de áreas sujeitas a inundações, possibilitam, juntamente com outros dados temáticos do meio físico, aplicar metodologias de modelagem espacial de dados em ambiente SIG, para a elaboração de cenários de previsão de riscos e desastres naturais.

Os bancos de dados ambientais vêm disponibilizando mais informações aos pesquisadores. Os interessados em licenciamento ambiental, dados compartilhados da região amazônica, zoneamento ecológico-econômico da caatinga, rio São Francisco, gerenciamento costeiro, educação ambiental, informações ambientais do Mercosul ou cadastro de unidades de conservação podem acessar o *site* www.mma.gov/sinima.

5.3 Sistema de Cadastro de Desastres Naturais - SCDN

O SGB desenvolveu em 2000, como parte integrante do Projeto Rio de Janeiro, o programa de entrada de dados *MovMassa*, para cadastramento e disponibilização na *web* de dados referentes a escorregamentos. A partir de 2004, o aplicativo foi totalmente modificado e integrado ao programa de Cadastramento de Ocorrências de Inundações – COI. A integração dos aplicativos deu origem ao Sistema de Cadastramento de Desastres Naturais – SCDN. Este sistema está em fase final de desenvolvimento e será disponibilizado gratuitamente para os municípios interessados. Nele estão contidos diversos campos descritivos sobre os eventos de escorregamentos e inundações, permitindo o

cadastro em banco de dados, pesquisa, recuperação, alteração e exportação dos dados, além do armazenamento e visualização de mapas e imagens. O sistema possibilita a extração de relatórios, inclusive no padrão do AVADAN (avaliação de danos) da Defesa Civil.

Foi assinado um acordo de cooperação entre o MMA e o SBG/CPRM que vai permitir que as informações da CPRM sobre o solo do país sejam incluídas no Sinima. Um memorando de entendimento com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente também foi formalizado para a realização de avaliações ambientais.

5.4 Métodos geofísicos e geoquímicos

Além dos dados tradicionais para caracterizar o meio-físico, observa-se atualmente a ampliação do uso de dados geofísicos e geoquímicos. Assim, os métodos geofísicos assumem importante papel nos estudos geoambientais, pois apresentam alto potencial de resposta na identificação das variáveis relacionadas a esses estudos.

Estudos geofísicos, como os métodos elétrico e eletromagnético, têm sido utilizados na determinação da condutividade elétrica subterrânea em profundidades de até 30m, visando localizar e caracterizar plumas poluidoras geradas por depósitos de lixo, capazes de contaminar tanto o solo quanto as águas subterrâneas.

Embora apresente limitações de profundidade (até 60/70m), o uso, em estudos ambientais, do Radar de Penetração do Solo - GPR tem evoluído de forma marcante. Contudo, o escopo de utilização do método ainda deve ser testado e ampliado. De forma semelhante, os métodos de prospecção gamaespectrométricos devem ser testados e ampliados em estudos aplicados tanto na área ambiental como nos estudos para ordenamento territorial.

A grande contribuição da geoquímica para a geologia ambiental, especialmente para a geologia médica, está na utilização do levantamento geoquímico multielementar. De acordo com esta metodologia, são coletadas amostras de sedimentos ativos de corrente, água e solos, posteriormente analisadas por espectrometria de massa com fonte geradora de plasma (ICP-MS), que avalia simultaneamente mais de 70 elementos químicos, proporcionando grande sensibilidade e precisão em baixos limites de detecção (partes por bilhão).

6. PRINCIPAIS DIFICULDADES

A sociedade ainda não está sensibilizada para considerar as características do meio físico no processo de uso e ocupação. A maioria dos planejadores ou administradores não levam em conta a necessidade de informações orientadoras, preventivas e integradas que auxiliam nas ações de planejamento das várias formas de uso e ocupação.

Nas equipes dos órgãos governamentais de planejamento territorial (federais, estaduais e municipais), geralmente são poucos os profissionais ligados às Ciências da Terra. Por isso algumas destas equipes têm dificuldades de entender informações em linguagem técnica e projetos com resultados apresentados em cartas temáticas. Por outro lado, os técnicos têm dificuldades de elaborar produtos com conteúdo de fácil entendimento para usuários. Os trabalhos teóricos desvinculados da aplicação direta e prática nos instrumentos de gestão ambiental são uma outra questão.

Este cenário indica a necessidade de se estabelecer canais diretos entre a sociedade, os gestores públicos e os cientistas, de modo que os produtos resultantes de estudos ambientais sejam amplamente disponibilizados, consultados e compreendidos e possam se constituir em fonte de consulta e apoio na tomada de decisões. Também é recomendável capacitar os integrantes das equipes dos órgãos de governo, pois a capacitação ajuda a superar dificuldades de entendimento de informações em linguagem técnica.

Os *softwares* de sensoriamento remoto - SR requerem maior conhecimento de informática para sua operação, sendo essa uma das grandes limitações para profissionais que não dominam os ambientes computacionais. Portanto, mais uma vez, a capacitação de pessoal se faz necessária.

6.1 Desafios da legislação

A maioria dos autores considera a legislação ambiental brasileira extensa e avançada, mas, por outro lado, ela também é vista como conflitante, já que existem dificuldades na sua aplicação. Neste cenário, é preciso levar em consideração os seguintes fatores:

- A legislação ambiental é relativamente recente e, em muitos casos, conflita com a legislação mineral, que data de 1967, pois estabelece prazos incompatíveis com a legislação mineral.
- É preciso estruturar melhor os órgãos federais envolvidos no licenciamento e na fiscalização, agregando maior número de profissionais especializados em meio ambiente. Os principais órgãos federais envolvidos nessas atividades, DNPM e IBAMA, têm suas sedes em Brasília relativamente bem aparelhadas e contam com um número razoável de pessoal qualificado, o que não acontece nas suas representações estaduais.
- Salvo raras exceções, os órgãos estaduais responsáveis pelo licenciamento e fiscalização de empreendimentos minerais não dispõem de estrutura adequada e nem de profissionais qualificados. Essa situação é agravada quando ocorre aumento de solicitações de licenças e fiscalizações.
- Em muitos estados e prefeituras, existe mais de um órgão licenciador e normas conflitantes entre si, acarretando atrasos e prejuízos aos empreendedores.

- O Ministério Público (MP) vem aumentando sua atuação na área ambiental. Em alguns estados, o MP criou um corpo de assessores técnicos cujos pareceres conflitam com aqueles emitidos pelos órgãos de meio ambiente. O grande minerador que dispõe de corpo técnico e de recursos financeiros tem mais condições de administrar esses conflitos. Já o pequeno minerador, na maioria dos casos, acaba descumprindo a lei.

7. PERSPECTIVAS NO BRASIL

Com base no *Relatório Perspectivas do Meio Ambiente para o Brasil: Geo-Brasil (2002)*, estão previstas para os próximos 10 anos as seguintes atividades de Geologia Ambiental no Brasil:

- A implementação do Consórcio ZEE-Brasil agilizará a obtenção de informações básicas sobre recursos minerais, hídricos, paleontológicos e espeleológicos, que permitirão avaliar a degradação do subsolo e sua potencialidade em face dos vários tipos de uso. Ao mesmo tempo, disponibilizará um instrumento que poderá orientar a ocupação ordenada do território brasileiro.
- Com a perspectiva de ampliação do conhecimento básico do subsolo, o setor mineral brasileiro poderá ocupar um lugar importante no mercado mundial de insumos básicos. A tendência de maior controle ambiental nos processos de extração, transformação, refino e distribuição contribuirá, nas próximas décadas, para o bem-estar da sociedade.
- O programa de planos diretores de mineração, que busca o ordenamento do uso do subsolo em regiões metropolitanas, tem se mostrado insuficiente por falta de perenidade na execução. A implementação desse programa será muito útil para minorar a irregularidade, disciplinar a atuação de micro, pequenas e médias empresas de mineração, além de melhorar a qualidade ambiental das grandes cidades brasileiras.
- Atrativos de natureza geológica, como cavernas, sítios paleontológicos, *canyons*, cachoeiras, modelado geológico/geomorfológico com elevado potencial para o ecoturismo, têm sido objeto de atenção por parte do poder público, através de legislação ambiental apropriada e também pela maior participação da sociedade na sua preservação. A implementação de grandes linhas institucionais de ação focadas na proteção desses patrimônios geológicos resultará em expressivo ganho para a sociedade brasileira.
- Algumas empresas nacionais operam com altíssimos padrões tecnológicos e respeito às normas ambientais (ISO 14001), utilizando as chamadas tecnologias limpas. Acredita-se que, dentro de algum tempo, haverá uma expressiva adesão de outras empresas do setor mineral ao cumprimento destas normas.

- O Projeto Mineração, Minerais e Desenvolvimento Sustentável, desenvolvido no Brasil sob a coordenação do CETEM, contém orientações para a participação da sociedade civil no planejamento das atividades minerárias e no destino final da área trabalhada. Na maioria dos países, o setor mineral tem demonstrado interesse em equacionar as questões ambientais.
- O Brasil tem participado da conferência anual dos ministérios de minas das américas, que procura estabelecer princípios, ações e recomendações na busca da sustentabilidade da mineração no continente americano.
- Os processos de degradação do subsolo brasileiro regrediram lentamente entre 1972 e 1992 e, em maior velocidade, no período de 1992 a 2002. Isto tem ocorrido devido à implementação da legislação ambiental, da atuação orientadora do governo, de organizações não-governamentais, da mídia e principalmente pela conscientização da população. As perspectivas são animadoras em relação ao uso sustentável do subsolo brasileiro.
- Os países desenvolvidos têm investido em políticas e processos de tecnologia da informação e comunicação, para obter a interação dos diversos sistemas e instâncias dos governos. Como o tema ambiental envolve informações geradas por diferentes órgãos públicos, a tendência é ampliar a interoperabilidade entre os órgãos governamentais. O governo brasileiro vem desenvolvendo a arquitetura e-Ping – Padrões de Interoperabilidade de Governo Eletrônico para estabelecer políticas e especificações técnicas sobre as trocas de informações eletrônicas de interesse da sociedade.
- É promissor, por parte dos órgãos governamentais, o uso intensivo das ferramentas SIG, banco de dados, sistemas de cadastramentos de desastres naturais e o uso de modelagem para prevenir acidentes relacionados a deslizamento e inundações, bem como desertificação. Os sensores remotos, métodos geofísicos e geoquímicos serão cada vez mais aperfeiçoados e contribuirão para melhor definir as questões relacionadas ao meio ambiente e saúde.

8. AGENDA DE PRIORIDADES – BRASIL 2015¹

- Efetuar levantamentos da geodiversidade em províncias e distritos mineiros (rochas, minerais, relevo, águas superficiais e subterrâneas, atrativos turísticos e as características dos solos) apontando suas fragilidades e potencialidades, visando à espacialização e disponibilização dos bens minerais, (denominadas *Áreas de Relevante Interesse Mineral*), e a ocupação do território de forma ordenada. Desenvolver tecnologias para execução destas atividades em escalas 1:250.000, 1:100.000 e 1:50.000. A informa-

¹ As ações prioritárias a seguir sugeridas visam contribuir para o desenvolvimento da Geologia Ambiental no Brasil, baseiam-se no estado da arte do tema apresentado no texto-base elaborado pela equipe de pesquisadores do SGB/CPRM e nas discussões com a comunidade mineral, empresarial e geocientífica, durante a execução do painel e contribuições enviadas à coordenação do Projeto Setor Mineral Tendências Tecnológicas.

ção da geodiversidade deve ser dirigida para atender ao universo de usuários da forma mais ampla possível. Os produtos gerados devem ser disponibilizados em mídias e formatos variados, abrangendo desde os mais sofisticados, tais como publicação de mapas na *web* e SIGs, até os tradicionais mapas e relatórios técnicos no formato analógico.

- Elaborar em conjunto com o DNPM, órgãos estaduais e municipais, Planos Diretores de Mineração em regiões metropolitanas e aglomerados urbanos incluindo o levantamento das atividades mineiras atuais, principalmente dos materiais para a construção civil, com a localização e delimitação das áreas para exploração futura, utilizando geotecnologias, tais como: cartografia digital, sensores remotos, sistema de informação geográfica – SIGs e banco de dados, levantamentos geofísicos e geoquímicos. Estas informações serão disponibilizadas aos órgãos gestores e usuários visando a tomada de decisões e monitoramento quanto ao uso adequado do território.
- Atuar em conjunto com o Ministério das Cidades e municípios na prevenção de desastres naturais e induzidos realizando o levantamento de áreas de risco geológico, para a elaboração dos Planos Municipais de Redução de Riscos em Assentamentos Precários, com apoio de metodologias de mapeamento, cartografia e modelagem espacial de dados (cartografia digital, SIGs, sensores remotos, Sistema de Cadastro de Desastres Naturais – SCDN), para identificação e delimitação de áreas potenciais de movimentos de massa e inundações. Propor sistemas de alertas a deslizamento e enchentes.
- Definir os valores de *background* e de referência para a saúde pública, em solos, água e sedimento de corrente para os elementos que constituem os micro e macronutrientes necessários à vida humana. A utilização dos conceitos e métodos empregados pela geologia médica para diagnosticar determinadas doenças de origem relacionadas ao meio ambiente é relativamente nova no Brasil. Os valores de *background* e de referência tóxica ou carência de ingestão, através da disponibilidade de elementos essenciais na água e da dieta alimentar, existem somente para alguns elementos. A proposta é definir os valores dos macronutrientes (Ca, Cl, P, K, Na, S) e micronutrientes (Mg, Si, Fe, F, Zn, Mn, Sn, I, Se, Ni, Mo, V, Cr, Co) que possam apresentar riscos à saúde pública.
- Elaborar o cadastramento de todo o patrimônio geológico mineiro tendo em vista a conservação de geoparques, sítios paleontológicos, cavernas, antigas minas, registros geológicos da evolução do planeta Terra, áreas de beleza cênica, utilizando o Sistema de Informações Geográficas-SIG associado a banco de dados, com localização, descrição, fotos e propostas de utilização econômica e preservação e conservação do bem natural.
- Ampliar a utilização de dados geoquímicos e de levantamentos aerogeofísicos em mapeamentos geoambientais, tanto em escala regional como nos trabalhos em escalas de detalhe relacionados aos riscos geológicos.

- Ampliar o número de técnicos atuantes na área de planejamento territorial e promover a capacitação das instituições envolvidas em estudos ambientais. Considerar a inclusão em seus quadros, de geólogos de engenharia e geotecnia para o desenvolvimento e aplicação de tecnologias voltadas para a redução de resíduos provenientes da exploração mineral.
- Recomenda-se a participação das instituições e geocientistas brasileiros no Ano Internacional do Planeta Terra, de modo a trocar informações sobre o desenvolvimento sustentável e a aplicar seu conhecimento em benefício da população do Brasil e do mundo.
- Além de atender à comunidade científica, as instituições de governo devem elaborar produtos direcionados tanto para técnicos de nível médio como para crianças e camadas menos instruídas da população brasileira. É indispensável a elaboração de materiais educativos organizados sob a forma de cartilhas e cartazes, com linguagem simples e acessível, voltada para a educação ambiental.
- Considerar nos estudos geoambientais as contribuições da geografia para auxiliar na definição de ameaças e oportunidades em uma determinada área de estudo. Inserir, também, sempre que possível, a biodiversidade e a socioeconomia.
- Dentre as diversas aplicações de modelos numéricos de terreno, está incluída a derivação de produtos de ampla utilização em procedimentos de modelagem espacial de dados, tais como mapas de declividade, orientação de vertentes e curvatura de encostas. A aplicação de modelos digitais de terrenos pode também subsidiar, de forma objetiva, estudos ambientais relacionados com a locação de empreendimentos mineiros, como pedreiras em áreas urbanas, afim de reduzir o impacto visual, proporcionando posicionamento mais adequado da frente de lavra.
- Elaborar mapas de disponibilidade mineral derivados de mapas geológicos considerando as fragilidades e potencialidades do meio físico, as restrições legais, a infra-estrutura e os direitos minerários, para viabilizar o empreendimento mineiro.
- Propor áreas de relevante interesse, pensando no setor de uma maneira integrada, com raciocínio holístico, atemporal e sistêmico. Dessa forma, a sociedade poderá decidir, baseada no Ordenamento Territorial, as áreas de maior relevância.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A produção das 1.553 minas no Brasil (1999), *Minérios & Minerales*, São Paulo, v. 18, n. 240, p. 16-20, jul, XI Universo da Mineração Brasileira.
- Barreto, M. L. (2001), *Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil*, Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 215 p.
- Chaves, A. P. (2000), *Aspectos do fechamento de minas no Brasil*, In: Villas Bôas, R. C.; Barreto, M. L. (2000), *Cierre de minas: experiencia en Iberoamerica*, Rio de Janeiro, Cyted/IMAAC.

- CPRM - Serviço Geológico do Brasil (2002), *Relatório perspectivas do meio ambiente para o Brasil GEO-BRASIL - 2002: uso do subsolo*, Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial, Brasília.
- Dias, E. G. C. S. (2001), *Avaliação de impacto ambiental de projetos de mineração no Estado de São Paulo: a etapa de acompanhamento*, Tese (Doutorado em Engenharia Mineral), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Farias, C. E. G. (2006) *Mineração e meio ambiente no Brasil: relatório preparado para o CGEE-PNUD*, Contrato 2002/001604. [S.l.:s.n.], Disponível em: www.cgee.org.br/arquivos/estudo011_02.pdf > . acesso em: 31 out.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1992), *Curso de geologia de engenharia aplicada a problemas ambientais*, São Paulo, v. 3.
- Machado, I. F. (1995), *O meio ambiente e a mineração*, In: Barboza, F. L. M.; Gurmendi, A. C. (Coord.), *Economia mineral do Brasil*, Brasília, DNPM.
- Oliveira, A. M.S.; Brito, S.N.A. (1998), *Geologia de Engenharia*, São Paulo, ABGE.
- Padrões de Interoperabilidade de Governo Eletrônico – e- PING: documento de referência* versão 1.5 de 16 de dezembro de 2005. [S.l.]: Governo Brasileiro – Comitê Executivo de Governo Eletrônico, 2005. Disponível em: < http://www.governoeletronico.gov.br/governoeletronico/publicacao/down_anexo.wsp?tmp.arquivo=E15_677e-PING%20v1.5%2016%2012%2020051.pdf > . Acesso em: 31 out. 2006.
- Pejon, O. J.; Zuquette, L.V. (2004), *Cartografia geotécnica e geoambiental: conhecimento do meio físico, base para a sustentabilidade*, São Carlos, Suprema Gráfica Editores, 582p.
- Produção mineral (exceto petróleo) cresceu 4,24% em 1998, (1999) *Minérios & Minerais*, São Paulo, v.18, n. 240, p. 6-17, jul. 1999. XI Universo da Mineração Brasileira.
- Relatório Perspectivas do Meio Ambiente para o Brasil (2002)*, Geo-Brasil.
- Sacamoto, L. *Triste herança*. [S.l.]: Publicações Brasileiras, 2001, disponível em: www.200.231.246.32/sesc/revista/pb, acesso em 31 out. 2006.
- SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 5., 2004, São Carlos. [Trabalhos apresentados]. São Carlos: ABGE, 2004.
- Souza, M. G. *Fechamento de mina: aspectos legais*. [S.l.: s.n.], 2002. Disponível em: www.brasilminingsite.com.br/artigos/artigo.php?cod=31&typ=1 > , acesso em 31 out. 2006.
- Vedovello, R. (2004), Aplicações da cartografia geoambiental, *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*, São Carlos, ABGE.
- Villas Bôas, R. C.; Barreto, M. L. (2000), *Cierre de minas: experiência em Iberoamerica*, Rio de Janeiro, Cyted/IMAAC.
- Wagner, A. *et al.* (2002), A eleição presidencial e a mineração, *Jornal Gazeta Mercantil*, São Paulo, p. A3, 20 set.

CAPÍTULO 4

LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS NO SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL/CPRM COMO TECNOLOGIA SOCIAL: A BUSCA DE NOVOS PARADIGMAS

Agamenon S. L. Dantas e Reginaldo Leão Neto***

1. INTRODUÇÃO

O presente documento discute o estado da arte do Conhecimento Geológico, como parte do Projeto Setor Mineral – Tendências Tecnológicas, visando à identificação de prioridades em PD&I, no âmbito das geociências, voltadas para a competitividade e a sustentabilidade do Setor Mineral no Brasil.

O texto procura sintetizar os esforços empreendidos pelo Serviço Geológico do Brasil SGB/CPRM no sentido de incorporar às suas atividades de promoção do conhecimento geológico do território nacional as demandas tecnológicas oriundas da necessidade colocada pelo Governo, através da Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral do Ministério de Minas e Energia – MME, de, efetivamente, consolidar a CPRM como Serviço Geológico do Brasil e orientar suas atividades de modo aderente e integrado aos demais programas governamentais.

Para tanto, o enfrentamento e suplantação de alguns desafios e a inserção de alguns princípios básicos mostraram-se fundamentais e permearam as ações do SGB/CPRM nos últimos 3½ anos. Ações necessárias (já realizadas, ou em vias de realização) estão expostas a seguir:

- Incorporação de novos paradigmas tecnológicos: a evolução do conhecimento geológico e o surgimento de novas alternativas tecnológicas em termos de processos e produtos nas áreas de geociências e correlatas impõem a busca de novos paradigmas para as atividades de levantamentos geológicos, praticamente paralisadas no início da década de 80, no Brasil.
- Conhecimento geológico como fator de desenvolvimento econômico e social a luta contra a exclusão social, a necessidade de criação de renda, receita e emprego, o enfrentamento das desigualdades regionais e a conseqüente melhoria da qualidade de vida da população tornam cada vez mais imperativo o acoplamento e a articulação às demais ações do Estado daquelas ações e atividades voltadas para o conhecimento do nosso subsolo e dos processos que regem suas transformações.

* Diretor-Presidente do SGB/CPRM.

** Chefe do Gabinete da Presidência do SGB/CPRM.

- A geração de novos processos e produtos, portanto, tem de contemplar a preocupação de que os resultados obtidos com as tecnologias envolvidas sejam apropriados por parcelas majoritárias da sociedade, definindo, sucinta e singelamente, o que denominamos neste trabalho de tecnologia social.
- Integração do conhecimento geológico: a geração de novos paradigmas em nossas atividades requer a contínua integração do conhecimento científico às atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D), possibilitando inovações tecnológicas necessárias ao cumprimento da missão de gerar e difundir o conhecimento geológico e hidrológico, constantes das atribuições básicas do SGB/CPRM. Para tanto, é necessária cada vez mais a caracterização do SGB/CPRM como entidade de base tecnológica, em que as atividades acima citadas tenham papel de destaque.
- Incremento da articulação institucional: o perfeito cumprimento da missão do SGB/CPRM não pode prescindir de um nível significativo de articulação com outras instituições, com programas e projetos comuns. Tal imposição decorre não só do caráter eminentemente multidisciplinar das atividades do SGB/CPRM, como também da necessidade de integração de conhecimento e de esforços em termos de recursos humanos, materiais e financeiros, para pôr fim à tão nociva superposição e desarticulação de ações na área de geociências, características das últimas décadas.

2. OS LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS COMO TECNOLOGIA SOCIAL

A história do desenvolvimento tecnológico é a história das demandas da sociedade. É, portanto, a história das necessidades humanas. Porém, em determinados momentos, a priorização desse desenvolvimento encontra-se ligada a demandas específicas de segmentos dominantes (econômica e/ou intelectualmente), pois o domínio da tecnologia sempre representou, e hoje mais do que nunca representa, um instrumento de poder.

No Brasil, o incipiente sistema de C&T, infelizmente, não tem sido capaz de atender à demanda e aos anseios diretos da maioria da sociedade. Seu desenvolvimento não foi dirigido para isto.

Nossas “ilhas” de excelência tecnológica não passam de pequenos pontos isolados num gigantesco oceano global. E, se nos detivermos nestes pequenos pontos, enxergaremos algumas tristes contradições. Enquanto o país convive com índices alarmantes de mortalidade infantil e de doenças extintas em quase todo o mundo (dengue, malária, cólera etc.), somos reconhecidos internacionalmente pela produção de remédios, vacinas etc., possuímos centros de pesquisa formidáveis (e.g. Fundação Oswaldo Cruz – FIOCRUZ) e nossos pesquisadores ganham prêmios internacionais nesta área.

Nossos pesquisadores têm sido capazes de operar maravilhas na biotecnologia aplicada à agricultura. A excelência da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) nos orgulha. Ampliamos nossas fronteiras agrícolas, tornamo-nos os maiores produtores

mundiais de soja. Somos referência na área de alimentação. Tudo isto num país onde uma imensa parte da população ainda convive com a fome diária.

Somos ainda referência na fabricação de aviões, na tecnologia de exploração de petróleo em águas profundas, para lembrar de outras “ilhas” de excelência tecnológica, com pouco efeito direto na melhoria de qualidade de vida do nosso povo.

A priorização do nosso desenvolvimento tecnológico foi ditada pela necessidade de lucro de alguns segmentos, pela necessidade de pagamento de nossas dívidas e pelo aumento do superávit comercial, na maioria das vezes, com subsídios e aporte de recursos públicos. Mesmo admitindo-se que, indiretamente, este desenvolvimento tecnológico é um importante componente de desenvolvimento econômico, algumas perguntas são inevitáveis: onde estão as tecnologias capazes de resolver o problema do déficit de 8 milhões de moradias? De dar acesso à educação para milhões de pessoas? De acabar com a mortalidade infantil e as doenças endêmicas? De resolver problemas graves na área de transporte? Enfim, onde estão as tecnologias sociais, capazes de, diretamente, atender aos anseios das maiores parcelas da sociedade?

A história do conhecimento geológico sempre esteve primordialmente ligada à busca dos recursos minerais, o que caracteriza a origem de todas as instituições ou “Serviços Geológicos” em todos os países. Posteriormente, com o surgimento de novos conhecimentos e com a intensificação de novas demandas, o conhecimento do subsolo passa a ser fundamental para o entendimento de diversos outros fenômenos do meio físico, sendo então aplicado a outros campos da preocupação humana: abastecimento de água, previsão de desastres naturais e, mais recentemente, a questão ambiental, o planejamento do uso e ocupação do solo urbano e rural. No Brasil não foi diferente.

A CPRM, fundada no final da década de 60, ocupava um espaço importante no momento em que a busca de riquezas minerais era prioridade e almejava-se a substituição de importações e atração de capitais. Cumpriu bem esta função durante a década de 70 e parte dos anos 80, não só possibilitando a descoberta de novas jazidas minerais, mas também aumentando substancialmente o conhecimento do subsolo brasileiro, indispensável para o surgimento de uma forte indústria de mineração com capital nacional e estrangeiro.

Não foi diferente em outras instituições que investiram no aporte de conhecimento geológico. O Projeto Radam, a Nuclebrás, a Petrobras e as diversas empresas dos sistemas estaduais de geologia e mineração tinham como carro-chefe de suas preocupações a busca de jazidas minerais.

O resultado dessas políticas foi a formação de uma forte cultura de levantamentos geológicos voltados à busca de recursos minerais, particularmente bens metálicos, de maior valor agregado, embora date desta época, também, a formidável capacitação da CPRM na área de hidrogeologia, com ações de inequívoco conteúdo social, particularmente na

busca incessante de água subterrânea no Nordeste brasileiro. Esta tendência, porém, foi interrompida com a caracterização da atividade, ainda na década de 80, como de prestação de serviços.

A década de 90 marcou a inserção de novas preocupações a serem abarcadas pela busca do conhecimento geológico, como ocorreu em quase todo o mundo. Porém, a paralisação dos levantamentos sistemáticos, ocorrida a partir de meados da década de 80, o início de sucessivas crises marcadas pela ausência de recursos financeiros e, mais tarde, pelas ameaças de fechamento da empresa decorrentes de políticas neoliberais visando à diminuição do papel do Estado, impediu o rumo normal das mudanças.

Hoje, quando ocorre a retomada dos levantamentos sistemáticos, não há espaço para uma cultura com foco único na busca por recursos minerais. É necessário que nossos produtos reflitam a necessidade de um número maior de usuários que não somente as corporações mineiras. É preciso que o conhecimento do meio físico contido em nossos produtos não somente forneça subsídios para a descoberta de novos recursos minerais, gerando emprego, renda e desenvolvimento econômico e atraindo capitais, mas que disponibilize informações capazes de melhorar a qualidade de vida dos nossos cidadãos, com contribuições para o correto uso e ocupação do solo, para o abastecimento racional de água, para a previsão de desastres naturais, para o controle e preservação ambiental, dentre outras demandas legítimas da sociedade.

Para tanto é fundamental que se desenvolvam, se adaptem ou se aperfeiçoem processos capazes de produzir inovações em nossos produtos finais, de modo a garantir a obtenção de resultados apropriáveis pelas mais amplas camadas da população. É imperativo que incorporem aos levantamentos geológicos um caráter de tecnologias sociais. Nesse sentido a expressão levantamentos geológicos é utilizada neste texto com uma conotação ampla, englobando o conjunto de investigações geocientíficas sobre o subsolo e o meio físico, com a geração de conhecimentos novos e suas aplicações.

Tudo isso conduz a questionamentos norteadores variados a respeito dos levantamentos geológicos, como por exemplo: de que maneira podem contribuir para a geração de emprego e renda em regiões carentes e/ou ínvias através da atividade mineral? Como podem contribuir para abastecer de água milhões de cidadãos nordestinos? Como podem evitar que milhares de moradores de encostas urbanas venham a perecer por estarem submetidos a estes riscos ou a outros desastres naturais? Como podem criar oportunidades novas de desenvolvimento como o geoecoturismo? Como podem auxiliar políticas de saúde usando ferramentas como a geoquímica ambiental? Como auxiliariam políticas de uso e ocupação do solo? Que papel tais levantamentos geológicos teriam dentro de uma política de habitação popular?

É, portanto, necessário refletir sobre a definição de novos paradigmas, em termos de processos e produtos de investigações geocientíficas mais adequados à resposta dos questionamentos anteriores. Esta necessidade impõe ao SGB/CPRM a busca de uma

produção tecnológica que deverá, cada vez mais, lhe conferir vestimenta de uma empresa de pesquisa intimamente ligada a C&T.

3. O SGB/CPRM E A ARTICULAÇÃO INSTITUCIONAL PARA O FOMENTO DA PRODUÇÃO TECNOLÓGICA

Os desafios propostos apontam para a necessidade de o SGB/CPRM aprofundar sua atuação como empresa de base tecnológica, dando maior espaço à geração de processos, métodos e produtos inovadores. Do mesmo modo, faz-se necessário consolidar uma série de iniciativas institucionais e articulações interinstitucionais no sentido de fomentar a capacidade de produção tecnológica própria.

Se entendermos como fundamental no processo de geração de tecnologias a integração do tripé conhecimento científico + P&D + inovação tecnológica e procurarmos identificar estas etapas em nossas atividades, veremos que o SGB/CPRM possui significativa produção em pesquisa aplicada e desenvolvimento tecnológico, gerando, ainda, vários produtos e processos caracterizáveis como inovação tecnológica.

Nos últimos anos, o conhecimento científico e a pesquisa básica, focos principais da Universidade e das Instituições tradicionais de pesquisa, estiveram relativamente pouco integrados a estas iniciativas do SGB/CPRM, em virtude do distanciamento Universidade-Empresa-Centros de Pesquisa.

Vale salientar que a atuação do SGB/CPRM no processo de geração de tecnologias nunca foi oficializada, fomentada ou organizada de maneira integrada dentro da empresa. Tais iniciativas se davam dentro de projetos específicos, utilizando-se de recursos de outras rubricas, sobrevivendo graças a iniciativas individuais e sacrifícios de pesquisadores isolados. Em outros casos, ocorriam no transcorrer de atividades de pós-graduação, embutidas em teses de Doutorado ou dissertações de Mestrado, com resultados positivos nem sempre assimilados ou detectados pela empresa, uma vez que tais iniciativas não eram dirigidas e, via de regra, desconhecidas pela instituição.

A criação de uma cultura de P&D e de inovação tecnológica no SGB/CPRM foi objeto, nos últimos anos, de diversas iniciativas em diferentes níveis de importância e intensidade, mas todas destinadas a solidificar, organizar e fomentar a produção tecnológica independente. Até o ano de 2004, o SGB/CPRM não havia tido qualquer relacionamento com entidades de fomento e tampouco havia iniciativas de sua formalização como Instituição de Ciência & Tecnologia (ICT) pelo MCT.

Essa situação começou a mudar quando no período 2004/2005 vários projetos foram desenvolvidos na instituição com a parceria da FINEP e recursos de Fundos Setoriais (CT Mineral e CT Infra-estrutura), abrangendo estudos de potencial hídrico de bacias sedimentares do Nordeste do Brasil, aquisição de equipamentos laboratoriais e de geofísica.

Foi então criado o Centro de Desenvolvimento Tecnológico (CEDES) do SGB/CPRM que teve como meta a coordenação, fomento e viabilização das iniciativas de pesquisa aplicada e desenvolvimento tecnológico no SGB/CPRM, bem como a prospecção de novas tecnologias em geociências.

A criação do Núcleo de Desenvolvimento Tecnológico (NDT), em parceria com a Agência Nacional de Petróleo (ANP), permitiu a colaboração e parceria tecnológica em quatro grandes campos: banco de dados de exploração e produção petrolífera (BDEP), programas de aerogeofísica, criação do Portal de Informações da Geologia Brasileira (PING) e estudos geológicos em bacias sedimentares.

O Laboratório de Análises Minerais do SGB/CPRM (LAMIN) passou por processo de modernização, incluindo aquisição de equipamentos e recomposição de equipes técnicas, já tendo normalizado sua rotina de análises químicas para água mineral, em respeito à legislação e tomado iniciativas que visam à certificação do laboratório pelo INMETRO.

Com sua inauguração realizada em 3 de agosto de 2006, o Centro de Controle de Poluição na Mineração (CECOPOMIN), criado na Superintendência de São Paulo em parceria com o DNPM, é o primeiro laboratório do gênero na América Latina. Fruto de acordo com a Japan International Cooperation Agency (JICA), capacitará o SGB/CPRM em análises laboratoriais e monitoramento de efluentes, poeira, ruídos e vibrações. Uma estação móvel automatizada já se encontra em funcionamento em Forquilha-Criciúma (SC), prevendo-se a instalação de outras estações em bacias hidrográficas com impacto de atividade mineira.

Criada pelo MME e sob a coordenação e gestão do CEDES do SGB/CPRM, a rede *Geochonos* configura uma saudável parceria com universidades (UFPA, USP, UFRGS e UNB) e a Petrobras, com instalação de equipamentos (ICP-MS e *Shrimp*) para uso comum em pesquisas geocronológicas e ambientais.

Com o foco em pesquisas envolvendo materiais para construção civil, rochas ornamentais, insumos minerais para a agricultura e demais minerais de uso industrial, a Divisão de Minerais e Rochas Industriais (DIMINI) elabora, atualmente, projetos de criação de Laboratório de Tecnologia de Argilas, em Manaus, e de Laboratório de Ensaios Tecnológicos de Rochas Ornamentais, em Recife.

A reativação da Divisão de Geologia Marinha no SGB/CPRM tem como objetivo a sua participação no REMPLAC (Programa de Avaliação da Potencialidade Mineral da Plataforma Continental Jurídica Brasileira), programa que envolve o SGB/CPRM, a Marinha Brasileira, o MME e universidades e constitui importante iniciativa de atuação em área de fronteira do conhecimento. Os estudos em andamento incluem investigações sobre o potencial em nódulos polimetálicos (níquel e cobalto) e granulados marinhos existentes na plataforma continental.

Concebidos como centros de treinamento de profissionais do SGB/CPRM, os Centros Integrados de Estudos Geológicos (CIEGs) têm assumido atividades de extensão, acolhendo treinamento de estudantes de graduação de várias universidades, pesquisadores nacionais e internacionais, bem como parcerias com comunidades locais em cursos de divulgação das Geociências, centros de artesanato mineral, apoio ao Geocoturismo, atividades de ONGs ambientalistas etc.

A parceria com 14 universidades dotadas de cursos de geociências, inclui o mapeamento geológico de cerca de 30 folhas na escala 1:100.000. A iniciativa tem possibilitado significativos avanços metodológicos nas atividades de mapeamento, abrindo novos campos de interesse para a pesquisa acadêmica e possibilitado a padronização e maior homogeneidade dos produtos gerados, além de proporcionar outros benefícios.

Com 21 dos 27 estados da federação, foram estabelecidas, no período 2003 a 2005, parcerias com alocação de recursos orçamentários do SGB/CPRM, para elaboração de mapas geológicos estaduais, levantamentos aerogeofísicos, projetos nas áreas de recursos minerais e recursos hídricos, fomento às investigações geocientíficas, bem como a reativação de atividades de diversos sistemas estaduais em Geologia e Mineração.

Por fim, acordos e programas internacionais de cooperação técnico-científica firmados com diversos países da América Latina, Caribe, África, Ásia, Europa e América do Norte dizem respeito à colaboração técnico-científica em diversas áreas de atuação da Instituição.

4. O PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL E OS NOVOS PARADIGMAS NOS LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS DO SGB/CPRM

O Programa Geologia do Brasil, constante do Plano Plurianual de Governo (PPA 2003-2007), enfeixa todas as atividades-fim do SGB/CPRM, aqui denominadas genericamente de levantamentos geológicos. Representa a efetiva retomada do processo de conhecimento do subsolo brasileiro, praticamente paralisado há quase 20 anos, que forçosamente requereu o desenvolvimento de um grande volume de novas definições metodológicas, visando obter produtos diferenciados, adaptados aos novos níveis de desenvolvimento tecnológico, aderentes às novas demandas do país.

No âmbito desse programa, as atividades de P&D envolvidas referem-se, em sua maioria, à pesquisa aplicada e ao desenvolvimento tecnológico de processos (novos paradigmas metodológicos, particularmente, os bancos de dados). A mais significativa inovação tecnológica introduzida, convém frisar, refere-se à transformação do principal produto histórico do SGB/CPRM: o mapa em sistema de informações.

4.1 Ações de mapeamento geológico sistemático (Levantamentos Geológicos Básicos – LGBs)

Carros-chefes das atividades do SGB/CPRM, os mapeamentos geológicos, distribuídos por todo o país, são sistemáticos e abrangem folhas geológicas nas escalas 1:100.000 e 1:250.000.

O mapeamento geológico de 151 folhas geológicas (129 na escala 1:100.000 e 22 na escala 1:250.000), abrangendo cerca de 780.000.km² (aproximadamente 9,2% da área continental do país), representa um esforço similar ao realizado desde a criação da CPRM, em 1969. Em 50 dessas folhas conta-se com a parceria de 14 universidades e das equipes estaduais da Bahia e do Paraná.

A concepção que definiu as ações do subprograma de LGBs tem como norte a análise do conhecimento prévio da cartografia geológica do Brasil.

4.1.1 Conhecimento geológico acumulado do subsolo brasileiro

Levando-se em consideração os mapeamentos sistemáticos ocorridos na década de 80, torna-se imperativa uma análise prévia da cartografia geológica do país, em intensidade e conteúdo. Tal análise é de fundamental importância na definição de prioridades e para a racional alocação de recursos destinados aos mapeamentos.

À luz dos novos conhecimentos e ferramentas de investigação, muitas áreas já mapeadas podem requerer atualizações, complementações, ou mesmo ter sua importância reduzida ao valor histórico. Mais recentemente o SGB/CPRM procurou compilar todas as ações de mapeamento geológico em escalas regionais (até 1:500.000) e semidetalhe (1:50.000 ou maiores), como resultado da atuação de diversas instituições públicas federais e estaduais, bem como dos produtos cartográficos constantes em dissertações de mestrado e teses de doutoramento, dentro das universidades. Estes produtos cartográficos foram avaliados por critérios objetivos de conteúdo e classificados em três níveis: os de nível 1 contemplam os mapas que hoje possuem valor meramente histórico e cuja atualização ou complementação requereria esforços similares a um novo mapeamento; os de nível 2 englobam áreas que podem ser consideradas mapeadas após atualizações e/ou complementações diversas de seus mapas geológicos; o nível 3 refere-se a mapas geológicos atualizados e áreas consideradas como mapeadas. Os dados gerais indicam que menos de 1/3 das áreas mapeadas podem ser enquadradas no nível 3, em sua maior parte coberta após 1985.

Os dados deste trabalho estão sendo refinados para posterior divulgação. Nesse sentido encontra-se em andamento no SGB a compilação das principais características do conteúdo desses mapas e a elaboração de um banco de dados da cartografia geológica do país para disponibilização na *web*. Fator complicador tem sido a grande dispersão destes produtos, devido à superposição de atividades no passado, bem como sua preservação e acesso nas instituições de origem.

4.1.2 Os levantamentos geológicos básicos: importância e objetivos da retomada

No campo do desenvolvimento econômico, o setor mineral representa cerca de 7% do PIB, graças, em sua maioria, à exploração de jazidas descobertas na década de 70, quando se empreenderam os últimos esforços sistemáticos de conhecimento do subsolo do país. Os LGBs, por possuírem uma correlação direta com os investimentos em exploração mineral, são um forte indutor da geração de empregos (geralmente de baixa qualificação e em áreas ínvias), receita e renda. Ao retomar o ciclo de geração de jazidas através dos LGBs, possibilita-se, também, o abastecimento de insumos-base para o suporte ao crescimento industrial, aos programas habitacionais e para a diminuição de nossa dependência de insumos para a agricultura.

Da mesma forma, o conhecimento do meio físico brasileiro é fator fundamental na definição de políticas de uso e ocupação do solo, no abastecimento de água em regiões carentes, na preservação e conservação ambiental, na previsão de desastres naturais, com interferência direta na qualidade de vida dos cidadãos.

Os objetivos gerais do subprograma de levantamentos geológicos básicos incluem, além do avanço no conhecimento geológico de nosso subsolo, a retomada do ciclo de geração de jazidas, com geração de emprego e renda, como já foi dito. Visam, também, ao fortalecimento dos sistemas estaduais de geologia e recursos minerais e à indução e ao aquecimento do setor de serviços em geologia, geofísica, geoprocessamento, análises químicas etc. O avanço no conhecimento geocientífico e o apoio à formação de recursos humanos também constituem importantes objetivos gerais.

O foco em substâncias minerais de uso direto pela população (materiais para construção civil, minerais para agricultura) visa ao acesso democrático da sociedade aos bens minerais. As características de multiusuário dos mapeamentos, com informações de interesse à geologia ambiental e recursos hídricos, são imprescindíveis na implementação de políticas públicas sociais.

4.1.3 Diretrizes gerais para os levantamentos geológicos básicos

São as seguintes as diretrizes gerais que norteiam a seleção de áreas para a execução dos LGBs:

- Mapeamento de folhas e ambientes geológicos selecionados, levando-se em consideração a falta de informações ou carência de atualização, revisão, complementação e/ ou integração das informações existentes.
- Caracterização de produtos para múltiplos usuários, observando as peculiaridades regionais, sem prejuízo do roteiro metodológico definido para o mapeamento. Áreas com quantidades expressivas de ocorrências minerais descritas deverão ter um tratamento mais detalhado em termos metalogenéticos, assim como áreas com expressivos problemas ambientais. No Nordeste do Brasil, nas diversas pequenas bacias interiores,

ocorre tratamento mais detalhado destas áreas sedimentares com vistas ao seu potencial em água subterrânea. Tal procedimento, além de dar um conteúdo mais aplicável aos produtos finais requererá maior integração de equipes, muitas vezes multidisciplinares.

- Mapeamento de áreas com vocação metalogenética, particularmente na Amazônia, visando estimular empreendimentos no setor mineral.
- Priorização de áreas com baixos índices de desenvolvimento humano (IDH), visando apoiar os arranjos produtivos locais de base mineral.
- Priorização do mapeamento de áreas com prévia cobertura aerogeofísica.
- Utilização, preferencialmente da escala 1:250.000 na Amazônia e 1:100.000 no restante do país.
- Priorização de áreas, onde haja possibilidade de atuação conjunta com outros programas governamentais de geração de emprego, renda e receita.
- Parceria com universidades e com instituições dos sistemas estaduais de geologia e recursos minerais. Os aspectos envolvidos nestas parcerias constituem verdadeira revolução no processo de conhecimento do subsolo brasileiro, no aspecto metodológico, pela integração envolvida.

4.1.4 Levantamentos geológicos básicos no SGB/CPRM: os novos paradigmas técnicos

O roteiro metodológico das atividades de mapeamento geológico básico no SGB/CPRM caracteriza um novo paradigma de procedimentos, quando comparado àquele utilizado durante os mapeamentos sistemáticos realizados nas décadas de 70 e 80. O avanço tecnológico ocorrido neste período, associado a uma concepção mais holística do processo de geração do conhecimento do subsolo brasileiro, permite caracterizar os atuais procedimentos de mapeamento como revolucionários e indutores de uma inexorável mudança cultural. Basta atentar ao fato de que nos referimos a uma época pretérita quando não havia computadores e a informática ensaiava seus primeiros passos.

O conjunto de novos procedimentos e concepções associados aos atuais mapeamentos geológicos é oriundo de inequívoco e importante processo de P&D efetuado pelo corpo de pesquisadores do SGB/CPRM, fortemente concentrado na área de banco de dados e geoprocessamento, incorporando também tecnologias já consagradas em outras atividades.

Desde a etapa de planejamento, a possibilidade de utilização de SIGs regionais e cruzamentos de diversos parâmetros técnicos e socioeconômicos na seleção de áreas a serem mapeadas configura uma drástica mudança de postura em relação a uma época em que o principal critério (às vezes único) de priorização de áreas era o seu grau de desconhecimento. Quanto mais desconhecida mais prioritária. O conjunto de parâmetros

hoje utilizado permite a observância de especificidades regionais, respeito às demandas regionais e locais e preocupações com a evolução de capacitação da equipe, com perspectivas de integração multidisciplinar bastante concretas.

Na definição da metodologia, a integração dos dados geológicos com os dados metalogenéticos, conjuntamente com a perspectiva de geração de conhecimento do meio físico para fins de uso e ocupação do solo, meio ambiente e recursos hídricos dentre outros, bem como com a inserção de abordagem de detalhe de eventuais especificidades regionais, substitui a clássica elaboração de mapas voltados unicamente para aspectos ligados a recursos minerais.

Na etapa de compilação de dados pré-existentes, a possibilidade de recortes digitais, o geoprocessamento com utilização de imagens de satélites e radar, a utilização de *grids* geofísicos e o acesso à bibliografia pela Internet substituem as limitadas interpretações fotogeológicas em estereoscópio, as reduções xerográficas de *overlays* e bases topográficas imprecisas, bem como as fichas bibliográficas que resumiam os trabalhos anteriores e que, arduamente, se conseguia resgatar.

No campo, o uso de GPS, a possibilidade de utilização de computadores de bolso, de planilhas de bancos de dados com bibliotecas pré-definidas, de bases cartográficas elaboradas a partir de técnicas modernas de sensoriamento, podendo contar com modelos digitais de terreno, possibilitam a atualização de dados em tempo real via Internet e dão agilidade e precisão sem comparação com os velhos procedimentos.

No armazenamento de dados, conta-se com recursos de bancos de dados inseridos em modernos sistemas de informações georreferenciadas, substituindo as velhas pastas e fichários.

No tratamento e processamento de dados, é possível utilizar ferramentas de geoprocessamento (vetorização, modelagens, operações booleanas, ajustes topológicos, etc.) e modernas técnicas de processamento de imagens. Quanto aos dados laboratoriais, é enorme o incremento de acuracidade e possibilidades de interpretação de dados químicos, geocronológicos, petrológicos, de ensaios tecnológicos advindos de novos equipamentos, novos métodos e outras inovações tecnológicas.

Quanto ao produto final, as inovações são emblemáticas. Os tradicionais mapas em papel, atualizados após anos ou décadas, são substituídos por modernos sistemas de informações (SIGs) com bancos de dados acoplados a entidades vetoriais e com aplicativos de manipulação e exportação de dados capazes de gerar mapas, tabelas, planilhas, cruzamento de temas e individualização de aspectos específicos de interesse.

A disponibilização destes produtos, antigamente restrita a mapas em papel, geralmente acompanhados de um volumoso relatório com tabelas e anexos, é realizada através de diversas mídias que incluem SIGs em CD-ROMs, DVDs e *sites* da Internet.

Por fim, o resultado deste trabalho possui distintos usuários. Ao lado do uso para a prospecção e pesquisa mineral somam-se aplicações aos recursos hídricos, ordenamento territorial, zoneamentos ecológicos-econômicos, planejamento de obras civis, preservação ambiental, dentre outras.

Grande parte deste roteiro metodológico já se encontra em aplicação no Programa Geologia do Brasil, enquanto outros encontram ainda algumas dificuldades de implantação, pois dependem de investimentos financeiros, ampliação de quadros técnicos, capacitações específicas e, sobretudo, mudanças culturais.

O principal desenvolvimento tecnológico, já em uso nos mapeamentos geológicos sistemáticos nas escalas 1:250.000 e 1:100.000, é a nova concepção de metodologias de execução e padronização de produtos gerados. Assim, foi definida uma série de parâmetros, que constituem os fatores mínimos constantes em cada escala: número de afloramentos, de análises químicas, petrográficas, geocronológicas, etc; formato de entrega dos dados (em banco de dados e SIGs); bem como o formato dos produtos finais (padronização de simbologias, cores, unidades estratigráficas etc). Tais orientações estão contidas em *kits* próprios para cada folha, contendo, inclusive, os dados de conhecimento prévio.

O motor destas mudanças é a tecnologia de banco de dados. No caso do SGB/CPRM, a possibilidade de consolidação desta inovação tecnológica nos mapeamentos geológicos sistemáticos reside na consolidação do *Geobank* e depende de seu contínuo aperfeiçoamento e alimentação. Não é possível um produto totalmente novo ser produzido com uma máquina planejada para produtos totalmente diferentes em suas essências e formatos.

4.1.5 *Geobank: o banco de dados da geologia do Brasil*

Um dos resultados mais importantes do Desenvolvimento Tecnológico realizado no SGB/CPRM se refere ao *Geobank*. Trata-se de um sistema de banco de dados relacional, modelado em plataforma *Oracle*[®], abrangendo, em módulos e submódulos, toda a temática inerente aos levantamentos geológicos. O sistema está hospedado em um servidor central, localizado na Superintendência Regional de Salvador da CPRM e é acessado pela *web* no endereço www.geobank.sa.cprm.gov.br, com níveis de acesso gerenciado por um aplicativo de senhas de segurança. De 2000 até 2004, o *Geobank* possibilitou a elaboração dos SIGs da geologia do Brasil, nas escalas 1:2.500.000 e 1:1.000.000

Inicialmente desenvolvido para os mapas de integração regional ao milionésimo e escalas menores, mais recentemente adaptado às escalas 1:100.000 e 1:250.000, o *Geobank* permitiu a construção de uma linguagem técnica única, padronizando as referências e criando uma espécie de idioma geológico próprio da instituição, de aceitação e uso geral. O *Geobank*, através de suas bibliotecas, é o alicerce sobre o qual se ergue e se sustenta todo o aparato tecnológico dos novos paradigmas da geologia no SGB/CPRM.

O *Geobank* é inteiramente concebido com base em bibliotecas e regras de negócio que incorporam a cultura e o estado da arte do pensar geológico do SGB/CPRM. Muito mais do que um simples repositório de dados, o *Geobank* contém todo o patrimônio da ciência geológica aplicada ao território brasileiro, acumulado SGB. Quando concluído, com os módulos restantes e com componentes tecnológicos de publicação na *web* incorporados, o *Geobank* permitirá gerar, dinamicamente, SIGs atualizados, de qualquer área do nosso território, com qualquer composição de camadas de informações desejada. Em seu conjunto, o *Geobank* representa o maior esforço de padronização e uniformização da linguagem geológica já despendido no Brasil.

4.2 Mapas geológicos de integração regional

Os mapas de integração regional representam os primeiros produtos do novo paradigma: banco de dados (*Geobank*) + sistema de informações (SIGs).

4.2.1 Mapas geológicos do Brasil nas escalas 1:2.500.000 e 1:1.000.000

Por cerca de três décadas, a CPRM esteve em intensa atividade em todo o território brasileiro, sobretudo nos anos 70 e 80, mapeando e realizando pesquisas minerais, forjando, por assim dizer, a moderna visão da geologia nacional. Esse esforço foi fundamental para que o Brasil tomasse conhecimento de seu verdadeiro potencial, no tocante às suas riquezas geológicas. Todavia, todo esse imenso cabedal de dados e conhecimento permanecia disperso, em arquivos analógicos, de difícil, se não impossível integração, ou em bancos de dados não consistidos e não relacionais.

O Projeto GIS do Brasil, lançado em 2000, constituiu num marco tecnológico na CPRM, já que representou, de fato, o início da migração da empresa para os paradigmas digitais do século XXI. Em sua primeira etapa, o projeto visava compilar a geologia do Brasil, na escala 1:2.500.000, um passo inicial necessário para a disseminação da nova cultura, a capacitação de pessoal, a aquisição das ferramentas básicas e, principalmente, para preparar a equipe para a gigantesca etapa que viria a seguir: a Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo (CGB-1000), completamente digital.

Lançado em 2001, o Mapa Geológico, Tectônico e de Recursos Minerais do Brasil, na escala de 1:2.500.000, foi uma verdadeira escola para o SGB. Sob seus auspícios iniciou-se a modelagem do maior banco de dados geológicos do país, o *Geobank*, atual gerador de todos os sistemas de informações produzidos pelo SGB/CPRM e repositório de toda a memória geológica recente da instituição. Porém, uma grande limitação deste e de outros produtos da época era exigir que o usuário dispusesse do *software ArcView®* da ESRI instalado em seu computador.

Vindo na esteira da empreitada anterior, a Carta Geológica do Brasil (CGB-1000), lançada em 2004, representou um verdadeiro mutirão de atualização técnica e P&D em bancos de dados, geoprocessamento, tratamento de imagem, modelagens, geração de

SIGs e aplicativos voltados para o *geonegócio*. A necessidade de complementar e preencher lacunas de conhecimento levou a uma integração inédita do SGB com as universidades, Petrobras, DNPM, empresas estaduais e privadas do setor.

Do ponto de vista técnico, o Sistema de Informações Georreferenciadas (SIG) da CGB-1000 contém camadas vetoriais, imagens *raster* e bancos de dados que podem ser manipulados para exportar dados, enviar dados para um *plotter* ou ainda gerar novos produtos, estes por sua vez manipuláveis. O geoprocessamento básico do SIG utilizou tecnologia *ArcView*® da ESRI. Junto com os dados, a CPRM disponibilizou um aplicativo de visualização, denominado *ArcExibe*®, desenvolvido na própria instituição. Tal aplicativo permite todas as operações com os arquivos do SIG. O SIG da CGB-1000 é constituído por um conjunto de 41 CD-ROMs, acondicionados em caixa dura, englobando todas as 46 folhas ao milionésimo que recobrem o território brasileiro.

No que se refere à tecnologia e ao volume de informações embutidas, a Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo (CGB-1000) é um produto pioneiro e único no mundo. O CGB-1000 tornou o Brasil o primeiro entre os países de dimensões continentais a possuir todo o seu território representado em mapas através de SIG, não se conhecendo nenhum outro órgão similar que tenha conseguido reunir, em um só produto, todas as informações geológicas do território, de forma homogênea e padronizada.

4.2.2 Os Mapas geológicos estaduais em SIG

As tecnologias de banco de dados aliadas aos sistemas de informações permitiram que o SGB/CPRM desenvolvesse um programa de elaboração de mapas de integração estaduais, que configuram excelentes subsídios ao planejamento regional, seja no que tange aos recursos minerais, seja ao uso e ocupação do solo urbano e rural. Trata-se de mapas desenvolvidos a partir de SIGs, contendo, acoplados, bancos de dados extraídos do *Geobank*, podendo ser objeto de nova atualização a qualquer instante, com o incremento de novas informações.

4.3 Levantamentos aerogeofísicos

A retomada dos levantamentos geológicos no Brasil, efetivada pelo SGB/CPRM através dos mapeamentos geológicos sistemáticos, foi acompanhada pelo início de um novo ciclo de levantamentos aerogeofísicos, também paralisados pelo Estado na década de 80.

Os levantamentos aerogeofísicos possuem comprovada eficácia como ferramenta auxiliar ao mapeamento geológico, além de apresentarem grande eficiência na localização de jazidas minerais. Além disso, são métodos eficazes de investigação em regiões de difícil acesso ou de extensas coberturas vegetais ou pedológicas. Seus custos são relativamente baixos, em relação ao reduzido período de tempo envolvido em sua execução, possibilitando recursos modernos e adequados ao grau de necessidade atual do setor produtivo mineral.

O Programa de Levantamentos Aerogeofísicos do SGB/CPRM, realizado isoladamente ou em parcerias com outros estados (GO, BA e MG), apresenta, hoje, resultados extraordinários. Os levantamentos realizados desde 2004 e aqueles em execução, com finalização prevista para o corrente ano, cobrem uma área de mais de 800.000 km², representando cerca de 9,5% do território nacional ou 23% do embasamento cristalino. Em termos de distância linear voada, os cerca de 1.600.000 km voados equivalem a 27 voltas ao redor da Terra, tendo sido investidos para estes resultados cerca de 62,5 milhões de reais, nos últimos 3 anos.

Este volume de levantamentos representa, hoje, 69% de todo esforço realizado pelo setor público, desde 1953. Se somados aos resultados do programa de aerolevantamentos da Agência Nacional do Petróleo (ANP) nas bacias sedimentares, no mesmo período, representam o dobro de todos os esforços já empreendidos pelo setor público nessa área.

Voltados para o embasamento cristalino do Brasil, tais levantamentos utilizaram-se dos métodos magnetométricos e gamaespectrométricos, possuindo um grande efeito multiplicador. Em média 25% da área sobrevoada tem sido requerida para pesquisa mineral pela iniciativa privada. No atual programa, existem casos de aumento de quase 1000% em requerimentos de pesquisa na área voada e em seu entorno (por exemplo, Região do Arco Magmático de Goiás).

Ao lado dos mapeamentos geológicos sistemáticos em relação ao ano de 2002, os aerolevantamentos contribuíram sobremaneira para a quadruplicação dos investimentos privados em exploração mineral, previstos para 2006. Embora, os aerolevantamentos possam ser caracterizados como tecnologias de caráter social, pelo efeito multiplicador na geração de empregos de baixa qualificação em regiões remotas, contribuindo na luta contra as desigualdades regionais, encerram inúmeras carências de desenvolvimento tecnológico.

Com a paralisação destes levantamentos na década de 80, as equipes técnicas do SGB/CPRM foram bastante reduzidas, o que provocou sérios reflexos na modernização e atualização nas técnicas empregadas. As atividades concentram-se atualmente no planejamento e fiscalização na coleta de dados, com insatisfatória agregação de valor aos mesmos.

Constituem, hoje, desafios candentes na área de Geofísica do SGB/CPRM:

- Formação de equipes em estágio preliminar, devido ao recente concurso realizado.
- Treinamento e atualização dos profissionais.
- Modernização de equipamentos.

- Capacitação para atuação ampla envolvendo planejamento, coleta e fiscalização, bem como armazenamento, tratamento, processamento e disponibilização dos dados, como forma de agregar valor aos mesmos.
- Confeção de banco de dados dos aerolevantamentos, integrando os dados da ANP e da iniciativa privada.
- Capacitação em aerogravimetria, como ferramenta auxiliar à prospecção de água subterrânea.
- Introdução de novos métodos, como o eletromagnético e reativação das atividades de geofísica terrestre.
- Boa parte destas preocupações está enfeixada no bojo da formulação do Núcleo de Desenvolvimento Tecnológico em discussão, como parte do Convênio ANP-SGB/CPRM.

4.4 Ações na área de recursos minerais

Inovações na concepção metodológica de abordagem constituem as principais mudanças nas atividades referentes à área de recursos minerais no SGB/CPRM. Até 2002, a cultura instalada na área de recursos minerais era fortemente calcada no perfil das décadas de 70 e 80. Fundada na busca de jazidas para substituição de importações ou *commodities* para exportação em bruto, geralmente de bens metálicos, a CPRM logrou grande capacitação e excelência em suas equipes. A pesquisa própria para posterior licitação das áreas era o coroamento das atividades e a busca de *royalties*, advindos da cessão ou transferência destas áreas, uma esperança de relativa autonomia orçamentária. Para ilustrar, atualmente remanescem cerca de 300 títulos de direitos minerários à espera de transferência para a iniciativa privada.

Com a paralisação relativa dessas atividades nos últimos anos, com a saída do Estado da atividade produtiva em mineração, e com as novas demandas de recursos minerais, uma nova filosofia se impôs à ação do SGB/CPRM. Assim, a principal inovação nesta área é o trinômio metodológico geologia/recursos minerais/modelamento geológico–metalogenético, em que a abordagem metodológica reside no acoplamento das ações em recursos minerais às atividades de mapeamento sistemático, assimilando boa parte de seus procedimentos. Persistem, entretanto, abordagens temáticas, tendo sido criados roteiros de avaliação específica para alguns bens minerais (*e.g.* ouro e diamante).

Outra concepção metodológica nova é um enfoque mais privilegiado aos bens minerais não-metálicos, particularmente os materiais para construção civil, rochas ornamentais, insumos para agricultura, gemas e pedras preciosas, dentre outros. Da mesma maneira, os minerais energéticos (*e.g.* carvão e demais combustíveis fósseis) entram no universo de focalização.

Inicia-se, também, um processo de desenvolvimento metodológico em áreas de fronteira de conhecimento (e.g. os recursos do mar).

O desenvolvimento de novas abordagens, explorando a tangência entre o cunho econômico e o social, se dá, por exemplo, nas ações de apoio aos Arranjos Produtivos Locais (APLs) em projetos conjuntos com o DNPM e a Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral do MME.

5. AGENDA DE PRIORIDADES – BRASIL 2015

As ações sugeridas são, em sua maioria, ações institucionais que poderão materializar-se em projetos, cujas atividades voltadas para a promoção do conhecimento geológico do subsolo brasileiro e dos fenômenos que regem suas transformações requerem acoplamento e articulações às ações do Estado, priorizando-se:

- Recursos humanos em geociências.
- Divulgação e difusão dos conhecimentos.
- Sensoriamento remoto.
- Levantamentos geofísicos.
- Levantamentos geológicos.
- Geoprocessamento.

No que se refere aos recursos humanos na área das geociências, a questão tem sido um problema crucial em praticamente todas as instituições de pesquisa e desenvolvimento tecnológico do país, quer pela idade média de seu pessoal, em geral alta e próxima aos limites para aposentadoria, quer pela ausência de concursos públicos em muitos anos, quer, ainda, pelos baixos salários praticados, de que decorrem o desinteresse na ocupação de cargos ou as inúmeras demissões logo após a efetivação dos concursados. Como consequência há um retardamento no tão esperado avanço científico e tecnológico nacional, que poderia ser bem maior caso tais problemas fossem resolvidos em curto ou médio prazo, conforme proposições a seguir:

- Formar recursos humanos na área de geociências, em diferentes níveis de escolaridade, fomentando-se a organização de cursos regulares e de curta duração, e dinamizando os centros de treinamento já existentes. Não menos importante é a formação de recursos humanos, em escolas técnicas, capacitados a apoiar as operações de campo e laboratório.
- Despertar e consolidar a vocação de jovens e adolescentes para atender à crescente demanda por pessoal qualificado nas áreas de Geologia e Geofísica.
- Apoiar a organização de eventos técnico-científicos visando o fortalecimento da cultura nacional em Geociências.

- Desenvolver mecanismos para a inserção de bolsistas do CNPq nos projetos de pesquisa de instituições de P&D visando, sobretudo, ao desenvolvimento tecnológico e à inovação, com ênfase na formação de acadêmicos e pessoal técnico de nível médio.

A insuficiência de produtos de divulgação internacional sobre o conhecimento geológico e o potencial mineral do país constitui uma lacuna que influencia negativamente a atuação dos investidores, reduzindo drasticamente a competitividade internacional do Brasil na captação de recursos externos para o desenvolvimento do setor mineral. É necessário criar condições para uma divulgação efetiva, em âmbito internacional, do conhecimento geológico-econômico de nossas principais províncias minerais, de maneira sistemática e objetiva, visando despertar o interesse dos investidores e, conseqüentemente, aumentar o volume dos investimentos em pesquisa e produção compatível com o imenso potencial mineral do Brasil. Para fazer frente a esse desafio sugere-se:

- Uso da tecnologia SIG na divulgação nacional e internacional de informações básicas integradas, objetivas e atualizadas sobre o ambiente geológico, prospecção, potencial metalogenético e dados de economia mineral de *commodities* das principais províncias minerais e distritos mineiros do Brasil.

No âmbito do sensoriamento remoto são indicadas ações no sentido de:

- Executar, em parceria com o Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM), levantamento aerotransportado de radar de abertura sintética (SAR - bandas L e X), com recobrimento de toda a Amazônia legal, priorizando-se os atuais vazios cartográficos (cerca de 1.600 mil Km²), e aerolevanteamento através do sensor HSS (hiperespectral) de áreas de interesse geológico específico.
- Criar banco de dados do acervo de imagens de sensoriamento remoto existentes no país, com o objetivo de indicar, de forma interativa, a localização do dado, o órgão detentor e condições de acesso.
- Desenvolver as ações em conjunto com o SIPAM para que sejam disponíveis para a comunidade acadêmica e empresarial as imagens SAR (banda L) do território brasileiro levantadas por esse órgão.
- Promover a difusão das técnicas de processamento e de interpretação de dados para geólogos de mapeamento na área de sensoriamento remoto; treinamento em sensoriamento remoto básico.
- Desenvolver intercâmbio tecnológico entre as instituições viabilizando parcerias e formação de equipes de especialistas.
- Incentivar a continuidade da programação do IMPE para as imagens CBERS.

No âmbito dos levantamentos geofísicos constituem-se, hoje, desafios candentes para a dinamização da aerogeofísica no Brasil:

- Efetuar cobertura aerogeofísica em áreas ainda não levantadas no país, através do incentivo à cooperação entre entidades nacionais atuantes na área de Geofísica, e agregar valor aos levantamentos geofísicos já efetuados, através da reinterpretação de dados antigos à luz dos novos conhecimentos tecnológicos.
- Fomentar a utilização dos métodos geofísicos tradicionais (magnetometria, gamaespectrometria e gravimetria) e de novas tecnologias em aerogeofísica, visando a sua aplicação na prospecção mineral e a conseqüente formação de conhecimento nesta área.
- Realizar estudos para obtenção de modelo de respostas aos métodos geofísicos em ambientes geológicos específicos, através da aplicação integrada dos métodos geofísicos na solução de problemas relacionados à prospecção e exploração mineral, caracterização de jazidas, recursos hídricos, preservação ambiental e prevenção e dimensionamento de acidentes ecológicos;
- Criar infra-estrutura, em termos laboratoriais, para análise e caracterização das propriedades físicas de materiais geológicos (minerais e rochas), em apoio aos diferentes métodos geofísicos atualmente utilizados, visando uma melhor adequação de seus resultados à realidade presente na subsuperfície;
- Criar banco de dados de aerolevantamentos, integrando os dados da ANP e da iniciativa privada aos dados do SGB/CPRM.
- Em relação às atividades de levantamentos geológicos executadas no país são apresentadas as seguintes prioridades:
 - Implementação pelo SGB/CPRM, de modo sistemático e contínuo, dos levantamentos geológicos, em articulação com programas e projetos comuns de outras instituições em escala adequada, de forma a promover a competitividade do setor mineral brasileiro no cenário internacional e atender as novas demandas oriundas da evolução do Conhecimento Geológico.
 - Promover o conhecimento do substrato marinho e identificar áreas de valor econômico, político e estratégico da Plataforma Continental Jurídica Brasileira.
 - Constituir comissão multidisciplinar para criação de manual técnico que padronize as informações geológicas de todas as instituições atuantes no setor mineral no território brasileiro.
 - Estruturar, no âmbito do SGB/CPRM, equipe para atuação em geologia de bacias sedimentares: treinamento de recursos humanos e apoio laboratorial.
 - Na área de Geoprocessamento são necessárias novas pesquisas visando :
 - Desenvolvimento de tecnologia para disponibilização de mapas de cartografia na Web.

- Criação do Portal Nacional de Geologia, a fim de integrar todos os dados geológicos do Brasil em um único portal geológico.
- Dinamização do processo de consistência e alimentação do Banco de dados geológicos do Brasil – GEOBANK.

6. CONCLUSÕES

- O SGB/CPRM constitui-se, já há algum tempo, numa empresa de base tecnológica, com significativa presença de pesquisa aplicada e desenvolvimento tecnológico, com geração de significativas inovações tecnológicas.
- Diversas ações desenvolvidas nos últimos anos permitiram a caracterização do SGB/CPRM como uma Instituição de C&T (ICT).
- Houve uma importante mudança de paradigma nos levantamentos geológicos efetuados pelo SGB/CPRM, tendo o banco de dados como principal desenvolvimento tecnológico e os SIGs representando as principais inovações.
- Nos mapeamentos geológicos sistemáticos, as mudanças de paradigma são evidentes em todas as etapas, desde a concepção metodológica até a disponibilização ao usuário.
- Nos mapeamentos geológicos sistemáticos ou de integração, o principal desenvolvimento tecnológico refere-se à estruturação do *Geobank*, tendo como principal inovação o SIG, gerador do mapa geológico do Brasil ao milionésimo.
- A área de recursos hídricos possui a maior vocação para a geração de tecnologias sociais, dada a sua interseção com as questões relativas à qualidade de vida.

Os principais serviços geológicos do mundo vêm, nas últimas décadas, prestando inestimáveis serviços às sociedades de que fazem parte atentando às demandas crescentes que dependem das características peculiares do meio físico. O SGB/CPRM vem correspondendo a essas tendências, buscando contribuir para o bem-estar da nossa sociedade, alicerçado nos progressos contínuos da ciência, com ações pautadas pelos princípios da responsabilidade social.

7. REGISTROS E AGRADECIMENTOS

As mudanças de paradigma (efetuadas e por consolidar) aqui relatadas, bem como os resultados positivos alcançados, representam esforços coletivos que, por justiça, têm que ser mencionados.

Em primeiro lugar registramos o envolvimento do corpo técnico da CPRM, que colocou sua experiência e excelência para alcançar estes objetivos, muitas vezes superando enormes obstáculos. Simbolizamos este crédito e agradecimento nas figuras do Dr.

Edilton Santos (Chefe do Depto. de Geologia do SGB/CPRM) e do Dr. João Henrique Gonçalves (Chefe da Divisão de Geoprocessamento do SGB/CPRM), que conduziram boa parte da execução dos novos procedimentos.

Sem a firmeza de propósitos e apoio dos Secretários Giles Carriconde e Cláudio Scliar, que souberam imprimir a marca da atuação conjunta das instituições governamentais, tais ações não seriam possíveis.

Agradecimentos especiais são devidos ao colega José Ribeiro Mendes (Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial do SGB/CPRM), pelos importantes subsídios técnicos para a confecção deste trabalho; ao Professor Dr. Iran Machado, pela criteriosa revisão e sugestões; aos colegas Prof. Dra. Noris Costa Diniz, pelas importantes contribuições e ao Dr. Gerson Matos, pelas proficuas discussões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CPRM (2005), *Relatório da administração 2005*, Rio de Janeiro, 145 p.

CPRM (2005), *Mapa geológico do Brasil ao milionésimo*, Rio de Janeiro, 41 CDs, 1 DVD.

CPRM (2006), *Mapa da Geodiversidade do Brasil* (no prelo).

Dantas, A. S. L. (2002), *Conhecimento científico e desenvolvimento tecnológico: para quem e para quem?: Ciência e Inclusão Social*, Ed. Terceira Margem, pp. 91-98, Estação Ciência, São Paulo.

Dantas, A. S. L.; Peixinho, F. C. (2006), O sistema de informações de águas subterrâneas (SIAGAS): instrumento de gestão de águas subterrâneas com aplicação da tecnologia social, *Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, Curitiba, 13 p.

Diniz, N.C.; Dantas, A. S. L.; Scliar, C. (2005), *Contribuições à política pública de mapeamento geoambiental no âmbito do levantamento geológico*, Oficina Internacional de Ordenamento Territorial Mineiro, Rio de Janeiro, Ciência y Tecnologia para el Desarrollo- CYTED/Serviço Geológico do Brasil/CPRM, 9p.

Schobenhaus, C.; Dantas, A.S.L.; Gonçalves, J.H. (2006), *Cartografia geológica do Brasil: memória dinâmica* (no prelo).

PARTE II

TECNOLOGIA MINERAL

CAPÍTULO 1

A LAVRA E A INDÚSTRIA MINERAL NO BRASIL – ESTADO DA ARTE E TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS

*Jair Carlos Koppe**

1. ESTADO DA ARTE

O mercado mundial de bens minerais vive um momento de extraordinário crescimento. A atratividade dos preços das *commodities* e a expansão da economia de diversos países emergentes redundou em forte aporte de investimentos na indústria de mineração. Observa-se a aplicação de investimentos voltados à exploração mineral, na busca de novos depósitos minerais e em projetos de empreendimentos mineiros produtivos, em vários países, entre eles o Brasil. Os grandes produtores de bens minerais, como USA, Canadá, Austrália, China, Brasil, Rússia, Índia, Chile e África do Sul, são os maiores beneficiados por essa expansão, e essa tendência deve persistir durante os próximos 15 anos.

A mineração no exterior, de um modo geral, foi desenvolvida de forma mais homogênea do que no Brasil, ocorrendo uma transição entre os métodos manuais, semimecanizados e mecanizados de lavra, com a introdução paulatina das novas tecnologias. Nessa transição, foram desenvolvidos os diferentes métodos de lavra a céu aberto e em subsolo que hoje dominam as operações e os equipamentos que integram as principais atividades de lavra, incluindo as operações de limpeza, preparação, perfuração, detonação, escavação, carregamento e transporte de minério.

Novas tecnologias de avaliação de reservas e planejamento de lavra foram desenvolvidas a partir do advento da computação. A teoria geoestatística passou a ser reconhecida como atributo primordial na avaliação dos recursos e reservas. Diversos *softwares* de planejamento de lavra e avaliação de depósitos incorporaram a geoestatística e algoritmos, que facilitaram e melhoraram o desenho de cavas. A visualização em três dimensões tornou mais fácil o planejamento e a compreensão do comportamento dos depósitos minerais.

Os principais países que atuam de forma decisiva e participam intensamente do mercado mundial de bens minerais são: USA, Canadá, Austrália, África do Sul, Chile, Rússia, China e Índia. Merecem destaque, também, pelo grande desenvolvimento tecnológico, os países escandinavos Suécia e Finlândia, onde foram registrados grandes avanços no planejamento de lavra em larga escala, de equipamentos de perfuração, carregamento e transporte em subsolo e de automação.

* Professor do Departamento de Engenharia de Minas da UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

As grandes minas a céu aberto e até mesmo minas de porte médio, nos USA, Austrália e Canadá, caracterizam-se por uma intensa utilização de equipamentos de grande porte para as operações de carregamento e transporte, perfuração com furos de diâmetros grandes (> 250 mm), explosivos do tipo *blend* bombeados, utilização de GPS, gerenciamento *on-line* das operações de lavra e pouca mão-de-obra. Os métodos de lavra mais utilizados são o método de lavra em tiras ou fatias (*strip mining* e *cast mining*) e em cava (*open pit mining*), esse último ilustrado na Figura 1. A Figura 2 ilustra o porte de equipamentos utilizados na Mina de Fort Knox, no Alaska.



Figura 1 – *Open pit mining* em Fort Knox, Alaska, Kinross Gold Corporation

Os países que mais se destacam nas operações de lavra subterrânea são: Austrália, USA, Canadá, África do Sul, Chile, Suécia e Finlândia. O desenvolvimento de métodos de câmaras e pilares (*room-and-pillar*), subníveis (*sublevel stoping*), *longwall*, desabamento (*block caving* e *sublevel caving*) e corte e enchimento (*cut-and-fill*, *backfill*), com avançada mecanização e automação, permite a produção de minério em larga escala. Depósitos de carvão, cobre, ouro e sulfetos polimetálicos são, de um modo geral, lavrados por essas técnicas. Mineradores contínuos são muito utilizados nas lavras de carvão, permitindo uma grande produção.



Figura 2 – Operação de carregamento e transporte na Mina de Fort Knox, no Alaska

Em termos gerais, a atividade mineral tem expressiva participação na economia e, em alguns países, como o Chile e a Austrália, a participação da produção mineral ultrapassa 20% do seu Produto Interno Bruto (PIB).

Em 2004, a mineração no Brasil atingiu (Neves *et al.*, 2005) cerca de 4,5% do PIB nacional e vem crescendo de forma constante na última década. Aproximadamente 2370 minas estão em operação no país, lavradas preferencialmente a céu aberto e abrangendo uma grande diversidade de bens minerais (mais de 57 variedades), desde alumínio até zircônio. De acordo com a classificação do DNPM (2005), Tabela 1, as grandes minas representam apenas 3,97% do total, as médias correspondem a 23,41% e as pequenas minas a 72,62% do total de minas. Portanto, a imensa maioria das minas é representada por pequenas minerações, cuja lavra está centrada, na maioria dos casos, em agregados da construção civil (areia, cascalho e brita), com 1646 minas correspondendo a cerca de 70% do total de minas.

Tabela 1 – Classificação das minas pelo porte da produção (DNPM, 2005)

Produção ROM t/ano	Classificação das minas	Número de minas
> 1.000.000	Grandes	94
100.000 a 1.000.000	Médias	554
< 100.000	Pequenas	1719

Cinco substâncias respondem por aproximadamente 80% de toda produção mineral brasileira: petróleo, ferro, gás natural, pedra britada e ouro. No entanto, se retirarmos petróleo e gás natural, a relação de substâncias para atingir esse mesmo patamar de produção mineral, considerando-se o valor da produção, sobe para 11: ferro, areia, pedra britada e cascalho, alumínio, ouro, calcário, níquel, água mineral, rocha fosfática, caulim e carvão mineral (Tabela 2). O ferro, com produção ROM da ordem de 260 milhões de toneladas/ano, é a principal substância lavrada no Brasil, seguida pelos agregados de construção, areia e brita, com 250 milhões de toneladas/ano.

Tabela 2 – Valor da produção mineral brasileira comercializada (AMB, 2005)

Substância	(R\$)
Ferro	7.259.584.317
Areia	2.435.465.321
Pedras britadas e Cascalho	2.249.079.431
Alumínio	1.204.538.030
Ouro	1.122.641.011
Calcário	1.013.059.046
Níquel	837.024.528
Água Mineral	648.558.037
Rocha Fosfática	608.857.156
Caulim	605.352.136
Carvão Mineral	424.428.761
Subtotal	18.408.587.774
Total da Produção Nacional	22.859.633.960

A lavra a céu aberto no Brasil é desenvolvida essencialmente em encostas (Figura 3), cavas, tiras ou fatias (Figura 4) e *placers*. A maioria das operações é de pequeno porte, no entanto, algumas minas, principalmente as de minério de ferro e carvão, são enquadradas como sendo de grande porte. De um modo geral, as operações de lavra a céu aberto no Brasil não diferem das operações de lavra no exterior. As principais diferenças dizem respeito ao porte das operações, incluindo diâmetro de perfuração, técnica de desmonte, equipamentos de carregamento e transporte. Além de possuir um menor número de minas de grande porte, o Brasil também possui menor quantidade de lavras em cava do que os países com maior tradição em mineração.



Figura 3 – Lavra em encosta na mina de ouro da Rio Paracatu Mineração, Paracatu, Minas Gerais, Kinross Gold Corporation



Figura 4 – Lavra em tiras em mina de carvão da Copelmi Mineração, Mina do Recreio, Butiá, Rio Grande do Sul

Embora as grandes empresas de mineração já tenham incorporado técnicas geoestatísticas na avaliação de seus depósitos aplicando-as também ao planejamento mineiro, a maioria das minas, por não utilizarem essas técnicas, opera sem um conhecimento adequado de seu depósito e sem planejamento de lavra em curto, médio e longo prazo.

A altura de bancadas é bastante variável. Observa-se, no entanto, a tendência de padronização das bancadas em 15 m de altura, acompanhando a média de altura de bancada observada no exterior. Por outro lado, nas pedreiras para brita, essa tendência não é observada na maioria dos casos, e as bancadas, em geral, são mais altas, atingindo muitas vezes alturas superiores a 20 metros. Nessas situações, os resultados de lavra são, geralmente, inadequados aos objetivos pretendidos, resultando em fragmentação grosseira e geração de grandes matacos (Figura 5), que induzem uma maior atividade na britagem e nas operações de desmorte secundário, aumentando os custos das pedreiras.



Figura 5 – Geração de grandes matacos no desmorte de rochas

Na maioria das minas a céu aberto, não existe um planejamento adequado em relação ao porte da operação e tamanho de equipamentos de perfuração, escavação, carregamento e transporte. Poucas minas conseguem harmonizar essa relação redundando em desperdício, diminuição de produtividade e aumento de custos. Nas pedreiras, observam-se freqüentemente alturas de bancadas incompatíveis com a capacidade da perfuratriz e com o porte do equipamento utilizado para carregamento do material fragmentado (Figura 6). Poucas minas brasileiras utilizam britadores nas

cavas, equipamento que facilitaria o transporte do material fragmentado, reduzindo custos e aumentando a produtividade das operações que se seguem.



Figura 6 – Altura de bancada em pedreira de basalto no Rio Grande do Sul. Observa-se a incompatibilidade da altura de bancada e porte de equipamentos de perfuração, carregamento e transporte

mentais. A totalidade da lavra de rochas ornamentais ocorre a céu aberto e está distribuída pela maioria dos estados brasileiros. Destacam-se na produção de rochas ornamentais os estados do Espírito Santo, Minas Gerais e Bahia, mas muitos outros estados têm apresentado um crescimento significativo, principalmente no Nordeste, incluindo Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte. Inúmeras frentes de lavra são responsáveis por produções que vão de poucos metros cúbicos a 500 m³/mês. Poucas empresas conseguem produzir valores em torno de ou superiores a 1000 m³/mês. A lavra, de um modo geral, não segue um planejamento pré-definido, e a exploração prévia é praticamente inexistente, o que resulta muitas vezes em um grande desperdício de material e uma baixa produtividade do setor. Com poucas exceções, as técnicas de lavra são artesanais e pouco mecanizadas (Figura 7). Paulatinamente estão sendo introduzidos equipamentos e métodos de lavra que permitirão um aumento da produtividade e melhor ordenação dos trabalhos (Figura 8).

A fragmentação do material é um aspecto que assume importância fundamental nas operações mineiras que se seguem ao desmonte de rocha. Esse assunto não é abordado, no entanto, de forma técnica e compatível com o porte das atividades da maioria das minas brasileiras. Com raras exceções, a busca de solução para a fragmentação é feita de forma empírica e sem controle de resultados.

Outro setor importante da mineração brasileira, que vem crescendo muito nos últimos anos, é o setor de rochas orna-



Figura 7 – Lavra de rochas ornamentais em matacões, Rio Grande do Sul. Pedreira desenvolvida sem planejamento e pouco mecanizada



Figura 8 – Lavra em maciços, Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul

A lavra de *placer* compreende a lavra de sedimentos inconsolidados nos aluviões, dunas, praias, lagos e outros depósitos sedimentares. No Brasil, os principais bens minerais lavrados são: ouro, cassiterita, ilmenita, rutilo, zircão, monazita e diamante. Atividades de garimpeiros, por utilizarem métodos que fazem uso de dragas, desmonte hidráulico e bombeamento por sucção, foram responsáveis por grande parte da lavra de *placer*. De um modo geral, as empresas que atuam nesse tipo de lavra utilizam dragas de pequeno porte. Alguns depósitos poderão futuramente utilizar dragas de maior porte, à semelhança de operações em *placers* na Malásia e Austrália. A lavra de areia para construção civil desenvolve-se de forma similar e é muito numerosa nos grandes centros urbanos.

Alguns depósitos sedimentares, incluindo carvão, caulim e bauxita, são lavrados pelo método de lavra em tiras ou fatias (*strip mining*), dentre eles estão algumas minas de grande porte. A lavra de bauxita no Pará foi concebida utilizando-se *draglines* de 17 a 26 jardas cúbicas (Mineração Rio do Norte), de capacidade de caçamba para remoção do material de cobertura e sistema retroescavadeira hidráulica 14m³/caminhão, fora de estrada (100t), para carregamento e transporte do minério. Posterior expansão foi efetivada empregando-se tratores D-11, seguindo sistema desenvolvido pelos norte-americanos. A maior *dragline* em operação de descobertura no Brasil é a BE, de 38 jardas cúbicas, utilizada na mina de carvão de Candiota, no Rio Grande do Sul. No entanto, a CRM está estudando a possibilidade de efetivar a mudança do sistema visando melhorar a produtividade e diminuir os custos. Outra mina de grande porte de carvão no Rio Grande do Sul, a Mina do Recreio, emprega o sistema escavadeira/caminhão com descobertura apoiada por trator D-11, com excelentes resultados.

As operações unitárias de lavra a céu aberto incluem limpeza, remoção da cobertura, perfuração, detonação, escavação, carregamento e transporte. Considerando-se a diversidade de operações de lavra no Brasil, vários sistemas podem ser empregados nas diferentes operações. Em geral, a descobertura é feita com trator de esteira, carregadeira frontal ou escavadeira e caminhão, seguindo-se a operação de desmonte de rocha, que pode ser mecânica ou utilizar a combinação perfuração/detonação. Na seqüência ocorre o carregamento com carregadeiras frontais, escavadeiras ou *shovels* e transporte por caminhões. Poucas operações introduziram transporte por correias. *Draglines* também são utilizadas nas operações de descobertura. Mineradores contínuos a céu aberto não são empregados.

Nas operações de desmonte de rocha com utilização de explosivos, as empresas brasileiras têm evoluído pouco em relação à adoção de diâmetros maiores na perfuração. Os explosivos nitroglicerinados dominaram um bom período no Brasil e foram recentemente substituídos por *Ammonium Nitrate Fuel Oil* (ANFO) e emulsões, explosivos mais consumidos no exterior. A prática de empregar mais explosivos nas lavras brasileiras ainda não está sendo adotada, buscando-se uma economia que, ao

final do processo, pode onerar os custos de produção da mina como um todo. Convém ressaltar que os explosivos ainda são a fonte de energia mais barata disponível para fragmentação de rochas e que os processos que se seguem ao desmonte (carregamento, transporte e cominuição) dependem muito da eficiência do mesmo.

A atividade de lavra subterrânea no Brasil é muito pouco desenvolvida existindo um número restrito de minas subterrâneas, cerca de 30 minas, que representam menos de 2% das minas existentes no país (não foram consideradas as atividades de garimpo em subsolo). Essa situação deverá mudar no futuro à medida que novos depósitos de metálicos em profundidade forem descobertos. Os métodos de lavra mais empregados no Brasil são: câmaras e pilares (*room-and-pillar*), subníveis (*sublevel stoping*), corte e enchimento (*cut-and-fill*), VCR (*vertical crater retreat*) e desabamento (*sublevel caving*).

Metade das minas subterrâneas do Brasil está concentrada na produção de carvão nos estados de Santa Catarina (12) e Paraná (1), onde o método dominante é o de câmaras e pilares. As profundidades das minas variam de 40 a 200 metros, sendo que a Carbonífera Metropolitana está estudando a possibilidade de desenvolver a lavra em profundidades maiores (300 metros). Para evitar subsidência, o DNPM restringiu a recuperação de pilares. No caso do carvão, a lavra é desenvolvida a partir do desmonte de rocha com emprego de explosivos, prática distante da lavra mecanizada em atividade nos USA. Algumas tentativas de utilização de mineradores contínuos foram feitas sem muito sucesso. No Rio Grande do Sul, chegou a ser empregado o método de *longwall*, posteriormente abandonado devido essencialmente à característica inapropriada daquele depósito de carvão para aplicação desse método.

O método de câmaras e pilares também é empregado na mina de potássio Taquari-Vassouras da CVRD, em Sergipe, considerada uma das mais modernas e produtivas minas subterrâneas do Brasil. Nesse caso, o desmonte é feito com mineradores contínuos e a operação de transporte/carregamento, por *shuttle cars* e correia transportadora. Algumas minas de metálicos como a Mina de Urucum (manganês), da CVRD, no Mato Grosso do Sul; a Mina de Morro Agudo (chumbo/zinco), da CMM, em Minas Gerais e parte da Mina de Crixás (ouro), em Goiás, também utilizam o método de câmaras e pilares.

O método de subníveis é outro método de lavra popular no Brasil. A mina Fazenda Brasileiro (ouro) e as minas da Mineração Vale do Jacurici (cromita), na Bahia, e as minas Fortaleza de Minas (níquel) e São Bento, em Minas Gerais, são os exemplos mais importantes da aplicação desse método. O desmonte é feito com explosivos e o carregamento/transporte, com LHDs e caminhões de teto rebaixado.

O método de corte e enchimento é desenvolvido em algumas minas de ouro brasileiras (Cuiabá e São Bento, em Minas Gerais, e na mina de Crixás, em Goiás) e em mina de fluorita, em Santa Catarina. O método utiliza material de enchimento dos vazios, que pode ser estéril (enchimento mecânico) ou rejeito de planta de beneficiamento

(*backfill*), caracterizando o rejeito hidráulico e admitindo um bom grau de mecanização. A abertura de uma nova mina de carvão em Santa Catarina, de propriedade da Empresa Rio Deserto, prevê a adoção do método de *backfill*, o que amenizaria os problemas ambientais na área.

O método VCR, desenvolvido no Canadá, é pouco empregado no Brasil. A Mina de Caraíba, na Bahia, tem empregado esse método aliado a uma variação do método de sub-níveis com resultados positivos.

O método de desabamento é pouco empregado no Brasil. As minas de cromita, na Bahia, a mina Fazenda Brasileiro da CVRD e a mina de Caraíba, também na Bahia, utilizaram, em algumas situações, esse método.

No subsolo, as operações unitárias em rocha dura se caracterizam pela adoção de sistemas sem trilhos, dos quais participam carretas de perfuração do tipo jumbo, carregadeiras do tipo LHDs e caminhões rebaixados, já em rochas moles, podem ser utilizados mineradores contínuos, *shuttle cars*, correias transportadoras e mesmo caminhões rebaixados.

Problemas de ventilação, higiene, segurança do trabalho e mecânica de rochas são comuns à maioria das minas subterrâneas no Brasil. Estudos para melhoria do planejamento e desenvolvimento de operações de lavra são raros, e grande parte do planejamento é assistida por consultores do exterior ou nacionais, baseados essencialmente na experiência prática observada em outros países.

O cenário apresentado da mineração brasileira reflete a dicotomia da sociedade como um todo, na qual convive o lado desenvolvido e rico com o lado subdesenvolvido e pobre. Na mineração essa relação também é observada, por exemplo, pífio ou quase inexistente desenvolvimento tecnológico nas atividades de lavra nas pequenas empresas ou mesmo atividades garimpeiras com técnicas artesanais comparadas a um expressivo desenvolvimento tecnológico na lavra em algumas grandes minerações.

2. AVANÇOS CIENTÍFICOS E INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS

Os principais avanços científicos e inovações tecnológicas na mineração, nos países de maior tradição mineira, estão relacionados com a intensa mecanização e automação das operações de lavra, tanto a céu aberto quanto em subsolo.

O desmonte de rochas a céu aberto caminha para a adoção de grandes diâmetros de perfuração, diminuindo assim a quantidade de furação e o custo associado. Os explosivos do tipo *blends* tendem a predominar, sendo que o carregamento deverá ser efetivado a partir de caminhões com bombeamento do explosivo para os furos de detonação e com operação de um único homem. Este comandará o enchimento dos furos e a mescla de explosivos, essencialmente ANFO e emulsões, a partir dos quais se fará o explosivo do tipo *blend*. A adoção de detonadores eletrônicos fará com que a

iniciação dos fogos seja feita com maior precisão, melhorando, de um modo geral, a fragmentação e os problemas ambientais (ruído e vibração).

Estudos estão sendo realizados para obtenção de dados sobre as características mecânicas do maciço a partir da perfuração. Informações, como dureza da rocha, poderão ser transmitidas *on-line* para o escritório de apoio, que poderá utilizá-las para otimização do plano de fogo.



Figura 9 – Evolução dos equipamentos de escavação e carregamento observando-se a tendência de aumento do porte

Equipamentos de grande porte foram adotados em céu aberto provocando os seguintes efeitos: redução da quantidade de caminhões, diminuição da mão-de-obra, aumento da produção e produtividade, acompanhado de uma significativa redução de custos, tornando esses países mais competitivos no mercado internacional (Figuras 9 e 10). No Brasil, devido a dificuldades pontuais, mesmo em minas de grande médio porte, a adoção de caminhões de menor porte ou rodoviários adaptados tem sido uma prática usual. A tendência de terceirização de serviços no Brasil tem sido uma constante.



Figura 10 – Adoção de equipamentos de grande porte pela Companhia Vale do Rio Doce nas operações de ferro em Carajás

A utilização de GPS e pesagem tem agilizado imensamente as operações de carregamento e transporte. Em tempo real é possível conhecer a quantidade e qualidade do minério lavrado. Sistemas de *dispatching* direcionam os caminhões para as escavadeiras/carregadeiras otimizando a utilização dos equipamentos. No Brasil, esses sistemas ainda não têm ampla utilização. Custos envolvidos na aquisição de *softwares* importados podem ser a principal causa de uma certa contenção na sua utilização.

Na lavra subterrânea, a tendência é a mecanização e automação, via a adoção de eletrônica embarcada nos equipamentos de perfuração, carregamento e transporte, procurando reduzir os riscos, principalmente de carregamento nos realces. Estudos de mecânica de rochas tornam-se muito valiosos para garantir a segurança das aberturas subterrâneas. Nesse sentido, medidores de deformação/tensão poderão ser instalados enviando informações *on-line* para a equipe técnica, que poderá assim acompanhar o comportamento mecânico do maciço. O reforçamento do maciço é feito principalmente com parafusos de teto, cabos, concreto projetado e telas.

A utilização de mineradores contínuos também é uma tendência observada, buscando-se diminuir a utilização do desmonte de rochas com explosivos mesmo em rochas duras. A prática já é comum nas rochas moles, o que acarreta uma maior produção nas minas subterrâneas. Infelizmente, no Brasil, mesmo nas minas de carvão, onde a adoção de mineradores contínuos seria previsível, esse sistema não é utilizado. O monitoramento automático das condições ambientais relativas ao maciço rochoso e de ventilação não é muito empregado no momento, mas tende a se tornar uma prática comum nas minas em subsolo.

O planejamento de lavra baseado na modelagem dos atributos geometalúrgicos de um depósito está em pleno desenvolvimento, sustentado pela introdução de inúmeros *softwares* desenvolvidos essencialmente no exterior. A geoestatística assume importância vital nessa área. Diversos grupos atuam no exterior enfocando este tema para a mineração tradicional e no petróleo. No Brasil, poucos grupos dedicam-se a esta área de conhecimento.

A evolução da mineração mundial busca uma total integração dos sistemas de mineração, utilizando sistemas de gerenciamento de mina que envolvem programas modulares, equipamentos GPS de alta precisão, equipamentos de *dispatch* e monitoramento *on-line* dos sistemas operacionais (Figura 11).

Fundamental também é destacar os novos conceitos em vigor na mineração mundial, que incluem, fortemente, educação e treinamento das equipes mineiras, desde operadores até técnicos de nível superior. Mineiros educados e treinados implicam em melhorias nas operações mineiras, nas condições de segurança e no ambiente de trabalho.

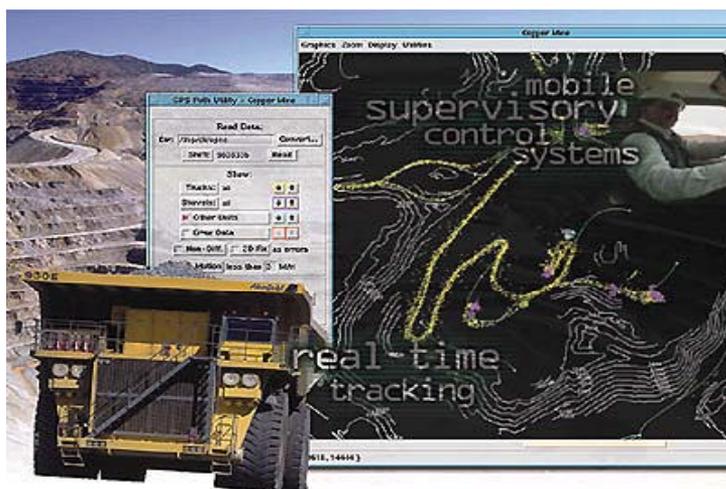


Figura 11 – A tendência mundial: introdução de sistemas de gerenciamento de mineração envolvendo o controle total das operações mineiras

3. AGENDA DE PRIORIDADES – BRASIL 2015

Considerando o cenário internacional e nacional, alguns pontos merecem destaque para a definição de prioridades para os desafios tecnológicos na área de lavra de minas. O planejamento de lavra, a partir do tratamento das informações disponíveis da jazida, é hoje em uma das ferramentas mais importantes para uma maior competitividade e avanços tecnológicos. O planejamento constitui-se de:

- Desenvolvimento de pesquisa e capacitação de recursos humanos na área de modelagem de depósitos minerais. Utilização da geoestatística para definição de recursos e reservas e aplicação no planejamento de lavra de curto e médio prazo. Desenvolvimento da certificação e auditoria de recursos e reservas. No Brasil existem poucos grupos que trabalham com geoestatística. Alguns desses grupos estão voltados essen-

cialmente ao desenvolvimento de pesquisa na área de petróleo havendo necessidade de apoiar-se a formação de novos grupos e a consolidação dos já existentes. As empresas por sua vez, também, necessitam qualificar o próprio pessoal que atua nessa área.

- Desenvolvimento de pesquisa operacional para construção de programas, adaptados à realidade nacional, para o gerenciamento de equipamentos de carregamento e transporte aplicados à lavra a céu aberto e em subsolo. O desenvolvimento desse setor pode facilitar a utilização dessas ferramentas em empresas de médio porte, tornando-as mais competitivas e reduzindo custos operacionais.
- Desenvolvimento de sistemas de monitoramento e controle *on-line* de propriedades geometalúrgicas e geomecânicas, baseados na tecnologia GPS, auxiliando diretamente o planejamento de lavra e o controle efetivo das operações. Essa tendência mundial precisa ser inserida nas minas de grande e médio porte do Brasil, pois se trata de tecnologia que busca otimizar as operações de lavra.
- Desenvolvimento de sistemas de automação e robotização para operações unitárias na lavra a céu aberto e em subsolo. A redução de riscos nos trabalhos em subsolo e diminuição de custos de mão-de-obra é um dos focos principais das empresas no exterior.
- Desenvolvimento de pesquisa na área de fragmentação de rochas, buscando otimizar os processos de desmonte de rochas e operações de cominuição na planta de beneficiamento. Sistemas de análise de imagens *on-line* do minério fragmentado podem auxiliar o processo em tempo real.
- Pesquisas na área de desmonte de rochas envolvendo explosivos e acessórios (desenvolvimento de *blends* e espoletas eletrônicas), perfuração, controle de vibrações e ruídos, utilização de unidades bombeáveis e aplicação de mineradores contínuos nas operações de lavra, tanto a céu aberto como em subsolo.
- Pesquisa na área de mecânica de rochas envolvendo estabilidade de taludes a céu aberto e dimensionamento de vias subterrâneas, com desenvolvimento de equipamentos para monitoramento *on-line* de deformações e tensões. Diversos problemas de rompimento de pilares e queda de teto estão sendo observados, por exemplo, nas minas de carvão de Santa Catarina, onde, de um modo geral, pouco se deu importância à mecânica de rochas. A ruptura generalizada de pilares tem levado ao abandono de algumas minas. Outra preocupação recente envolve a estabilidade das barragens de rejeito e demanda, também, desenvolvimento de pesquisa.
- Desenvolvimento de sistemas de monitoramento *on-line* de atmosfera de mina em lavra subterrânea integrados a programas para análise do sistema de ventilação. Estudos sobre a atmosfera de mina, no Brasil, são muito incipientes e necessários ao bom desenvolvimento das operações e à saúde dos mineiros.

- Desenvolvimento de pesquisas para otimização de amostragem, seqüenciamento e homogeneização de pilhas de minério.
- Desenvolvimento de técnicas para reconciliação de teores e rastreabilidade de minério.
- Desenvolvimento de pesquisas em sistemas de gerenciamento de mina envolvendo programas modulares, equipamentos GPS de alta precisão, equipamentos de *dispatch* e monitoramento *on-line* dos sistemas operacionais, buscando integração entre as operações de lavra e beneficiamento.
- Desenvolvimento de pesquisas nas áreas de higiene, saúde e segurança do trabalho.

4. PONTOS FORTES E GARGALOS QUE INIBEM O DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO NO PAÍS

Nove cursos de engenharia de minas no Brasil, sete consolidados (Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Universidade de São Paulo - USP, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP, Universidade Federal da Bahia - UFBA, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE e Universidade Federal de Campina Grande - UFCG) e dois em implantação (Universidade Federal do Pará – UFPA e Universidade Estadual de Goiás - UEG), são responsáveis pela formação dos engenheiros de minas que irão atuar nas empresas de mineração. Os cursos oferecem uma formação geral e atendem os quesitos básicos para que os engenheiros de minas atuem na pesquisa mineral, lavra e tratamento de minérios. A formação de aproximadamente 60-80 engenheiros de minas por ano, no presente momento, não é suficiente para atender a demanda do mercado interno. Esse quadro deverá permanecer inalterado nos próximos 10 anos. Embora as universidades federais brasileiras tenham sofrido uma redução de verbas significativa, alguns grupos de pesquisa se empenharam na melhoria da qualidade dos laboratórios e bibliotecas nessas universidades. A UFRGS, a UFMG e a USP destacaram-se nesses aspectos e contam hoje com bons laboratórios de tratamento de minérios e de lavra de minas. As bibliotecas têm consultas *on-line* e apoio da CAPES, que disponibiliza uma grande quantidade de periódicos que podem ser acessados pelos alunos das universidades. A qualidade dos engenheiros de minas formados nas melhores universidades no Brasil é igual ou, na maioria dos casos, superior a qualidade dos engenheiros de minas formados no exterior.

Cinco universidades apresentam programas de pós-graduação que abordam temas da área de lavra de minas: UFRGS, UFMG, UFOP, UFCG e USP. As duas primeiras têm os maiores conceitos na avaliação da CAPES, e os programas estão solidamente consolidados. As demais vêm melhorando paulatinamente nas avaliações trianuais da CAPES. A UFRGS tem desenvolvido diversos projetos de pesquisa na área de lavra de minas, envolvendo geoestatística, planejamento de lavra, pesquisa operacional, mecânica de rochas, ventilação, desmonte de rochas, controle de vibrações e desenvolvimento de

equipamentos para monitoramento. Existe forte interação do grupo de pesquisa com empresas de mineração, que têm financiado teses acadêmicas e projetos de pesquisa de cunho científico-tecnológico. Grupos de pesquisa da UFMG e USP têm trabalhado com mecânica de rochas, planejamento de lavra e desmonte de rochas. As outras universidades estão com desenvolvimento incipiente nessas áreas.

Considerando-se que não existem, no Brasil, centros ou institutos de pesquisa específicos voltados para estudos e pesquisas na área de lavra (o CETEM vem desenvolvendo pesquisas no setor de rochas ornamentais, mas caracterizou-se e ficou conhecido por sua atuação voltada ao beneficiamento de minérios e meio ambiente), os Departamentos de Engenharia de Minas das universidades brasileiras têm a responsabilidade de desempenhar esse papel. Nesse sentido, poderia ser incentivada a criação de um centro de referência na área de lavra.

As linhas de financiamento de pesquisa na área de lavra, por parte do governo, são muito tímidas. O CNPq tem liberado recursos individuais aos pesquisadores nos editais universais. O Fundo Setorial Mineral infelizmente não conta com recursos expressivos. Esses recursos são insignificantes se comparados aos destinados para os fundos setoriais de petróleo e energia. Além disso, o Fundo Setorial Mineral não abriu nenhum edital ou disponibilizou recursos para a área de lavra ou tecnologia mineral nos últimos anos, aparentemente um posicionamento contraditório considerando-se a origem dos recursos para a composição desse fundo. A existência de maior disponibilidade de recursos para a área de petróleo, por exemplo, induziu duas universidades (USP e UFBA) a criarem um curso na área de engenharia de petróleo, gerenciados pelos departamentos de engenharia de minas.

No Diretório dos Grupos de Pesquisa, Plataforma Lattes do CNPq, estão registrados seis grupos de pesquisa que atuam na área de lavra de minas. Um grupo na UFRGS, um na USP, dois na UFMG (sendo um grupo específico para pegmatitos), um grupo na UFOP, um na UFCG. Na área de mecânica de rochas aplicada à mineração há um grupo de pesquisa na USP, um na UFRGS, um na UFCG e outro na UFMG. Na área de geoestatística e planejamento mineiro existem poucos grupos ligados às universidades. O principal grupo está localizado na UFRGS. Foram identificados ainda: um grupo na USP, um na UFMG e outro na UFCG, existindo ainda alguns consultores. De um modo geral, a geoestatística tem sido bem empregada na cubagem de depósitos minerais deixando a desejar na parametrização das reservas aplicada ao planejamento de lavra, tanto a céu aberto como em subsolo.

Face ao cenário apresentado há, portanto, necessidade de investimento na consolidação dos grupos existentes e incentivos para criação de novos grupos. O desenvolvimento global da mineração no Brasil depende da existência desses grupos, caso contrário a dependência externa será mantida e ampliada. Ações, como a realização do Congresso Brasileiro de Lavra a Céu Aberto e de Minas Subterrânea, têm ajudado a difundir a tec-

nologia nacional na mineração. Graças à coordenação do Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM e da UFMG esse congresso tem ganhado consistência e alcançado muito boa repercussão nas empresas e academia.

O treinamento de técnicos de mineração de nível médio e de engenheiros de minas é uma ação indispensável para a melhoria da mineração como um todo. Os engenheiros de minas tendem a ficar muito tempo nas unidades mineiras, dispondo de pouco tempo para realização de cursos de mestrado ou doutorado. Dessa forma, seria importante o desenvolvimento de cursos de curta duração a serem conduzidos pelas universidades, beneficiando os profissionais das empresas mineiras. Cursos do tipo mestrado profissional (MBA) ou de especialização seriam mais adaptáveis às condições de trabalho dos engenheiros de minas. Apoio de ferramentas de ensino à distância, aliado a atividades presenciais nas minas ou nas universidades, poderiam ser uma solução para o problema de falta de tempo ou de disponibilidade dos engenheiros para realizarem os programas de qualificação profissional e treinamento. Os arranjos produtivos locais (APLs) demandam, também, uma maior atividade de treinamento na área de lavra, tanto para técnicos vinculados a esse setor como para os mineiros ou garimpeiros.

Em relação à mecanização das operações, tanto a céu aberto como em subsolo, existem sérias dificuldades na importação de equipamentos, peças e materiais de consumo e, também, na manutenção. Essa situação permitiu, por outro lado, que algumas empresas nacionais desenvolvessem seus próprios equipamentos e materiais. Embora a competição no mercado internacional seja extremamente desigual neste momento, não é descartável que ações possam ser feitas no sentido de incentivar que empresas nacionais passem a atuar em alguns setores específicos de desenvolvimento e fabricação de equipamentos.

5. ASPECTOS AMBIENTAIS

A mineração tem sido vista como um dos grandes vilões do meio ambiente. A imagem de que a lavra destrói o ambiente, promovendo desmatamento, alterações topográficas, erosão e poluição dos rios, ar e solo, foi transmitida nas últimas décadas e influenciou tremendamente a opinião pública a esse respeito, tanto no Brasil quanto no exterior. Por consequência, os órgãos ambientais passaram a fazer uma fiscalização rigorosa das empresas de mineração, situação bastante diferente, por exemplo, do comportamento dos mesmos órgãos frente a poluidores tradicionais, como agricultura e prefeituras municipais.

As restrições foram de tal ordem que, em muitos países, praticamente inviabilizaram a atividade de mineração. A Europa foi duramente atingida e hoje poucos países ainda têm mineração significativa. Na Austrália muitas áreas foram isoladas como reservas ecológicas onerando grandes reservas de bens minerais, o mesmo ocorrendo nos EUA.

Infelizmente essa visão distorcida da mineração e de questões de políticas de governo, aliada à incompetência de técnicos que estão vinculados às instituições de fiscalização do meio ambiente, pode comprometer o desenvolvimento da mineração. Por exemplo, no governo do período 1997-2000, no Rio Grande do Sul, a fundação de proteção ambiental (FEPAM) expediu um mínimo de novas Licenças de Operação (uma para lavra de água mineral e uma para lavra de depósito de argila). Um grande investimento para lavar areias ilmeníticas no litoral gaúcho, em uma região completamente despovoada e inóspita, foi abandonado por problemas com o Ministério Público, que inviabilizou o projeto a partir dos possíveis problemas ambientais que poderiam advir da sua implantação.

Desde a metade da década de 80, a situação vem sendo modificada paulatinamente e, hoje em dia, as empresas de mineração têm praticado atividades de lavra com os devidos cuidados ao meio ambiente. A maioria das empresas em atividade dispõe de Estudos de Impacto Ambiental e Planos de Controle Ambiental que têm permitido uma minimização dos impactos ao meio ambiente. Grandes empresas como a CVRD têm praticado uma política ambiental que merece elogios, sendo destaque inclusive no exterior. A atuação da CVRD na Amazônia aponta para o desenvolvimento sustentável da floresta via mineração, situação contrastante com os estragos efetivados pela agricultura e pecuária naquela região.

Na Região Sul a mineração de carvão deixou um legado comprometedor, principalmente no estado de Santa Catarina, com geração de drenagem ácida e destruição da paisagem, influenciando uma grande área superficial. As empresas foram autuadas pelo poder público e hoje estão tentando recuperar os danos causados no passado, além de executarem suas operações seguindo as diretrizes estabelecidas pelas fundações de controle ambiental. No entanto, no Rio Grande do Sul, as empresas de mineração de carvão são modelo na recuperação das áreas degradadas, estabelecendo novos paradigmas nessa área (Figura 12).

As atividades garimpeiras, de um modo geral, ajudaram na propagação de uma imagem desalentadora da mineração em relação a preservação do meio ambiente. Muitas vezes a questão social se superpôs aos aspectos de preservação do meio ambiente e essa situação serviu de argumentos a favor dos ambientalistas contra a mineração.



Figura 12 – Desenvolvimento da lavra de carvão (esquerdacentro) na Mina do Recreio, Rio Grande do Sul, processo de recuperação em andamento (direita e plano inferior) e área reflorestada (topo-esquerda)

Um outro caso particular da mineração está localizado nas pedreiras de rochas ornamentais. Esse tipo de atividade causa, como regra geral, um grande impacto visual e efeitos secundários, como: erosão, modificação de topografia e desmatamento. Como as empresas em sua maioria têm estrutura familiar e são de pequeno porte, a recuperação torna-se onerosa e nem sempre é seguida. Em alguns estados, como no Espírito Santo, certos privilégios foram concedidos a essa atividade, e a mineração cresceu significativamente. Em outros estados, como no Rio Grande do Sul, a atividade praticamente foi eliminada pelos órgãos de controle do meio ambiente.

Embora os impactos ambientais sejam significativos e apresentem particularidades para cada setor da mineração, a recuperação e readequação das áreas lavradas podem ser efetivadas. Os resultados muitas vezes são fantásticos, integrando as áreas lavradas ao meio ambiente e retornando as mesmas para outras atividades econômicas (Figura 13). Um exemplo importante é a recuperação de áreas efetivada pela empresa Copelmi Mineração no Rio Grande do Sul, onde as áreas retornaram aos proprietários para utilização econômica, como reflorestamento e agropecuária (Koppe *et al.*, 2005).

O Plano de Fechamento de Mina deve contemplar todos os aspectos, desde a recuperação das áreas degradadas até a sua integração à economia regional. As implicações econômicas têm que ser consideradas nos custos de operação das minas, e os procedimen-

tos de recuperação devem ser desenvolvidos desde a etapa inicial de implantação das operações mineiras.



Figura 13 – Área de antiga mina de carvão na região de Butiá, Rio Grande do Sul, recuperada e devolvida aos proprietários do solo

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DNPM (2001). *O universo da mineração brasileira – 2000. a produção das 1.862 minas no Brasil*, Publicação realizada pela CEDEM, do Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília, 32p.
- DNPM (2006), *Anuário Mineral Brasileiro – 2005*, Publicação realizada pelo Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília. (www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/AMB2005/2_Parte_I%202005%20Brasil.pdf).
- Koppe, J.C.; Grigorieff, A.; Costa, J.F.C.L. (2005). *Environmental reclamation practice in a Brazilian coal mine – an economical approach*, *Coal 2005 – 6th Australasian Coal Operator's Conference*, Brisbane, p. 277-282.
- Neves, C.A.R.; Souza, A.E.; Oliveira, M.R. & Barboza, V.L.A. (2005), *Informe Mineral – Desenvolvimento & Economia Mineral*, Publicação do Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília, 28p.

CAPÍTULO 2

COMINUIÇÃO

*Homero Delboni Jr. **

1. INTRODUÇÃO

A operação unitária de cominuição está presente na maioria dos empreendimentos mineiros. Assim, com exceção de minérios naturalmente cominuídos, a mineração inclui etapas de fragmentação, englobando desde o desmonte na mina até produtos finais, ou ainda intermediários para etapas subseqüentes de transporte, concentração física de minerais ou metalurgia extrativa.

A energia despendida nos processos de fragmentação e os esforços mecânicos, aos quais os equipamentos são submetidos modulam os custos de operação e investimentos em circuitos industriais de britagem e moagem. Nesse contexto, a melhoria no aproveitamento de energia utilizada em fragmentação apresenta impactos não apenas nas margens de lucro do empreendedor, mas também na demanda global de energia.

Outro aspecto que merece atenção é que o produto fragmentado influencia diretamente o rendimento de processos subseqüentes de concentração. O melhor aproveitamento de recursos naturais não renováveis é, portanto, função da distribuição granulométrica resultante do circuito de cominuição adotado.

Os custos associados à fragmentação de minérios são função, entre outros aspectos, da granulação requerida e acompanham o consumo de energia específica. Seguindo a divisão clássica da fragmentação em operações de desmonte, britagem e moagem, a energia específica aumenta em uma ordem de magnitude nessa seqüência. Assim, enquanto operações de desmonte de rocha, por explosivo, consomem cerca de 0,1 kWh/t, em britadores o índice eleva-se para magnitudes de 1 kWh/t, atingindo valores da ordem de 10 kWh/t em circuitos de moagem. Em etapas conhecidas como pulverização, moagem fina ou micronização, o consumo específico pode atingir até 100 kWh/t.

Em função do impacto em aspectos econômicos e ambientais, o desempenho de processos de fragmentação é objeto de estudos sistemáticos há cerca de 150 anos. O estabelecimento das assim chamadas "leis de cominuição" é praticamente contemporâneo às primeiras patentes de equipamentos de britagem. Os debates acalorados entre Rittinger e Kick demonstravam, sobretudo, as dificuldades de se parametrizar, de maneira abrangente e relativamente simples, a energia associada a eventos de fragmentação.

* Prof. Doutor da EPUSP – Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Minas da USP – Universidade de São Paulo.

Seguindo essa mesma linha de abordagem, Bond propõe uma equação paramétrica no final dos anos 1950 (Bond, 1952) que atingiria uma sobrevida espetacular. Além de parâmetro usado no dimensionamento dos moinhos, o Work Index de Bond transformou-se em um índice amplamente empregado para caracterizar minérios quanto à cominuição.

Ainda hoje, as leis de Kick, Rittinger e Bond fornecem boas estimativas preliminares para cálculo de energia necessária às etapas de britagem, moagem e moagem fina, respectivamente. Os três pesquisadores criaram assim modelos empíricos, no melhor sentido do termo, ou seja, resultam de criterioso aprendizado tendo por base a extensiva observação de eventos individuais e coletivos de fragmentação de minérios.

Em particular as contribuições de Bond resultaram num método de cálculo de potência consumida por moinhos, ensaios de caracterização de minérios quanto à abrasão e britagem, além de cálculo de tamanhos máximos de corpos moedores.

Na década de 1980, um relatório do *U.S. National Materials Advisory Board* para melhoria do desempenho energético de circuitos de cominuição estimou que 1,5% de toda a energia elétrica gerada naquele país era utilizada em circuitos industriais de britagem e moagem, incluindo a energia empregada para produção de corpos moedores. O mesmo estudo indicou que essas melhorias poderiam acarretar em diminuição de 20 MWh anuais, que a preços atuais significariam cerca de 109 US\$.

O aporte de recursos que se seguiu nessa década propiciou a consolidação de grupos e instituições dedicadas à pesquisa do tema, não apenas nos E.U.A., mas também no Canadá e Austrália. O foco das linhas de pesquisa foi desenvolver modelos matemáticos para melhor entendimento de mecanismos de cominuição e aplicação em equipamentos industriais.

Em paralelo, os esforços da indústria de fabricação de equipamentos de cominuição resultaram em fortes crescimentos nos tamanhos de britadores e, principalmente, moinhos. Esse impulso dos fornecedores de equipamentos foi motivado pelo surgimento de muitas minas de ouro e cobre. Em ambos os casos, o cenário era de forte demanda dos metais e exaustão de jazidas com alto teor, o que levou as mineradoras a optar pela lavra de depósitos com teores mais baixos, porém, sob elevadas taxas de produção.

O cenário que dominou as décadas subsequentes foi de grupos de pesquisa dedicados a dois temas principais. O primeiro tema foi o desenvolvimento de métodos mais elaborados de previsão de desempenho de equipamentos e, o segundo, liderado pela indústria de equipamentos, com dedicação ao projeto e construção de equipamentos com maiores potências instaladas.

Atualmente, os resultados mais significativos dos esforços de pesquisa e desenvolvimento são simuladores integrados, amplamente empregados nas áreas de projeto e melhoria de desempenho de circuitos de britagem e moagem. Como as pesquisas, na sua

maioria foram subsidiadas pela própria indústria, os avanços se deram na modelagem de equipamentos mais comuns em usinas industriais de minérios metálicos. Áreas como tratamento dos minerais industriais que incluem, por exemplo, britagem por impacto, moagem a seco e micronização, receberam proporcionalmente menor atenção.

Atualmente a principal vertente de pesquisas aplicadas à fragmentação constitui-se na assim denominada visão holística do processo, qual seja, integração das operações de britagem e moagem ao desmonte, bem como a previsão de grau de liberação do produto moído.

A integração com as operações de desmonte surgiu durante a década de 1990 em vários estudos de caso (Bearman, 1995) sobre a influência da fragmentação no desmonte sobre o desempenho de circuitos de britagem. Em A motivação de tais estudos foi o aumento de produção de circuitos industriais e/ou a melhoria na qualidade de produtos.

Os métodos conhecidos como Mina-Usina incluem rotinas de previsão da curva de desmonte com base nas características da rocha e do maciço rochoso, plano de fogo, características dos explosivos, entre as principais variáveis. O minério desmontado é então simulado em etapas de britagem, seguidas de moagem.

Já em 1998 o JKMRC da Austrália provia serviços em bases comerciais do então recém criado programa *Mine-to-Mill*. Desde então são registrados vários relatos de aumentos significativos de produção resultantes da implementação de programas semelhantes.

A previsão do grau de liberação é uma etapa que, apesar de complexa por natureza, resulta em avanços importantes, na atualidade. Nesse caso a caracterização tecnológica tem importância fundamental, notadamente na definição da textura do minério e sua estrutura cristalina. A forma de aplicação de energia e sua relação com o fraturamento determinam a liberação das espécies presentes.

A quantificação da liberação dos minerais presentes é a etapa que deverá ligar modelos de equipamentos de cominuição aos de concentração, como flotação e métodos densitários.

Na área de equipamentos estão consolidadas operações que contam com britadores cônicos com 1000 hp de potência instalada, que proporcionam relações de redução de 8:1, moinhos SAG com potência instalada de 22 MW que processam até 6000 t/h de alimentação nova, bem como moinhos de bolas com 26 pés de diâmetro e potência instalada de 20 khp.

As usinas de britagem e moagem de grande capacidade implementadas na última década apresentam poucos equipamentos por operação unitária, grande potência instalada e alta capacidade de processamento, contrastando assim com configurações típicas de usinas dos anos 1970 e 1980, quais sejam, britagens multi-estagiadas e muitas linhas de moagem operando em paralelo.

Outros equipamentos que merecem destaque pelas respectivas evoluções são os britadores de eixos dentados (*Sizers*) e os britadores de impacto com eixo vertical (*VSI – vertical shaft impactors*).

Os primeiros são evoluções de equipamentos tradicionalmente empregados em britagem de carvão, que mediante o reforço estrutural e a inclusão de pontas de metal duro são atualmente aplicados em britagem primária e secundária de minérios com resistência intermediária e alta. Os britadores de impacto com eixo vertical têm aplicação em etapas quaternárias de britagem ou ainda na produção de areia artificial. A aplicação desses equipamentos deve considerar aspectos econômicos de desgaste e magnitude de carga circulante.

Uma comparação simples entre os equipamentos de cominuição instalados em usinas atuais e aqueles implementados há 25 anos, mostra os resultados de evoluções em equipamentos pré-existentes, ou seja, os princípios empregados e a concepção mecânica de moinhos e britadores são essencialmente os mesmos.

Poucos são os equipamentos que podem ser considerados revolucionários, contrastando assim com a tendência de evolução contínua. Dentre os novos equipamentos destaca-se o moinho de rolos de alta pressão (*HPGR- High Pressure Grinding Rolls*).

Mesmo que não seja considerada totalmente original, dada a existência de precursores, é inegável que as inovações incorporadas aos HPGR ampliaram o espectro de aplicações. Dentre os fatores que contribuíram para o crescente sucesso da moinho de rolos de alta pressão estão a faixa granulométrica do produto, consumo energético e a criação de micro-fissuras que proporcionam a diminuição da resistência do produto e/ou maior acessibilidade à lixiviação de minérios portadores de metais preciosos. Esses aspectos serão abordados em detalhe nas próximas seções do presente capítulo.

A área de controle de processos de cominuição apresentou um crescimento surpreendente nas últimas duas décadas, acompanhando assim pelo desenvolvimento dos computadores. Se na década de 1970 os sistemas mais modernos eram aplicados a malhas simples de controle, atualmente os sistemas especialistas incluem técnicas sofisticadas como inteligência artificial, redes neurais etc. Esses sistemas são aplicados com sucesso em usinas industriais de cominuição, em controles otimizantes de malhas isoladas ou de processos integrados.

2. MOINHOS DE ROLOS DE ALTA PRESSÃO

Este equipamento foi inventado com base em estudos de física das fraturas conduzidos em partículas individuais e leitos de partículas pelo prof. Klaus Schönert em 1979-80. As primeiras prensas de rolos industriais foram instaladas em 1985-86 na indústria cimenteira para fragmentação de farinha crua e clínquer.

As primeiras tentativas de emprego do equipamento em britagem de minérios resultaram em desgaste acentuado da superfície dos rolos, gasto este que limitou a aplicação do equipamento a minérios pouco abrasivos ou em operações que justificassem os custos associados como, por exemplo, no processamento de minérios diamantíferos. Nesse caso, a preservação de fragmentos centimétricos pode significar ganhos significativos.

A instalação de moinhos de rolos de alta pressão na usina de Argyle, Austrália, no final da década de 1990, marca o início dessa tendência, que chega atualmente a mais de 25 unidades instaladas nesse setor.

Dentre as primeiras tentativas frustradas de aplicação a minérios resistentes e abrasivos, merece registro a instalação industrial da mina de Sierrita, da Phelps Dodge nos E.U.A. na década de 1990. Nesse caso foram processadas, entre 1995 e 1996, aproximadamente 7 Mt de minério de cobre, índice RCS (Resistência à Compressão Simples) superior a 300 MPa. A baixa disponibilidade mecânica e os custos de operação foram os principais fatores responsáveis pela parada dos equipamentos, a partir de 1997.

Um marco importante nessa área foi o desenvolvimento de uma configuração de revestimento dotada de cravos de metal duro que propiciam a formação de uma camada de minério que fica aderida aos rolos. Os resultados satisfatórios da aplicação desse tipo de revestimento em operações de minério de ferro, proporcionaram um rápido crescimento do equipamento para produção de *pellet feed*.

Esses resultados motivaram a empresa Newmont a instalar, em 2003, uma unidade piloto, na mina de Lone Tree Mine, para testes com minérios auríferos considerados abrasivos e resistentes. Os resultados foram considerados satisfatórios, pois o custo com revestimentos foi estimado em US\$ 0,5/t, compatível, portanto, com instalações de moagem.

Recentemente duas importantes operações industriais resolveram adotar prensas de rolos nos respectivos circuitos industriais, uma na Austrália (Boddington) e outra no Peru (Cerro Verde). Curiosamente, uma dessas operações, a de Cerro Verde localizada próximo a Arequipa no Peru, é de propriedade da Phelps Dodge.

Os progressos registrados ultimamente em campanhas de teste piloto e operações industriais motivaram empresas de mineração a considerar a inclusão de moinho de rolos de alta pressão, como alternativa em circuitos industriais de cominuição. Como o equipamento preenche uma lacuna na indústria, o seu crescimento deverá ser acentuado nos

próximos anos, mesmo considerando-se que já existem mais de 500 unidades em operação.

Com a consolidação em aplicações de minérios competentes e/ou abrasivos, bem como alimentação relativamente grossa, a alternativa de emprego do moinho de rolos de alta pressão em circuitos de britagem e moagem permitirá uma grande flexibilidade na definição de fluxogramas, pois o equipamento poderá ser empregado, tanto em circuitos com moinhos AG/SAG, como em britagem multi-estagiada, seguida de moagem em moinhos de bolas. Esta última alternativa é, na verdade, uma volta ao circuito tradicional das décadas de 1960 e 1970, com a moinho de rolos de alta pressão substituindo estágio final de britagem, bem como a etapa de moagem em moinhos de barras, este último há tempos sepultado para circuitos de grande capacidade.

Trata-se assim de um movimento pendular, que caminha no sentido de reduções de Capex, com poucos equipamentos de altas relações de redução, ou no sentido de diminuição de Opex, mediante o propalado menor consumo energético em circuitos de britagem multiestagiada e moinhos de bolas.

A revolução nesse caso é poder contar com britadores com até 5 MW de potência instalada, evitando assim os altos custos de capital com várias linhas de britadores em paralelo.

Uma comparação baseada apenas em potência instalada, portanto sem computar qualquer benefício proporcionado por um ou outro equipamento, a maior moinho de rolos de alta pressão disponível (5,7 MW) substituiria sete dos maiores britadores atualmente em operação (750 kW).

O dimensionamento de moinhos de rolos de alta pressão segue, como em moinhos, métodos energéticos e de modelagem matemática com base em balanços populacionais. O primeiro é praticamente regra na indústria de equipamentos, enquanto que o segundo inclui grande avanço, com base em estudos pioneiros desenvolvidos no JKMRC da Austrália por L.A. Tondo, em meados da década de 1990.

3. PROJETO

Sem levar em consideração os extremos eufóricos ou céticos da indústria de fabricação de equipamentos, a boa notícia é a ampliação do espectro de alternativas que o engenheiro de processos terá para selecionar fluxogramas, selecionar e dimensionar equipamentos que, em conjunto, apresentem a melhor solução técnica e econômica para circuitos industriais de cominuição.

Os argumentos favoráveis ou detratores a equipamentos individuais de britagem ou moagem deverão ser verificados em campanhas de planta piloto, que incluam diversas alternativas de configuração e equipamentos. O resultado da etapa de testes deverá ser a

seleção das alternativas tecnicamente viáveis, seguida do dimensionamento dos principais equipamentos industriais de processo.

A fase seguinte compreenderá as análises de variabilidade de desempenho do(s) circuito(s) selecionado(s), em função das características dos vários tipos de minério que compõem o depósito mineral. A qualidade dos modelos matemáticos empregados é de fundamental importância nessa fase dos trabalhos, ou seja, a plataforma de simulação deverá ser suficientemente robusta para reproduzir o desempenho dos vários tipos de minério no circuito. Caso não tenham sido submetidos a testes, em escala piloto, com diferentes tipos de minério, recomenda-se uma campanha de consolidação, cujo escopo dependerá essencialmente das características dos vários minérios considerados.

Nesse contexto, recomenda-se incluir as etapas de concentração para verificar as recuperações metalúrgicas e teores obtidos em cada rota, para cada tipo de minério.

À essa altura, o ideal é que haja integração dos resultados obtidos nas simulações com o modelo geológico do depósito mineral. Sugere-se a criação de um modelo de blocos interpolado contendo propriedades geometalúrgicas, como por exemplo, valores de vazão de alimentação do circuito, recuperações mássicas e teores de concentrado. O produto desse trabalho será a atribuição a cada bloco de lavra, do desempenho, tanto em termos de quantidade, como de qualidade do concentrado gerado pelo circuito industrial. O seqüenciamento da lavra fornecerá então resultados de produção discretizados por períodos, que podem ser mensais, semestrais ou anuais.

A existência de eventuais períodos em que não sejam atingidas as metas de produção ou especificações estabelecidas, deverá orientar os dimensionamentos, com eventuais inclusões de equipamentos ou alteração do modo de operação, de forma a nivelar os resultados.

Os dados e informações, assim consolidados, deverão ser submetidos a análises econômicas para estabelecimento do circuito final de cominuição.

As etapas, já mencionadas, constituem-se na linha mestra de uma abordagem integrada para projetos de circuitos industriais de cominuição. Evidentemente que a sua execução pressupõe quantidades significativas de recursos, além de outras dificuldades de natureza logística, estratégica, políticas, além de restrições de prazo e verbas.

Embora repleta de dificuldades, a etapa de definição do circuito e equipamentos deve ser encarada como investimento e não como custo, pois a seleção da rota mais adequada a cada caso, certamente será refletida em melhor lucratividade global do empreendimento e aproveitamento de recursos naturais não renováveis.

Um exemplo bastante didático dessa abordagem foi o adotado pela Mineração Bauxita de Paragominas – MBP/CVRD. Na etapa de definição de configuração de circuito foram comparadas as rotas de combinação de moinhos de barras e bolas com moinho SAG e de bolas. Após as duas campanhas piloto foram executados os respectivos dimensiona-

mentos e projetos de engenharia. As análises técnica e econômica favoreceram a alternativa SAG/bolas que foi assim adotada para o projeto. A fase seguinte consistiu na montagem de uma planta piloto em Paragominas, PA, para processar vários tipos de minérios. Além de consolidar o projeto, os resultados dos testes foram empregados para obter índices de desempenho relativo entre os vários tipos de minério, bem como gerar amostras para condução de testes específicos de sedimentação, filtração, entre outros.

4. MOAGEM AG/SAG

Moinhos autógenos (AG) e semi-autógenos (SAG) são amplamente empregados em circuitos industriais de cominuição que envolvam uma ampla gama de capacidade de processamento. A combinação peculiar entre capacidades unitárias elevadas e relações de redução extremamente altas, determina uma demanda contínua por equipamentos com dimensões cada vez maiores.

A operação de moinhos com 38 e 40 pés de diâmetro e potência de 20 MW é hoje, em termos de processo, uma alternativa plenamente segura e já se tem notícias de projetos de unidades substancialmente maiores.

Até o final do ano 2000, os fabricantes de equipamentos registraram vendas de mais de 1.000 circuitos AG/SAG, com potência instalada superior a 2,7 GW. Somente nos últimos cinco anos do período, houve um crescimento de cerca de 17% na potência instalada, mostrando assim uma curva fortemente ascendente no emprego de tais equipamentos.

Embora nos últimos anos tenha ganhado um impulso acentuado, o início do emprego de moagem AG/SAG confunde-se com o surgimento de moinhos tubulares, pois já na década de 1880 observava-se que determinados minérios possuíam características de se autofragmentarem.

Em 1908 é publicado pelo AIMME - *American Institute of Mining and Metallurgical Engineers*, o primeiro trabalho descrevendo moinhos com corpos moedores formados pelo próprio minério. Nas décadas subsequentes houve várias invenções creditadas a Hedsel e desenvolvimentos pela empresa Hardinge, resultando no moinho autógeno comercial Hardinge-Hedsel, praticamente em paralelo aos desenvolvimentos da empresa canadense Aerofall, esta última fundada em 1946.

Em 1959, moinhos autógenos foram instalados com sucesso em usinas de moagem de minério de ferro, na América do Norte, aproveitando assim as características de taconitos de gerar corpos moedores competentes e de alta densidade. A empresa Quebec Cartier, contava nesse mesmo ano com doze moinhos de 18 pés de diâmetro, com potência instalada de 600 hp, por unidade. A reação dos fabricantes à pressão da indústria de minério de ferro por moinhos com maiores capacidades unitárias, teve como consequência o surgimento de moinhos cada vez maiores, a ponto de, em 1966, entrar em

operação um moinho com 32 pés de diâmetro e motor de 6.000 hp, com capacidade praticamente igual à dos doze moinhos instalados sete anos antes.

A atratividade de usinas com grandes moinhos estava baseada em menores investimentos, se comparada à opção de circuitos como muitas linhas paralelas de pares de moinhos de barras e de bolas. A economia com corpos moedores era também favorável à alternativa de moinhos autógenos. Até 1973, as usinas de minério de ferro receberam os maiores moinhos fabricados, até então.

Nos anos 1970 surgiram os primeiros moinhos SAG, já que com a adição de bolas em até 12% do volume da câmara de moagem, a capacidade dos equipamentos era substancialmente elevada, bem como tornavam-se menos suscetível a variações de características do minério processado. Como a variabilidade das jazidas de minérios de cobre era, em geral, muito maior do que as de minério de ferro, circuitos SAG tornaram-se mais populares. Nessa mesma década, muitas minas de cobre foram expandidas ou entraram em operação. Na Tabela 1 consta um sumário da evolução dos circuitos AG/SAG.

Tabela 1 - Sumário da evolução de moagem com os circuitos AG/SAG (Jones, 2006)

Ano	Moinho	Diâmetro (pé)	Motor (hp)	Ano	Moinho	Diâmetro (pé)	Motor (hp)
1959	AG	18	600	1965	AG	32	6.000
1959	AG	22	1.250	1973	AG	36	12.000
1962	AG	24	1.750	1996	SAG	38	26.800
1962	AG	28	3.500	1996	SAG	40	26.800

Em função dos problemas enfrentados pelo primeiro moinho de 40 pés, instalado em 1996 na usina de Cadia Hill na Austrália, a segunda unidade foi instalada quase dez anos depois.

Segundo informações de fabricantes, há projetos prontos para moinhos SAG de 42 e 44 pés de diâmetro, este último dotado de motor com 30 MW de potência, pouco mais de 40.000 hp.

Em termos gerais, há atualmente duas configurações de moinhos AG/SAG, quais sejam a norte-americana com aspecto, ou relação diâmetro:comprimento, de 2:1 ou maior, bem como a européia/sul-africana com aspecto 1:1 ou menor. Cada tipo de moinho apresenta aplicação específica.

Moinhos com aspecto baixo, quais sejam, com relação diâmetro:comprimento 1:1 ou menor, consomem mais potência por tonelada moída, mas em contrapartida geram produtos mais finos. A escola sul-africana é muito particular, pois inclui moinhos alimentados por R.O.M., que operam em circuito fechado com ciclones, gerando produtos finais com P80 de 200 malhas, Tyler, para etapas subseqüentes de flotação. Essa configuração é típica de usinas que processam minérios auríferos lavrados em minas subterrâneas. As

dimensões relativamente pequenas de equipamentos de carregamento e transporte impõem a prática de severa fragmentação no desmonte, cujo produto equivale assim ao de um britador primário típico. A operação desses moinhos é ainda mais atípica já que giram a cerca de 90% da velocidade crítica, contam com revestimentos lisos e descarga periférica.

A escola européia segue basicamente a mesma linha, porém com moinhos primários tipicamente quadrados (aspecto 1:1), operando sob circuito aberto e seguidos, via de regra, por moinhos autógenos secundários, já que os corpos moedores destes são parte do produto dos moinhos primários.

Em ambas as escolas predominam moinhos AG com baixas e médias capacidades, potências instaladas típicas de até 5 MW. O maior moinho vendido sob tal configuração tem dimensões de 24 x 29,5 pés, com potência instalada de 7,2 MW.

A configuração com aspecto alto é típica de operações das grandes minas de cobre das Américas do Sul e do Norte, Austrália e região, no processamento de minérios auríferos, bem como minério de ferro na América do Norte. As capacidades são, geralmente, médias ou altas. Os moinhos AG/SAG desse grupo apresentam descarga através de grelha, revestimentos tipo placa e barra, velocidades típicas de rotação no intervalo de 70 a 80% do respectivo valor crítico, além de processarem minérios com um amplo espectro de características. As cinco configurações básicas de circuito são descritas a seguir.

4.1 Circuito em Estágio Único

A configuração de circuito de moagem em estágio único, apresentada de forma esquemática na Figura 1, inclui operações tanto com moinhos AG como com SAG. Trata-se de uma opção de risco para projetos de novas operações (*greenfield*), sendo portanto, atualmente adotada em projetos de expansão (*brownfield*), ou ainda em nichos onde essa técnica encontra-se consolidada.

Se existem maiores riscos ao se adotar essa opção, há também benefícios, principalmente pela significativa redução de capital, já que em um único estágio pode ser praticada relação de redução de 1.000:1! Outros importantes atrativos para essa alternativa são os baixos custos relativos de operação, uma vez que não há consumo de corpos moedores no circuito.

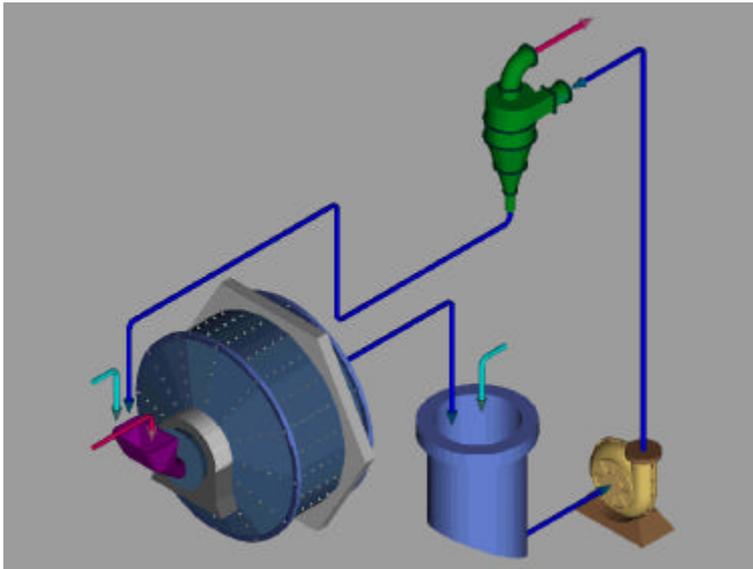


Figura 1 – Ilustração esquema do circuito AG/SAG em estágio único

Operações em estágio único com moinho AG são típicas da escola sul-africana, sendo largamente empregada pelas grandes mineradoras de ouro da região de Witwatersrand. Na mesma África do Sul, os dois moinhos de alto aspecto da mina de Palaborwa, com 32 pés de diâmetro, operam desde 1977 com minério de cobre, mesmo contando com a instalação posterior de britadores de seixos (*pebbles*).

Outros exemplos dessa configuração, na África do Sul, são as usinas da Rustenburg Platinum Mines, com circuito de Mortmer AG (14 pés) e Amandel, com moinhos AG e SAG em estágios únicos. Nas empresa Vaal Reefs, também sul-africana, nos circuitos de West Gold Plants houve uma seqüência de alterações de circuito que iniciou as operações como SAG (16 pés) em estágio único, potência de 3 MW e 90% da velocidade crítica, circuito fechado com ciclones de 1.050 mm de diâmetro. Em uma segunda etapa os moinhos foram convertidos para SAG e posteriormente as várias linhas de moagem contaram com estágios secundários, com moinhos de bolas. Cada dois moinhos SAG alimentavam um moinho de bolas (16 pés), que opera com potência de 3 MW.

Na Austrália, moinhos AG em estágio único são encontrados em Olympic Dam, por sinal o maior moinho AG (38 pés) em operação no mundo. O minério de cobre e urânio oriundo de mina subterrânea é posteriormente submetido à lixiviação ácida, razão pela qual a contaminação da polpa com íons ferro proveniente do desgaste de bolas aumentaria os custos associados à moagem SAG e/ou com moinhos de bolas.

Outro exemplo australiano dessa opção de circuito é a usina de Kambalda implantado pela então WMC - Western Mining Co. Embora haja britador de seixos no circuito de

Kambalda, o moinho AG (24 pés) em estágio único, processa minério de níquel proveniente de várias minas subterrâneas da região.

As operações AG em estágio único são muito sensíveis à falta de coordenação entre a mina e a usina. Pilhas de homogeneização ou pulmão com grande capacidade relativa são de fundamental importância, para garantir uma granulometria constante e blendagem adequada entre diferentes tipos de minério. A operação do moinho requer um suprimento constante de minério competente na fração de 250 a 100 mm, além de não apresentar tendência acentuada em gerar seixos arredondados, que nesse caso demandaria instalação de britadores para reciclagem desse material após britagem.

Circuito com moinho SAG, em estágio único, são usados, há mais de 25 anos, em operações de moagem de bauxita, na Austrália. Nos circuitos de Wagerup e Pinjarra (Alcoa), a bauxita lavrada é britada em britador primário e posteriormente transportada até as várias linhas de moagem, cada linha composta por um moinho SAG que opera em circuito fechado com peneiras DSM. Como os moinhos operam de forma contínua com as fábricas de alumina, a polpa que circula no circuito de moagem contém soda cáustica, como forma de iniciar a lixiviação dos minerais de minério (gibbsita, bohemita e diáspero) já nessa etapa. O produto desses circuitos é relativamente grosso, razão pela qual se empregam peneiras DSM.

Embora de pequeno porte, a moagem de McArthur River, no norte do Canadá é bastante peculiar, pois foi instalada em sub-solo. Nesse caso o circuito configurado no estágio único inclui um moinho SAG, com dimensões 9,5X15,5 pés (diâmetro x comprimento) conta com 700 hp de potência e processa minério de urânio.

Outro exemplo de moagem SAG em estágio único é a usina de Henderson, que processa minério de cobre, operada pela empresa Phelps Dodge, nos E.U.A. Nessa usina há quatro linhas de moagem sendo três com moinhos SAG com dimensões 28X30pés (diâmetro x comprimento).

Várias minas de minério de ferro, na América do Norte, operaram há décadas no modo AG estágio único, sendo posteriormente convertidas para SAG estágio único e, em alguns casos adicionando moagem em moinhos de bolas, elevando assim a capacidade global do circuito. No Chile, a mina de El Peñon processa minério aurífero em um moinho SAG (15,5 pés) em estágio único, que opera em circuito fechado com ciclones.

No Brasil, a usina de Jacobina, operada pela Yamana, na Bahia, após a lavra subterrânea, o minério aurífero é britado em um único estágio e na seqüência moído em duas linhas de moinhos SAG, sob configuração fechada com ciclones, cujo overflow segue para a etapa de lixiviação.

4.2 Circuito AG – Seixos (FAP)

A configuração do circuito FAP – AG/Seixos inclui duas etapas de moagem sendo a primeira em moinho AG e a segunda com moinho de seixos (*pebbles*) que são obtidos no estágio anterior, conforme indica o desenho esquemático da Figura 2.

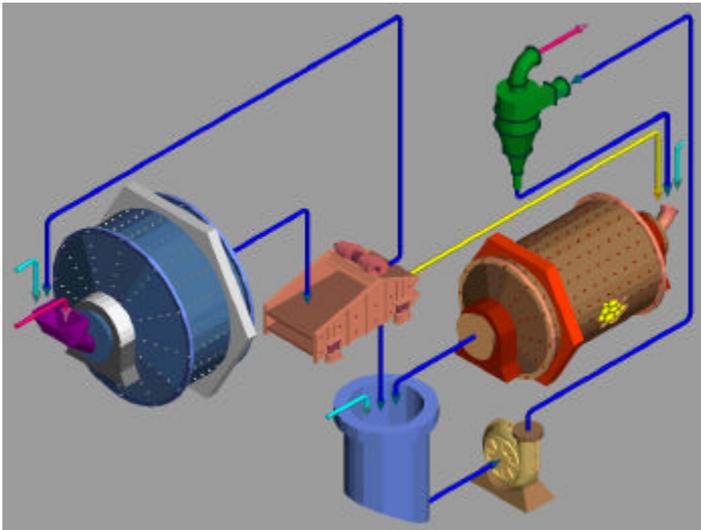


Figura 2 – Moagem autóloga seguida de moagem com seixos, circuito FAP.

A configuração FAP constitui uma solução para os problemas verificados na configuração de estágio único, uma vez que as flutuações de operação e desempenho do circuito primário podem ser absorvidas pelo circuito secundário, mediante ajustes na carga circulante deste último. A indesejável acumulação de seixos, no moinho primário transforma-se assim em vantagem, mediante o aproveitamento dos seixos como corpos moedores no estágio secundário.

Circuitos FAP representam maiores investimentos do que circuitos SAG para a mesma capacidade de circuito, porém os custos operacionais são significativamente inferiores, em função de desgastes com corpos moedores e revestimentos.

A configuração FAP é freqüente em circuitos de moagem da Suécia e Finlândia. O sistema "OG – Outogenious" da Outokumpu inclui um engenhoso sistema de obtenção dos seixos já no moinho primário, evitando assim a inclusão da peneira como ilustrado na Figura 2.

Essa configuração é potencialmente atrativa para minérios de urânio, devido à menor geração de íons ferro na polpa, minérios sulfetados, devido à moagem fina, porém sem a excessiva geração de ultrafinos e minérios de ferro, já que nesse caso a menor geração de ultrafinos é benéfica aos processos de filtragem e pelotização.

Exemplos de usinas que empregam o sistema FAP na Escandinávia são Aitik, na Suécia e Phihasalmi, na Finlândia, ambas na moagem de minérios sulfetados.

No caso do circuito da mina de Kiruna, localizada no norte da Suécia, que processa minério de ferro lavrado em sub-solo, o circuito consiste em duas linhas de moagem, cada uma contando com um moinho primário, de 21 pés de diâmetro por 17 pés de comprimento, seguido de um moinho de seixos de 21x 28 pés. Parte da fração -35 + 6 mm obtida no tromel do moinho primário é encaminhada ao moinho secundário, onde formará os corpos moedores e parte será britada e recirculada no moinho primário. A fração -6 mm do moinho primário é classificada em classificador espiral, cuja fração grossa retorna ao moinho e os finos sendo submetidos a separação magnética. O produto do circuito secundário segue também para a separação magnética, flotação de apatita, desaguamento e pelotização.

No decorrer dos últimos 50 anos, várias usinas que processam minério de ferro taconitos nos EUA e Canadá adotaram a configuração FAP, como alternativa ao estágio único.

4.3 Circuito AG – Bolas (FAB)

A configuração FAB, acrônimo para moinho AG primário, seguido de moinho de bolas no estágio secundário está ilustrada na Figura 3.

O circuito FAB constitui uma alternativa adequada, em termos de consumo de energia, para minérios densos, porém muito competentes. Se por um lado os fragmentos grossos são corpos moedores adequados ao estágio primário, por outro as características da fração crítica não são adequadas para moagem em moinhos secundários de seixos, ou ainda a irregularidade da vazão das mesmas compromete o desempenho global do circuito.

O aspecto mais favorável à opção FAB, em relação à FAP é portanto a regularidade da operação de moinhos de bolas, que pode assim corrigir eventuais flutuações de desempenho do circuito primário. Essa configuração apresenta consumo energético específico mais próximo de circuito convencional de britagem multi-estagiada e moagem barras/bolas.

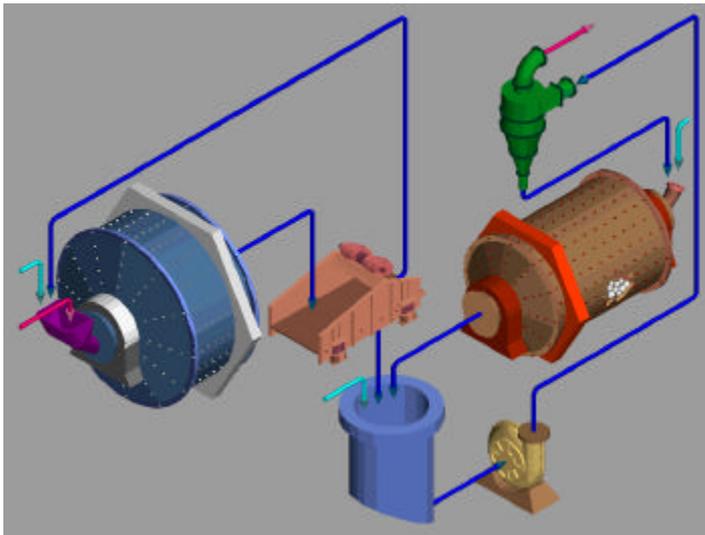


Figura 3 - Ilustração esquemática da moagem autóloga seguida de moagem com bolas, circuito FAB.

Um exemplo de sucesso de circuitos que adotaram a opção FAB é o de Bagdad, operado pela Phelps Dodge, nos E.U.A. A particularidade desse circuito é a presença de britagem de seixos em dois estágios, gerando assim um produto relativamente fino, que retorna ao moinho AG. O circuito de Bagdad apresenta baixos custos de produção em função, principalmente, da alta eficiência energética.

Um exemplo brasileiro é a usina da São Bento, que opera há cerca de 20 anos e está localizada em Minas Gerais. O minério aurífero lavrado em sub-solo é encaminhado ao moinho primário (12X12 pés) e, na seqüência, ao estágio secundário composto por um moinho de bolas (8 pés) que opera em circuito fechado com ciclones. Não há portanto britagem no circuito. A economia com corpos moedores no moinho primário contribui para redução dos custos de operação, que são bastante altos, principalmente devidos à etapa de extração do ouro.

O circuito de Mount Isa, na Austrália, com dois moinhos de 32 pés, foi projetado para operar sob configuração FAB, sendo posteriormente transformado em SAB.

A alternativa FAB foi considerada no projeto Salobo, da CVRD, devido às características de competência e densidade do minério. A inclusão de um britador de reciclo no circuito reforçou a opção pela moagem primária AG, devido à grande quantidade de magnetita que seria separada na carga circulante, caso a opção fosse moagem SAG.

4.4 Circuito SAG – Bolas (SAB)

A configuração moinho SAG primário, seguido de moinho de bolas no estágio secundário está ilustrada na Figura 4.

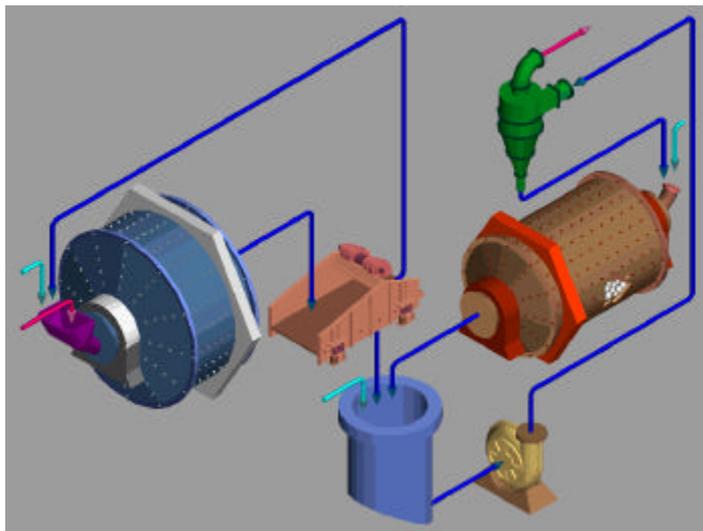


Figura 4 – Ilustração esquemática da moagem semi-autógena seguida de moagem com bolas: circuito SAB.

A alternativa de circuito SAB possui grande flexibilidade de operação, adequada assim a variações substanciais no minério alimentado. Muitas operações inicialmente projetadas no modo FAB foram convertidas para SAB, onde o incremento de custos com corpos moedores foi inferior ao incremento de produção advindo com a alteração.

Esse circuito foi praticamente regra para grandes projetos de cobre e ouro na década de 1985 até 1995. O circuito permite variações, sob faixas amplas, do tamanho de transferência (T80) entre os circuitos primário e secundário, ou seja, é possível ajustar as relações de redução entre ambos e, conseqüentemente a distribuição de energia específica no circuito.

Na comparação de Capex, a alternativa SAB resulta em reduções de até 25% em relação a circuitos convencionais de britagem e moagem.

Dentre os exemplos de operações que iniciaram sob o modo SAB destacam-se os circuitos de Mount Isa, pertencente atualmente à Xtrata na Austrália, Chuquicamata da Codelco e El Soldado da Minera Disputada, ambas no Chile.

Vários circuitos que iniciaram sob configuração SAB foram posteriormente convertidos em SABC, mediante a instalação de britadores de reciclo no circuito. No Brasil, destaca-se a Mineração Serra da Fortaleza, em Minas Gerais, à época operada pela RTZ do Brasil.

O projeto de expansão da usina da RPM - Rio Paracatu Mineração, localizada em Minas Gerais incluirá, após totalmente implantado, britagem primária e moagem primária em

moinho SAG (38 pés) e secundária em moinhos de bolas, com aproveitamento dos cinco moinhos existentes.

4.5 Circuito SAG – Britador de Reciclo - Bolas (SABC)

A acumulação de determinadas frações granulométricas na carga do moinho (fração crítica) resulta na limitação da taxa de alimentação nova e, portanto, na capacidade do circuito. O problema pode ser resolvido, ou pelo menos mitigado, mediante três alternativas básicas.

A primeira consiste na britagem prévia de frações selecionadas da alimentação do moinho.

A segunda inclui a fragmentação da assim denominada fração crítica na própria câmara de moagem, mediante aumento da carga de bolas e/ou aumento da velocidade de rotação do moinho. Se o problema persistir após atingir os limites nessas variáveis, a segunda opção é instalar grelhas com aberturas maiores (50 a 100 mm), as denominadas *pebble ports* ou *rock ports*, de forma a permitir a saída dessa fração da carga, para então britá-la, retornando o produto ao moinho primário. Esta última opção é denominada SABC e está ilustrada na Figura 5 que se segue. Caso o produto do britador seja encaminhado ao circuito secundário, o circuito é denominado SABC aberto.

Assim como muitas operações inicialmente projetadas no modo FAB foram convertidas para SAB, várias outras que iniciaram na última configuração foram convertidas em SABC.

Nos últimos dez anos, circuitos SABC passaram a ser praticamente padrão da indústria, quer em expansões de linhas existentes ou ainda em novas instalações, demonstrando assim o grau de confiança nesse tipo de circuito.

Na Tabela 2 estão ilustrados alguns exemplos de usinas industriais que converteram os respectivos circuitos da configuração SAB para SABC. A mesma tabela inclui o ano de conversão e o aumento de capacidade do circuito mediante, a introdução do britador de reciclo para britagem de seixos. As informações foram extraídas de vários artigos publicados nas Conferências SAG 2001 e 2006.

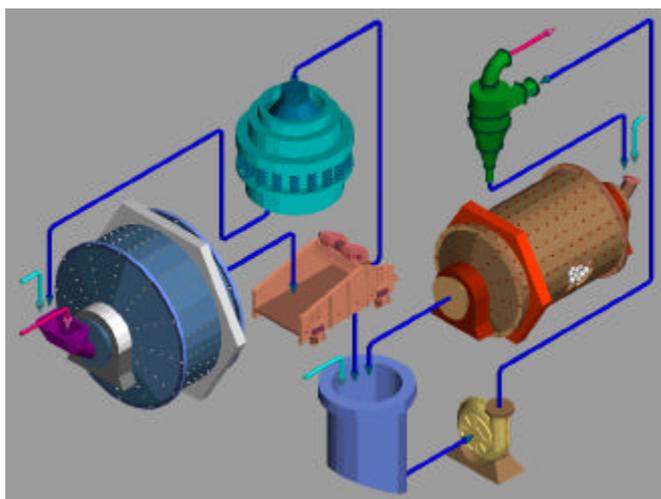


Figura 5 – Ilustração esquemática da moagem semi-autógena com britagem de seixos e seguida de moagem com bolas, circuito SABC.

Tabela 2 – Sumário da evolução das moagens em circuitos AG/SAG (SAG 2001, 2006)

Mina	Ano da Conversão	Aumento de Capacidade (%)
Huckleberry	2000	10
Newmont Lone Tree Mill	1999	10 – 15
SMC Nye Site	1998	10
Fort Knox	1998	10
Chino	1996	10
Chino	1989	30 – 60
Kennecott	1996	10 – 15
Newmont Mill #4	1996	10
National Steel	1992	10
Inco Clairabelle	1989	50
Wirralie Gold	1989	10 – 20
Kidston	1988	25
Similkameen	1986	8
Los Bronces	1985	15

Os incrementos de capacidade de circuito listados na Tabela 2 estão no intervalo de 8 a 60%, com maior frequência de aumentos na faixa de 10 a 15%, valores estes aceitos como típicos pela indústria.

Uma vez ajustados e bem operados, circuitos de cominuição SABC são extremamente robustos, pois absorvem amplas faixas de variações de tipos de minério, tanto nos estágios primário como no secundário. Sob o ponto de vista de projeto, possuem o menor investimento unitário (\$/t) dentre todas as demais opções de circuito.

Esta última característica da alternativa SABC resulta que um circuito, assim configurado, apresentará a maior capacidade de alimentação por unidade monetária considerada. Mesmo que o consumo energético não seja o mais adequado, assunto este ainda controverso, o desempenho global faz da opção SABC a mais competitiva e, atualmente, a de menor risco.

Dentre os muitos exemplos de operações sob configuração SABC podem ser citadas as usinas de La Candelária (36 pés), Escondida (38 pés), Collahuasi (32 e 40 pés), Pelambres (36 pés), Andina (36 pés), El Teniente (36 pés) no Chile, Fimiston (36 pés), St. Ives (24 pés), Cadia Hill (40 pés), na Austrália, Porgera (28 pés), na Papua-Nova Guiné; Freeport (34,5 e 38 pés) e Batu Hijau (38 pés) na Indonésia, Kennecott, Ray – Asarco, nos E.U.A. Highland Valley (32 pés), no Canadá, Antamina (38 pés), no Peru, Alumbreira (36 pés), na Argentina.

No Brasil há dois circuitos em operação sob a configuração SABC. O mais antigo é o da Mineração Serra da Fortaleza, que iniciou sua operação em modo SAB e foi posteriormente convertido para SABC, que inclui ainda uma variante de britagem secundária.

O outro é o circuito do Sossego, operado pela CVRD, em Canaã dos Carajás, no Pará, que inclui um britador giratório primário, um moinho SAG (38 pés), dois britadores cônicos de reciclo, além de dois moinhos de bolas (22 pés), com capacidade nominal de 15 Mt/ano.

A configuração SABC foi também selecionada para os projetos Alemão e Cristalino, ambos de minério de cobre da CRVD, tendo por base estudos conceituais, posteriormente consolidados por campanhas de moagem em escala piloto.

Dentre os projetos que estão em fase final de implantação, sob modo SABC, destacam-se Bauxita de Paragominas, da CVRD e Cobre Chapada, da Yamana.

As etapas de definição de circuito, dimensionamento dos equipamentos e estudos de variabilidade do Projeto Bauxita de Paragominas já foram descritas no presente trabalho. O minério será britado em dois estágios com britadores de eixos dentados, seguido de empilhamento e retomada para alimentação de duas linhas de moagem. Cada uma contará com um moinho SAG (28 pés) e um moinho de bolas (20 pés). Os seixos gerados no moinho SAG seguirão para britagem em britadores de impacto, cujo produto será encaminhado ao circuito secundário, configurando assim SABC aberto.

O Projeto Chapada, que está sendo implantado em Goiás pela empresa Yamana, contará com uma única linha de moagem constituída por um moinho SAG de 34 pés de diâmetro seguido de um moinho de bolas (26 pés), para processamento de minério cupro-aurífero.

4.6 Configurações do Circuito de Britagem para Circuitos AG/SAG

O circuito de cominuição em instalações que constam de moagem em circuitos AG/SAG possui configuração relativamente simples, se comparada a outras alternativas de moagem. Como a alimentação de moinhos primários SAG, e principalmente AG, inclui fragmentos grossos, geralmente uma única etapa de britagem é suficiente para proporcionar uma distribuição granulométrica adequada à moagem. Na Figura 6 ilustra-se um desenho esquemático típico de circuitos industriais de grande porte, que consistem basicamente em um britador giratório, cujo produto segue para uma pilha pulmão e desta para a alimentação da moagem.

A menos de operações de pequeno ou médio porte onde a lavra é executada em subsolo, a etapa de britagem primária garante, via de regra, tamanho máximo de alimentação ao moinho. Os grandes britadores giratório operam com aberturas (APF) de 5,5 a 6 polegadas, o que resulta em tamanho máximo de aproximadamente 8", sujeito a efeito forma dos fragmentos. Em operações menores encontram-se britadores de mandíbulas e, em alguns casos, até britadores de eixos dentados.

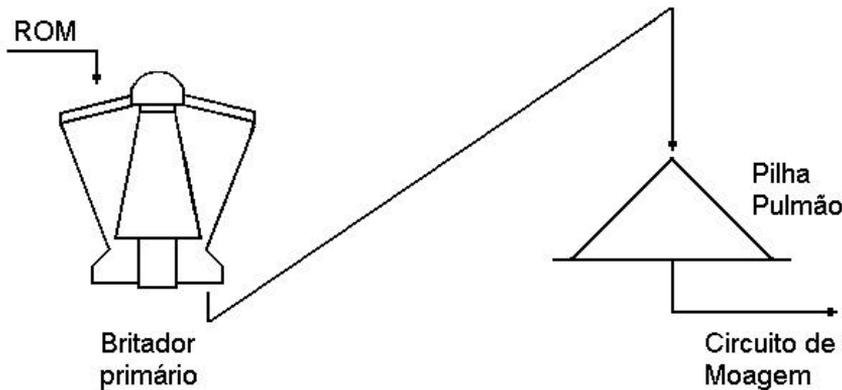


Figura 6 – Configuração típica de britagem em circuitos AG/SAG.

Uma variante que foi implantada em vários circuitos inclui a etapa de britagem secundária, conforme ilustrado na Figura 7 que se segue.

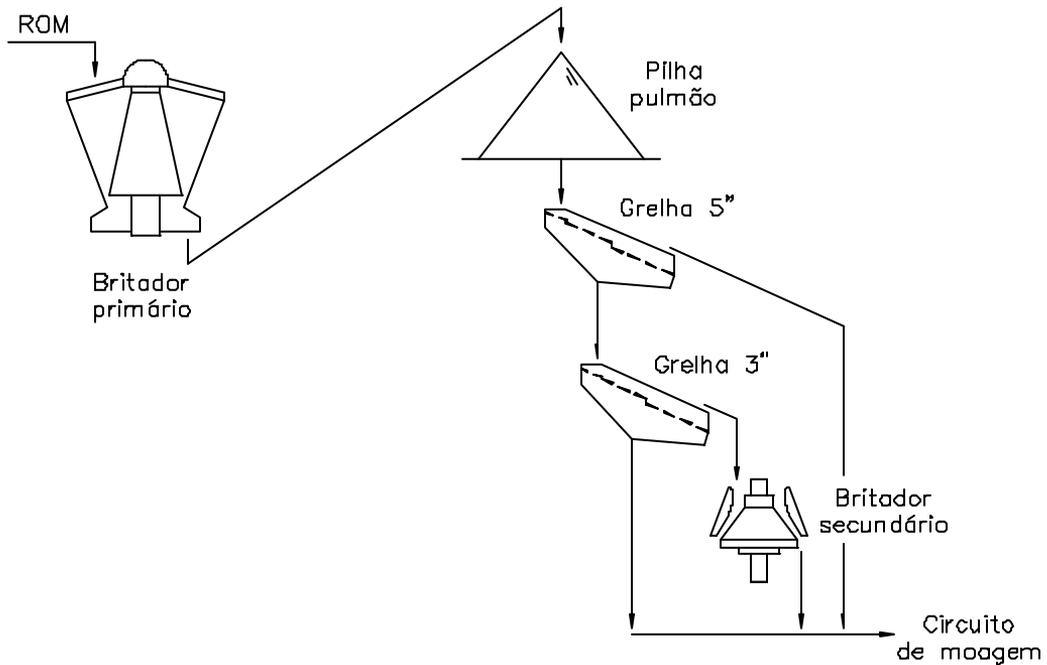


Figura 7 – Circuito de britagem com rebitagem da fração intermediária

Nesse caso, a fração crítica é praticamente eliminada da alimentação do moinho. Trata-se assim de uma alternativa para operações em que o minério, ou alguns tipos de minério do depósito mineral, apresentem forte tendência de se acumular na câmara de moagem de moinhos AG/SAG. Para tais aplicações, mesmo que o circuito de moagem seja configurado em SABC, a alternativa de britagem secundária pode proporcionar aumentos significativos de produção.

A melhor forma de se avaliar o efeito da introdução de um estágio adicional de britagem ao circuito é por meio de campanhas piloto, onde se pode variar com relativa facilidade a distribuição granulométrica da alimentação do moinho. Mediante o ajuste na granulção estima-se o efeito de diferentes malhas para o peneiramento do produto da britagem primária, ou também esquemas alternativos de circuito, como britagem secundária de toda a alimentação do moinho.

Exemplos de circuitos industriais que adotaram com sucesso a opção de britagem secundária da fração crítica são a mina de Troilus, onde foi registrado aumento de até 50% de capacidade do circuito de moagem, mina de Asarco-Ray, nos E.U.A., com incremento de 20%, assim como Kidston na Austrália. Na configuração britagem secundária de todo o produto da britagem primária podem ser citados os circuitos de Fimiston e St. Ives na Austrália e La Coipa, no Chile.

Apesar de ser largamente empregada, pela maioria das empresas de mineração de grande porte do mundo, a aceitação da moagem em moinhos AG/SAG, como alternativa segura para circuitos de cominuição foi progressiva em função, principalmente, da evolução dessa técnica. Além disso, moinhos AG e principalmente SAG estiveram durante décadas e ainda estão na vanguarda da indústria em termos de dimensões e potência instalada. Esse cenário de aplicação de materiais, métodos de projeto e técnicas construtivas inéditas tem, evidentemente, como ônus, os ajustes necessários no início de operação dos maiores equipamentos até então fabricados.

Embora esse contexto seja reconhecido são comuns os relatos de insucessos de operações industriais que, de alguma forma, enfrentaram situações desse tipo. Cabe lembrar que mesmo com moinhos de bolas, de tecnologia de projeto, fabricação, implantação e operação até então consolidados, ocorreram fatos semelhantes como, por exemplo, nos moinhos da usina de Bouganville, projeto este da RTZ na então Papua-Nova Guiné. Nessa usina o desempenho de moinhos de 18 pés' de diâmetro, os maiores até então projetados foi muito aquém do estipulado.

Um elenco de preconceitos, má-informação, conservadorismo e mitos associados à moagem AG/SAG está relacionado abaixo.

- Consumo energético específico mais alto;
- Dimensionamento empírico;
- Necessidade de grande massa de minério para ensaios preliminares;
- Baixa flexibilidade dos circuitos;
- Operação complexa e instável;
- Grandes variações de desempenho em função dos tipos de minério;
- Pré-operação longa e dispendiosa.

A análise dos insucessos iniciais ou definitivos de operações com moinhos AG/SAG aponta para algumas causas comuns que, individual ou combinadamente, apresentaram alguma contribuição, quais sejam:

- Ausência/insuficiência de informações sobre as características tecnológicas do minério;
- Baixo conhecimento das jazidas em termos de graus de variabilidade do minério;
- Critérios inconsistentes de projeto, como relação de redução, carga circulante e potência;
- Critérios de dimensionamento inadequados;
- Técnicas complexas para projeto de novas instalações e otimização de circuitos existentes;

- Técnicas inadequadas para controle do processo;
- Custos de capital decrescentes somente com o advento de equipamentos de grande porte;
- Baixo grau de entendimento de conceitos e peculiaridades associadas ao processo;
- Inexperiência em projetos de revestimentos, grelhas, mecanismos de descarga, etc. para grandes moinhos;
- Instrumentação precária.

Vários dos itens listados acima podem ser enfrentados na fase de viabilidade final do projeto, mediante campanhas de ensaio piloto, seguida de dimensionamento e seleção dos equipamentos. O modelo matemático calibrado do circuito completo será empregado para simular as variações de desempenho do futuro circuito industrial em função das características dos vários tipos de minério presentes na jazida, conforme resultados de ensaios sobre amostras de testemunhos de sondagens.

Um acompanhamento detalhado da elaboração das especificações técnicas dos equipamentos e análises criteriosas das propostas técnicas de fornecedores são também etapas fundamentais do processo. Nessa fase podem ser evitados problemas futuros advindos de configuração de grelhas e perfis de revestimento inadequados.

A posta-em-marcha do circuito industrial deve ser balizada como uma etapa de transição entre o projeto/construção e a operação do circuito industrial, diferente portanto da visão de seqüências estanques do empreendimento. O comprometimento com o desempenho global do circuito deve assim marcar essa transição, de forma a aproveitar a sinergia entre as equipes que conceberam o projeto e aquelas encarregadas de operar o circuito industrial.

As técnicas de simulação com base em modelagem matemática são recursos comprovadamente eficazes tanto no dimensionamento dos equipamentos de processo, como na fase de posta-em-marcha, bem como para otimizações contínuas de operações industriais de britagem e moagem. Entretanto, devido à natureza dos modelos e a complexidade dos fenômenos envolvidos, a representação fiel do desempenho de equipamentos e processos está baseada na qualidade das calibrações efetuadas que, por sua vez, dependem de dados representativos da operação modelada. Assim, o ajuste de modelos que representem os mecanismos de fragmentação e transporte que ocorrem na câmara de moagem definem plataformas de simulação, que podem ser empregadas desde análises de sensibilidade de cada variável de operação até modificações no circuito.

5. PANORAMA BRASILEIRO

A combinação entre as peculiaridades de muitos minérios brasileiros e o ambiente político/econômico do país moldaram a indústria mineral brasileira e suas características.

Iniciando pelo bem mineral de maior peso nas exportações, os depósitos brasileiros de minério de ferro possuem porções significativas de minério de alto teor de ferro e baixos teores de impurezas. As usinas implantadas para tratamento de minérios de alto teor incluíram assim circuitos de britagem e peneiramento, ou ainda aproveitamento de finos naturais de alto teor. A ocorrência de finos naturais com teor mais baixo motivou a construção de usinas dotadas de etapas de concentração. A cominuição intensiva de minérios de ferro só entrou em cena com a decisão de aproveitar, mediante moagem, os itabiritos do Quadrilátero Ferrífero. A moagem de produtos intermediários para pelotização também tem grande importância relativa no setor.

Assim, grande parte da produção brasileira de minério de ferro não depende de cominuição intensiva como, por exemplo, minérios que ocorrem na América do Norte ou na Escandinávia.

Outro setor que, embora importante, inclui somente operações de britagem e classificação é a indústria de bauxita, muito embora a etapa de fabricação de alumina seja iniciada com a moagem do minério de alumínio. Nesse caso é comum a combinação de moinhos de barras e bolas e, mais recentemente, circuitos de moagem SAG no projeto integrado Bauxita de Paragominas e Alumina da Alunorte, em implantação pela CVRD.

No setor de minério de fosfato, as principais usinas brasileiras processam minérios de porções alteradas de depósitos minerais com origem magmática. O circuito padrão consiste em britagem multi-estagiada, seguida de etapas de moagem em moinhos de barras e bolas. A grande quantidade de finos nesses minérios torna os circuitos de britagem e moagem peculiares, incluindo separação magnética em cargas circulantes ou entre etapas de moagem, bem como vários estágios de classificação para promover a concentração separada da apatita contida nos finos. As usinas de Catalão e Tapira da Ultrafértil e Araxá da Bunge estão assim configuradas.

Como os principais depósitos de minério de nióbio ocorrem nessas mesmas chaminés alcalinas de minério de fosfato, o fluxograma das usinas de tratamento é semelhante ao acima descrito.

Ainda no setor de matérias-primas para a indústria de fertilizantes, as usinas de Taquari, SE, e Cajati, SP, respectivamente de minérios de potássio e fósforo, possuem moagem unitária com moinhos de barras em circuito fechado.

A produção brasileira de concentrados de metais básicos não se encontra entre as maiores do mundo e advém, à exceção da usina do Sossego/CVRD que entrou em operação em 2004, de operações de pequeno e médio porte.

Nas minas de pequeno e médio porte, a lavra é subterrânea, cujo produto alimenta usinas com etapas de britagem, peneiramento, moagem e classificação, seguidas de concentração por flotação de minerais sulfetados e/ou, no caso do zinco, de minerais silicatados. Nesse setor há várias usinas com moagem unitária, ou seja, contam com um único estágio de moagem em moinhos de bolas à exemplo das usinas de Morro Agudo e Vazante, MG, da Votorantim Metais e Mineração Caraíba, BA.

A mineração de ouro, no Brasil, também não inclui circuitos de grande capacidade, a menos da RPM, pertencente à Kinross, que processa minério com teor da ordem 0,5 g/t. As demais empresas operam minas subterrâneas com circuitos de cominuição de pequena capacidade.

Atualmente, a RPM processa em circuito de britagem multi-estagiada e moagem unitária em quatro linhas de moinhos de bolas, cerca de 19 MTPA, estando em fase adiantada o projeto de ampliação para 50 MTPA, mediante a inclusão de moinho SAG e moinho de bolas, bem como o aproveitamento dos moinhos existentes.

As usinas do Queirós e Crixás da Mineração Morro Velho, bem como Fazenda Brasileiro da Yamana adotam também moagem unitária em moinhos de bolas, alimentada pelo produto de circuitos de britagem. Assim como estas, o minério tratado na usina de Jacobina, da Yamana, provém de mina subterrânea, de onde é encaminhado para britagem e moagem unitária em moinhos SAG. O fluxograma da usina da Mineração São Bento sem britagem, sendo a cominuição efetuada em um moinho AG, seguido de um moinho de bolas.

O fluxograma das principais usinas que processam minério de manganês, da jazida do Azul da CVRD e de Corumbá da RTZ, incluem etapas de britagem e peneiramento e, na usina do Azul, classificação em classificadores espiral. A produção de bióxido de manganês no Azul inclui moagem a seco em um circuito com moinho de rolos Raymond.

Os depósitos brasileiros de minérios de níquel incluem minérios sulfetados ou oxidados. Na primeira categoria destaca-se a Mineração Serra da Fortaleza – MSF, implantada pela empresa Rio Tinto e posteriormente adquirida pela Votorantim Metais. Nesse circuito, conforme sumarizado anteriormente, a configuração SAB foi adotada inicialmente sendo posteriormente convertida em SABC, contando ainda com britagem secundária.

A cominuição de minérios oxidados de níquel, geralmente, conta apenas com estágios de britagem. O projeto Níquel do Vermelho, que deverá ser implantado pela CVRD, no Pará, inclui operações de britagem em equipamento de rolos dentados, lavagem, classificação em ciclones, atrição e peneiramento de alta frequência.

A produção de cassiterita, de origem aluvionar, marcou o início das operações de minas de minério de estanho na região norte do Brasil. Posteriormente, o estanho contido em minérios primários aumentou sua participação no cenário nacional.

Na mina do Pitinga, localizada no Amazonas, há estágios de britagem e moagem, em moinhos de barras, para processar o minério granítico. Na mina do Bom Futuro, localizada em Rondônia, predominam moinhos de martelos em várias operações de pequeno porte.

O Brasil é um grande produtor mundial de cimento e, portanto, processa grandes quantidades de calcário, a principal matéria-prima mineral dessa indústria. Os circuitos de britagem apresentam peculiaridades em função, principalmente, das características de baixa abrasividade e resistência baixa a média à britagem e moagem, dos calcários brasileiros. A britagem é executada em circuitos multiestagiados que incluem combinações de britadores de mandíbulas ou giratórios em grandes operações, além de britadores cônicos secundários e terciários. Britadores de impacto são largamente empregados na indústria cimenteira, pois apresentam uma combinação favorável de relações de redução e capacidades muito altas. Circuitos configurados com britadores de impacto apresentam assim alta capacidade e menor número de estágios, se comparados a outros tipos de britadores.

A moagem na indústria cimenteira é efetuada a seco em moinhos multicâmaras ou de rolos de alta pressão. Os primeiros consistem em moinhos tubulares dotados de divisão intermediária formando duas câmaras, a primeira contendo bolas de maior diâmetro enquanto que na segunda, a carga conta com bolas de menor diâmetro relativo. Os moinhos de rolos verticais são equipamentos adequados à geração de produtos finos e, segundo alguns autores, possuem menor consumo energético específico, quando se compara o desempenho destes com moinhos de bolas. Os sistemas de moagem operam em circuito fechado e incluem aeroclassificadores, exaustores e filtros.

A indústria de agregados para a construção civil apresenta grande importância no setor mineral, dado o grande volume de produção, principalmente em regiões metropolitanas das grandes cidades brasileiras. Trata-se de um setor onde predominam britadores de mandíbulas e cônicos, em circuitos de britagem multi-estagiada até etapas terciária ou quaternária, dependendo dos produtos finais comercializados.

6. TENDÊNCIAS E PERSPECTIVAS

Seguindo-se as tendências observadas até o momento, as operações de circuitos de cominuição continuarão a representar os maiores itens de custo operacional em usinas de tratamento de minérios, quer seja pelo consumo de energia e/ou revestimentos e corpos moedores. Melhorias na eficiência de utilização de energia e diminuição do desgaste de revestimentos e corpos moedores continuarão assim, a representar os principais desafios para os grupos dedicados a pesquisas nessa área.

A reconhecida resistência da indústria de mineração e, em particular dos fabricantes de equipamentos de britagem e moagem, a rápidas mudanças tecnológicas, é fundamentada nos altíssimos investimentos necessários, cujos retornos previstos dependem de

combinações favoráveis de projetos adequados, que implantados resultem em operação estável e segura. Esses fatores, associados ao longo tempo de maturação, praticamente determinam a defasagem tecnológica entre o que se pratica na indústria e os desenvolvimentos recentes no setor.

O cenário torna-se ainda mais particular ao se considerar um ingrediente típico das engenharias, qual seja, que os grandes desenvolvimentos registrados no setor são oriundos da própria indústria, ou de pesquisadores a ela diretamente ligados.

Se a descrição apresentada é válida para aspectos de evolução e revolução em desenvolvimento de equipamentos, a área de aplicação de métodos e processos mostra um panorama muito diferente. Se por um lado as patentes da maioria dos britadores e moinhos em operação datam de muitas décadas, as técnicas empregadas atualmente para projeto de novas instalações e, sobretudo, na melhoria de desempenho de instalações existentes são radicalmente diferentes das praticadas há algumas décadas.

Nesse contexto, as técnicas de simulação com base em modelagem matemática são recursos comprovadamente eficazes, tanto no dimensionamento de equipamentos, como em circuitos integrados de processo. Uma vez configurado e calibrado, um simulador pode assim representar a operação de um circuito completo de britagem, peneiramento, moagem e classificação, quer seja para fins de projeto ou ainda de exploração de alternativas para melhoria de desempenho de circuitos existentes, geralmente via aumento de capacidade.

Os principais modelos matemáticos empregados nos simuladores são de natureza empírica e fenomenológica. Na primeira categoria destacam-se os modelos de ciclones, principalmente de Lynch (Nageswararao) e Plitt, ambos originalmente desenvolvidos no final da década de 1970. Modelos fenomenológicos dominaram o início da aplicação do método do balanço populacional a equipamentos de britagem e moagem.

O grande interesse em melhora de desempenho de circuitos industriais motivou o desenvolvimento de modelos que associam mecanismos de fragmentação e transporte que ocorrem em moinhos e britadores a variáveis essencialmente fenomenológicas. Assim, variáveis como taxa de quebra, obtidas inicialmente somente por meio de retro-cálculo são associadas, em modelos mais recentes, a parâmetros que determinam a movimentação da carga na câmara de moagem, como velocidade de rotação e grau de enchimento.

Modelos classificados como fundamentais ganharam importância relativa nos últimos anos. Superada a limitação inicial de longos períodos de processamento em super-computadores, métodos de elementos discretos são atualmente consolidados para análise, por exemplo, de movimentação da carga em moinhos em função de perfil de revestimento.

Embora não sejam utilizados em simuladores de processo, integrados portanto em circuitos completos de cominuição, a tendência é o aprimoramento de modelos fundamentais que assim deverão ser progressivamente mais empregados nessa área.

Sistemas especialistas deverão proporcionar evolução contínua e progressiva presença em circuitos industriais de moagem.

A alta nos preços das *commodities* de origem mineral registrada nos últimos anos mudou, de forma inédita, a indústria mineral. Embora afeita a demanda altas, porém restritas a alguns produtos, nem as previsões mais otimistas poderiam prever um mercado fortemente demandado por metais e outros produtos de origem mineral, como o atual.

Os resultados imediatos desse aquecimento do mercado são a profusão de novos projetos e expansões de operações existentes. Em ambos os casos há necessidade de mão-de-obra capacitada, quer em fabricantes de equipamentos, empresas de engenharia ou demais provedores de serviços. Nesse contexto, a tendência é de demanda por capacitação em técnicas modernas de modelagem e, principalmente, simulação de processos que embora não substituam a experiência acumulada de engenheiros de processos, permitem analisar casos industriais mais detalhadamente, determinar a influência de variáveis de operação e projeto, no desempenho de circuitos, fazer estudos de sensibilidade, comparar alternativas de processos, entre outros aspectos.

Com a tendência salutar, nos cursos de graduação, de formar engenheiros mais ecléticos do que especialistas, não cabe o ensino de técnicas sofisticadas de modelagem matemática em disciplinas de engenharia de minas. Esse assunto deve merecer atenção em programas de pós-graduação, bem como em cursos de extensão/especialização para profissionais envolvidos nessa área.

Os rumos de trabalhos de pesquisa devem ser estabelecidos, não apenas em função das vocações individuais dos pesquisadores, mas sobretudo na capacidade do corpo de pesquisadores dos centros de pesquisa e universidades. Programas de mestrado devem ser dirigidos, principalmente a pesquisas aplicadas nas áreas de atuação de engenheiros que optem por aprofundamento de conhecimento, nas respectivas áreas de atuação ou recém formados que optem pela carreira de pesquisa e ensino. O núcleo de centros de excelência dedicados à formação de doutores devem ser formados por pesquisadores maduros e engenheiros com reconhecida dedicação às linhas de pesquisa selecionadas. Nesses ambientes, o foco deve ser a inovação tecnológica em áreas definidas como prioritárias para a região em que se encontram ou, alternativamente, em âmbito nacional.

A falta de tradição de fomento da indústria mineral brasileira às instituições de pesquisa merece ser revista, principalmente no atual ambiente próspero do setor. A proposição de alternativas para reversão desse cenário é portanto um desafio.

Um dos exemplos de comprovado sucesso é o modelo australiano, que tem por base a AMIRA, acrônimo para *Australian Mineral Industry Research Association*, instituição especialmente criada para a gestão de recursos destinados à pesquisa, que provém tanto do governo como da própria indústria.

As atividades principais da AMIRA compreendem a prospecção de oportunidades, a composição de programas de pesquisas baseados na seleção de grupos especializados em cada área de conhecimento, bem como a promoção desses programas, mediante a divulgação aos potenciais patrocinadores e beneficiários dos resultados obtidos. Além dessas atividades principais, a AMIRA faz a gestão dos recursos para pesquisas assim obtidos, quer sejam de instituições ou órgãos governamentais, ou da própria indústria.

Esse modelo que está implantado, há cerca de trinta anos na Austrália, poderia ser o ponto de partida para iniciativas, no Brasil, de alavancar o envolvimento direto da indústria mineral local, em projetos de pesquisa aplicada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bond, F.C. 1952. The third theory of comminution. Transactions of American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, v.193, p. 484-94
- Jones, S.M. 2006. Autogenous and semiautogenous mills 2005 update. International autogenous and semiautogenous grinding technology 2006. v.1, p. 398-425
- Conferências SAG 2001 e 2006. International autogenous and semiautogenous grinding technology 2001 e 2006, Vancouver, Canada.
- BEARMAN, R.A., 1995. Crushing plant performance a function of blast fragmentation? 4th Nordic Conference on Aggregates Research, Helsinque

CAPÍTULO 3

FLOTAÇÃO

*José Farias de Oliveira**

1. BREVE APRESENTAÇÃO DO ESTADO DA ARTE

O desenvolvimento da indústria mundial nos últimos cem anos não teria sido possível sem a descoberta do processo de flotação. Os processos físicos tradicionais, gravimétricos, magnéticos e eletrostáticos, em grande parte baseados nas propriedades naturais dos minerais, não teriam possibilitado a escala de produção necessária dos metais básicos – cobre, chumbo, zinco e níquel – a partir dos sulfetos minerais. Também não teria sido possível a produção atual dos metais nobres, nem a produção do fosfato necessário ao desenvolvimento da agricultura. Até mesmo grande parte da produção mundial de minério de ferro, necessário à produção de aço nos níveis de consumo atual, só se tornou possível nas últimas décadas com a utilização em larga escala do processo de flotação.

As primeiras operações de processamento mineral utilizando o processo de flotação datam do início do século passado. Durante os últimos cem anos, observou-se um desenvolvimento contínuo da tecnologia envolvida, decorrente de investimentos em pesquisa, principalmente durante as décadas de 1960 e 1970. Como consequência, nos últimos trinta anos, as aplicações do processo de flotação se multiplicaram. No Brasil, a flotação desempenhou um papel fundamental para o crescimento da indústria mineral, principalmente para as indústrias de fosfato e de minério de ferro. Em escala internacional, a industrialização não poderia ter atingido os níveis atuais de produção, sem a inovação representada pelo processo de flotação. Trata-se, portanto sem exagero, de uma das grandes invenções tecnológicas recentes da humanidade.

É indiscutível a tendência de aumento acentuado da demanda mundial de metais e outros bens minerais, como consequência da diminuição da exclusão social no mundo. Alguns países, como a China e a Índia, têm aumentado acentuadamente o consumo de produtos de origem mineral nas últimas décadas. Estas considerações corroboram a necessidade de ampliação da escala da produção mineral no mundo. Ou seja, é preciso considerar que é mais ou menos previsível um aumento imprevisível da demanda por bens minerais em escala mundial. Esta demanda tornará indispensáveis o desenvolvimento e o aprimoramento dos processos de tecnologia mineral. Neste contexto, o processo de flotação precisará desenvolver-se para atender ao tratamento de novos minérios de composição provavelmente mais complexa.

* Professor Titular da Escola Politécnica da UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais.

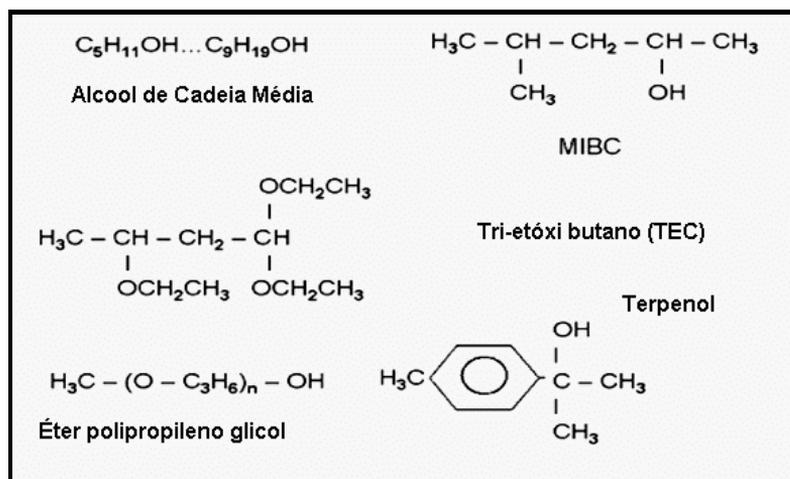
Seria interessante tomarmos como referência, por exemplo, a questão da produção de energia no mundo atual. Vemos que a situação de dependência dos combustíveis fósseis, cuja exaustão das reservas conhecidas atuais está prevista para um prazo de vinte e cinco anos, faz com que sejam desenvolvidas alternativas de energia solar, eólica e nuclear, dentre outras. No entanto, não seria uma abstração afirmar que as reservas futuras de minerais, por sua complexidade, apresentarão problemas sérios de processamento. Sem dúvida, estas reservas apresentarão teores muito mais baixos. Além disso, os tamanhos de grão nos minérios tendem a diminuir e o processamento de partículas ultrafinas passará a ser um elemento complicador.

Supondo-se que, no quadro acima descrito, o processo de flotação passasse a ser inadequado, qual seria a alternativa? Simplesmente não existem alternativas propostas com perspectivas de sucesso. Não existe um processo alternativo vislumbrado para um horizonte de algumas décadas. Os primeiros trabalhos sobre floculação seletiva nos anos 70 criaram, de fato, uma grande expectativa. No entanto, este processo logo se mostrou de aplicabilidade limitada. Desta forma, a solução para os problemas previsíveis, até mesmo no longo prazo, ainda parece ser o aprimoramento do processo de flotação.

No entanto, apesar do quadro descrito, outro aspecto que merece ser levado em consideração é que tanto os Estados Unidos como os países da Europa passaram a dar prioridade a pesquisas em outros campos de atividade e a investir muito menos no setor de processamento mineral. Neste contexto, não parece estrategicamente correto para o Brasil seguir a mesma linha de priorização, tendo em vista as perspectivas de crescimento econômico que o setor mineral pode trazer ao país. A retomada atual das discussões sobre os investimentos em pesquisa na área de tecnologia mineral é, portanto, uma iniciativa oportuna e com reflexos de curto prazo no setor produtivo. Por uma coincidência, nos últimos anos, surgiram contribuições importantes referentes aos mecanismos do processo. Estas contribuições inovativas referentes, por exemplo, aos conceitos de forças hidrofóbicas, incluem novos enfoques sobre os fundamentos do processo que, com certeza, permitirão um avanço tecnológico nas próximas décadas.

O processo de separação por flotação baseia-se no controle de hidrofobicidade diferencial dos minerais dispersos numa polpa, através da utilização de reagentes químicos específicos. O grande avanço na utilização da flotação pela indústria mineral ocorreu a partir da introdução de xantatos na flotação seletiva dos sulfetos. Atualmente, cerca de 95% da produção mundial de cobre, níquel, chumbo e zinco é obtida através deste processo. A flotação dos óxidos e silicatos teve uma evolução bem mais lenta, e muitos dos problemas envolvidos, como a recuperação dos finos, encontram-se, ainda hoje, em estudo. Isto não impediu sua larga utilização na industrialização de rocha fosfática e de minério de ferro, além da recuperação parcial de praticamente todos os minerais de interesse econômico. Como consequência, cerca de 2×10^9 toneladas de minério são processadas anualmente através da flotação.

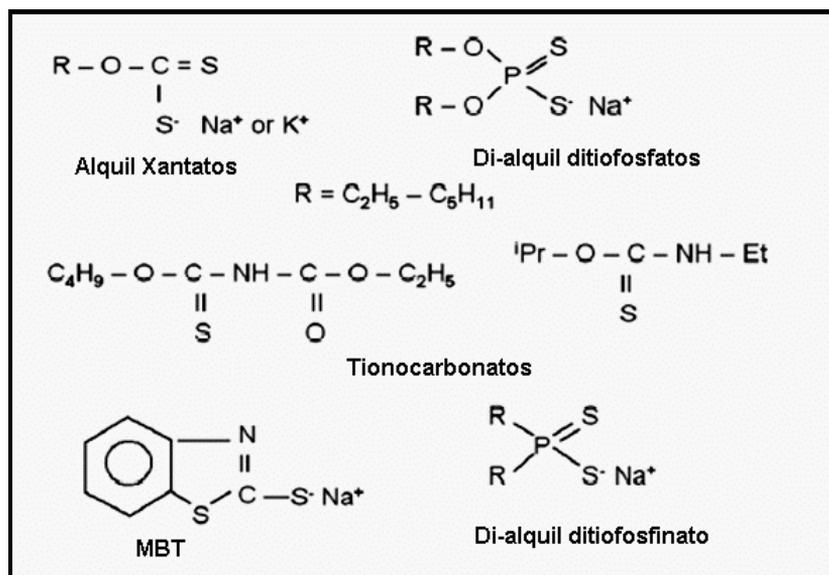
Quanto à flotação dos sulfetos, os reagentes coletores caracterizam-se pela presença do enxofre divalente. São os denominados tio-coletores, normalmente utilizados em combinação com reagentes depressores ou ativadores. Pearse (2004) apresentou recentemente um levantamento sobre a questão da evolução do uso dos reagentes na indústria mineral. Os xantatos e ditiofosfatos são os surfatantes mais comumente utilizados, sendo que o consumo dos xantatos é incomparavelmente maior. São reagentes normalmente de cadeia curta, com não mais de cinco carbonos na cadeia. Por esta razão, necessitam estar acompanhados sempre da utilização de reagentes espumantes (Figura 1).



Fonte: Pearse, 2004

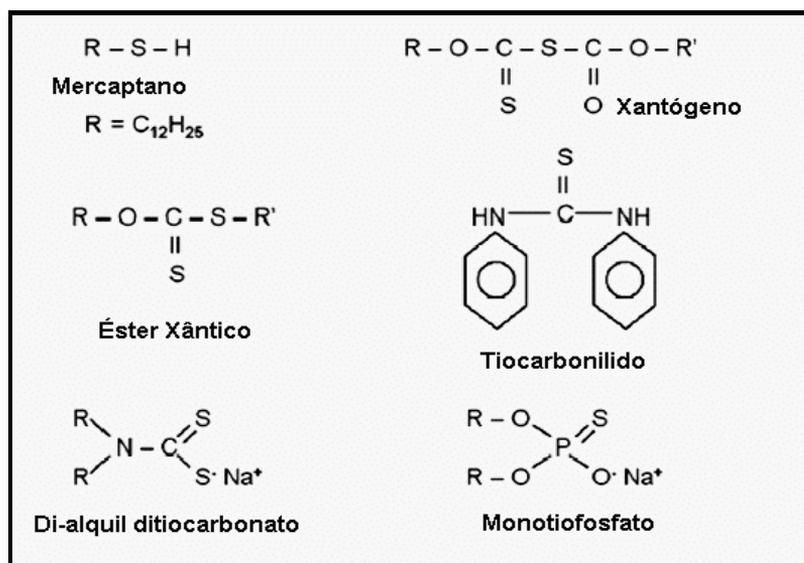
Figura 1 - Reagentes espumantes normalmente associados à flotação dos sulfetos

A Figura 2 apresenta um resumo dos coletores mais comumente utilizados na flotação de sulfetos. Alguns coletores sulfidrilicos com funções e aplicações mais específicas têm sido desenvolvidos nas últimas décadas e estão apresentados na Figura 3. Os minérios auríferos associados a sulfetos apresentam suas peculiaridades e uma problemática especial quanto aos aspectos eletroquímicos (Monte *et al.*, 1997, Bravo *et al.*, 2005, Monte *et al.*, 2002).



Fonte: Pearse, 2004

Figura 2 - Coletores mais comumente utilizados na flotação de sulfetos



Fonte: Pearse, 2004

Figura 3 - Coletores mais especializados utilizados na flotação de sulfetos

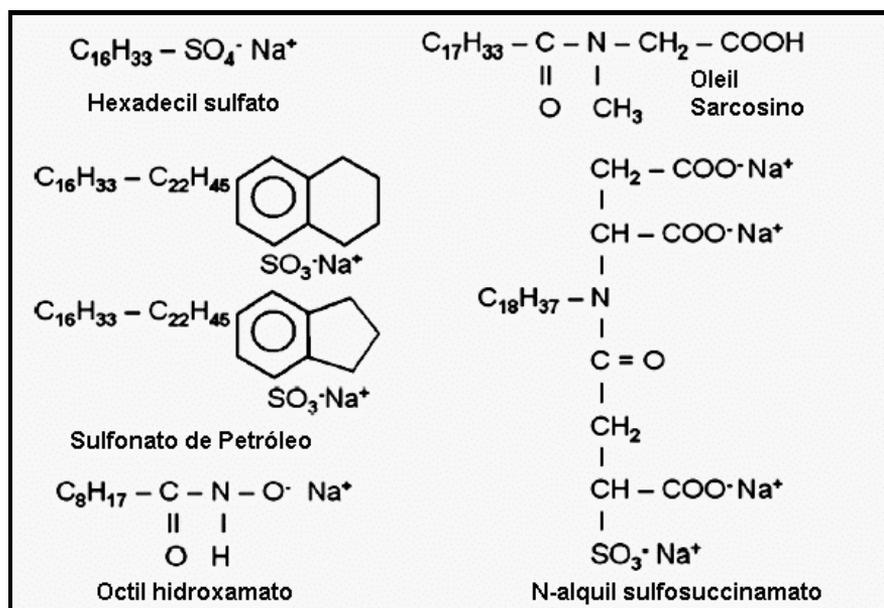
Na flotação de óxidos e silicatos, a presença de partículas ultrafinas influencia negativamente o processo. Estas partículas precisam, geralmente, ser removidas por ciclona-gem antes da flotação, o que pode significar uma perda considerável de minerais valio-

tos. A baixa seletividade dos reagentes coletores utilizados na flotação dos óxidos implica quase sempre na necessidade de utilização de reagentes ativadores ou depressores específicos. Um trabalho importante sobre os depressores mais utilizados na separação de hematita e quartzo foi realizado por Pavlovic e Brandão (2003).

Na Figura 4 são apresentados os reagentes mais comumente utilizados como coletores aniônicos não sulfidrilícos. Os coletores catiônicos são normalmente formados pelas aminas graxas, diaminas, éter aminas e éter diaminas. Uma revisão recente da utilização de reagentes catiônicos na flotação de minério de ferro foi efetuada por Araújo *et al.* (2005).

Em comparação com a flotação dos sulfetos, a flotação dos óxidos apresenta ainda as seguintes peculiaridades:

- Maior importância dos fenômenos de atração eletrostática entre mineral e reagente coletor.
- Necessidade de coletores de maior cadeia carbônica, em geral, com mais de 10 átomos de carbono.
- Necessidade de maior concentração de coletor para flotação efetiva.



Fonte: Pearse, 2004

Figura 4 - Estrutura dos coletores aniônicos mais comumente utilizados na flotação de minerais oxidados

Muitas dessas características de flotabilidade dos óxidos e silicatos são também compartilhadas pelos chamados minerais semi-solúveis ou minerais do tipo sal, incluídos aí a flourita, a scheelita, os sulfatos (barita e gipsita), os carbonatos (siderita, magnesita, calcita), os fosfatos (apatita) e outros. Este grupo apresenta, no entanto, suas peculiaridades decorrentes, principalmente, de suas propriedades físico-químicas de superfície. Guimarães *et al.* (2005) apresentaram recentemente uma revisão das sistemáticas utilizadas para obtenção de seletividade na flotação de rocha fosfática de origem ígnea e as características mineralógicas dos principais minérios brasileiros.

As operações de britagem e moagem, etapas rotineiras da preparação de um minério para flotação, têm por objetivo a liberação dos minerais e a produção de partículas de tamanho adequado ao processo, através da fragmentação dos cristais que compõem a rocha. Esse processo de ruptura causa interrupção da periodicidade regular da rede cristalina dos minerais, através da quebra de ligações químicas entre os átomos que a constituem.

Em comparação com os átomos do interior do cristal, aqueles da camada mais externa apresentam ligações insaturadas e forte tendência de interação com outras espécies iônicas naturalmente presentes na polpa. Esta interação é a causa principal dos fenômenos de adsorção que ocorrem na interface entre o mineral e a água. Estes fenômenos podem ser de natureza química, ocasionando a formação de novos compostos na superfície do mineral. Em outras situações, forças de origem física, eletrostática, por exemplo, são predominantes. No que se refere à otimização do sistema de reagentes de uma planta industrial, é importante levar em consideração as interações entre os vários reagentes entre si e, simultaneamente, os aspectos referentes à composição mineralógica e à influência da hidrodinâmica dos equipamentos utilizados. A Figura 5, parte de um trabalho que lamentavelmente não conseguimos localizar, ilustra a complexidade que pode estar envolvida na tarefa de investigar as possibilidades de aumento da recuperação em uma usina de flotação. É interessante observar que não estão aí incluídas as técnicas mais recentes de SIMS, AFM etc. Nagaraj (2004) retomou recentemente a questão através da proposição de uma abordagem denominada holística do problema envolvido na seleção dos reagentes em uma usina. A seguir são mencionados alguns aspectos que apresentam maior relevância no desenvolvimento recente da tecnologia da flotação.

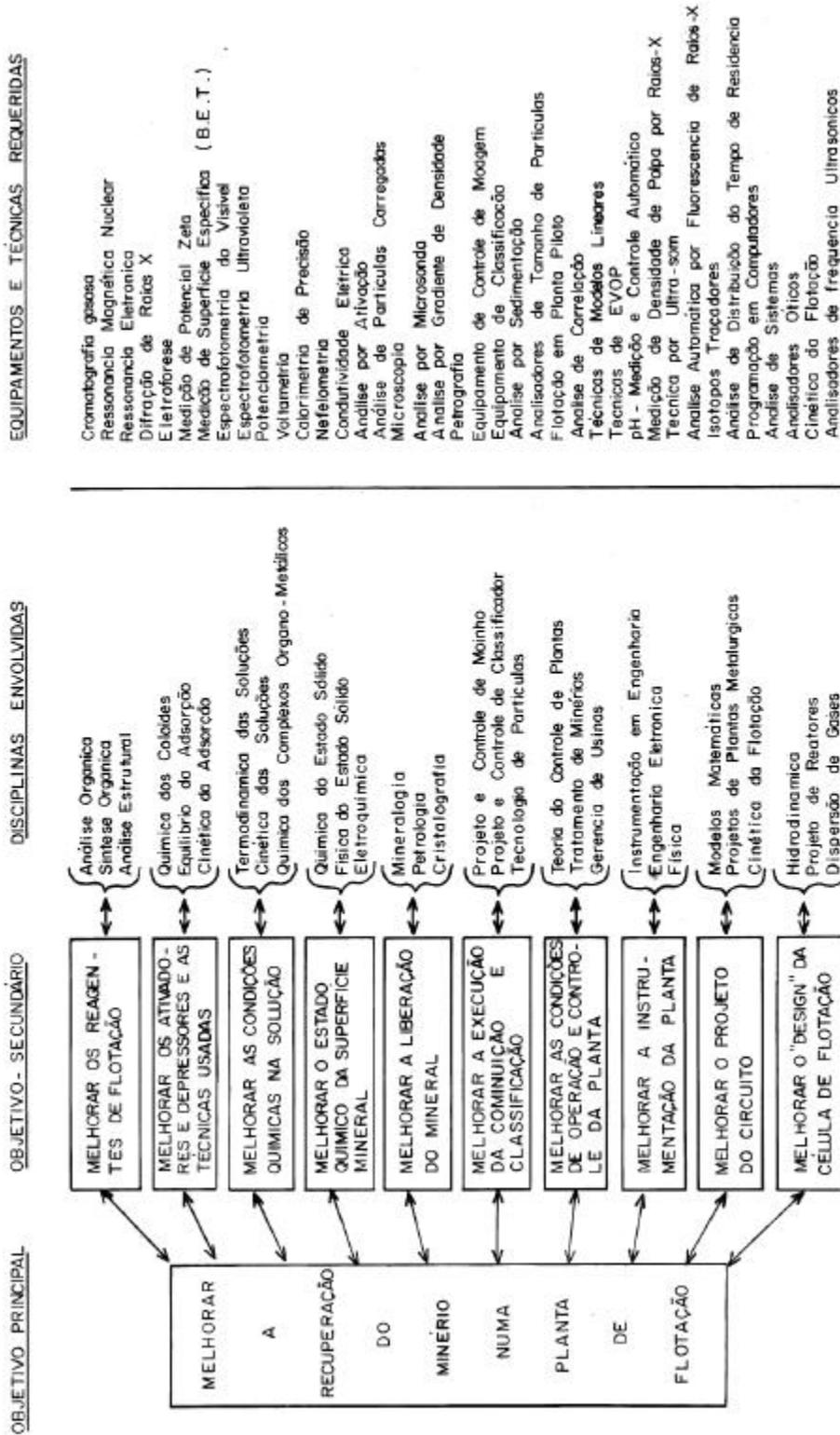
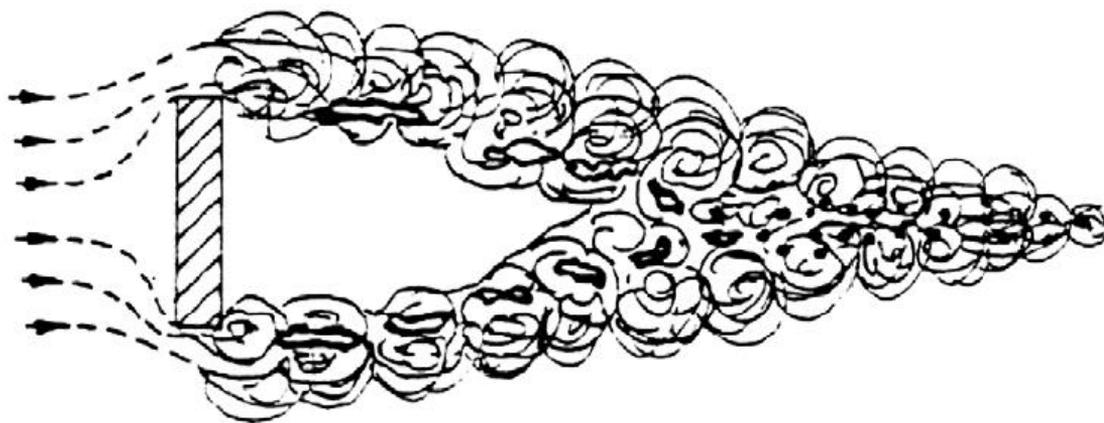


Figura 5 - Complexidade da pesquisa em flotação, disciplinas envolvidas e técnicas laboratoriais

2. AVANÇOS CIENTÍFICOS NO EMBASAMENTO DO PROCESSO

A recuperação na flotação inicia-se com a colisão e adesão entre partículas hidrofóbicas e bolhas no interior da célula, seguida do transporte do agregado formado na polpa até a espuma, drenagem e enriquecimento da espuma, até completar-se com a remoção da espuma. No entanto, cada uma dessas etapas ocorre, de fato, em vários estágios.

A formação do agregado estável partícula-bolha é considerada a etapa controladora da velocidade de flotação. Para sua efetivação é necessário, em primeiro lugar, que as trajetórias da partícula e da bolha permitam uma aproximação até uma distância mútua muito pequena. Sendo a bolha, em geral, de dimensões bem maiores, o estágio inicial de colisão assemelha-se à situação de uma partícula aproximando-se de uma interface plana. A elasticidade da superfície da bolha permite a formação de uma depressão no momento do choque. Philippoff (1952) e Evans (1954) desenvolveram uma teoria para calcular o tempo de contato ou indução, admitindo que a bolha absorve a energia cinética da partícula ao formar-se a depressão.



Fonte: Grainger-Allen, 1970

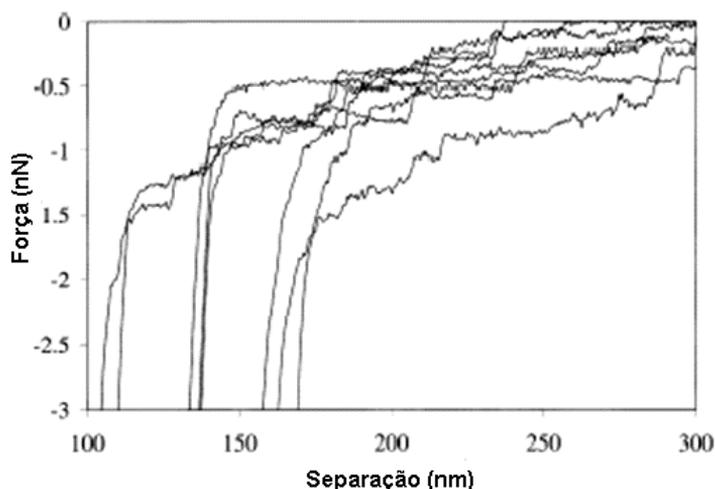
Figura 6 - Dispersão de ar gerada na retaguarda de um elemento do sistema de impulsão de uma célula de flotação

Esta energia cinética é transformada em energia potencial. Ao retomar sua forma esférica original, a bolha poderá, em determinadas circunstâncias, atirar a partícula de volta à polpa. A eficiência das colisões é decorrente ainda da turbulência e da hidrodinâmica do sistema mecânico utilizado (Figura 6). A importância dos aspectos hidrodinâmicos foi abordada recentemente por Aquino *et al.* (2000), em estudo de células de coluna com agitação. Uma importante contribuição envolvendo aspectos teóricos e experimentais foi também apresentada recentemente por Rodrigues *et al.* (2001). Para haver flotação, é necessário ainda que, durante o tempo de indução, ocorra o adelgaçamento e a ruptura do filme líquido que separa a partícula da bolha.

O estágio final da etapa de coleta no processo de flotação é representado pela *expansão do menisco de contato* formado no ponto de ruptura do filme, permitindo o estabelecimento de um ângulo de contato elevado e estável entre a partícula e a bolha. Ou seja, tem-se a formação de uma linha de contato envolvendo as três interfaces: sólido-líquido, líquido-gás e sólido-gás.

Estes conceitos básicos sobre os mecanismos envolvidos no processo têm sido aceitos nas últimas décadas sem questionamentos de vulto. De fato, a questão da hidrofobicidade e dos mecanismos que controlam a adesão das partículas às bolhas de ar parecem ser de uma lógica inquestionável. No entanto, nos anos recentes, as pesquisas envolvendo microscopia de força atômica (AFM) trouxeram novidades importantes (Preuss e Brut, 1998; Preuss e Brutt, 1999) que irão revolucionar as concepções dominantes e talvez acarretar desdobramentos importantes para o processo.

As denominadas forças hidrofóbicas já haviam sido medidas diretamente, no início dos anos 80 pela técnica de aproximação de duas superfícies cilíndricas dispostas transversalmente (Israelachvili e Pashley, 1982). Elas têm sido classificadas como forças de longo alcance, porque começam a se manifestar em distâncias da ordem de 300 nm. Entretanto, somente nos anos mais recentes foi possível quantificar a relação força-distância, bem como analisar o caráter da interação atrativa entre superfícies hidrofóbicas. A questão da importância das forças hidrofóbicas foi abordada recentemente por Lins e Adamian (2000). A Figura 7 apresenta resultados que mostram um aumento escalonado das forças atrativas, indicando a existência de subprocessos acontecendo em função da diminuição da distância (Tyrrell e Attard, 2002). As contribuições recentes envolvendo mapeamento de superfícies hidrofóbicas por AFM serão discutidas a seguir na abordagem da questão da adesão partícula-bolha. Estes estudos têm permitido concluir pela existência de monocamadas de nanobolhas recobrimdo as superfícies hidrofóbicas e atribuir a este fato os fenômenos observados de atração hidrofóbica.



Fonte: Tyrrell e Attard, 2002

Figura 7 - Força-distância entre partículas hidrofóbicas recobertas com nanobolhas

Derjaguin e Dukhin (1961), aplicando a teoria clássica da estabilidade e coagulação de colóides (teoria de DLVO), introduziram o conceito de pressão de disjunção (*disjoining pressure*) à interação partícula-bolha. Segundo essa teoria, quando o filme líquido entre a partícula e a bolha atinge uma espessura da ordem de $1\ \mu\text{m}$ a $0,1\ \mu\text{m}$, forças moleculares entram em operação, determinando ou não a ruptura do filme e a efetiva ligação partícula-bolha. Valores negativos da pressão de disjunção acarretam atração entre a partícula e a bolha. As forças envolvidas seriam decorrentes dos fenômenos de atração-repulsão de London - Van der Waals, bem como da interação das duplas camadas elétricas. No entanto, as limitações de aplicabilidade da teoria de DLVO vêm sendo intensamente discutidas ultimamente, e estas novas interpretações poderão iluminar o desenvolvimento de uma nova abordagem dos processos de floculação e de flotação. Os trabalhos de revisão elaborados por Lyklema *et al.* (1999) e por Ninham (1999) representam uma excelente contribuição ao assunto, fortalecendo o mérito genial da teoria de DLVO e, ao mesmo tempo, enfatizando as condições de sua aplicabilidade e as contribuições mais recentes sobre o assunto.

Admitindo-se um equilíbrio dinâmico de adsorção e dessorção de coletores na superfície da partícula, quando esta se aproxima da superfície da bolha, ocorre uma dessorção do reagente em sua forma dissociada e subsequente difusão para a superfície da bolha, que passa a reter um excesso de carga. Por outro lado, uma carga de sinal contrário se estabelece na região da partícula em que houve dessorção. Dejarguin e Dukhin estimam que um campo elétrico, da ordem de milhares de volts por centímetro, origina-se localmente. Estas forças de origem elétrica desempenhariam um papel predominante no adelgaçamento do filme líquido e sua subsequente ruptura. No entanto, a formação de monocamadas de nanobolhas nas superfícies hidrofóbicas (Steitz *et al.*, 2003) e os fe-

nômenos de capilaridade decorrentes deste fato têm sido comprovados recentemente como tendo uma contribuição para o adelgaçamento e ruptura do filme líquido. Desta forma, o filme líquido que precisa ser rompido, segundo as concepções mais recentes (Schubert, 2005), não seria um filme entre uma superfície sólida hidrofóbica e a superfície da bolha. Seria, de fato, um filme líquido entre duas interfaces líquido-gás (Figura 8), representadas pela superfície das nanobolhas, recobrando as partículas e a superfície da bolha de ar que se aproxima para fazer a flotação. É importante considerar que os aspectos hidrodinâmicos precisam também ser levados em consideração (Rodrigues *et al.*, 2001), devido à energia mecânica necessária para a eficiência do rompimento do filme líquido descrito.



Fonte: Schubert, 2005

Figura 8 - Filme aquoso entre uma nanobolha sobre uma superfície hidrofóbica e uma bolha de ar de tamanho normal

Os detalhes dos mecanismos acima descritos têm sido discutidos por diversos autores, tendo alguns abordado o problema (Tomlinson e Fleming, 1963, Gonzales, 1978) sob o aspecto da probabilidade de flotação (P_f), através da expressão:

$$P_f = P_c \cdot P_a \cdot P_s$$

onde:

P_c = probabilidade de colisão bolha-partícula;

P_a = probabilidade de adesão (adelgaçamento e ruptura do filme líquido durante a colisão);

P_s = probabilidade de formação de um agregado estável, capaz de suportar as turbulências no interior da célula de flotação (função do ângulo de contato).

A probabilidade de colisão partícula-bolha (P_c) mereceu a atenção de diversos pesquisadores (Reay e Ratcliff, 1975; Flint e Howarth, 1971; Collins e Jameson, 1976; Anfruns e Kitchener, 1977), sendo consensual que P_c está relacionada diretamente com variá-

veis físicas, tais como: densidade das partículas e do líquido, viscosidade da polpa, velocidade relativa partícula-bolha e, em particular, com o diâmetro das partículas (d_p) e o diâmetro das bolhas (d_b). Rodrigues e Rubio (2003) desenvolveram recentemente uma nova metodologia para medição da distribuição do tamanho de bolhas na flotação.

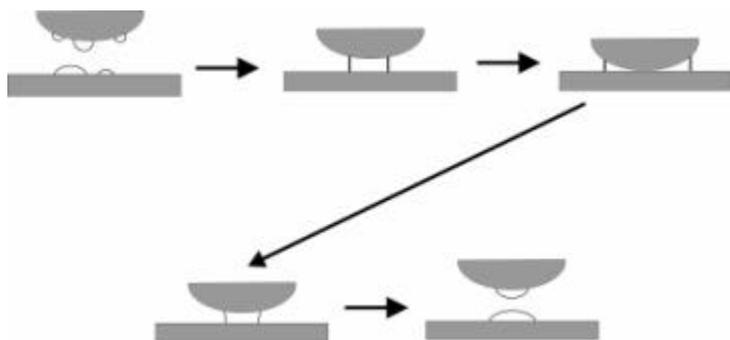
Uma expressão, primeiramente deduzida por Collins e Jameson (1976), mostra que, para uma dada vazão de gás, a eficiência de colisão (E_c) seria dada por:

$$E_c = a_1 \left(\frac{d_p}{d_b} \right)^2$$

Esta expressão está de acordo com resultados experimentais obtidos por Collins e Jameson (1976) e Reay e Ratcliff (1975), que encontraram uma correlação, para o caso de bolhas pequenas (< 10 mm), e também com os resultados de Anfruns e Kitchener (1977), para bolhas maiores (600 a 1000 μ m):

3. PERSPECTIVAS DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS

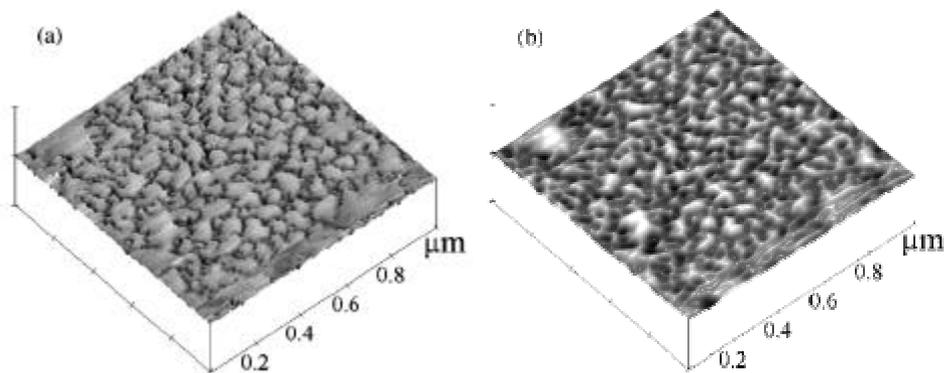
Quanto à probabilidade de adesão (P_a), os fenômenos observados nos últimos três ou quatro anos são indicativos de que uma mudança na concepção tradicional é, de fato, necessária. A Figura 9 representa esquematicamente a interação entre duas superfícies sólidas hidrofóbicas recobertas por nanobolhas. Uma situação semelhante seria a observada entre bolhas e partículas hidrofóbicas. ou seja, antes da formação da linha de contato entre as três fases, durante o adelgaçamento do filme, as forças de atração-repulsão de Van der Waals e as forças de repulsão eletrostática seriam responsáveis pelo processo de atração. No entanto, após o estabelecimento do contato, forças de capilaridade entrariam em ação, provocando a coalescência das nanobolhas envolvidas e a heterocoagulação partícula-bolha (Schubert, 2005).



Fonte: Schubert, 2005

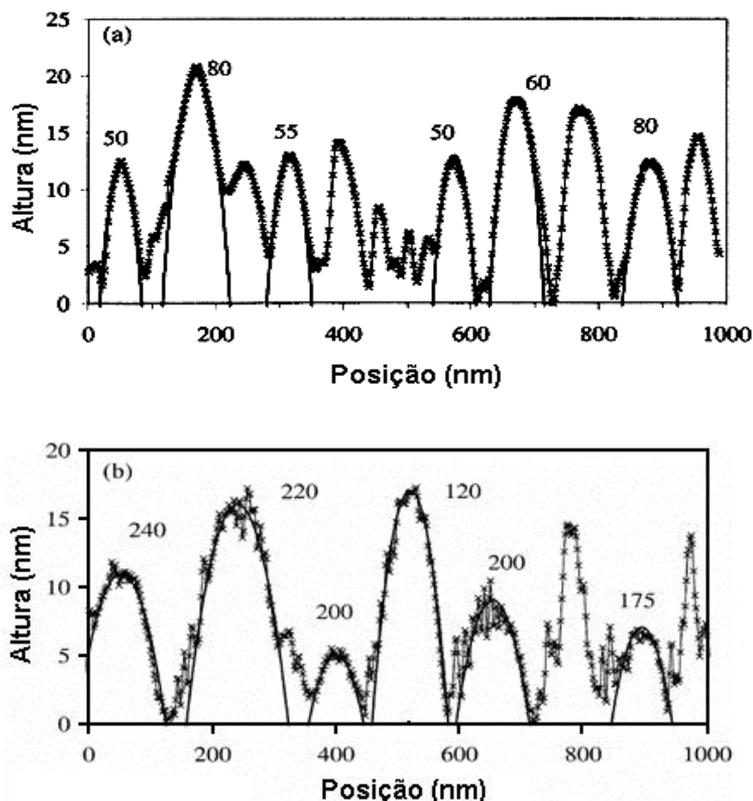
Figura 9 - Esquema provável envolvendo a formação e ruptura de ligações entre superfícies sólidas hidrofóbicas recobertas de nanobolhas

Toda a discussão envolvendo a questão da atração hidrofóbica estaria ainda não-fundamentada sem os trabalhos desenvolvidos por Preuss e Brutt (1998, 1999), Ralston *et al.* (2001) e principalmente sem as pesquisas ainda mais recentes de Tyrrell e Attard (2001, 2002), Christenson e Claesson (2001) e Nguyen *et al.* (2003). Um outro parâmetro essencial na questão da formação das nanobolhas refere-se à questão da rugosidade das superfícies, que foi também estudada por microscopia de força atômica por Snoswell *et al.* (2003) e Yang *et al.* (2003). A Figura 10 apresenta resultados obtidos por Tyrrell e Attard (2001), que demonstram, com bastante evidência, a presença de nanobolhas com uma altura média de 20-30 nm e um raio de curvatura da ordem de 100nm. Estes resultados podem significar uma revolução nos conhecimentos básicos sobre o processo de flotação. Sendo os dados obtidos indiretamente, deixam algumas indefinições referentes a aspectos termodinâmicos, principalmente no que se refere à enorme pressão interna das bolhas, decorrente do seu pequeno tamanho, considerando-se aplicável a equação de Young-Laplace ($\Delta p = 2\gamma/r$). Na Figura 11 são apresentados cortes transversais referentes às imagens de microscopia de força atômica apresentadas na Figura 10. De fato, as aparentes parábolas mais se aproximam de círculos, considerando-se as diferenças de escala.



Fonte: Tyrrell e Attard, 2001

Figura 10 - Imagens obtidas por microscopia de força atômica utilizando a técnica de *tapping mode* para superfícies hidrofóbicas em água. As áreas claras são interpretadas como nanobolhas



Fonte: Tyrrell e Attard, 2002

Figura 11 - Corte transversal de imagens do tipo apresentado na Figura 10 para diferentes condições experimentais da solução aquosa

É importante mencionar que imagens indiretas de nanobolhas foram também obtidas por Ishida *et al.* (2000) utilizando a técnica de *tapping mode* em AFM (Microscopia de força atômica). No entanto, essas imagens representam nanobolhas mais ou menos isoladas, talvez decorrentes das condições químicas da solução aquosa utilizada. Pelo trabalho de Tyrrell e Attard (2002) as imagens observadas na Figura 10 apresentam, de fato, uma monocamada de nanobolhas, envolvendo a superfície hidrofóbica. De qualquer forma, a formação de nanobolhas na superfície de partículas hidrofóbicas, em água, é hoje um fenômeno considerado demonstrado e de ocorrência generalizada. De acordo com Sakamoto *et al.* (2002), mesmo em condições experimentais controladas, é difícil conseguir-se uma situação de ausência de nanobolhas.

É difícil, nas circunstâncias atuais, que esta nova interpretação dos fenômenos envolvidos nos mecanismos do processo de flotação tenha a importância que merece. Em primeiro lugar, trata-se de resultados de pesquisa recentíssimos, emanados dos últimos três ou quatro anos, aos quais pode-se ainda atribuir o peso da dúvida. Com certeza existem muitos aspectos a serem elucidados. Porém, é preciso levar em consideração estas con-

tribuições e investigar suas potencialidades. Em segundo lugar, fundamentos básicos podem ser considerados sem importância econômica ou industrial. Em relação a este aspecto é importante lembrar que, mesmo as células de coluna, que são uma proposta alternativa às células de agitação utilizadas pela indústria, não tiveram uma aceitação imediata. Patenteadas em 1962, no Canadá, levaram vinte anos para serem utilizadas pela indústria, tendo finalmente reconhecida sua eficácia e sendo hoje empregadas em larga escala no processamento mineral.

É importante, no entanto, enfatizar que os avanços científicos mencionados podem ter uma influência muito grande no desenvolvimento de novas tecnologias e que o Brasil precisa estar atento para estas possibilidades. É interessante observar a grande contribuição de grupos de cientistas australianos para as inovações de conhecimento abordadas.

Seria possível imaginar algum processo que já partisse do princípio de que as partículas finas hidrofóbicas, estando já recobertas de nanobolhas, poderiam ser separadas das demais sem a introdução de ar no sistema?

Os aspectos acima discutidos são fundamentais para o desenvolvimento de inovações visando a separação dos minerais pelo processo de flotação. No entanto, sendo este um processo dinâmico, a cinética de flotação dos diversos minerais num mesmo ambiente químico pode ser uma variável importante no processo de separação. Embora o modelo simples de primeira ordem tenha sido utilizado na análise dos resultados de flotação com amostra pura de um mineral, para os casos mais complexos de flotação aplicada a amostras de minério, outros modelos têm sido utilizados com sucesso.

Três modelos cinéticos, largamente discutidos na literatura (Su *et al.*, 1998; Yuan *et al.*, 1996; Ek, 1991; Klimpel, 1980), têm sido aplicados com sucesso em casos específicos.

Em primeiro lugar, o modelo clássico de primeira ordem parte da premissa de que a variação da concentração de um determinada espécie mineral na célula de flotação é igual a kC , onde k é a constante cinética e C a concentração da espécie em questão que varia com o tempo. A partir deste conceito foi deduzida a expressão:

$$r = R_{\infty} [1 - \exp(-k t)]$$

Em segundo lugar, o modelo de primeira ordem com distribuição retangular de flotabilidades conduz à expressão:

$$r = R_{\infty} \left\{ 1 - \frac{1}{k t} [1 - \exp(-kt)] \right\}$$

E, finalmente, o modelo misto de flotação rápida e lenta é dado pela equação abaixo, que inclui duas constantes de flotabilidade (k_r para flotação inicial rápida e k_s para flotação lenta):

$$r = R_f[1 - \exp(-k_f t)] + R_s[1 - \exp(-k_s t)]$$

Nestas expressões:

r = fração de recuperação no tempo t ;

R_s = recuperação máxima;

R_f = recuperação final do estágio de flotação rápida;

R_s = recuperação final do estágio de flotação lenta;

K = constante cinética;

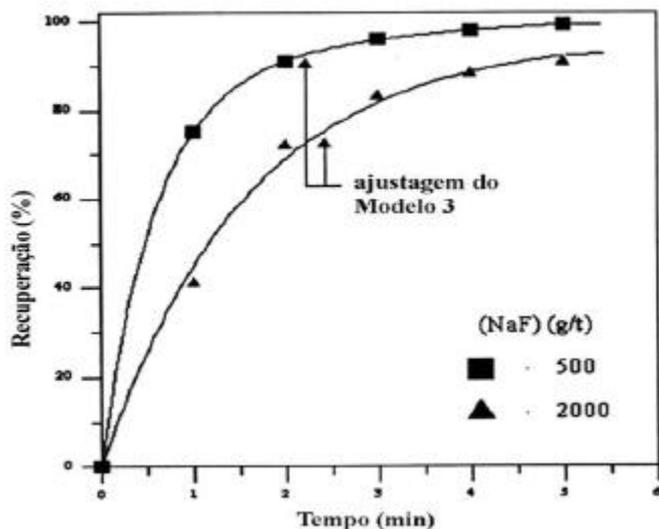
K_f = constante cinética para a etapa de flotação rápida;

K_s = constante cinética para a etapa de flotação lenta.

Em estudos cinéticos realizados em escala de bancada, Oliveira *et al.* (2001) testaram os modelos acima, observando um excelente ajuste do terceiro modelo aos dados experimentais obtidos na flotação do pirocloro de Araxá (Figura 12), para dois valores da concentração do ativador (NaF). O tratamento estatístico dos dados obtidos foi baseado em um programa de ajuste não linear de mínimos quadrados (Axum 4.1, Mathsoft). Este modelo foi o que apresentou o melhor ajuste para os resultados obtidos em célula Denver, em escala de bancada.

É importante assinalar que, embora os estudos de cinética de flotação sejam aparentemente independentes da questão da química de interfaces envolvida, de fato, este aspecto está embutido na constante cinética referente a cada mineral presente na célula. Entre outros fatores, a constante cinética referente a cada mineral é uma função também da sua hidrofobicidade. No entanto, o controle adequado da cinética envolvida na flotação de diversos minerais na célula pode ser um fator importante na seletividade do processo. Tendo-se em vista que a flotação não é um processo que ocorre em condições de equilíbrio, mas um processo dinâmico, este aspecto é de fundamental importância para o dimensionamento e *design* de um circuito de flotação.

É bastante difundida na literatura técnica a concepção de que o consumo rápido e desproporcional de coletor pelas partículas finas, devido à sua maior superfície específica, acarreta uma menor cobertura superficial das partículas grosseiras que seriam, por esta razão, menos flotáveis. Esta concepção foi respaldada inicialmente pelos trabalhos experimentais de Robinson (1960), referente ao sistema quartzo-dodecilamina, e de Glembotsky (1968), referente ao sistema pirita-xantato, os quais observaram que uma maior concentração de reagentes era necessária para flotar as partículas mais grosseiras. Esta abordagem é hoje um consenso na prática industrial.



Fonte: Oliveira *et al.*, 2001

Figura 12 - Recuperação do pirocloro em função do tempo para duas dosagens de ativador em pH = 3,0; Acetadiamin = 120 g/t e MC553 (depressor) = 300 g/t. Curvas traçadas com base no Modelo 3

A eficiência da flotação de partículas finas tem sido objeto de muitos estudos teóricos e experimentais, como indicam os trabalhos de revisão realizados por Trahar (1981) e Schulze (1984). Estes estudos demonstraram que a dificuldade de recuperação das partículas mais finas pode ser atribuída a fatores hidrodinâmicos e ao efeito da carga elétrica das partículas e bolhas. O tamanho das bolhas é também uma variável importante, sobre a qual, no entanto, tem sido difícil exercer um controle efetivo e continua sendo uma área de pesquisa com grandes perspectivas.

4. AGENDA DE PRIORIDADES – BRASIL 2015

Nas últimas décadas, a evolução da indústria química mundial e um melhor conhecimento dos mecanismos envolvidos no processo de flotação permitiram que fossem desenvolvidos novos reagentes *taylor made*, com funções mais específicas. Alguns exemplos estão apresentados nas Figuras 3 e 4. Novos desenvolvimentos nesta área são passíveis de implementação no curto prazo, levando em consideração o melhor conhecimento dos aspectos referentes à química de superfície das espécies minerais envolvidas e os novos conhecimentos sobre os mecanismos da flotação em desenvolvimento.

Em escala internacional, as ameaças inerentes ao período da guerra fria levaram a um investimento considerável de recursos financeiros na produção mineral. Os investimentos foram, porém, lentamente definindo no início da década de 1990. Isto se deveu, principalmente, à desarticulação do bloco soviético e à priorização de outras atividades nos Estados Unidos e Europa. Por outro lado, nos anos 80 e 90, pôde-se observar uma

tendência de aumento do consumo em ritmo não tão forte como o desejado para a humanidade. A situação da demanda não se agravou até atingir um ponto de ruptura. Porém, nos anos mais recentes, a situação vem se modificando gradualmente, observando-se um aumento crescente do consumo em diversos países.

De fato, na última década, alguns acontecimentos estão sinalizando para a acentuação dessa tendência. Com o aumento acentuado recente da demanda mundial, principalmente em países como a China e a Índia, é possível que venha a ser necessário um aumento substancial do investimento nas áreas de pesquisa geológica e processamento mineral. No Brasil, principalmente em função de investimentos em pesquisa mineral há duas décadas, no momento, estão em pleno desenvolvimento projetos de implantação de novas usinas de flotação de sulfetos de cobre e de outros metais.

4.1 Embasamento e novos métodos de estudo dos mecanismos científicos envolvidos

Novas técnicas de análise computadorizada de imagem por microscopia eletrônica de varredura e EDX permitiram uma melhor caracterização da mineralogia dos minérios e dos produtos intermediários em um circuito de beneficiamento e, conseqüentemente, um melhor desempenho do processo de flotação. Por outro lado, o desenvolvimento recente das técnicas inovativas de análise de superfície, permitirá, certamente, um avanço ainda maior nos próximos anos. A microscopia de força atômica (AFM), por exemplo, terá um papel importante neste processo.

4.2 Novos equipamentos de flotação

No setor de equipamentos a área de flotação teve desenvolvimentos interessantes. A partir da década de 1960 do século passado, as células de flotação foram sendo fabricadas em tamanhos cada vez maiores. Com o lançamento das células *Flash*, associadas aos circuitos de moagem para flotação de desbaste das partículas grosseiras, chegou-se à faixa dos 300m³. As células *Flash* evitam a sobre모agem, acarretando uma maior recuperação e um menor custo operacional de processo. Por outro lado, com as células *Jameson* foi introduzido o conceito da formação do agregado partícula-bolha em uma etapa preliminar do processo, efetuada antes da célula de flotação propriamente dita. Por último, mas não menos importante, observou-se nos últimos vinte anos a utilização generalizada das células de coluna, invenção desenvolvida e patenteada na década de 1960 pelos canadenses. Tendo em vista o grande número de colunas industriais já em operação no Brasil, seria importante realizar um estudo do desempenho operacional dessas células. Seria também oportuno investir no desenvolvimento de um sistema nacional de geração de bolhas.

4.3 Controle do teor dos produtos por fluorescência de raios-X

No que se refere ao controle de processo em escala industrial, a análise contínua *on-line* do teor dos vários produtos intermediários e finais por fluorescência de raios-X, iniciada ainda nos anos 80, representou uma melhoria acentuada de desempenho de algumas grandes usinas no mundo. Através de análise química contínua em diversos pontos do circuito, o ajuste da dosagem de reagentes, por exemplo, poderia ser feito mais prontamente, com a finalidade de corrigir determinadas quedas de teores dos produtos e assim melhorar a recuperação final.

4.4 Controle da espuma por análise de imagem

Mais recentemente, as atenções voltaram-se para o controle do processo através da análise de imagem da espuma *on-line*, como indicativo do funcionamento adequado do processo.

4.5 Processamento de partículas ultrafinas

As partículas finas, que, durante muito tempo, foram simplesmente descartadas pela clássica etapa da deslamagem, tornaram-se alvo de uma atenção especial na década de 1970, quando o processo de floculação seletiva passou a gerar enorme expectativa, considerado quase como uma panacéia universal. Tal processo foi aplicado industrialmente no tratamento dos taconitos americanos, mas não se revelou o processo revolucionário que parecia destinado a ser. O controle do tamanho de bolhas, cada vez menores, passou a ser enfocado, com ênfase, nas propostas de eletroflotação, flotação por ar dissolvido e flotação com microbolhas do tipo *coloidal gas aphrons*.

Como observação final, é importante assinalar que no Brasil o processo de flotação vem sendo utilizado em cerca de 40 usinas espalhadas por todo o país. Ainda na década de 1970, tínhamos em funcionamento no Brasil pelo menos três usinas de flotação de sulfetos. Na usina de Boquira, Bahia, fazia-se a flotação seletiva de galena e blenda. Na usina da Plumbum, em Panelas, Paraná, fazia-se a flotação seletiva de galena e cerussita ($PbCO_3$), enquanto no Rio Grande do Sul, em Camaquã, a flotação seletiva era aplicada a minerais de cobre. A desativação dessas unidades acarretou, naturalmente, um atraso nas oportunidades de conhecimento prático e na transmissão da prática da flotação de minerais sulfetados para novas gerações. A retomada da flotação de sulfetos de cobre em Carajás, com a implantação das unidades previstas, necessitará de um esforço nacional de capacitação de mão-de-obra que, sem dúvida, representa um gargalo que precisa ser levado em consideração.

5. ASPECTOS AMBIENTAIS

A Lei nº 9.433 de 1997, conhecida como Lei das Águas, instituiu o princípio dos usos múltiplos como uma das bases da política nacional de recursos hídricos, para que os diferentes setores usuários tenham acesso à água. A referida lei, de fato um instrumento de gestão, institui oficialmente a cobrança da água no Brasil, para os usuários industriais. O Conselho Nacional de Recursos Hídricos, através da Resolução de 20/03/2005, determinou a implantação do sistema.

As operações de processamento mineral, salvo algumas exceções, são geralmente realizadas em meio aquoso, e o processo de flotação caracteriza-se pela adição de reagentes químicos à água, como essência mesma do processo. Desta forma, esta água geralmente não pode ser descartada e devolvida aos cursos d'água de onde foi retirada. Por outro lado, uma percentagem geralmente muito grande de partículas finas fica associada à água do rejeito, sendo um elemento complicador. Em suma, existe o desafio para as próximas décadas de maximizar a reciclagem da água nas usinas. Por um lado, trata-se de um elemento complicador, mas por outro pode gerar, no futuro, benefícios econômicos decorrentes da reciclagem dos reagentes utilizados.

6. SUGESTÕES ADICIONAIS

A realização de estudos de caracterização qualitativa e quantitativa de composição mineralógica e do grau de liberação, visando à recuperação de outros minerais, poderia ser uma estratégia a ser estimulada pelo governo visando criar um diferencial entre a indústria mineral brasileira e suas similares no mundo.

As usinas que utilizam o processo de flotação, que se baseia em condições criadas e modificáveis do meio aquoso e não simplesmente nas características físicas dos minerais envolvidos, poderiam ser estimuladas pelo Estado, detentor legal das reservas minerais, a focar sua atenção na recuperação de minerais associados ao mineral principal. O desafio seria procurar recuperar, sempre que possível, um segundo e um terceiro mineral, mesmo que este não seja o negócio principal da empresa. Seria necessária a iniciativa do Estado já que as empresas, por razões de limitações inerentes ao seu campo de atividade, não iriam tomar a iniciativa de recuperar um segundo mineral que não está incluído no campo de interesse do seu negócio. Talvez a criação de um incentivo fiscal para a ampliação da faixa de interesse da empresa poderia acarretar um melhor aproveitamento dos nossos recursos minerais e, provavelmente, aumentar a competitividade das empresas brasileiras.

6.1 Projetos diversos sobre um mesmo tema com incorporação de pesquisadores de diferentes regiões

Com o objetivo de enfrentar de fato os principais desafios na área de flotação, poderia ser implantada no país uma série de projetos temáticos estruturados, projetos de porte

médio, a serem desenvolvidos por grupos de instituições, cada uma dedicando-se a um aspecto envolvendo inovações na área de pesquisa em questão. Estes subprojetos poderiam abordar problemas relativos à realidade brasileira, com interesse aplicado. Porém, deveriam focar também as questões fundamentais envolvidas no processo, objetivando aprimorar o conhecimento e buscar a excelência do Brasil neste setor. Este tipo de projeto poderia também contemplar o apoio para deslocamento e participação de pesquisadores isolados para algum dos centros diretamente envolvidos na pesquisa. As ações de intercâmbio e colaboração visariam criar também condições para a obtenção de melhores resultados.

6.2 Projetos de impacto na produção mineral e na economia do país

Na fase atual do desenvolvimento da tecnologia mineral no Brasil, tendo em vista os avanços recentes e os melhoramentos na infra-estrutura das Universidades e dos Centros de Pesquisa no campo específico da flotação de minerais, seria oportuno identificar alguns problemas cuja solução apresentasse uma contribuição significativa para a produção mineral brasileira e que ainda servisse como uma projeção do país no campo da tecnologia mineral, com impacto em outros países em desenvolvimento, permitindo o surgimento de empresas brasileiras de consultoria em nível internacional.

Um exemplo típico é o problema do anatásio, em Araxá. Temos a maior jazida de titânio do mundo, que não entra em produção pela falta de tecnologia mineral adequada. O mesmo pode ser observado em relação à jazida de fosfato e urânio de Itataia, no Ceará. Estes são problemas cuja solução não estão exclusivamente na flotação, mas, com certeza, ainda dependem de estudos adicionais nesta área.

6.3 Projeto planta piloto controlada por análise computadorizada de imagem da espuma e análise química por fluorescência de raios-X

Tendo em vista os recentes desenvolvimentos na área de controle de processos, seria muito importante que, pelo menos, uma planta piloto de flotação fosse montada com um sistema completo de análise química *on-line*, bem como com um sistema de controle da espuma por análise de imagem, obviamente incluindo ainda toda a instrumentação tradicional de controle.

6.4 Projetos cooperativos com América Latina e África (África do Sul, Angola e Moçambique): formação de especialistas

Em uma etapa subsequente da programação de pesquisa, as atenções poderiam ser voltadas para grandes temas de pesquisa envolvendo países da América Latina e África (Angola, Moçambique, África do Sul e outros).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anfruns, J. J., Kitchener, J. A. (1977), *The rate of capture of small particles in flotation*, Trans. Inst. Min. Metal., v. 86, pp. C9-C15.
- Araujo, A. C., Oliveira, J. F., Silva, R. R. R. (2003), Espumantes na flotação catiônica reversa de minérios de Ferro, *IV Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro, Anais*, pp. 823-832.
- Araujo, A. C., Viana, P. R. M., Peres, A. E. C. (2005), Reagents in iron ores flotation, *Minerals Engineering*, v. 18, pp. 219-224.
- Attard, P. (2003), Nanobubbles and the hydrophobic attraction, *Advances in Colloid and Interfaces Science*, v. 104, pp. 75-91.
- Bravo, S.V.C., Torem, M.L., Monte, M. B. M., Dutra, A. J. B., Tondo, L.A. (2005), The influence of particle size and collector on the flotation of a very low grade auriferous ore, *Minerals Engineering*, v.18, pp. 459-461.
- Christenson, H. K., Claesson, P. M. (2001), Direct measurements of the force between hydrophobic surfaces in water, *Advances in Colloid and Interfaces Science*, v. 91, pp. 391-436.
- Cilliers, J. J., Bradshaw, D. J. (1996), *The flotation of fine pyrite using colloidal gas aphrons*, v. 9, N° 2, pp. 235-241.
- Collins, G. L., Jameson, G. L. (1976), Experiments on the flotation of fine particles. The influence of particles size and charge, *Chem. Eng. Sci.*, v. 31, pp. 985-991.
- Derjaguin, B. V., Dukhin, S. S. (1961), Theory of flotation of small and medium size particles, *Trans. Inst. Min. Metal.*, v. 70, pp. 221-245.
- Ek, C. (1991), *Flotation kinetics*, Innovations in flotation technology, Nato Advanced Study Institute, Greece, pp. 183-209.
- Evans, L. F. (1954), Bubble-mineral attachment in flotation, *Ind. Eng. Chem.*, v. 46, pp. 2420-2424.
- Flint, L. R., Howarth, W. J. (1971), The collision efficiency of small particles with spherical air bubbles, *Chem. Eng. Sci.*, v. 26, pp. 1155-1168.
- Glembotsky, V. A. (1968), Investigation of separate conditioning of sands and slimes with reagents prior to joint flotation, *International Mineral Processing Congress*, 8, Paper S 16, Leningrado.
- Gonzales, G. (1978), Discussions and contributions, *Trans. Int. Min. Metal.*, v. 87, pp. C82-C83.
- Grainger-Allen, T. J. N. (1970), Bubble generation in froth flotation machines, *Trans. Inst. Min. Metall. C*, v. 79, pp. C15-C22.
- Guimaraes, R. C., Araujo, A. C., Peres, A. E. C. (2005), Reagents in igneous phosphate ores flotation, *Minerals Engineering*, v. 18, pp. 199-204.
- Ishida, N., Sakamoto, M., Miyahara, M. *et al.* (2000), Attraction between hydrophobic surfaces with and without gas phase, *Langmuir*, v. 16, pp. 5681-5687.
- Israelachvili, J. N., Pashley, R. M., (1982), The hydrophobic interaction is long range, decaying exponentially with distance, *Nature*, v. 300, pp. 341-342.
- Ityokumbul, M. T., Aquino, J. A., O'Connor, C. T., Harris, M. C. (2000), Fine Pyrite flotation in an agitated column cell, *Int. J. Miner. Processing*, v. 58, pp. 167-178.

- Klimpel, R. R. (1980), *Selection of chemical reagents for flotation*, Mineral Processing Plant Design, ed. A.L. Mular and R. B. Bhappu, SME, AIME, New York, pp. 907-934.
- Lins, F.A.F., Adamian, R. (2000), *Minerais coloidais, teoria DLVO estendida e forças estruturais*, Série Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro, CETEM, pp. 1-29.
- Lyklema, J., Van Leeuwen, H. P., Minor, M. (1999), DLVO-theory, a dynamic re-interpretation, *Advances in Colloid and Interfaces Science*, v. 83, pp. 33-69.
- Monte, M. B. M., Lins, F. A. F., Oliveira, J. F. (1997), Selective flotation of gold from pyrite under oxidizing conditions, *Int. J. Miner. Process.*, v. 51, pp. 255-267.
- Monte, M. B. M., Dutra, A. J. B., Albuquerque Jr, C. R. F., Tondo, L. A., Lins, F. A. F. (2002), The influence of the oxidation state of pyrite and arsenopyrite on the flotation of an auriferous sulphide ore, *Minerals Engineering*, 15 pp. 1113-1120.
- Nagaraj, D. R. (2004), Reagent selection and optimization – the case for a holistic approach, *Minerals Engineering*.
- Nguyen, A. V., Nalaskowski, J., Miller, J. D., et al. (2003), Attraction between hydrophobic surfaces studied by atomic force microscopy, *Int. J. Miner. Process.*, v. 72, pp. 215-225.
- Ninham, B. W. (1999), On progress in forces since the DLVO theory, *Advances in Colloid and Interfaces Science*, v. 83, pp. 1-17.
- Oliveira, J. F., Saraiva, S. M., Pimenta, J. S., Oliveira, A. P. A. (2001), Technical note kinetics of pyrochlore flotation from Araxá mineral deposits, *Minerals Engineering*, v. 14, Nº 1, pp. 99-105.
- Pavlovic, S., Brandao, P. R. G. (2003), Adsorption of starch, amylose, amylopectin and glucose monomer and their effect on the flotation of hematite and quartz, *Minerals Engineering*, v. 16, pp. 117-1122.
- Pearse, M. J. (2004), An overview of the use of chemical reagents in mineral processing, *Minerals Engineering*.
- Pereira, C. A., Peres, A. E. C. (2005), Reagents in calamine zinc ores flotation, *Minerals Engineering*, v. 18, pp. 275-277.
- Philippoff, W. (1952), Some dynamic phenomena in flotation, *Minerals Engineering*, v. 4, pp. 386-390.
- Preuss, M., Brutt, H.-J. (1998), Direct measurement of particle-bubbles interactions in aqueous electrolyte: dependence on surfactant, *Langmuir*, v. 14, pp. 3164-3174.
- Preuss, M., Brutt, H.-J. (1999), Direct measurement of forces between particles and bubbles, *Int. J. Miner. Process*, v. 56, pp. 99-115.
- Ralston, J., Fornasiero, D., Mishchuk, N. (2001), The hydrophobic force in flotation - a critique, *Colloids Surf. A*, v. 192, pp. 39-51.
- Reay, D., Ratcliff, G. A. (1975), Removal of fine particles from water by dispersed air flotation: effects of bubble size and particle size on collection efficiency, *Can. J. of Chem. Eng.*, v. 51, pp. 178-185.
- Robinson, A. J. (1960), Relationship between particle size and collector concentration, *Trans. Inst. Min. Metal.*, v. 69, pp. 45-62.
- Rodrigues, R.T., Rubio, J. (2003), New basis for measuring the size distribution of bubbles, *Minerals Engineering*, v. 16, pp. 757-765.

- Rodrigues, W. J., Leal Filho, L. S., Masini, E. A. (2001), Hydrodynamic dimensionless parameters and their influence on flotation performance of coarse particles, *Minerals Engineering*, v. 14, N° 9, pp. 1047-1054.
- Rosa, J. J., Rubio, J. (2005), The FF (floculation-flotation) process, *Minerals Engineering*, v. 18, pp. 701-707.
- Sakamoto, M., Kanda, Y., Miyahara, M., *et al.* (2002), Origin of long-range attractive force between surfaces hydrophobized by surfactant adsorption, *Langmuir* 18 (15), pp. 5713-5719.
- Schubert, H. (2005), Nanobubbles, hydrophobic effect, heterocoagulation and hydrodynamics in flotation, *Int. J. Miner. Process.*, v. 78, pp. 11-21.
- Schulze, H. I. (1984), Physico-chemical elementary processes in flotation, *Elsevier*, v. 348, pp. 238, Amsterdam.
- Snoswell, D. R. E., Duan, J., Fornasiero, D., *et al.* (2003), Colloid stability and the influence of dissolved gas, *J. Phys. Chem. B*, v. 107, pp. 2986-2994.
- Steitz, R., Gutberlet, Th., Hauss, Th., *et al.* (2003), Nanobubbles and their precursor layer at the interface of water against a hydrophobic substrate, *Langmuir*, v. 19, pp. 2409-2418.
- Su, F., Rao, K. H., Forssberg, K. S. E., Samskog, P. O. (1998), The influence of temperature on the kinetics of apatite flotation from magnetite fines, *Int. J. Miner. Processing.*, v. 54 (3-4), pp. 131-145.
- Tomlinson, H. S., Fleming, M. G. (1963), Flotation rate studies, *International Mineral Processing Congress*, v. 6, Proceedings, Cannes, pp. 563-579.
- Trahar, W. J. (1981), A rational interpretation of the role of particle size in flotation. *Int. J. Miner. Process*, v. 8 (4), pp. 289-327.
- Tyrrell, J. W. G., Attard, P. (2001), Images of nanobubbles on hydrophobic surfaces and their interactions, *Phys. Rev. Lett.*, 87 (17), 176104-1-4.
- Tyrrell, J. W. G., Attard, P. (2002), Atomic force microscope images of nanobubbles on a hydrophobic surface and corresponding force-separation data, *Langmuir*, v. 18, pp. 160-167.
- Yang, J. Duan, J., Fornasiero, D., *et al.* (2003), Very small bubble formation at the solid-water interface, *J. Phys. Chem. B*, v. 107, pp. 6139-6147.
- Yuan, X.-M., Palsson, B. I, Forssberg, K. S. E. (1996), Stistical interpretation of flotation kinetics for a complex sulphide ore, *Minerals Engineering*, v. 9 (4), pp. 429-442.

HIDROMETALURGIA

Virginia S.T. Ciminelli*

1. INTRODUÇÃO: DEFINIÇÕES E ESCOPO1

1.1 Hidrometalurgia

O termo Hidrometalurgia designa processos de extração de metais nos quais a principal etapa de separação metal-ganga envolve reações de dissolução do mineral-minério (mineral(is) contendo os metais de interesse) em meio aquoso. As aplicações tradicionais da Hidrometalurgia incluem a produção de alumina, ouro, urânio, zinco, níquel, cobre, titânio, terras-raras, dentre outros.

Um fluxograma genérico de processo hidrometalúrgico é mostrado na Figura 1.

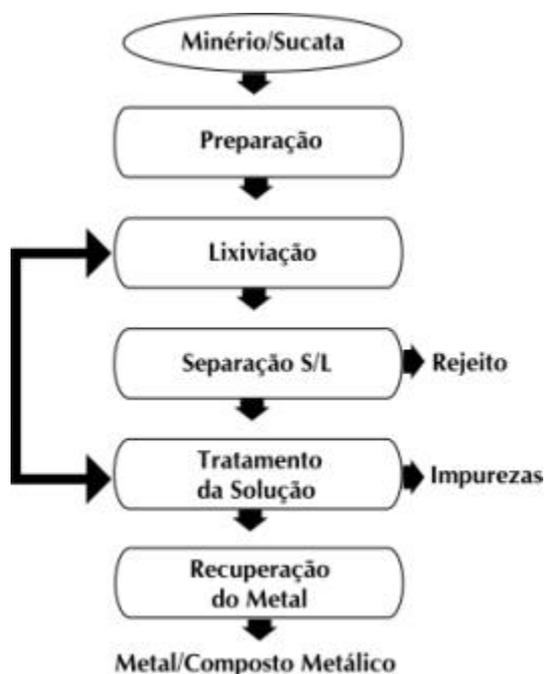


Figura 1 - Etapas principais de um fluxograma hidrometalúrgico

* Profa. Titular do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - Universidade Federal de Minas Gerais

¹ Adaptado e complementado de Ciminelli, Salum, Rúbio, Peres (2006).

A primeira etapa, preparação, ajusta as propriedades físico-químicas do sólido, tais como a granulometria, composição, teor, natureza química e porosidade, para a etapa seguinte (lixiviação). A preparação envolve operações clássicas de tratamento de minérios (cominuição, classificação, concentração e separação sólido-líquido). Em alguns casos, entretanto, a preparação para a lixiviação requer modificações químicas do minério ou concentrado. Nesses casos são utilizados processos pirometalúrgicos, tais como: ustulação (na oxidação de ZnS em ZnO ou na oxidação de minérios refratários de ouro²), de redução (lateritas de Ni no processo de lixiviação amoniacal), hidrometalúrgicos (oxidação sob pressão de minérios refratários de ouro) e biohidrometalúrgicos (biooxidação de minérios refratários de ouro). Nos processos biohidrometalúrgicos, as reações são mediadas por microrganismos, guardadas as condições operacionais necessárias para a atuação eficaz desses microrganismos (*i.e.*, potencial redox, pH, temperatura, concentração de oxigênio e nutrientes). Nos exemplos anteriores, o pré-tratamento do minério facilitará a extração do metal, seja, por exemplo, pela obtenção de uma nova fase de mais pronta dissolução ou pela criação de acesso (porosidade) para os reagentes na matriz sólida que contém o metal a ser lixiviado. A seletividade, em alguns casos, é também melhorada.

Após a preparação do minério, tem-se a etapa de lixiviação. Esta e a recuperação do metal, constituem as etapas mais características do fluxograma hidrometalúrgico. A lixiviação consiste na dissolução seletiva de minerais contendo o metal ou metais de interesse através do contato do sólido (minério ou concentrado) com uma fase aquosa contendo ácidos (frequentemente o ácido sulfúrico), bases (como hidróxidos de amônio e sódio) ou agentes complexantes (como o cianeto de sódio e o hidróxido de amônio), em condições variadas de pressão e temperatura (usualmente de 25 a 250°C). A lixiviação pode ser mediada por microrganismos (biolixiviação), sendo a grande aplicação desta na dissolução de sulfetos.

As operações de lixiviação podem ser classificadas em dois grandes grupos: leito estático e tanques agitados. O primeiro inclui a lixiviação *in situ*, em pilhas (de rejeito, estéril ou minério) ou em tanques estáticos (*vat leaching*). Esta última, em desuso, foi utilizada até a última década na mina de cobre de Chuquicamata, Chile. O segundo grupo compreende a lixiviação em tanques agitados - abertos ou sob pressão. Seguem-se a essa etapa, as operações de separação sólido-líquido (ciclonagem, espessamento e filtração) para a obtenção da fase aquosa ou licor (contendo o metal de interesse). A eficiência desta etapa é determinante para a minimização das perdas de metal solúvel na polpa, que constituirá o rejeito, e de consumo de água nova no processo. Por outro

² Minérios de ouro são considerados refratários quando apresentam uma recuperação do metal inferior a 80% em condições convencionais de lixiviação. Quando a refratariedade se deve à presença de ouro fino (ocluso ou em solução sólida), em uma matriz de sulfetos (como a pirita e a arsenopirita), é introduzida uma etapa de oxidação anterior à cianetação. A oxidação transformará os sulfetos em óxidos/hidróxidos de ferro porosos (devido à diferença de volume molar), criando acesso para os agentes lixiviantes até o metal.

lado, as características dos sólidos a serem descartados também serão determinantes nos custos de disposição do rejeito e no risco potencial de impactos ambientais.

A etapa de tratamento do licor produzido na lixiviação visa à purificação da solução (através da separação de elementos provenientes da dissolução da ganga e que podem afetar a etapa posterior de recuperação do metal) e à concentração da solução contendo o metal dissolvido até os níveis adequados à etapa seguinte de recuperação. Eventualmente esta etapa pode levar à obtenção de subprodutos. O tratamento do licor envolve processos tais como: precipitação, adsorção em carvão ativado ou em resinas poliméricas de troca iônica e extração por solventes - SX. É importante destacar que os processos utilizados nessa etapa podem ser aplicados ao tratamento de efluentes, visando à concentração e à remoção de contaminantes.

A última etapa do fluxograma hidrometalúrgico tem como objetivo a recuperação do metal. Este pode ser obtido na forma de sal ou hidróxido metálico (como $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ e CuSO_4), através de processos de precipitação/cristalização ou na forma metálica. No segundo caso, utiliza reações de redução em fase aquosa, como a cementação (redução via oxidação de um metal menos nobre), a redução por hidrogênio ou a eletrorrecuperação, que, por sua vez, é o principal processo utilizado na produção de metais de elevada pureza diretamente de soluções aquosas. O processo envolve a aplicação de uma diferença de potencial entre cátodos-ânodos imersos em solução aquosa e é usado na obtenção de cobre, zinco, níquel, ouro, dentre outros. Para metais de potencial redox muito negativo, como o alumínio, a eletrorrecuperação é realizada em banho de sais fundidos.

As principais aplicações de processos hidrometalúrgicos no Brasil são representadas pela extração de minérios de ouro (processo convencional, tal como na RPM Kinross, em Paracatu, e refratários – ouro em pirita e arsenopirita - como nas usinas da Anglo Gold Ashanti e São Bento); níquel (lateritas, Votorantim Metais – VM, em Niquelândia); zinco (minérios silicatados e sulfetados, VM em Três Marias e Juiz de Fora) e alumínio (processos Bayer e Hall-Heroult, diversas usinas).

A Tabelas 1 destaca as principais etapas desses processos. Em menor escala, os processos hidrometalúrgicos também são usados na extração de minério de urânio e na produção de óxidos de terras-raras. Embora não designadas como tal, a produção de ácido fosfórico através da lixiviação da apatita com ácido sulfúrico e a lixiviação *in situ* de NaCl (Braskem-Maceió) também poderiam ser incluídas dentre as aplicações de processos fundamentalmente hidrometalúrgicos.

As perspectivas de ampliação das aplicações da Hidrometalurgia são bastante promissoras, diante dos grandes investimentos previstos para o país, em especial para o cobre e níquel. Os projetos da Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) para o cobre, utilizando rotas bio e hidrometalúrgicas, pretendem transformar o Brasil em um dos grandes produtores mundiais do metal. A escala de produção desses metais, as características comple-

xas dos minérios e a opção por rotas hidrometalúrgicas, algumas ainda não consolidadas em escala industrial, criam vários desafios, inúmeras oportunidades e, como consequência, condições reais para uma mudança de patamar na importância da Hidrometalurgia no país.

Tabela 1 - Exemplos de aplicação de processos hidrometalúrgicos

Metal	Minério	Preparação	Lixiviação	Tratamento do Licor/ Recuperação do Metal
Al	Bauxito	Britagem e Moagem	Sob pressão com soda, NaOH	Precipitação do Al(OH) ₃ Calcinação, Eletrólise em Banhos de Sais Fundidos
Cu	Minérios oxidados	Britagem e Moagem Aglomeração (pré-cura ácida)	Com H ₂ SO ₄ , em pilhas	-
	Baixo teor, parcialmente oxidado	-	Em pilhas com microrganismos	Extração por Solventes seguida de Eletrorecuperação
	Concentrados	Flotação	Lixiviação em Autoclaves	-
Au, Ag	Nativo e associado a sulfetos	Britagem, Moagem, Concentração gravítica, Flotação	Com NaCN e injeção de ar (ou O ₂)	Precipitação com Zn ou Adsorção em Carvão Ativado
	Minérios refratários: ouro ocluso em sulfetos	Bioxidação, ustulação ou oxidação em autoclaves	-	Cementação com Zn ou Eletrorecuperação.
Zn	Sulfetado(ZnS)*	Britagem, Moagem	Com H ₂ SO ₄	Precipitação do ferro e cementação de metais como Cu, Cd, Ni com Zn.
	Silicatados	Flotação, *Ustulação do ZnS	-	Eletrorecuperação
Ni, Co	Lateritas	Britagem, Moagem, Pré-redução	Amoniacal- Caron (ou sob pressão com H ₂ SO ₄ HPAL)	Precipitação como carbonatos de Ni/Co, Dissolução ácida, Extração por Solventes, Eletrorecuperação

1.2 Aspectos ambientais

Os processos de produção de metais geram resíduos sólidos e efluentes aquosos que, em função de sua natureza, composição e disposição podem impactar, em maior ou menor grau, os recursos hídricos da região. A composição de efluentes aquosos, provenientes da extração hidrometalúrgica de metais não-ferrosos e nobres (Cu, Ni, Zn, Au), distingue-se daquela observada na mineração de ferro. Pela escala de produção, o processamento de minérios de ferro envolve geralmente a utilização de grandes volumes

de água de processo. Entretanto, a contaminação química, por exemplo, por reagentes empregados nas operações de flotação é atenuada pela forte adsorção de espécies solúveis nos minerais da polpa. Esses minerais, predominantemente óxidos de ferro e silicatos (sendo o quartzo o mais abundante), também apresentam baixa solubilidade em água, fato que contribui para atenuar a contaminação. Além disso, a grande capacidade de co-precipitação e de adsorção dos óxidos de ferro favorece a “limpeza” da fase aquosa. A geoquímica do arsênio no Quadrilátero Ferrífero – MG é um bom exemplo dessa propriedade dos oxi-hidróxidos de ferro.

Os minérios de metais não-ferrosos e preciosos apresentam uma mineralogia mais complexa e menos inerte em soluções aquosas aeradas, o que resulta em um maior potencial de geração de contaminantes. Os constituintes metálicos desses minérios são, em geral, mais tóxicos do que aqueles presentes nos minérios de ferro. Isto implica no re-enquadramento das emissões para limites mais rigorosos de descarte, bem como considerar um maior impacto ambiental associado às pilhas de estéril e rejeitos. Além disso, a extração hidrometalúrgica envolve a utilização de uma série de reagentes, muitas vezes tóxicos e em concentrações elevadas. Conseqüentemente, o tratamento dos efluentes visando tanto à recuperação de reagentes e metais como ao seu enquadramento às condições de descarte torna-se mandatório. A presença freqüente de sulfetos nos minérios submetidos aos processos hidrometalúrgicos cria ainda a possibilidade de geração de drenagem ácida.

A drenagem ácida de rocha (*acid rock drainage* - ARD) ou drenagem ácida de mina (*acid mine drainage* – AMD) é um dos principais problemas ambientais ligados à extração de minérios contendo sulfetos. A drenagem ácida resulta da oxidação natural de minerais portadores de enxofre, quando expostos à ação combinada da água e do oxigênio, em geral na presença de bactérias. A ARD ou AMD é caracterizada pela elevada acidez e altas concentrações de metais como Al, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn, oxinions (sulfato, arsenato, arsenito) e compostos residuais orgânicos (no caso de carvão). O ácido sulfúrico é gerado, principalmente, pela oxidação da pirita (FeS_2) e da pirrotita (Fe_{1-x}S).

A intensidade e a duração da AMD são funções complexas da natureza dos depósitos geológicos, da sua mineralogia, da hidrologia da região e do intemperismo a que os minerais são expostos, podendo durar séculos até que a fonte de enxofre seja esgotada. O grande impacto ambiental associado aos processos de drenagem ácida está mais relacionado às elevadas concentrações dos metais e ânions dissolvidos do que propriamente ao pH ácido do licor gerado. Esses íons são liberados em solução por diversos mecanismos. O processo é geralmente iniciado através da oxidação química dos sulfetos metálicos (*i.e.* FeS_2 , CuFeS_2 e FeAsS) pelo oxigênio, até que sejam criadas condições para a ação de microrganismos que irão catalisar a reação de formação de íons férrico (Fe^{3+}) e ácido sulfúrico. Esses dois produtos constituem uma solução ácida, e suficientemente oxidante, capaz de lixiviar sulfetos. A eventual mobilização do íon férrico para

regiões de menor acidez e a sua conseqüente precipitação na forma de hidróxido elevam ainda mais a acidez do meio (Capanema e Ciminelli, 2003). Rochas e pilhas de rejeito geradoras de ácido ocorrem freqüentemente em muitas minas de metais comuns (Cu, Zn, Ni), ouro e carvão. A identificação incorreta ou o gerenciamento inapropriado de minas com potencial de geração ácida podem implicar em sérias conseqüências ambientais.

Os contaminantes gerados nos processos hidrometalúrgicos ou nos processos de geração de drenagem ácida podem se apresentar na forma de sólidos em suspensão, material coloidal ou na forma de espécies (cátions, ânions ou moléculas neutras) dissolvidas a partir do minério ou incorporadas pela adição de reagentes. A remoção dos particulados requer operações como peneiramento (gradeamento), espessamento, filtração ou flotação, na presença ou não de agentes químicos que possam auxiliar na separação sólido/líquido (S/L). Estes incluem modificadores de pH, agentes coagulantes (íons inorgânicos de carga elevada), tensoativos e agentes floculantes (compostos orgânicos).

O método convencional de remoção das espécies dissolvidas na fase aquosa é a precipitação-sedimentação, seguida do espessamento do lodo formado. Além da precipitação, outras tecnologias já consolidadas em outros setores industriais bem como técnicas emergentes vêm sendo testadas para o tratamento de efluentes. Estas incluem resinas poliméricas de troca iônica, compósitos, diversos materiais funcionalizados, eletrólise, processos envolvendo membranas, flotação não-convencional, processos envolvendo fotólise, biorremediação e fitorremediação. Dentre esses, a adsorção em materiais disponíveis no local merece destaque como opção para utilização em processos de remediação.

Técnicas não convencionais de flotação têm sido desenvolvidas e aplicadas no tratamento de diversos tipos de efluentes, da indústria mineral ou não, na UFRGS (Ciminelli *et al.*, 2006-a). A primeira provável aplicação da biorremediação (*wetland* construído) no tratamento de AMD ocorreu na mina de Esperança, do grupo Anglo Gold Ashanti, em Nova Lima, MG e ainda se encontra em operação. A seleção do processo foi resultado de um projeto PADCT envolvendo a empresa, a UFMG e a UFOP. Solos ricos em óxidos de ferro e alumínio são utilizados como barreiras de contenção de migração de arsênio de barragens de rejeitos. A identificação desses solos envolveu estudos realizados no CETEM e na UFMG, e o sucesso da aplicação motiva a sua utilização na ampliação da usina (Esper *et al.*, 2005). Além desses exemplos de aplicação, os diversos trabalhos desenvolvidos pelos grupos de Bio e Hidrometalurgia do país, nos últimos anos, apontam para o crescimento da aplicação dessas técnicas emergentes.

2. TENDÊNCIAS E GARGALOS TECNOLÓGICOS

A seguir são apresentados alguns aspectos selecionados como tendências e gargalos tecnológicos. Estes são apresentados de acordo com as etapas de processo destacadas

nos parágrafos anteriores (preparação, lixiviação, tratamento do licor e recuperação do metal), acrescidos dos tópicos referentes a questões ambientais e à formação de pessoal.

2.1 Fluxograma hidrometalúrgico

A tendência mais evidente no futuro da extração mineral é a necessidade de tratamento de minérios cada vez mais complexos e de mais baixos teores. Por um lado, esses fatores são exatamente aqueles que caracterizam o nicho de aplicação da Hidrometalurgia e a grande mola propulsora do seu crescimento em relação aos processos pirometalúrgicos convencionais. Por outro lado, esses fatores pressionam no sentido da otimização de circuitos industriais, de forma a se manter uma relação favorável custos/preço das *commodities* minerais. Nesse contexto, destacam-se melhorias advindas da modelagem e do controle de processos, do desenvolvimento de equipamentos e reagentes. A necessidade de desenvolvimento de sensores adequados às condições variadas e mais extremas das várias etapas de processo fica evidente. A tendência à melhoria e adaptação de processos existentes tem sido mais marcante do que a existência de grandes *breakthroughs* em termos de processo. A área de processos, pelas suas características intrínsecas, não é intensiva em inovações. Entretanto, não se deve ignorar os avanços importantes advindos do desenvolvimento dos processos hidrotérmicos, processos *carbon in pulp*-CIP/*carbon in leach* – CIL e dos reagentes aplicados à extração por solventes de cobre, em particular, à base de oximas.

Do ponto de vista dos estudos de natureza mais fundamental, os trabalhos de pesquisa em hidrometalurgia têm utilizado técnicas avançadas de análises de superfícies, eletroquímicas e outras, o que tem permitido grandes avanços no entendimento dos mecanismos das reações.

2.1.1 Preparação

Como as operações de tratamento de minérios encontram-se fora do escopo do tema do documento, apenas alguns comentários mais abrangentes relacionados a essa etapa do fluxograma hidrometalúrgico serão apresentados. A etapa de preparação é em geral onerosa, especialmente pelo elevado consumo e baixa eficiência energética da cominuição e pelos custos advindos da inclusão de processos como a oxidação sob pressão, ustulação, dentre outros. Dentro da perspectiva de tratamento de minérios de mais baixos teores podem-se antever avanços visando a:

- A redução dos volumes tratados na britagem e moagem mais finas, através de etapas de pré-concentração dos sólidos.
- A redução de consumo energético na cominuição.
- A melhoria de circuitos industriais (redução de custos e aumento da recuperação metálica) a partir da análise mais abrangente das interfaces concentração/lixiviação e cominuição/lixiviação (Laplante e Staunton, 2003).

- O aumento da eficiência da etapa de concentração, reduzindo as perdas e os volumes a serem tratados nas etapas posteriores.

A oxidação sob pressão será discutida no tópico seguinte, juntamente com a lixiviação sob pressão.

2.1.2 Lixiviação

As melhorias e avanços na lixiviação também decorrem da necessidade de se adaptar os processos a minérios mais complexos, de baixos teores e, ao mesmo tempo, a exigências ambientais cada vez mais rigorosas. Por um lado, os baixos teores apontam para a aplicação da lixiviação em pilhas e até *in situ*. Por outro lado, a complexidade e a difícil solubilização de alguns minérios levam à utilização de condições para favorecer a cinética da lixiviação: altas temperaturas e pressão; biolixiviação com microrganismos mesófilos e termófilos, de forma consorciada; utilização de reagentes mais agressivos; aplicação de técnicas visando a “ativação” do sólido.

A experiência advinda do tratamento de minérios refratários de ouro criou condições favoráveis para a aplicação dos processos de oxidação/lixiviação sob pressão na extração de outros metais, como Cu, Ni, Co e PGM - *platinum group metals*. Como principal resultado, tem-se ampliado a participação da Hidrometalurgia na extração de metais a partir de sulfetos de minérios primários, antes preferencialmente tratados por processos pirometalúrgicos.

As pesquisas sobre a biolixiviação com microrganismos termófilos também têm recebido grandes investimentos de recursos (Clark *et. al.*, 2005), mas a tecnologia ainda não se encontra consolidada e competitiva em relação às rotas tradicionais. Alternativas testadas no sentido de se aumentar a velocidade da dissolução de sulfetos minerais incluem a chamada ativação mecânica – transformações químicas e físico-químicas produzidas pela aplicação de energia mecânica (Achimovicava e Balaz, 2005). As aplicações de ultra-som e microondas também têm sido investigadas.

Portanto os avanços visam, de forma genérica:

- Favorecer a velocidade de dissolução de minérios de difícil solubilização.
- Aumentar a recuperação dos metais de interesse.
- Reduzir os custos, de forma a possibilitar o aproveitamento de depósitos de menores teores.
- Aumentar a seletividade na extração de minérios complexos e polimetálicos.

De forma a ampliar a análise, alguns exemplos de desenvolvimentos e de gargalos tecnológicos dos processos de lixiviação em pilhas e em autoclaves são indicados a seguir.

A lixiviação em pilhas, restrita por vários anos a minérios de ouro e cobre, é testada para a extração de outros metais. Dentre alguns desafios destacam-se:

- A biolixiviação de minérios polimetálicos de Ni, Zn, Co e Cu (Kinnunen *et al.*, 2005).
- A biolixiviação de minérios refratários de ouro e de calcopirita.
- A modelagem detalhada do processo.
- O desenvolvimento de sensores, de forma a propiciar o melhor controle e modelagem do processo.
- O aumento da recuperação do metal na lixiviação de minérios de baixo teor.

Os processos de oxidação/lixiviação sob pressão abrangem uma ampla faixa de condições de operação, que promovem a oxidação total ou parcial do enxofre presente nos sulfetos (Dreisinger, 2005; Milbourne *et al.*, 2005). Dentre estes, podem ser citados os processos: (i) Phelps Dodge (200 - 230°C, 30 - 40 atm), (ii) CESL (140 - 150°C, 12g/L Cl), (iii) Anglo American/UBC (150°C, 10-20 micra e surfatantes), (iv) Activox (90 -110°C, moagem fina, 10 - 12 atm) e (v) Albion (85 - 90°C e moagem fina, 10 - 15 micra).

Alguns avanços nos processos de oxidação/lixiviação sob pressão são indicados abaixo:

- Utilização de catalisadores derivados de nitrato e aplicação na extração de Au, Ag, Cu (Anderson, 2003). Os catalisadores nitrogenados (*Nitrogen Species Catalysed* – NSC, ~ 2 g/L) podem ser usados nos processo de oxidação parcial ou total dos sulfetos.
- Utilização de baixas concentrações de íons cloreto, uma solução para o problema advindo da presença de cloro em alguns minérios. O processo *Platso*TM, já aplicado para a extração de PGM – *platinum group metals*, foi proposto para extração de minérios de ouro (autoclave com 5-10g/L de NaCl) (Ferron *et al.*, 2003). Do ponto de vista de mecanismos, Nicol e Liu (2003) demonstram que a velocidade da reação catódica de Fe(III)/Fe(II) na oxidação sob pressão da pirita aurífera é favorecida pela presença de baixas concentrações do íon cloreto.
- Utilização de surfatantes para a dispersão de S (enxofre elementar) líquido no processo de oxidação total (Dreisinger, 2003).
- Desenvolvimento de sensores adequados a medidas de variáveis de processo em alta temperatura. Para a medida de pH, foi desenvolvido um eletrodo baseado em sistema de fluxo através de um sensor de ítrio-estabilizado em zirconia (YSZ) (Papangelakis *et al.*, 2003).

A aplicação da lixiviação em sistema cloreto para lateritas de Ni-Co, sulfetos de Zn, Pb, Cu, Ni e outros metais é investigada como uma alternativa às elevadas temperaturas dos processos descritos anteriormente. Como exemplo, foram testados sistemas contendo: (i) oxidantes mistos Fe(III)/Cu(II)/O₂, (ii) soluções contendo HCl/NaCl (HCl 0,5 mol/L + NaCl) (*HydroCopper*TM para concentrados de cobre). Novos sensores de potencial redox

(Eh) foram desenvolvidos para atuar em condições de temperaturas mais elevadas e na presença de íons cloreto, que dissolveriam o eletrodo tradicional de ouro (Von Bonsdorff *et al.*, 2005).

Biolixiviação de minérios contendo calcopirita (CuFeS_2) – A biolixiviação de minérios primários de cobre ainda não se estabeleceu como processo industrial e aparece como um dos grandes desafios da área de biohidrometalurgia. A lixiviação lenta da calcopirita com os microrganismos mesófilos, utilizados na biolixiviação convencional, impulsiona diversas investigações, desde aquelas de caráter mais fundamental até outras voltadas à aplicação industrial (unidade semipiloto em operação no CETEM). Do ponto de vista de mecanismo, a cinética lenta da reação é correlacionada ao controle por difusão em estado sólido na camada de produto. Estudos eletroquímicos indicando o potencial misto na região de “passivação” (densidade de corrente baixa) antes do potencial crítico (Lázaro e Nicol, 2003), estudos de espectroscopia Raman da camada de produto (Parker *et al.*, 2003) e modelagem cinética (Bertini e Duby, 2003) corroboram a hipótese de difusão na camada de produto. Dentre as experiências para aplicação industrial, destaca-se o projeto BHP- Billiton- Codelco usando o processo BioCOP, que utiliza microrganismos termófilos em reatores com agitação, tendo sido testado em escala piloto (2000 tpa) para concentrados de cobre na usina de Chuquicamata, Chile. O desenvolvimento de processo levou ao projeto de um sistema de agitação que atendesse a maior fragilidade dos microrganismos termófilos e, ao mesmo tempo, garantisse uma adequada transferência de massa e distribuição de oxigênio (Clark *et al.*, 2005). A planta piloto foi desativada ao final de 2005.

Lixiviação de Ouro - A busca de lixiviantes alternativos para ouro e para a lixiviação de minérios de ouro-cobre motivou diversos estudos, em particular no sistema tiosulfato-amônia (mais de oito trabalhos no congresso internacional de Hidrometalurgia, em 2003). Mas, apesar dos avanços no entendimento dos mecanismos das reações, o consumo de tiosulfato e a dificuldade de recuperação do metal tornam o processo ainda inviável. Novas propostas envolvem a eliminação de amônia, o uso de catalisadores, o uso de ligantes para evitar a degradação de tiosulfato, a utilização de tiocianato e de soluções clorídricas. Apesar do grande número de investigações, o cianeto permanece como o lixivante universal para o ouro.

2.1.3 Purificação do licor e tratamento de efluentes aquosos

Conforme indicado anteriormente, as etapas de purificação do licor e de tratamento de efluentes aquosos têm em comum a remoção de espécies dissolvidas da fase aquosa e, por esse motivo, a discussão será feita conjuntamente.

Minérios complexos e de baixo teor exigem o desempenho pleno da etapa de purificação do licor, seja com relação à separação de impurezas ou à concentração da solução. O método convencional de remoção das espécies dissolvidas na fase aquosa é

a precipitação-sedimentação, seguida de espessamento do lodo formado. A precipitação de cátions metálicos presentes em soluções aquosas é usualmente realizada a partir da elevação do pH, que promove a precipitação dos oxi-hidróxidos metálicos, enquanto ânions são precipitados na forma de sais. Além de agentes floculantes poliméricos, para auxiliar a separação sólido/líquido, também são utilizados sais inorgânicos (coagulantes). Apesar de sua ampla aplicação, a precipitação (sais ou hidróxidos) apresenta, do ponto de vista técnico, limitações que podem comprometer a eficiência da separação (Ciminelli *et al.*, 2006-a).

Destaca-se que efluentes com fluxos da ordem de 0,2 a 2 m³/s e contendo íons metálicos em concentrações da ordem de 1 a 2 mg/L não são geralmente passíveis de serem tratados por coagulação-sedimentação, por problemas cinéticos e de escala. Isto constitui um dos maiores desafios para a indústria de mineração moderna (Rubio e Tessele, 2004). Além disso, os grandes volumes gerados e a elevada porcentagem de água no lodo formado criam a necessidade de grandes áreas de disposição e, como consequência, maiores custos.

Dentre as tendências e os desafios no tratamento de licor e de efluentes via precipitação destacam-se:

- A recuperação de subprodutos e o reaproveitamento de resíduos gerados, com agregação de valor (Ciminelli *et al.*, 2006-b).
- A redução de volumes de resíduos produzidos e das áreas de disposição.
- O controle de tamanho, fase e morfologia dos precipitados através do controle da cinética de precipitação (Caldeira *et al.*, 2005).
- A remoção de ânions (cianetos, cromatos, sulfetos e fluoretos) e em especial de sulfatos.
- A remoção de elementos-traço de grandes volumes de fase aquosa.

Quando o objetivo é concentrar a espécie dissolvida (metal ou impureza), são utilizados processos que envolvem a extração desta espécie em uma fase (líquida ou sólida) imiscível na fase aquosa. A extração por solventes - SX é um processo plenamente consolidado, seja para o tratamento de soluções complexas, seja para operações em larga escala. Com a primeira aplicação em Rancher's Bluebird, em 1969, o processo hoje domina cerca de 20-25% da produção mundial de cobre (Ramachandran, 2003). Como ilustração da escala de produção, em 2002, a usina de Morenci (Phelps Dodge) produziu 374.400 t Cu/ano (Ramachandran, 2003). Do ponto de vista de reagentes, os processos comerciais de extração de cobre estão baseados no uso do reagente Acorga's (nonilsalicilaldoxima modificada), que, em 1980, veio substituir a ketoxima. O processo de SX foi também adaptado para tratar licores provenientes da lixiviação sob pressão de concentrados de cobre. Nesse caso, a etapa de SX requer a utilização de soluções orgânicas mais concentradas (de cerca de 7% v/v para 25% v/v de extratante) e maiores

temperaturas, em face do aumento da viscosidade do orgânico. Além da sua aplicação na extração de minérios de cobre, a extração por solventes é utilizada na separação Co-Ni, na separação de terras-raras (Morais e Ciminelli, 2004) e em muitas outras. Novas possibilidades de separação Ni/Co foram criadas com os extratantes CYANEX 301 (ácido ditiofosfínico) (Maes *et al.*, 2003).

No contexto de tratamento de efluentes, os extratantes sólidos são preferencialmente utilizados aos extratantes em fase líquida, tendo em vista as maiores restrições aos sólidos em suspensão desses últimos. A aplicação de resinas poliméricas de troca-iônica (IX) tem se ampliado (Diniz *et al.*, 2002, Leão e Ciminelli, 2000). Ao mesmo tempo, aumenta o número de sorventes feitos sob medida através de funcionalização de argilominerais, sílica, ferritas, dentre outros. A magnetização dos sorventes (IXR, carvão ativado, dentre outros) é proposta como uma forma de facilitar a separação de soluções e ampliar sua aplicação em sistemas de polpas. Do ponto de vista de tratamento de efluentes, a utilização de sorventes disponíveis na região a ser remediada constitui um fato a ser destacado.

Alguns dos principais desafios e tendências para a área de purificação do licor através da utilização de extratantes líquidos ou sólidos são indicados a seguir:

- Aplicações mais diversificadas da SX.
- Novos reagentes e modificadores que permitam aumentar a eficiência dos processos de SX e diminuir o tamanho das usinas (Ramachandran, 2003).
- Recuperação de subprodutos.
- Resinas poliméricas mais resistentes em condições abrasivas (Munoz *et al.*, 2003).
- Sorventes sólidos de elevada capacidade de sorção e de fácil separação da polpa.
- Combinação de técnicas espectroscópicas avançadas e de modelagem molecular nos estudos de mecanismo de reações de adsorção (Ladeira *et al.*, 2001; Oliveira *et al.*, 2006).

De forma mais específica, pode ser citada a separação de Co-Ni na lixiviação ácida de lateritas para operações em grande escala.

2.1.4 Recuperação do metal

A eletrorrecuperação permite a obtenção de cátodos de elevada pureza diretamente, a partir de soluções aquosas contendo o metal, e constitui o mais importante processo na recuperação dos principais metais produzidos através de processos hidrometalúrgicos (*i.e.* Cu, Ni, Au, Co, Zn). O consumo de energia pode ser significativo e constitui uma parcela importante do preço de venda (12% Cu; 23% Zn, segundo Nicol, 2005).

Portanto, as tendências e gargalos tecnológicos na área de eletrorrecuperação refletem esse cenário e apontam para:

- Redução do consumo específico de energia.
- Utilização de maiores densidades de corrente.
- Construção de unidades mais compactas.

E, de forma particular:

- Minimização da corrosão do ânodo de Pb, de forma a elevar sua vida útil
- Substituição do ânodo de Pb, devido à elevada sobretensão de O₂ por anodos DSA™ (*Dimensionally Stable anodes*).

Os processos de cementação e de redução por Hidrogênio não serão comentados, tendo em vista as aplicações específicas de ambos. A utilização de processos aquosos para a obtenção de materiais (óxidos e sais) de elevada pureza é um tema relativamente pouco explorado pelos hidrometalurgistas e mereceria uma maior atenção pelas possibilidades e interesse gerados (Dias e Ciminelli, 2003).

2.2 Aspectos Ambientais

Além dos aspectos já discutidos na seção 2.1.3, para os processos de precipitação e de extração por solvente ou sorvente, vale salientar alguns referentes aos processos de biorremediação. A área de biorremediação mostra-se bastante promissora e ativa, com uma série de aplicações voltadas ao tratamento de efluentes e à recomposição de áreas degradadas. Estas incluem: (i) a utilização de “wetlands” para o tratamento de ARD; (ii) o tratamento de áreas contaminadas com metais pesados e óleos; (iii) a precipitação de sulfetos metálicos. Chamam a atenção os trabalhos recentes envolvendo a utilização de bactérias sulfato redutoras (SRB – *Sulphate reducing bacteria*) para a recuperação/redução de metais. O desenvolvimento de biosensores para a avaliação de contaminação *in situ* aparece também como uma das tendências na área de biohidrometalurgia (IBS – 2001 e 2005).

No tema biosorção, os estudos ainda focam predominantemente a determinação das capacidades adsorptivas de uma série de materiais e resíduos industriais, incluindo-se lodo ativado, resíduos de processos fermentativos, resíduos agrícolas e biopolímeros.

Ênfase também é dada ao modelamento de sistemas mono e multicomponentes (IBS – 2005). Entretanto, o desenvolvimento da área mostra-se bastante aquém das expectativas iniciais. Os estudos de biosorção estão restritos a sistemas bastante simples e, portanto, pouco realistas do ponto de vista industrial. Os biosorventes são, em geral, pouco seletivos, o que compromete o carregamento das espécies de interesse, em relação aos cátions e ânions que predominam na fase aquosa. A identificação de materiais mais seletivos é certamente necessária (Teixeira e Ciminelli, 2005). Após mais

de duas décadas de estudos, espera-se ainda pela consolidação de aplicações industriais.

Do ponto de vista de fundamentos, a biologia molecular tem tido participação crescente no estudo dos processos biohidrometalúrgicos em vista do desenvolvimento e disponibilidade das técnicas e ferramentas que possibilitam sua aplicação, como as técnicas de análises de superfícies, eletroquímicas e de modelamento molecular. Mesmo assim, os mecanismos das reações dos sulfetos mais comuns, como as piritas, ainda são motivo de controvérsias e estudos.

2.3 Formação de Pessoal

É interessante a análise feita por Ian Ritchie (2003) no contexto australiano. O título é provocador: A metalurgia extrativa está em extinção? Fazendo uma analogia com a biologia, o autor indica os seguintes fatores favoráveis ao processo de extinção: (i) imagem abominada pela sociedade, (ii) baixos níveis de geração (da espécie), (iii) falta de atrativos da atividade profissional (salários, locais remotos, com a conseqüente redução de alunos), (iv) pouca adaptação do sistema educacional e das empresas à nova realidade e (v) perda do *habitat* (oportunidades de emprego). O autor conclui que, sem uma articulação adequada das universidades, centros de pesquisa e indústria, certamente, um número crítico de espécies - a partir do qual a extinção torna-se inevitável - será atingido.

É importante destacar que isto ocorre na Austrália, a despeito do peso da sua indústria mineral e de uma forte base científico-tecnológica estabelecida ao longo dos anos com o apoio do governo e empresas. A busca compartilhada (governo, academia e indústria) de soluções para a falta de pessoal para atender à demanda da indústria na Austrália é posteriormente mostrada por Nicol (2005-a) e segue algumas direções indicadas por Ritchie (2003). Dentre as várias iniciativas, chama a atenção o estabelecimento de programas cooperativos, em nível nacional, de graduação e de pós-graduação. Estes permitem tirar proveito das competências, hoje em número bastante restrito, em diferentes universidades. Apesar de todas as iniciativas, a tendência ao desaparecimento dos cursos de metalurgia extrativa permanece. As causas para esse encolhimento bem como algumas soluções, na visão crítica de pessoas de empresa, são apresentadas por Mooiman *et al.* (2005).

A análise de Ian Ritchie pode ser estendida à realidade de diversos países, sejam mais desenvolvidos ou não, incluindo-se o Brasil. Complementando os argumentos anteriores, outros fatores que podem ser destacados como ameaças à "espécie" seriam: (i) pequena oportunidade de crescimento na carreira; (ii) baixo índice de inovação do setor; (iii) nível relativamente baixo dos selecionados no vestibular, com a conseqüente diminuição do nível dos cursos e dos graduados. Esses fatores, aliados à aposentadoria de pessoal mais experiente e ao fato de a maior parte dos grupos terem migrado para a

área ambiental, resultam em risco de falta de pessoal (em número e qualificação) para atender ao crescimento da indústria também no Brasil.

A autora concorda com as avaliações de Ritchie (2003) e Nicol (2005-a) para o contexto australiano e sugere, nessa oportunidade, a participação ativa do setor industrial juntamente com a academia e centros de pesquisa na busca das soluções. Infelizmente, os investimentos na área mineral mostram que esta não tem sido considerada prioritária nas políticas de ciência, tecnologia e educação superior do Brasil.

3. AGENDA DE PRIORIDADES – BRASIL 2015

O aspecto mais evidente no futuro da extração mineral é a necessidade de tratamento de minérios cada vez mais complexos e de mais baixos teores. Por um lado, esses fatores caracterizam o nicho de aplicação da área e uma vantagem competitiva em relação aos processos pirometalúrgicos convencionais. Por outro lado, esses fatores pressionam no sentido da melhoria dos circuitos industriais, de forma a se manter uma relação favorável custos/preço das *commodities* minerais. Dentro desse contexto, algumas tendências para as diversas etapas de processo são indicadas a seguir.

3.1 Etapa de preparação

- Melhoria de circuitos industriais (redução de custos e aumento da recuperação metálica) a partir da análise mais abrangente das interfaces: concentração/lixiviação e cominuição/lixiviação.
- Aumento da eficiência da etapa de concentração, reduzindo as perdas e os volumes a serem tratados nas etapas posteriores, inclusive com a redução dos volumes tratados e do conseqüente consumo energético na cominuição.

3.2 Etapa de lixiviação

Os avanços visam, de forma genérica:

- Reduzir os custos e aumentar a recuperação metálica, de forma a possibilitar o aproveitamento de depósitos de menores teores.
- Favorecer a velocidade de dissolução de minérios de difícil solubilização.

Dessa forma, as tendências apontam para a utilização mais ampla da lixiviação em pilhas e sob pressão.

3.3 Etapa de purificação

Minérios complexos e de baixo teor exigem o desempenho pleno da etapa de purificação do licor, seja com relação à separação de impurezas ou à concentração da solução. Dentre as tendências, tem-se:

- Ajustes de tamanho, fase e morfologia dos precipitados através do controle da cinética de precipitação.
- Aplicações mais diversificadas do processo de extração por solventes – SX e de solventes sólidos.
- Desenvolvimento de novos reagentes e modificadores que permitam aumentar a eficiência dos processos de SX e diminuir o tamanho das usinas.
- Desenvolvimento de resinas poliméricas mais resistentes a condições abrasivas (polpas).

3.4 Etapa de recuperação do metal (eletrorrecuração)

- Redução do consumo específico de energia e dos custos.
- Utilização de maiores densidades de corrente.
- Construção de unidades mais compactas.

3.5 Tratamento de efluentes

- Recuperação de subprodutos e reaproveitamento de resíduos gerados no processo visando a redução das emissões e das áreas de disposição.
- Desenvolvimento de solventes sólidos de elevada capacidade de sorção e de fácil separação da polpa.
- Remoção de elementos-traços, ânions em especial, de grandes volumes de fase aquosa.
- Aplicação de processos de biorremediação.

Dentre os países que hoje se distinguem como grandes produtores de metais, via processos Bio- e Hidrometalúrgicos, bem como grandes exportadores de tecnologia têm-se a Austrália e o Canadá. Estes desempenhos são resultados de programas de investimentos de longo prazo envolvendo indústrias, governo e instituições de ensino e pesquisa. No Brasil, os novos projetos da área mineral, em geral, utilizam consultorias provenientes desses dois países. Vários projetos são totalmente desenvolvidos em laboratórios do exterior. Ao procurar-se fortalecer a área de Hidrometalurgia, ambiciona-se contribuir no sentido de que o crescimento do país, na produção de metais não-ferrosos, venha acompanhado do seu crescimento como gerador e exportador de tecnologia. Esse esforço passa certamente pela identificação criteriosa de prioridades e das competências e vantagens competitivas e complementares das Instituições e, a partir dessa análise, da seleção de nichos de oportunidade para o estabelecimento de excelência. Finalmente, uma condição imprescindível de sucesso, geralmente negligenciada, é de que metas ambiciosas em PD&I devem vir acompanhadas de fontes garantidas de investimento de longo prazo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achimovicova, M. e Balaz, P. (2005), *Hydrometallurgy*, 77 (1-2), p.3-7.
- Anderson, C. G.(2003), *In: Young, C. et al.(eds), Hydrometallurgy 2003*, Anais, TMS, Warrendale, PA, USA, p.75- 87.
- Bertini e Duby (2003), *In: Young, C. et al.(eds), Hydrometallurgy 2003*, Anais, TMS, Warrendale, PA, USA, P.431- 445.
- Baláz, P. *et al.* (2005), *Hydrometallurgy*, 77 (1-2), p.9-17.
- Caldeira, C. L.; Ciminelli, V. S. T., Dias, A., Osseo-Asare, K. (2003), *Internal Journal of Mineral Processing*, 72, p.373-386.
- Caldeira, C.L.; Ciminelli, V.S.T.; Batista, I.S.; Vasconcelos, O.M.S.R.; Moura, W. (2005), *In: XXI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa*, Anais, UFRN, Natal, RN, 20 a 24 de novembro de 2005, v.2, p. 93-99.
- Capanema L.X.L., Ciminelli V.S.T. (2003), *REM: R. Esc. Minas*, Ouro Preto, 56(3), p.201-206.
- Ciminelli, V. S. T., Salum, M.J.G., Rubio, J., Peres, A.E.C. (2006-a), *Água e mineração*, organizado por Aldo da Cunha Rebouças, Benedito Braga e José Galizia Tundisi, Águas Doces no Brasil, 3ª. ed, São Paulo, Escrituras Editora e Distribuidora de Livros Ltda., p.433-458.
- Ciminelli, V.S.T., Dias, A., Braga, H.C. (2006-B), *Hydrometallurgy (no preto)*.
- Clark, M., Batty, J., Van Buuren, C., Dew, D., Eamon, M. (2005), *In: Harrison, S.T.L. et al. (eds), 16th Internal. Biohydrometallurgy Symposium*, Cape Town, SA, P.XVII – XXIV.
- Dias, A. E Ciminelli, V. S. T. (2003), *Chemistry of Materials*, 15(6), p.1344-1352.
- Diniz, C. V., Doyle, F. M.; Ciminelli, V. S. T. (2002), *Separation Science and Technology*, 37(14), p. 3169-3185.
- Dreisinger, D. (2005) *In: Harrison, S.T.I. et al.(eds), 16th Internal. Biohydrometallurgy Symposium*, Cape Town, SA, p.xli-li.
- Esper, J. A. M. M.; Ciminelli, V.S.T.; Amaral, R. D.(2005), *In: XXI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa*, Anais..., UFRN, Natal, RN, v.2, p. 48-55.
- Ferron, C.J., Fleming, C., Dreisinger, D., O'kane, T. (2003), *In: Young, C. et al.(eds), Hydrometallurgy 2003*, Anais...,TMS, Warrendale, PA, USA, p.89 -104.
- Figueira, M.M., Volesky, B., Ciminelli, V.S.T. (2000), *Water Research* , v. 34, (1), P. 196-204.
- Guimarães, A.M.F.; Ciminelli, V.S.T.; Vasconcelos, W.L. (2005), *In: XXI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa*, Anais..., UFRN, Natal, RN, v.1, p. 617-624.
- Kinnunen, P.H.M. *et al.* (2005), *In: Harrison, S.T.L. et al. (eds), 16th Internal. Biohydrometallurgy Symposium*, Cape Town, SA, p.245-53.
- Ladeira, A.C.Q.; Ciminelli, V.S.T; Alves, M.C.M.; Duarte, H.A. (2001), *Geochim. and Cosmochim. Acta.*, 65 (8), p.1211-1217.
- Lázaro e Nicol, (2003), *In: Young, C. et al. (eds), Hydrometallurgy 2003*, Anais..., TMS, Warrendale, PA, USA, P.405-417.
- Laplante, A.R. Staunton, W. (2003), *In: Young, C. et al.(eds), Hydrometallurgy 2003*, Anais...,TMS, Warrendale, PA, USA, P.65-74.

- Leão, V. A. E Ciminelli, V.S.T. (2000), Application of Ion-exchange Resins in Gold Hydrometallurgy. *Solvent Extraction And Ion Exchange*, 18 (3), P.567-582.
- IBS -2005 - 16th Internal. *Biohydrometallurgy Symposium*, Harrison, S.T.L. et al. (eds.) Cape Town, SA, P.XVII – XXIV.
- Mooimana, M.B., Sole, K.C., Kinneberg, D.J. (2005) *Hydrometallurgy*, 79, p.80-88.
- Milbourne, J., Tominson, M., Gormly, L. (2003), In: Young, C. et al. (eds.), *Hydrometallurgy 2003*, TMS, Anais..., Warrendale, PA, USA, p. 617-30.
- Morais, C. A. E Ciminelli, V. S. T. (2004), *Hydrometallurgy*, 73, p.237-244.
- Morais, C. A. E Ciminelli, V. S. T. (2001), *Hydrometallurgy*, 60 (3), p. 247-53.
- Munoz, G.A., Duyvesteyn, S., Miller, J.D. (2003), In: Young, C. et al. (eds.), *Hydrometallurgy 2003*, Anais...,TMS, Warrendale, PA, USA, p. 701-10.
- Nicol, M.J. e Liu, J. Q. (2003), In: Young, C. et al. (eds.), *Hydrometallurgy 2003*, Anais..., TMS, Warrendale, PA, USA, P. 591- 601.
- Nicol, M.J. (2005-a), *Hydrometallurgy*, 79, p. 23-30.
- Nicol, M.J. (2005-B), *Eletrorefining and eletrowinning*, Notas de aulas, curso oferecido na UFMG em abril de 2005.
- Oliveira, A.F., Ladeira, A.C.O., Ciminelli, V.S.T.; Heine, T.; Duarte, H.A. (2006), *Journal of Molecular Structure – Theochem* (no prelo).
- Papangelakis (2003) In: Young, C. et al. (eds.), *Hydrometallurgy 2003*, Anais..., TMS, Warrendale, PA, USA, p. 645-54.
- Parker, G., Woods, R., Hope, G. (2003), In: Young, C. Et Al. (eds.), *Hydrometallurgy 2003*, Anais..., TMS, Warrendale, PA, USA, P.447-60.
- Ramachandran, V. (2003), *JOM*, july, p.23.
- Rubio e Tessele (2004), *apud Ciminelli et al.* (2006-a).
- Von Bonsdorff, R. et al. (2005), *Hydrometallurgy*, 77 (1-2), p. 155-161.
- Ritchie, I. (2003), In: Young, C. et al. (eds.), *Hydrometallurgy 2003*, Anais... TMS, Warrendale, PA, USA, p.3-15.
- Teixeira, M. C.; Ciminelli, V. S. T. (2005), *Environmental Science & Technology*, 39(3), p. 895-900.

CAPÍTULO 5

ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS

*Renato Ciminelli**

1. INTRODUÇÃO

A descrição clássica do termo Minerais Industriais incorpora nesta categoria todas as rochas e minerais, inclusive os sintéticos de origem mineral, predominantemente não-metálicos, que, por suas propriedades físicas ou químicas, e não pela energia gerada ou pelos metais extraídos, podem ser utilizados em processos industriais, de modo geral com múltiplas funções, com maior ou menor valor agregado, ou como aditivo diretamente lavrado, ou após beneficiamento e processamento.

A relação de Minerais Industriais sempre pode ser ampliada com:

- Minerais mais raros e de aplicação muito específica.
- Rochas industriais de ocorrência regional restrita, como no caso do agalmatolito de Minas Gerais.
- Outras espécies minerais produzidas artificialmente, como sílicas especiais e pós-cerâmicos.
- Minerais modificados, como argilas ativadas e caulim calcinado.
- Resíduos inorgânicos e subprodutos, como fosfogesso e cenosferas, entre inúmeros outros.
- Rochas ornamentais e de revestimento para construção civil.

Os resíduos industriais e de mineração crescerão em importância econômica e mercadológica nestes próximos 20 anos, diante de sua importância na sustentabilidade das minerações e operações industriais, na abertura de novos negócios e na reabilitação e retomada de minas antigas. O foco da reciclagem destes materiais está concentrado nos depósitos e operações industriais próximos dos grandes pólos industriais e promoverá a recuperação destes materiais de alto valor com novas tecnologias mais eficientes.

O grande mérito da expressão Minerais Industriais é a cobrança da polarização da cultura e do gerenciamento da empresa mineral para o mercado. O sucesso dos negócios com os Minerais Industriais vai depender, em grande parte, do grau de intimidade dos produtores com o mercado, com os elos da cadeia produtiva e com as aplicações finais.

* Consultor

As Tabelas 1 e 2 apresentam as aplicações industriais mais importantes para um grupo de minerais selecionados. A relação de segmentos industriais nos quais os Minerais Industriais podem ser utilizados, como se vê, é um universo bastante extenso e diversificado.

Tabela 1 - Minerais Industriais vs. aplicações

	Construção	Cerâmica	Cimento e Cal	Vidros	Refratários	Indústria Química	Agricultura	Cargas (Filler)	Peletização	Moldes de Fundição	Fundentes Metalúrgicos	Jóias / Decoração	Abrasivos	Pigmentos	Clarificantes	Filtrantes	Ótica e Eletrônica	Lamas de Perfuração	
1 - Amianto	⊕				○			⊕											
2 - Areias Silicosas	●	⊕	○	●	⊕	⊕		○		●	⊕		⊕			●	⊕	○	
3 - Argilas: Comum	●	●	●																
Caulim		●	○	○	⊕			●											
Bentonita	○	○						○	●	●						●			●
4 - Barita		○		○		●		○				○		○					●
5 - Bauxita, Cianita e correlatos		○	○	○	●	⊕		○		○			○		○				
6 - Calcário, Dolomito e Cal	●	○	●	●	●	●	●	●	●		●	○	○		○		○	○	
7 - Diamante												●	●					○	
8 - Feldspato e Nefelina Sienito		●		●				⊕				○	○						
9 - Fluorita		○		○		●					●	○						○	
10 - Fosfato				○		⊕	●												
11 - Grafita					⊕			○		○									
12 - Ilmenita, Rutilo e Zirconita		○			○	⊕				○				●					
13 - Magnesita					●	○	○					○							
14 - Rochas Ornamentais	●											⊕							
15 - Talco e Pirofilita		⊕			○			●				○	○						

Legenda: ● USO IMPORTANTE ⊕ USO ADICIONAL ○ USO OCASIONAL

A relação inclui desde indústrias farmacêuticas a cerâmicas tradicionais ou de alto desempenho, construção civil, papel, defensivos agrícolas, fertilizantes, tintas e plásticos de engenharia, entre inúmeros outros, incluindo os nichos e especialidades que são mantidos confidenciais pelos fornecedores devido à sua elevada atratividade.

Conhecer as peculiaridades dos Minerais Industriais, diferenciando-os dos metálicos, que caracterizam a cultura mineral predominante no país, e contemplar as escalas mais adequadas e típicas para cada mineral não-metálico são pré-requisitos para a viabilização e valorização ótima dos empreendimentos neste setor mineral. O foco no mercado deve ser assegurado em todas as fases da produção dos Minerais Industriais, já no início dos trabalhos geológicos em um novo depósito mineral.

Tabela 2 - Minerais Industriais vs. aplicações

	Construção	Cerâmica	Cimento e Cal	Vidros	Refratários	Indústria Química	Agricultura	Cargas (Filler)	Peletização	Moldes de Fundição	Fundentes Metalúrgicos	Jóias / Decoração	Abrasivos	Pigmentos	Clarificantes	Filtrantes	Ótica e Eletrônica	Lamas de Perfuração	
1 - Compostos Nitrogenados						⊕	●												
2 - Cromita					●	●			○					○					
3 - Diatomita					○			○					○		⊕	●		○	
4 - Enxôfre						●													
5 - Evaporitos: Boratos e outros		○		⊕		●													
6 - Gemas e Pedras Coradas												●						○	
7 - Gipsita e Anidrita	⊕		●	○		○	⊕	⊕				○							○
8 - Halita						●													
9 - Minerais de Potássio						●	●												
10 - Minerais de Lítio		○		⊕		⊕						○							
11 - Muscovita								⊕				○						○	○
12 - Quartzo											⊕							●	
13 - Tório e Terras Raras				○		⊕													
14 - Vermiculita	○				○			⊕											
15 - Zeólitos															⊕				

Legenda: ● USO IMPORTANTE ⊕ USO ADICIONAL ○ USO OCASIONAL

O perfil da demanda de Minerais Industriais em cada um dos inúmeros segmentos industriais apresentados nas tabelas anteriores é muito específico e particular. Os principais desafios da empresa mineral neste contexto são maximizar e consolidar valor e participação de mercado. A importância da segmentação dos Minerais Industriais de acordo com a aplicação final é enfatizada pela força dos termos apresentados a seguir, já consagrados mundialmente: *coating clay*, talco cosmético, argila tixotrópica, alumina grau eletrônico, magnesita *feed grade*, cromita refratária, gesso agrícola e quartzo ótico.

2. CLASSIFICAÇÃO PELA FUNCIONALIDADE

Uma sistemática de classificação dos Minerais Industriais, muito utilizada e baseada em funcionalidade, separa os não-metálicos em Grupo dos Minerais Químicos e Grupo dos Minerais Físicos. As Tabelas 3 e 4 agrupam os principais minerais participantes destes dois grandes grupos de Minerais Industriais.

Um mineral do Grupo dos Minerais Físicos, por sua vez, mantém sua identidade física original ou, no máximo, interage quimicamente por adsorção ou absorção apenas na superfície das partículas e/ou dos cristais. Os Minerais Físicos Funcionais, como o subsegmento mais sofisticado das cargas minerais e auxiliares de processo, são as especialidades deste Grupo dos Minerais Físicos. Os Minerais Funcionais representam a catego-

ria com maiores demandas de um perfil empresarial mais apurado em tecnologias de produto e *marketing*.

Tabela 3 - Grupo dos Minerais Físicos

Mineral	Minerais Estruturais	Cargas e Extensores	Auxiliares de Processos	Fundição
Amianto	x	x	x	
Atapulgita		x	x	
Baritas	x	x	x	
Bentonita		x	x	x
Carbonato de Cálcio		x		
Cimento	x			
Diatomita	x	x	x	
Dolomita		x		
Gipsita	x	x		
Caulim	x	x		x
Agregados de baixo peso	x			
Mica	x	x		
Nefelina-sienito		x	x	
Perlita	x		x	
Pedra Pomes	x			
Areia e Cascalho	x			
Sílica		x		x
Pedra Britada	x			
Pedra	x			
Talco		x		
Vermiculita	x			
Wollastonita		x		

O Grupo dos Minerais Químicos têm em comum a perda da identidade física original do mineral ao ser incorporado nos processos e materiais, atuando como precursor de novos compostos nas fases líquidas ou gasosas, ou de novas fases cristalinas e vítreas em soluções sólidas após tratamento térmico, como no caso das cerâmicas, ou ainda como dopante.

Tabela 4 - Grupo dos Minerais Químicos

Minerais	Insumos Indústria Química	Insumos Fertilizantes	Auxiliares Processos Químicos	Insumos Indústria Cerâmica	Fluxos Metalurgia
Argilas				x	
Baritas		x		x	
Bauxita		x		x	
Boro		x		x	
Bromina		x			
Cromita	x			x	
Dolomita		x		x	
Feldspato				x	
Fireclay				x	
Fluorita	x			x	x
Gipsita		x			x
Ilmenita e Rutilo	x				x
Caulim	x			x	x
Cal	x	x	x	x	x
Calcário	x	x			x
Sais de Lítio	x			x	x
Magnesita	x			x	
Turfa		x			
Fosfatos	x	x			
Potássio	x	x			
Sal	x		x		
Carbonato de Sódio	x		x	x	
Sulfato de Sódio	x		x		
Enxofre	x	x			
Talco				x	
Wollastonita		x		x	

A Tabela 5 relaciona, como exemplo, as funções industriais e as espécies minerais funcionais conforme propriedades e atributos de funcionalidade.

Tabela 5 - Propriedades Minerais Funcionais

Propriedades Funcionais	Morfologia das Partículas e Cristais	Propriedades Físicas Especiais	Atividade Química Superficial
Funções Industriais	Cargas em tintas Reforço em Polímeros Opacidade e Brancura em papel	Propriedades elétricas Poder de cobertura Transparência Riscabilidade em plásticos	Agente espessante Adsorvente Modificador de reologia
Minerais	Lamelares: talco, caulim e agalmatolito	Caulim calcinado Feldspato Wollastonita	Bentonita Talco

3. DESEMPENHO FUNCIONAL – UMA ESTRATÉGIA CONSAGRADA ENTRE PRODUTORES DE PAÍSES MAIS DESENVOLVIDOS

O novo paradigma para os negócios com Minerais Industriais é o *marketing* da performance industrial do produto mineral. O produtor mineral deve desenvolver uma capacitação tecnológica para negociar o valor e o preço do desempenho de seu produto em cada aplicação.

Uma navegação investigativa em *sites* de busca, à procura de fornecedores de Minerais Industriais específicos, revela, pela análise do conteúdo de *websites* e de literaturas técnicas de empresas norte-americanas, principalmente, que a divulgação no mercado de informações amplas sobre o desempenho funcional específico de cada produto mineral industrial ou de linhas de produtos é uma prática que já está plenamente consolidada como estratégia de *marketing* e de desenvolvimento de mercados e valorização de produtos Minerais Industriais.

4. OBJETIVOS ESTRATÉGICOS E ESPECÍFICOS

São os seguintes os fundamentos acordados como eixos estruturantes de linhas de PD&I para Rochas e Minerais Industriais.

1º Fundamento: os domínios da tecnologia mineral clássica são ampliados com as tecnologias de produtos e de aplicações com novas dimensões nos projetos de PD&I para Minerais Industriais.

Os Minerais Industriais se diferenciam das *commodities* minerais metálicas e energéticas por responder a estratégias competitivas, comerciais e tecnológicas, com uma grande extensão e flexibilidade de preços conforme se explora as oportunidades da cadeia de valores.

A capacidade de valorização dos produtos minerais pela funcionalidade e pelo desempenho, atributos típicos dos Minerais Industriais, passa pelo domínio das tecnologias de

produto, mercado e aplicação e pela aplicação de estratégias de diferenciação e segmentação desenvolvidas no *marketing* mineral.

A complexidade e diversidade de perfis de funcionalidade e desempenho industrial para cada um dos vários Minerais Industriais abre espaço para incontáveis oportunidades de implementação de estratégias de diferenciação, segmentação e de exploração de nichos, direcionadas para a valorização e o fortalecimento de posições de mercado, dentro do grande universo de segmentos de demanda de Minerais Industriais. A implementação de estratégias de diferenciação, segmentação e exploração de nichos está condicionada à intimidade com o mercado e à capacitação tecnológica dos produtores minerais, inclusive como pré-requisito para a negociação do valor e preço do desempenho de cada produto.

O domínio das tecnologias de produto e de suas aplicações, bem como as estratégias de *marketing* mineral direcionadas para a maior valorização dos Minerais Industriais, passa por um grande desafio – transformar a cultura do profissional da mineração no Brasil, ainda muito voltada para *commodities*. O Brasil, como produtor mundial de destaque de algumas das mais importantes *commodities* minerais metálicas e não-metálicas, como minério de ferro, calcário, caulim, entre outras, incontestavelmente domina as tecnologias clássicas de lavra, concentração, processamento mineral e logística. Também a cultura dos profissionais brasileiros da mineração sempre esteve moldada para o domínio destas etapas.

A Figura 1 a seguir introduz os conceitos de Agregado Tecnológico Ampliado como a soma das tecnologias minerais clássicas, já dominadas, com as tecnologias de produto e aplicação; e do *marketing* estendido, que evolui do *marketing* clássico, típico das *commodities* para o *marketing* dos sistemas mineral/aplicação.

O Brasil domina as tecnologias de concentração e processamento mineral de amplo uso pelas *commodities* metálicas e não-metálicas. As oportunidades para a conquista de novos espaços de mercado estarão voltadas para a capacidade dos investidores brasileiros de otimizar o desempenho funcional de seus Minerais Industriais em segmentos industriais diversos e de satisfazer diferenciadamente a demanda.

O grande entendimento que se apresenta aqui é que, maximizados os parâmetros convencionais de competitividade atrelados à liderança de custos, consagrados na gestão de processos, de operações, de logística e controle ambiental para as grandes *commodities*, sejam elas metálicas ou não-metálicas, no caso dos Minerais Industriais pode-se ainda ampliar a competitividade e o valor dos produtos pela segmentação e pela diferenciação de parâmetros técnicos, de desempenho e serviços.

2^o Fundamento: projetos de PD&I para Minerais Industriais devem ser implementados no contexto de toda a cadeia produtiva do mineral/material, como forma de se maximizar valores.



Figura 1 - Agregado tecnológico ampliado e *marketing* estendido

O fundamento proposto consagra a abordagem que deve ser adotada na concepção, condução e no desenvolvimento de estudos e projetos com Minerais Industriais - sempre individualizar cada Mineral Industrial como um sistema binário “espécie mineral/produto mineral – aplicação/material industrial”

A argumentação apresentada aqui se propõe a desenvolver um entendimento mais apurado sobre as peculiaridades que diferenciam os Minerais Industriais dos demais segmentos minerais metálicos, energéticos, gemas e minerais raros e preciosos. O autor reforça sua convicção de que gerir os negócios com Minerais Industriais, já a partir da pesquisa geológica, com uma visão integrada polarizada para o mercado, é um pré-requisito para o sucesso dos empreendimentos.

Na abordagem proposta pelo autor, ao se trabalhar com Minerais Industriais, o foco deve ser sempre o sistema Mineral Industrial – *mercado*, consagrando sistemas como caulim refratário, talco cosmético, agalmatolito extensor em tintas, argila tixotrópica, alumina grau eletrônico, magnesita *feed grade*, cromita metalúrgica, gesso agrícola, entre inúmeros outros dentro de um universo muito amplo e diverso de sistemas. Os sistemas que compõem cada macrossistema se relacionam quanto a propriedades, funções, processos, desempenhos, ambientes e práticas comerciais. Torna-se altamente recomendável, portanto, pela experiência do autor, que, ao se trabalhar técnica e mercadologicamente um determinado sistema, se expanda o entendimento para outros sistemas explorando similaridades e correlações.

A funcionalidade múltipla que o Mineral Industrial pode desenvolver é o principal diferencial do segmento dos não-metálicos. Além de suas inúmeras funções industriais, os produtos minerais podem atuar diferentemente de consumidor para consumidor, de país para país, de região para região, com perfis diferenciados de demanda e fornecimento, possibilidades de substituição, características variadas da gênese dos depósitos em cada produtor. Explorar esta diversidade é o caminho para a rentabilidade e o crescimento da participação no mercado.

O grande mérito da expressão Minerais Industriais é a cobrança da polarização da cultura e do gerenciamento da empresa mineral para o mercado. O sucesso dos negócios com os Minerais Industriais vai depender em grande parte do grau de intimidade dos produtores com o mercado, com os elos da cadeia produtiva e com as aplicações finais.

5. AGENDA DE PRIORIDADES – BRASIL 2015

5.1 Cerâmica Vermelha

5.1.1 Principais gargalos e entraves tecnológicos

- Deficiência tecnológica do processo produtivo (geologia de jazida, lavra, preparação de matéria-prima, processamento cerâmico, problema de conformidade e qualidade de produtos, falta de suporte laboratorial, deficiência da estrutura de produção).
- Baixa qualificação da mão-de-obra.
- Adequação à legislação ambiental, trabalhista e tributária.

5.1.2 Aprimoramento da matriz energética e do sistema de queima

- Não conformidade da matéria-prima (argila).
- Baixa capacitação para projetos cooperativos de melhoria operacional e inovação.
- Inexistência de laboratórios cerâmicos nas empresas e nos aglomerados.
- Produtos não certificados.
- Baixíssima flexibilidade a combustíveis alternativos.
- Assistência técnica muito fca dos fornecedores de equipamentos para cerâmica vermelha.

5.1.3 Visão de futuro consolidada

- Sobrevivem apenas empresas de porte médio e aglomerados que incorporem ao seu sistema produtivo.
- Centrais de massa.

- Terceirização da geologia e lavra.
- Produtos certificados.
- Sistemas de gestão de qualidade e gestão ambiental.
- Laboratórios de controle de processo e produtos.
- Fornos modernos flexíveis a combustíveis alternativos.
- Etapas de engenharia produtiva que agreguem valor e fidelidade de mercado.

5.1.4 Propostas de linhas de recursos federais de PD&I para atendimento das demandas

- Projeto de capacitação setorial através da implantação de redes temáticas.
- Laboratórios regionais e projetos cooperativos empresas – instituição de pesquisa.
- Reordenamento de aglomerados produtivos por projetos de extensão tecnológica.

5.2 Rochas ornamentais e de revestimento

5.2.1 Principais gargalos e entraves tecnológicos

- Conhecimento muito restrito de geologia na escala de jazida.
- Inadequação das operações à legislação: legalização mineral e ambiental.
- Planejamento e tecnologia de lavra inexistentes ou inadequados.
- Disponibilidade restrita no mercado interno de materiais de alto desempenho: fio diamantado, resinas e abrasivos.
- Poucos investimentos e falta de cultura na diversificação e melhoria dos produtos finais e aproveitamento de resíduos.
- Falta de certificação, normatização e certificação da performance tecnológica de chapas e peças acabadas.
- Desconhecimento das características, funções e requisitos do produto final causando prejuízo financeiro na aplicação.
- Inexistência de controle de qualidade de processo e produto.
- Nível de capacitação de RH muito baixo, com pouco investimento e falta de cultura empresarial para sua formação.

5.2.2 Visão de futuro consolidada

- Verticalização na cadeia produtiva da construção, com a integração de novas tecnologias e técnicas construtivas por grupos de grande porte ou redes certificadas de pequenos e médios produtores.

5.2.3 Propostas de linhas prioritárias de recursos federais de PD&I para atendimento das demandas

- Revitalização e fortalecimento da RETEC-ROCHAS.
- Produção de mapas geológicos sistemáticos (escala 1:50.000).
- Projetos cooperativos empresas – instituições de pesquisa e ensino.
- Projetos de inovação e capacitação empresarial.
- Projetos de capacitação setorial.
- Laboratórios regionais: capacitação de laboratórios para avaliação de produtos.

5.3 Agregados para construção civil

5.3.1 Principais gargalos e entraves tecnológicos

- Conflitos na expansão urbana – ausência de planejamento em planos diretores.
- Legislação complexa e conflitante (ambiental para APPs, mineral, trabalhista, tributária, segurança e saúde) – falta de normas técnicas.
- Falta de capacitação técnico-gerencial e ambiental.

5.3.2 Visão de futuro consolidada

- Consolidação de grandes operações determinada pela logística mais favorável, ordenamento territorial, produtividade, tecnologia e sustentabilidade.

5.3.3 Propostas de linhas de recursos federais de PD&I para atendimento das demandas

- 1ª Prioridade – projetos de capacitação setorial.
- 2ª Prioridade – projetos cooperativos empresas – instituições de pesquisa.
- 3ª Prioridade – estruturação de redes temáticas lideradas pelos centros especialistas em agregados para construção civil.

5.4 Minerais reativos para concreto/cimento

5.4.1 Principais gargalos e entraves tecnológicos

- Falta de confiabilidade para as várias fontes do aditivo no mercado consumidor.
- Falta de cultura e capacitação entre projetistas e proprietários das obras para o uso do CAD – Concretos de Alto Desempenho.
- Desconhecimento do desempenho dos minerais reativos, quando misturados ao cimento e concretos.
- *Lobby* e ações inibidoras das cimenteiras para o uso dos aditivos.

- Aplicação ainda muito pouco conhecida pelo mercado brasileiro.

5.4.2 Visão de futuro consolidada

- Pozolanas reativas para a aditivação de cimentos e concretos é uma das aplicações emergentes para minerais como caulim e silicatos reativos de maior volume.

5.4.3 Propostas de linhas de recursos federais de PD&I para atendimento das demandas

- Pesquisa de vanguarda de uso de aditivos pozolânicos e seus materiais em centros de excelência.
- Projetos de capacitação setorial em tecnologias construtivas.

5.5 APLS – Arranjos produtivos locais de base mineral

5.5.1 Principais gargalos e entraves tecnológicos

- Baixa capacitação gerencial e tecnológica.
- Inexistência de linhas dedicadas de recursos e financiamento.
- Fomento emergente a despeito da Política Industrial.

5.5.2 Visão de futuro consolidada

- Os Arranjos Produtos Locais de base mineral, que se consolidarão ao longo da próxima década, serão contemplados com laboratórios locais, projetos de extensão tecnológica interdisciplinar contínuos e de longo prazo e recursos financeiros e institucionais dedicados.

5.5.3 Propostas de linhas de recursos federais de PD&I para atendimento das demandas

- Projetos de capacitação setorial em tecnologia de operações e processos, produtos e mercado.
- Estruturação e funcionamento de uma rede de apoio a APLs – Sistematização e gestão de informações setoriais: 1) bases para políticas públicas; 2) plataforma de investimentos para o setor produtivo; 3) observatório tecnológico.
- Programas de identificação, estruturação e consolidação de APLs de base mineral.
- Projetos de extensão tecnológica locais – modernização de APLs, aprimoramento competitivo, agregação de valor e exportação.
- Laboratórios locais.
- Projetos dedicados de 2 a 5 anos.

5.6 Agrominerais

5.6.1 Principais gargalos e entraves tecnológicos

- Baixa produtividade e dificuldade de otimização das operações e processos pela complexidade e heterogeneidade dos minérios.

5.6.2 Visão de futuro consolidada

- Ampliação continuada e customização da produção de fertilizantes ao perfil das culturas muito técnicas com a consolidação do país como pólo agrícola mundial.

5.6.3 Propostas de linhas de recursos federais de PD&I para atendimento das demandas

- Redes temáticas.
- Projetos cooperativos empresas – instituições de pesquisa.
- Projetos de inovação empresarial.
- Projetos de capacitação setorial.

5.7 Insumos químicos e metalúrgicos

5.7.1 Principais gargalos e entraves tecnológicos

- Baixas margens dos contratos comerciais entre grandes consumidores e pequenos produtores.

5.7.2 Visão de futuro consolidada

- A ampliação do *market-share* de produtos importados permite a permanência apenas de fornecedores de alta competitividade de custos e com tecnologia para especialidade e *marketing* de nichos.

5.7.3 Propostas de linhas de recursos federais de PD&I para atendimento das demandas

- Projetos cooperativos empresas – instituições de pesquisa.
- Projetos de inovação empresarial.

5.8 Minerais importados

5.8.1 Principais gargalos e entraves tecnológicos.

- Falta de competitividade dos produtores brasileiros – incapacidade produtiva das *commodities*.

5.8.2 Visão de futuro consolidada

- Importação crescente de *commodities* não-metálicas.

5.8.3 Propostas de linhas de recursos federais de PD&I para atendimento das demandas

- Projetos cooperativos empresas – instituições de pesquisa.
- Projetos de inovação empresarial.

5.9 Minerais cerâmicos

5.9.1 Principais gargalos e entraves tecnológicos

- Deficiências da tecnologia mineral aplicada a minerais cerâmicos que tradicionalmente eram fornecidos *in natura*.
- Poucos investimentos em exploração e geologia de mina.
- Desconhecimento dos minérios, matérias-primas e minerais cerâmicos por limitações da infra-estrutura laboratorial e cultura atrasada dos produtores.
- Baixo nível de educação profissional.
- Altos índices de doenças ocupacionais.
- Baixos preços, baixa agregação de valor e pressão de preços dos grandes consumidores sobre os pequenos fornecedores.
- A legislação ambiental conflitante aparece como grande entrave.

5.9.2 Visão de futuro consolidada

- Fornecimento de massas cerâmicas e concentrados minerais.
- Verticalização dos grandes produtores com ênfase nos grupos internacionais.
- Exaustão de depósitos.
- Passivos ambientais comprometem a continuidade de produção de minerais tradicionais.
- Ampliada participação de resíduos nas massas e sua conversão em aditivos e especialidades.
- Crescimento da participação do Nordeste.

5.9.3 Propostas de linhas de recursos federais de PD&I para atendimento das demandas

- Projetos de capacitação setorial.

- Projetos de extensão tecnológica regional.
- Laboratórios regionais e locais.
- Redes temáticas.
- Projetos cooperativos empresas - instituições de pesquisa.
- Formulação do catálogo das matérias-primas cerâmicas do Brasil.

5.10 Minerais Funcionais

5.10.1 Principais gargalos e entraves tecnológicos

- Capacidade competitiva limitada com um mercado em expansão.
- Baixa escala do mercado interno inviabiliza investimentos em tecnologias mais modernas de processamento e laboratórios de última geração.
- Baixa capacitação da cadeia produtiva e dos segmentos de demanda.

5.10.2 Visão de futuro consolidada

- Domínio de empresas internacionais via importação ou produção interna.
- Substituição intensa entre minerais alternativos.
- Exigência crescente de desempenhos superiores pelo mercado nacional.
- Crescente agregação de valor aos produtos minerais via desempenho.
- Exigência de serviços.

5.10.3 Propostas de linhas de recursos federais de PD&I para atendimento das demandas

- Redes temáticas priorizando o desenvolvimento de desempenhos na aplicação de minerais funcionais em plásticos e cobertura de papel.
- Laboratórios de processamento fino de pós.
- Projetos Cooperativos Empresas – Instituições de Pesquisa.
- Projetos de Inovação Empresarial.
- Projetos de Capacitação das cadeias produtivas com foco nos segmentos de demanda.
- Projetos de pesquisa para avaliação de indicadores de competitividade para os vários segmentos minerais/aplicações.

5.11 Nano-minerais

5.11.1 Principais gargalos e entraves tecnológicos

– Linhas de pesquisa de ponta de síntese-propriedades-aplicações para nano-minerais.

5.11.2 Visão de futuro consolidada

– Mercado emergente com nichos de oportunidades de alto valor agregado.

5.11.3 Propostas de linhas de recursos federais de PD&I para atendimento das demandas

– Projetos de Pesquisa de Vanguarda em Centros de Excelência.

– Rede temática para nano-minerais para termoplásticos.

5.12 Minerais de exportação

5.12.1 Principais gargalos e entraves tecnológicos

– Custo logístico.

– Falta de tecnologias de aplicação, assistência técnica e garantias de desempenho.

5.12.2 Visão de futuro consolidada

– Manutenção das fatias de mercado internacional condicionada ao aprimoramento de serviços técnicos de vendas.

5.12.3 Propostas de linhas de recursos federais de PD&I para atendimento das demandas

– Redes temáticas.

– Projetos cooperativos empresas – instituições de pesquisa.

– Projetos de inovação empresarial.

CAPÍTULO 6

MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE

*Luis Enrique Sánchez**

1. INTRODUÇÃO

Planejamento e gestão ambiental na indústria de mineração integram um campo em rápida evolução. Há certamente avanços importantes em temas como: recuperação de áreas degradadas, manejo de águas em minas, monitoramento ambiental e relações com a comunidade. Porém, estes avanços são distribuídos de forma desigual, um reflexo da grande diversidade do setor mineral. Esta diversidade ocorre em escala mundial e se repete no Brasil, país onde a desigualdade é um traço marcante.

O produto da indústria mineral brasileira situa-se entre as dez maiores do mundo, e, nos últimos anos, o saldo da balança de comércio exterior de bens minerais tem sido positivo, dados que sugerem que o Brasil deveria registrar bons resultados de desempenho ambiental no setor de mineração. Porém, uma única empresa respondia, em 2004, por cerca de 50% do valor da produção mineral¹ (Brasil Mineral, 2005). A seu lado, centenas de empresas familiares e de cooperativas de garimpeiros compõem outra face do universo da mineração brasileira. Ao lado de empresas capitalizadas, com acesso ao mercado global e capazes de aplicar as melhores tecnologias disponíveis, trabalham milhares de pessoas empregando tecnologias rudimentares e se expondo a condições inseguras ou insalubres. São evidentemente muito diferentes os impactos ambientais de megaprojetos operados por corporações transnacionais daqueles causados, cumulativamente no tempo e no espaço, por uma grande quantidade de minas disseminadas no território ou concentradas em determinadas zonas²

Assim, as tendências tecnológicas em um setor díspar somente podem refletir suas disparidades. É sob este pano de fundo que, neste texto, serão discutidas algumas questões atuais relativas aos impactos ambientais da mineração no Brasil.

* Professor da Escola Politécnica da USP – Universidade de São Paulo.

¹ Trata-se da Companhia Vale do Rio Doce (CVRD). A cifra inclui a participação acionária da CVRD em outras empresas, segundo dados compilados pela revista Brasil Mineral.

² Não se pretende, com esta afirmativa, defender o ponto de vista de que as grandes empresas teriam uma postura de maior responsabilidade social ou apresentariam melhor desempenho ambiental do que as pequenas empresas. Não há evidência empírica para suportar tal hipótese. Porém, é inegável a capacidade das grandes empresas de rapidamente mobilizar recursos e desenvolver capacidades e competências para o trato das questões de natureza ambiental e social; tais competências podem se disseminar para outras empresas do setor e para fornecedores e prestadores de serviços.

2. O ESTADO DA ARTE DA GESTÃO AMBIENTAL NA MINERAÇÃO BRASILEIRA

Em pouco mais de vinte anos, a gestão ambiental na mineração brasileira evoluiu significativamente. O grande propulsor foi a lei, que se tornou progressivamente mais rígida, como consequência da crescente importância que a proteção ambiental foi alcançando na sociedade, que não só fez avançar as exigências como também impediu retrocessos (Silva-Sánchez, 2000). A aplicação da lei também evoluiu de maneira notável – literalmente notável, pois muitas empresas, grandes e pequenas, notaram essa evolução ao sofrerem procedimentos investigatórios ou serem alvos de ações civis públicas impetradas pelo Ministério Público.

De modo equivalente ao de países mais avançados, a gestão ambiental nas empresas brasileiras também avançou devido a outras razões, como as demandas de mercado, mas sua força é observada quase que exclusivamente entre as empresas mais ativas na exportação. A eventual demanda de clientes por certificações e a necessidade de fazer provisões contábeis para recuperação de áreas degradadas e fechamento de minas, imposta por instituições financeiras e pela regulamentação do mercado de ações norte-americano, são as duas mais visíveis manifestações das forças de mercado.

Em que pese a contribuição representada pelas forças de mercado e algumas iniciativas voluntárias das empresas, foram as demandas impostas pela legislação aquelas que realmente fizeram avançar a gestão ambiental, o que, aliás, também ocorreu no Canadá (Sánchez, 1998), país considerado líder nessa matéria.

Em comparação com Canadá e Austrália, o outro país que lidera tendências ambientais na mineração, as principais empresas brasileiras ainda lançam mão de poucas iniciativas voluntárias, mas, em contrapartida, enfrentam demandas administrativas pouco comuns nesses países, como obrigatoriedades de compensação ambiental por danos causados por novos projetos ou mesmo como condição para a continuidade do funcionamento de empreendimentos existentes.

Naturalmente, o perfil diversificado e dispar da mineração no Brasil e das empresas que se dedicam a esta atividade, tem reflexos na gestão ambiental. A função ambiental já é plenamente reconhecida nas empresas bem organizadas, e todas elas contam com profissionais especializados em seus quadros ou dispõem permanentemente de serviços de consultoria nesse campo, fornecidos por empresas especializadas. Por outro lado, grande número de pequenas empresas ainda atua à margem ou nos limites da lei, mas isto não é, evidentemente, exclusividade do setor mineral.

Se um marco inicial para comparação do comportamento e do desempenho da indústria mineira for estabelecido em meados da década de 1970, quando surgiram no Brasil as primeiras exigências legais de controle de poluição, então o quadro atual é radicalmente distinto: as minas dispõem de licenças ambientais que lhes estabelecem obrigações particulares, têm planos para recuperar as áreas degradadas e seus dirigentes estão sujeitos

a sanções penais em caso de descumprimento da lei; estudos de impacto ambiental, diagnósticos e uma série de outros estudos foram feitos para a maioria delas e, à parte alguns problemas localizados ou específicos, há conhecimento e tecnologias disseminados para prevenir riscos e danos ambientais e para recuperar áreas degradadas ou remediar áreas contaminadas.

No entanto, em três décadas, o volume de bens minerais produzidos foi multiplicado várias vezes. Por consequência, o volume de estéreis movimentados, a quantidade de rejeitos produzidos e a extensão das áreas perturbadas também cresceram. Mais do que isso, a expansão da mineração requereu novas infra-estruturas (principalmente para transporte) e induziu outras atividades de transformação mineral, cujos impactos se somam e se acumulam àqueles do passado.

Em paralelo, o setor mineral desenvolveu, adaptou e aplicou novas tecnologias que têm proporcionado ganhos ambientais. Variados exemplos podem ser citados:

- Disseminação e consolidação de métodos de disposição segura de rejeitos em bacias formadas por barragens; não há registro, na mineração brasileira, de acidentes de grandes proporções e com consequências ambientais severas (Icold, 2001), porém observa-se uma série de incidentes e de acidentes.
- Disposição de rejeitos em pilhas ou em bacias de retenção formadas por diques perimetrais, sem barramento de drenagens naturais. Porém, esta é uma alternativa ainda pouco comum, devido às características geomorfológicas de boa parte do território brasileiro, mas que facilita a desativação dessas estruturas, exemplos são: a pilha de rejeitos quartzosos da mina de ferro de Alegria (Mariana, MG), que, à época do projeto, pertencia à Samitri e o dique de rejeitos de beneficiamento de minério de níquel da Mineração Serra da Fortaleza (Fortaleza de Minas, MG), que, à época de projeto, pertencia à Rio Tinto.
- Uso de técnicas de desmonte de rocha por explosivos, com controle furo a furo e mapeamento da face das bancadas. Tais técnicas reduzem vibrações e o risco de ultralançamento de fragmentos de rocha e são utilizadas, por exemplo, pela Embu S.A., maior empresa nacional do setor de agregados.
- Eliminação do emprego de cordel detonante para reduzir sobrepressão acústica, técnica atualmente empregada em várias pedreiras.
- Inovações na britagem de rocha em pedreiras (britador de impacto de eixo vertical), que permitem a produção de areia artificial e a consequente redução da quantidade de rejeitos produzidos (finos de pedreiras).
- Melhoria nos reagentes de flotação, aumentando a recuperação de diversos minérios.
- Crescimento no uso de flotação em colunas que, por serem mais seletivas, permitem maior recuperação de finos e redução do volume de rejeitos.

- Diversas melhorias em processos de tratamento de minerais, aumentando a recuperação de minério e reduzindo o volume de rejeitos, como no caso dos equipamentos de separação magnética de alto gradiente para beneficiamento de caulim.
- Melhoria da eficiência energética em operações de tratamento, a exemplo do emprego de prensas de rolos (*high pressure grinding rolls*), substituindo equipamentos de cominuição, com vantagens e menor consumo de energia, e as moagens autógenas e semi-autógenas.
- Valorização de certos rejeitos, a exemplo do corretivo agrícola produzido com rejeito calcítico do beneficiamento de minérios sulfetados de metais básicos e dos finos de pedreiras, empregados na fabricação de artefatos de concreto.
- Valorização de alguns resíduos do processamento industrial de matérias-primas minerais, como cinzas de usinas termelétricas a carvão, empregadas na fabricação de cimento, e escórias de altos-fornos, empregadas em pavimentação e na fabricação de cimento. A transformação desses resíduos em co-produtos dessas indústrias reduz a demanda por bens minerais. Há um vasto potencial para inovação tecnológica neste campo, como exemplificado por pesquisas desenvolvidas pelo Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) visando o emprego de cinzas de termelétricas para cobertura de rejeitos geradores de ácidos em minas de carvão.
- Desenvolvimento de tecnologias de reciclagem de resíduos de construção e demolição, reduzindo o ritmo de crescimento de produção de agregados.
- Reciclagem de produtos industrializados à base de matérias-primas minerais metálicas e não-metálicas, como nos casos bem conhecidos do alumínio e do vidro.

Evidentemente, outros avanços mereceriam menção, mas a intenção aqui é simplesmente exemplificar uma tendência mundial de melhoria da ecoeficiência, ou seja, a obtenção de resultados econômicos em paralelo à obtenção de ganhos ambientais, tendência observada em muitas indústrias e que também se verifica no setor mineral. É bem verdade, entretanto, que estes ganhos são mais do que superados pelo aumento contínuo do volume de bens minerais produzidos, que também não é contido pelo crescimento das taxas de reciclagem de certos produtos de base mineral. A demanda mundial por matérias-primas minerais virgens continua a aumentar.

É de se notar, também, que há uma particularidade na indústria mineira que a diferencia da indústria de transformação e da manufatura. Trata-se da tendência histórica de aproveitamento de minérios de teores cada vez mais baixos. Se isto significa que a temida escassez ou mesmo exaustão de recursos minerais, popularizada pelo Clube de Roma ao final da década de 1960, não tem fundamento teórico nem constatação empírica, a produção de uma tonelada de metal ou de um produto de origem mineral se faz com maior consumo de energia, maior movimentação de materiais estéreis e maior volume de rejeitos, portanto, com maior potencial de impacto ambiental. Dados compilados por

Suslick, Machado e Teixeira (2005) mostram que, no período de 1975 a 1999, a produção dos principais metais e recursos energéticos cresceu a taxas anuais entre 0,5% (ferro) e 3,4% (cobre), situando-se em 2,9% para o alumínio. A partir de 2000, impulsionada pela demanda chinesa, a produção mundial de recursos minerais cresceu ainda mais.

Outro ponto relevante é que, se há avanços notáveis no planejamento de novas minas e na gestão ambiental dos empreendimentos em funcionamento, ainda há um longo caminho a percorrer no tratamento das questões socioambientais associadas ao fechamento de minas. O quadro legal e o aparato administrativo foram montados para equacionar os problemas ambientais decorrentes da abertura e do funcionamento de minas e demais atividades, mas muito pouco foi feito para tratar da situação incontornável de que minas são exauridas e indústrias ficam obsoletas e fecham (Sánchez, 2001). A desativação ambientalmente segura e socialmente responsável de minas e instalações conexas demanda planejamento concatenado com o planejamento do projeto, em paralelo a uma cuidadosa planificação econômico-financeira, elementos ainda virtualmente ausentes no setor mineral brasileiro.

3. DESAFIOS ATUAIS E FUTUROS

Em que pesem os avanços passados e recentes dos setores mais dinâmicos da mineração brasileira, em alguns aspectos as empresas nacionais (e, em certa medida, mesmo as subsidiárias nacionais de empresas estrangeiras) não se situam no mesmo patamar das empresas líderes. Por outro lado, as demandas sociais tendem a ser cada vez mais fortes, o que freqüentemente se reflete em novas exigências legais, que já podem ser vislumbradas para o futuro. Algumas dessas questões serão exploradas nesta seção.

3.1 Avaliação do desempenho ambiental

A avaliação do desempenho ambiental é uma ferramenta que, ao mesmo tempo possibilita um controle empresarial (corporativo) dos resultados ambientais de uma operação ou de um conjunto de operações e coleta evidências que demonstram esses resultados à comunidade e demais partes interessadas³.

Diversas empresas de grande e médio porte coletam e analisam dados de desempenho ambiental e os tornam públicos através de relatórios de desempenho, impressos ou eletrônicos, ou ainda disponíveis na Internet. Os resultados podem ser divulgados para o conjunto de sítios de uma empresa e/ou de maneira individualizada, mostrando o desempenho em cada mina.

³ Há diferentes modelos para análise de desempenho ambiental. O mais difundido é o preconizado pela norma ISO 14031:1999.

Porém, esta prática é ainda muito pouco difundida no Brasil. Algumas subsidiárias reportam os resultados para suas matrizes, mas a difusão interna dos documentos é restrita. Os balanços sociais preparados por algumas empresas, em geral seguindo o modelo Ibase⁴, representam sem dúvida um avanço, mas costumam trazer poucos dados ambientais, sendo muito poucas as empresas brasileiras (inclusive de outros setores) que seguem o modelo preconizado pelo *Global Reporting Initiative* - GRI.⁵

3.2 Análise de riscos

A análise de riscos é uma ferramenta com múltiplas aplicações e pode ser usada com diversos enfoques. No planejamento de uma nova mina e na desativação de uma mina existente, a análise de riscos possibilita a identificação de perigos e de situações críticas que possam acarretar acidentes ou perdas para a empresa, para a comunidade e para o ambiente. Acidentes com barragens de rejeitos têm chamado a atenção da mídia e representam não só uma das mais sérias ameaças à segurança pública e à integridade dos ecossistemas (Icold, 2001) como também significam o risco de sérios danos à imagem do conjunto das empresas de mineração. Da mesma forma, acidentes no transporte de cianeto e outros produtos perigosos empregados na mineração, embora relativamente pouco comuns, são ainda mais freqüentes do que acidentes envolvendo estruturas de retenção de rejeitos (World Bank, 2003).

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente recomenda que as empresas desenvolvam programas para aumentar a conscientização dos riscos e a preparação das empresas e das comunidades vizinhas para o caso de acidentes tecnológicos. Além disso, incluiu a mineração no rol de atividades para as quais são recomendadas ações, inclusive no período posterior ao fechamento das minas (Unep, 2001). Por outro lado, é de se notar que os estudos de análise de riscos exigidos no Brasil para fins de licenciamento ambiental raramente são aplicados para a mineração.

3.3 Avaliação do ciclo de vida de produtos

As matérias-primas minerais estão na base de um grande número de cadeias produtivas na indústria. Sua extração, processamento, transporte e reciclagem podem representar contribuições expressivas ao impacto agregado de produtos tão diversos, como: embalagens metálicas, veículos, embarcações e aeronaves, equipamentos eletrônicos e mesmo produtos da agroindústria.

A produção de informação confiável sobre emissões e consumos de recursos, na extração e tratamento de minérios, para realização de inventários de ciclo de vida, deve se

⁴ IBASE – Instituto Brasileiro de Análises Sociais e Econômicas, Demonstrativo do Balanço Social. Disponível em www.balancosocial.org.br.

⁵ GRI – Global Reporting Initiative, Sustainability Reporting Guidelines 2002, Boston, 104 p. Disponível em www.globalreporting.org.

ampliar. Atualmente estes inventários são muito imprecisos quanto à fase de aquisição de matérias-primas minerais, em comparação com os dados sobre processamento industrial e transporte. Esta situação decorre, evidentemente, da maior heterogeneidade da fase de extração mineral, face a uma certa padronização dos métodos e processos produtivos na fase de transformação industrial. Porém, se for possível demonstrar que uma determinada mina causa menos impactos que outra (ou que um conjunto de minas em um país ou região causa menos impactos para produzir uma tonelada de matéria-prima mineral), isto pode, futuramente, se transformar em fator competitivo ou representar possibilidade de ganho adicional para empresas que puderem demonstrar melhor desempenho.

3.4 Produção mais limpa

Todos os ramos da indústria e dos serviços confrontam-se com os desafios da produção mais limpa (“aplicação contínua de uma estratégia preventiva integrada relativa a processos, produtos e serviços, visando aumentar a eficiência e reduzir os riscos para a saúde humana e para o meio ambiente”)⁶. Na mineração, processos produtivos mais limpos dependem diretamente de pesquisa e desenvolvimento tecnológico. Diferentemente de muitos ramos da indústria, nos quais é possível o emprego de um mesmo tipo de solução para um grande número de firmas, a extração e o processamento de matérias-primas minerais requerem soluções para cada caso.

3.5 Iniciativas de certificação

Eventualmente podem-se desenvolver iniciativas de certificação de origem de bens minerais, a exemplo do processo Kimberley de certificação de origem de diamantes. Evidentemente o caso dos diamantes é muito particular, pois, além do alto preço, havia evidências incontestes de que estes minerais eram usados para financiar atividades ilegais em alguns países africanos. Atualmente está bem estabelecida a certificação de empresas por atender a requisitos de normas de gestão ambiental, de qualidade, de segurança do trabalho ou de responsabilidade social, mas, à parte o caso dos diamantes, ainda não há certificação de produtos minerais, que são vendidos como *commodities* ou seguindo certas especificações técnicas. No entanto, é possível vislumbrar possibilidades de desenvolvimentos futuros, no sentido de ampliar os esquemas de certificação para outros bens minerais. É interessante observar que, com outro objetivo, foi proposta a “certificação dos minerais produzidos em consonância com as normas de controle ambiental” (Barreto, 2001, p. 170) durante discussões sobre mineração e desenvolvimento sustentável, com diversas partes interessadas, no âmbito do projeto MMSD – *Mining, Minerals and Sustainable Development*.

⁶ United Nations Environment Programme, *Declaration on Cleaner Production*, 2000.

3.6 Planejamento do fechamento de minas

A experiência com a desativação e o fechamento planejado de minas no Brasil ainda é pequena. Houve sim avanços importantes em recuperação de áreas degradadas, para vários minérios e métodos de lavra a céu aberto, inclusive no restabelecimento de comunidades vegetais nativas (Parrotta e Knowles, 2001; Toy e Griffith, 2001), mas persistem importantes lacunas jurídicas que retardam o avanço do planejamento do fechamento de minas.

Algumas empresas já desenvolveram critérios e procedimentos internos para planejar o fechamento de suas minas, seja para atender a políticas corporativas, seja para responder a exigências de órgãos reguladores do mercado de capitais (Sánchez, 2005), caso das empresas que têm ações nas bolsas de Nova York ou Toronto. Desta forma, algumas empresas de consultoria também começaram a desenvolver competências na preparação de planos de fechamento.

No campo governamental, porém, os órgãos ambientais ainda não têm diretrizes ou critérios para orientar a elaboração ou analisar planos de fechamento, ao passo que está estagnada a discussão sobre o uso de instrumentos financeiros para garantir a disponibilidade de recursos para o fechamento – tais como cauções, fianças, fundos e outros mecanismos. Entretanto, é interessante notar que certos órgãos estaduais de meio ambiente, amparados na legislação atual, já tiveram experiências bem sucedidas ao exigir garantias financeiras para a implementação de medidas de correção de danos ambientais (por exemplo, um empreendimento industrial no Rio de Janeiro), para a satisfatória implementação de medidas compensatórias (caso da construção de uma barragem em Minas Gerais) e na forma de seguro contra danos ambientais (caso de uma mina em Santa Catarina).

3.7 Impactos sociais do fechamento de minas

Diversos municípios têm forte dependência econômica e tributária da atividade mineira. Nesta situação, o fechamento de uma mina representa desemprego, forte redução da atividade econômica e queda substancial da arrecadação de impostos. Assim como o fechamento de uma mina deve ser planejado para reduzir o passivo ambiental e os impactos ambientais remanescentes, também devem ser contemplados os impactos sociais do fechamento. A mineradora pode ter um papel preponderante na preparação da comunidade durante a transição para o período pós-mineração, mas esta preparação requer amadurecimento e um prazo possivelmente longo para envolver e engajar os atores sociais. Um conceito-chave que pode orientar a preparação para uma transição suave é o de capital social, ou seja, o conjunto de normas, instituições e relações que dão forma às interações sociais e sustentam a ação coletiva.

As empresas podem e devem contribuir ativamente para a formação do capital social nas comunidades em que atuam engajando-se em programas de cooperação e parceria

com associações comunitárias, órgãos governamentais e prefeituras. A presença de uma empresa de mineração durante alguns anos ou décadas pode ser uma oportunidade única para alavancar o desenvolvimento social de uma pequena comunidade ou município, mas o processo envolve a construção de parcerias e de uma relação de confiança entre atores sociais e a provável liderança da empresa, como catalisadora. Caso contrário, continuaremos a presenciar o declínio de comunidades mineiras.

Uma comunidade organizada e com alto nível de capital social tem maiores condições de desenvolver projetos economicamente sustentáveis para o período posterior ao fechamento da mina. A carência de capital econômico pode ser, em grande parte, suprida pelo capital social que, entre outros, facilita a obtenção de recursos financeiros. Com a devida antecipação, a própria presença da empresa de mineração pode facilitar a preparação de projetos viáveis e a capacitação de recursos humanos. A fase do enclave mineiro, caracterizada por uma atitude paternalista da empresa e por poucos vínculos com a comunidade e a economia locais, está em vias de superação.

3.8 Valorização do capital humano

Muitas empresas integrantes da cadeia produtiva da mineração (*mineral business*, Lins, 2005), incluindo empresas prestadoras de serviços, estão bastante conscientes da importância crescente da gestão do conhecimento neste ramo de negócios, bem como da importância que tem a capacitação de seus recursos humanos, desde o nível “chão de fábrica” até os mais altos postos gerenciais.

Talvez um dos mais visíveis aspectos da disparidade existente no setor mineral seja a capacitação de seus recursos humanos, condição necessária para que a mineração melhore seus resultados em termos ambientais e sociais. As maiores empresas têm investido em formação, treinamento e capacitação, mas a maioria das empresas não tem feito tal esforço, seja por carência de recursos financeiros, seja por outros motivos.

Como a capacitação do pessoal das empresas tem repercussões nas comunidades onde vivem, o investimento em capital humano acaba se refletindo em aumento do capital social e pode ser visto como uma das mais significativas contribuições que as empresas podem dar ao desenvolvimento local. Ademais, o poder que as empresas médias e grandes podem ter em pequenas localidades faz delas atores importante para o desenvolvimento local.

3.9 Valorização do patrimônio mineiro

A mineração teve um papel relevante na colonização e povoamento do Brasil, inclusive em períodos recentes. No entanto, somente o ciclo do ouro é reconhecido nos livros de História. Com o fechamento de minas, referências históricas ao passado mineiro de muitas regiões são perdidas e também as chances de compreensão de sua importância econômica e social (Sánchez, 2003). Mesmo no coração da zona principal do ciclo do

ouro, os vestígios da atividade mineira são pouco ou nada valorizados, e alguns resquícios significativos estão sujeitos à destruição ou à descontextualização decorrente do avanço da urbanização, como ocorre com os *mundéus* de Ouro Preto (Sobreira e Fonseca, 2001).

O resgate do passado e a apropriação da história local pelas antigas e atuais comunidades mineiras poderiam contribuir para o desenvolvimento local, através de projetos de conservação, restauro e uso turístico e educativo de antigas minas, instalações de tratamento de minerais e demais elementos do patrimônio mineiro, a exemplo do que ocorre em muitas regiões mineiras de diversos países. Não se trata somente de conservar edificações por seu eventual caráter monumental, mas de registrar e resgatar a mineração como atividade humana, elemento cultural e, por exemplo, documentar e expor seu papel na sobrevivência de um grande contingente de pessoas, na melhoria da qualidade de vida de numerosas famílias e no fortalecimento do movimento sindical em algumas regiões (Grossi, 1981; Minayo, 1986; Volpato, 1984). Os planos de fechamento de minas deveriam contemplar um inventário do patrimônio cultural mineiro e incluir, quando apropriado, programas que visassem sua valorização (Villas-Boas, González-Martínez e Albuquerque, 2003).

3.10 Novos paradigmas na avaliação de projetos

A partir da década de 1970, começou a se difundir a idéia de que as decisões acerca de investimentos públicos e privados deveriam se basear também em uma análise de viabilidade ambiental, conhecida como avaliação de impacto ambiental. Este procedimento foi sendo consolidado, ao mesmo tempo em que se expandia no plano internacional, até ser adotado como um dos princípios da *Declaração do Rio*, um dos documentos oriundos da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, em 1992.

A mineração está sempre entre as atividades para as quais, em quase todos os países, se exige a preparação prévia de um estudo de impacto ambiental ou de outra forma equivalente de estudo ambiental, no qual são identificadas e descritas as conseqüências potenciais advindas da implantação, operação e desativação de um empreendimento e suas alternativas, assim como as medidas propostas para evitar, reduzir ou compensar os impactos negativos e valorizar os positivos.

A avaliação de impacto ambiental é uma ferramenta em contínua evolução e uma das inquietações atuais é determinar o seu real peso nas decisões governamentais e empresariais. Um dos pontos em debate diz respeito a uma ampliação de foco, para que estas avaliações passem a tratar dos dois outros requisitos do desenvolvimento sustentável, a sustentabilidade econômica e a social. Assim, tem início uma nova tendência de se perguntar qual a contribuição líquida de um projeto para o desenvolvimento sustentável,

como ocorreu no segmento norte-americano do projeto MMSD – *Mining, Minerals and Sustainable Development* (IISD, 2004).

4. AGENDA DE PRIORIDADES – BRASIL 2015

A pesquisa tecnológica avança à proporção que as empresas demandam soluções para problemas, que por sua vez surgem como resultado de demandas de origem legal, social ou para redução de custos. A redução de impactos ambientais, a reabilitação de áreas degradadas e a estabilidade a longo termo de áreas afetadas pela mineração demandam contínua atividade de investigação. Naturalmente a agenda de pesquisa evolui com o passar do tempo, pois surgem novas demandas.

Uma dessas demandas diz respeito à ampliação do campo de pesquisa de interesse das empresas e dos órgãos reguladores. O desenvolvimento e a otimização de processos industriais (incluindo a busca de maior ecoeficiência e de tecnologias mais limpas) é o campo tradicional de interesse, pois atende a uma necessidade permanente das empresas. Contudo, o desafio do desenvolvimento sustentável coloca outros temas na agenda, os quais não são estabelecidos pelas necessidades internas das empresas, mas que decorrem das demandas e expectativas das partes interessadas.⁷

Alguns temas que nos dias de hoje e no futuro próximo provavelmente merecem mais atenção dos pesquisadores (além de atenção e apoio das empresas de mineração) são:

– Desenvolvimento, validação e aferição de indicadores de sustentabilidade para a mineração. A utilidade e a necessidade de se dispor de indicadores apropriados são fundamentos de qualquer atividade gerencial, no plano empresarial ou público. Em vários setores da atividade econômica, indicadores de sustentabilidade vêm sendo propostos, testados e debatidos, com a principal função de transmitir informação complexa de maneira simplificada. Dada a imensa quantidade de parâmetros que podem ser usados como indicadores, é necessário mais avanço e aprofundamento para que possam ser selecionados indicadores locais, regionais e nacionais para avaliar a sustentabilidade da atividade de extração, transformação e reciclagem de matérias-primas minerais (Villas-Bôas e Beinhoff, 2002). Uma meta importante deve ser validar os indicadores perante as diferentes partes interessadas, pois sem que esta tarefa seja satisfatoriamente realizada, seu uso pode não ser reconhecido por terceiros.

Tópicos: Aprofundar questões de responsabilidade social das empresas de mineração e da cadeia produtiva mineral; caracterizar a qualidade ambiental das áreas cedidas pela grande mineração à pequena mineração, com o fim de identificar se a mesma não corresponde a passivo ambiental da grande empresa; apresentar programas pós-

⁷ No jargão da gestão ambiental, o termo partes interessadas se refere a todos os indivíduos ou grupos que têm um interesse nas atividades da empresa, a exemplo de funcionários, fornecedores, vizinhos, associações comunitárias, organizações não-governamentais, agentes de órgãos públicos e outros.

mineração para a comunidade local/regional, antes de iniciar as atividades mineradoras (Programa que oriente os municípios para a sustentabilidade dos mesmos pós-mineração); utilização de instrumentos tipo o Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) para delimitação de atividade mineral e/ou para o planejamento do uso territorial.

- Efeitos econômicos e sociais de longo prazo dos empreendimentos mineiros. De longa data há um debate, em escala mundial, sobre os efeitos de longo prazo da mineração (especialmente dos grandes empreendimentos) sobre a economia e a sociedade, principalmente no plano local e no âmbito regional. Questões como: se a mineração contribui para reduzir a pobreza ou se favorece a concentração de renda, se promove a capacitação de recursos humanos e a melhoria da qualidade de vida das regiões mineiras não têm uma resposta inequívoca. O uso de indicadores apropriados para avaliar esses efeitos deve ser tema de pesquisa. Por exemplo, há indícios de que os municípios nos quais é mais intensa a atividade mineradora, têm índices de desenvolvimento humano (IDH) acima da média regional, mas ainda é preciso esclarecer se isto se deve a uma real contribuição da mineração para as populações locais ou ao afluxo de pessoas de maior nível de escolaridade e renda. Enquadram-se também neste tema, pesquisas sobre o uso local de tributos gerados pela mineração, sobre os resultados de ações de responsabilidade social promovidos pelas empresas, dentre outros.

Tópicos: estudos sobre a utilização dos recursos advindos do recolhimento da Compensação Financeira por Exploração de Recursos Mineráveis (CFEM), nível federal, estadual e municipal; avaliação do custo de oportunidade da exploração mineral do ponto de vista da comunidade, ou seja, o aspecto locacional da jazida *versus* a possível decisão da população local sobre a não atividade mineral naquele local (exemplo: pode-se decidir que determinadas jazidas não serão mineradas); avaliação do impacto ambiental da mineração associada ao setor de transformação mineral, da cadeia produtiva, envolvendo os setores da siderurgia e da metalurgia.

- Critérios para considerar uma área minerada como ambientalmente recuperada. Hoje em dia o conceito de “área recuperada” é extremamente vago. Às vezes um simples “tapete verde” (plantio de gramíneas) parece ser indicativo de uma área recuperada, outras vezes é a incorporação de uma área a uma zona urbana, pela implantação de um empreendimento imobiliário ou mesmo de um aterro de resíduos. Em outras ocasiões, ainda, o objetivo almejado é o restabelecimento de uma comunidade vegetal auto-sustentável. O objetivo da recuperação ambiental varia de mina para mina, e, para cada caso, o minerador deve propor uma estratégia de recuperação para atingir esses objetivos. No entanto, com pouquíssimas exceções, não há critérios nem mesmo para situações comuns a um conjunto de empreendimentos similares em ecossistemas similares, o que dá margem a um grande arbítrio em caso de conflito com a comunidade ou de demandas judiciais.

Tópicos: avaliação de programas ambientais concluídos, critérios para a recuperação de áreas urbanas e de áreas rurais e posteriores usos do solo, divulgação de programas bem sucedidos.

- Impactos ambientais da mineração, da cadeia produtiva e seus riscos associados e critérios de valoração de dano ambiental. A demanda legal pela autodeclaração de carga de poluentes em efluentes líquidos, conforme a Resolução CONAMA 357/05, poderá ser o início de um completo inventário de impactos ambientais da mineração e de suas cadeias produtivas, de forma transparente à sociedade. As pesquisas sobre valoração de dano ambiental auxiliariam na determinação das garantias financeiras necessárias para a recuperação de áreas degradadas e o fechamento das minas, assim como para o cálculo de provisões contábeis para a reserva de recursos com esta mesma finalidade, porém no âmbito interno às empresas. Embora o que se busque, na maioria dos casos, seja a reparação do dano causado, tal reparação nem sempre é possível tecnicamente ou seus resultados são incertos. Em inúmeros casos é também solicitada uma indenização por danos irreversíveis ou irreparáveis, mas os critérios para estimativa do montante são muitas vezes arbitrários e não guardam relação com as funções ambientais afetadas ou perdidas. As pesquisas sobre este tema também auxiliariam na determinação das garantias financeiras necessárias para a recuperação de áreas degradadas e o fechamento das minas, assim como para o cálculo de provisões contábeis para a reserva de recursos com esta mesma finalidade, porém no âmbito interno às empresas.

Tópicos: drenagem ácida de minas e de resíduos radioativos na exploração e no beneficiamento de diversos minérios, avaliação econômica do custo de oportunidade da atividade mineral e impactos ambientais, desenvolvimento de indicadores de valoração de dano ambiental, indicadores de risco ecológico e de risco à saúde humana, estudos epidemiológicos da exposição ambiental e/ou ocupacional por atividade na cadeia produtiva da mineração.

- Desenvolvimento de tecnologias apropriadas para a produção mais limpa nas micro e pequenas empresas e no setor informal e incentivos à produção limpa. Ainda é grande a informalidade em parte do setor de mineração no Brasil, situação que dificulta o controle e a fiscalização governamental, inclusive dos órgãos ambientais. O desenvolvimento tecnológico pode contribuir para a redução da informalidade, ao tornar disponíveis técnicas e processos produtivos de baixo impacto ambiental, haja vista que a informalidade, muitas vezes, decorre da dificuldade que encontram as micro e pequenas empresas em atender às exigências da legislação ambiental. O caso do trabalho desenvolvido no noroeste do estado do Rio de Janeiro (Santo Antônio de Pádua e adjacências), com o setor de pedras de revestimento, onde se conseguiu aumentar o aproveitamento de resíduos de serragem (por meio de incorporação a tijolos, fabricação de argamassa etc.) o reúso da água, pode servir de exemplo para outras regiões,

aproveitando-se as possibilidades de apoio governamental aos arranjos produtivos locais (APLs).

Tópicos: Extensionismo mineral, identificação de pólos mineradores para a inserção de tecnologias apropriadas (nem toda área com mineração será identificada como APL, nem todos os mineradores têm interesse em formar APLs); adaptação de tecnologias sofisticadas, de produção limpa, para a pequena mineração; identificação de tecnologias apropriadas já disponíveis para o pequeno minerador; incentivo à produção de cartilhas educativas sobre tecnologias apropriadas com linguagem acessível ao público-alvo; *fair-trade* ou comércio justo ou proposta de bônus como estímulo para a produção mais adequada; estudos para elaboração de *check-list* para se atingir um programa de comércio justo; incremento da discussão sobre os segmentos minerais de interesse social e de utilidade pública.

- Tecnologias inovadoras de disposição de rejeitos e no tratamento de efluentes e na prevenção e tratamento de drenagem ácida de minas (DAM).

Estoques de rejeitos podem representar riscos não desprezíveis em minas e instalações industriais associadas. A remediação de áreas degradadas ou contaminadas pela disposição inadequada de rejeitos pode representar um dos maiores itens de passivo ambiental de uma empresa de mineração, que tem responsabilidades legais de zelar pela estabilidade e segurança de longo prazo das estruturas de contenção de rejeitos. Algumas soluções de disposição de rejeitos têm potencial de reduzir significativamente os riscos e o passivo, embora freqüentemente representem custos mais elevados durante as etapas de implantação e de operação. Pilhas espessadas ou a preparação de pastas de rejeitos com vistas à disposição em escavações subterrâneas ou em sítios a céu aberto são algumas tecnologias inovadoras que precisam ser mais investigadas no Brasil.

Tópicos: definir responsabilidades sobre barragens de rejeitos; pesquisar pilhas espessadas ou preparação de pastas de rejeitos com vistas à disposição em escavações subterrâneas ou em sítios a céu aberto, novas tecnologias de prevenção de DAM e novas tecnologias de tratamento de DAM.

- Valorização de rejeitos, produção mais limpa e ecologia industrial. Há atualmente inúmeras iniciativas de aproveitamento de rejeitos de mineração, como finos de pedreiras, pó de serragem de ardósia, rejeitos de beneficiamento de bauxita e resíduos do processamento químico de rocha fosfática. Tais iniciativas devem se multiplicar, tanto por razões econômicas (retorno sobre investimentos em valorização) quanto por razões ambientais (minimização de resíduos). É um campo promissor de pesquisa que pode ser associado aos estudos sobre ecologia industrial, ou seja, o estudo dos fluxos de matéria e energia em processos industriais e de como tais fluxos podem se integrar, aumentando a ecoeficiência de um conjunto de indústrias de uma região.

Tópicos: desenvolvimento de tecnologias para o aproveitamento de resíduos.

- Formação de recursos humanos e formação de rede de cooperação entre universidades, centros de pesquisa, órgãos fiscalizadores, e outros, para maior apoio às atividades minerais visando a produção ambientalmente adequada.

Tópicos: prestigiar (e/ou criar) disciplinas de segurança no trabalho e noções básicas de meio ambiente em cursos de Engenharia de Minas e Geologia, entre outros; incentivo a formação em hidrogeologia aplicada a mineração; incentivar a formação em Economia Mineral; formar monitores e orientadores técnicos em mineração da própria comunidade mineira; incentivar projetos voltados para a educação ambiental nestas comunidades; incentivar projetos que visem a comunicação do setor mineral com a sociedade em geral para difusão e popularização da atividade, bem como sobre a utilidade dos produtos gerados pela mineração; aparelhamento de órgãos fiscalizadores em conhecimentos sobre aspectos característicos da mineração; aproximação dos centros de pesquisa e universidades com grandes empresas de mineração e realização de projetos em conjunto, tanto de interesse das empresas quanto de apoio à pequena mineração.

- Ecologia de lagos profundos em cavas de mineração. As concepções de fechamento de várias minas pressupõem o enchimento de cavas com águas pluviais, de escoamento superficial e subterrâneas. As condições geomorfológicas brasileiras não propiciam naturalmente a formação de lagos profundos e este tipo de ambiente somente é encontrado em reservatórios artificiais de hidrelétricas. As águas profundas apresentam estratificação térmica e baixo conteúdo de oxigênio. Por outro lado, metais e outros elementos dissolvidos podem alterar negativamente a qualidade das águas. O aumento das capacidades de previsão da qualidade futura das águas desses lagos seria de grande valia para subsidiar as decisões a serem tomadas sobre o fechamento de minas e os usos pós-mineração.
- Estabilidade a longo termo de estruturas de retenção de rejeitos. Pilhas e, principalmente, barragens de rejeitos devem ser estruturas estáveis muito tempo após sua desativação (centenas, milhares de anos?). Durante a operação, estas estruturas são monitoradas e intervenções corretivas podem ser executadas caso sejam constatados problemas. No entanto, após o fechamento da mina e a transferência de responsabilidade para um sucessor, o ideal é que somente haja necessidades mínimas de manutenção. Idealmente, tais requisitos de manutenção deveriam ser especificados em contratos ou outro instrumento juridicamente aceitável.
- Mecanismos jurídicos para transferência de responsabilidade após o fechamento da mina. Há um vazio jurídico no que concerne às responsabilidades respectivas do minerador e de seu sucessor em um terreno minerado ou de alguma forma afetado por atividades de mineração. Mesmo depois de satisfatoriamente concluída a recuperação de áreas degradadas, algumas áreas somente podem ser usadas com restrições, como

bacias e barragens de rejeitos. O sucessor deve ter pleno conhecimento das condições em que receberá esses terrenos e das restrições que se aplicam. Acordos podem ser estabelecidos por contratos privados, mas, em se tratando de locais que podem representar um risco ambiental, é evidente que cabe ao poder público estabelecer condições gerais para que a transferência possa se fazer em consonância com as necessidades de proteção ambiental e da saúde e segurança públicas.

- Métodos e procedimentos para avaliar o capital social em comunidades mineiras. Nos municípios nos quais emprego, serviços e arrecadação são fortemente dependentes da mineração, o fechamento da mina pode significar crise e empobrecimento. Se a empresa de mineração for comprometida com a comunidade anfitriã, deverá ter uma política de relações comunitárias voltada para o desenvolvimento sustentável e poderá mesmo desempenhar um papel de liderança nesse processo. Medir o capital social torna-se então uma necessidade; é um indicador da autonomia da comunidade e de sua preparação para o período pós-mineração. As técnicas atuais de avaliação e mensuração do capital social podem ser adaptadas e aplicadas em diversas situações brasileiras.
- Contribuição da mineração e da transformação mineral para o aquecimento global. Todos os ramos da economia são chamados a avaliar seu papel na emissão de gases causadores do efeito estufa. Alguns ramos da extração e processamento de minerais têm emissões importantes, como carvão, cal e cimento.
- Interferência da mineração sobre os recursos hídricos subterrâneos. A maioria das minas brasileiras, historicamente, teve pouca interferência sobre a água subterrânea, seja pelo pequeno número de minas subterrâneas, seja pelo número relativamente reduzido de grandes cavas a céu aberto. Entretanto, este quadro está mudando, assim como a importância que tem sido acordada à água subterrânea. Por tais razões, é importante aumentar a capacitação nacional no tema, pois é pequeno o número de profissionais especializados. O tema é relevante para a discussão de novos projetos (com estudo aprofundado das possíveis interferências como parte do estudo de impacto ambiental) e também para o planejamento do fechamento de minas.

5. CONCLUSÕES

Neste texto foram apontados alguns temas e linhas de pesquisa para fazer face às demandas atuais e aos possíveis desenvolvimentos futuros em termos de gestão ambiental e responsabilidade social, num horizonte de dez anos.

A mineração brasileira, no campo da gestão ambiental e no plano de seu relacionamento com a sociedade, tem logrado muitos avanços, vários deles em linha com as tendências internacionais. Todavia, estes avanços ainda precisam ser disseminados pela maioria das empresas e ainda não foram plenamente incorporados pelos órgãos reguladores.

Para que a indústria mineral atenda satisfatoriamente às demandas atuais colocadas pelo mercado e pela sociedade, é necessário um contínuo esforço em pesquisa científica e tecnológica, assim como mais ênfase na disseminação de conhecimentos e técnicas já disponíveis.

Há, inegavelmente, boa capacitação tecnológica em universidades e institutos de pesquisa, mas são deficientes os mecanismos de difusão de inovações e mesmo os meios de capacitação de recursos humanos para o emprego de tecnologias e ferramentas gerenciais já estabelecidas. Ademais, as empresas e órgãos públicos brasileiros têm pouca tradição de investir em desenvolvimento tecnológico, predominando o enfoque de buscar soluções prontas propostas por empresas de consultoria. Ora, muitos problemas ambientais não se resolvem sem a contribuição de pesquisa e desenvolvimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barreto, M.L. (org.) (2001), *Mineração e Desenvolvimento Sustentável: desafios para o Brasil*, CETEM, Rio de Janeiro, 215 p.
- Brasil Mineral. (2005), *As 100 maiores empresas brasileiras de mineração*, Brasil Mineral, junho, 240: 44-160.
- Grossi, Y.S. (1981), *Mina de Morro Velho: a extração do homem*, Paz e Terra, Rio de Janeiro, 265 p.
- ICOLD, Commission Internationale des Grands Barrages. (2001), *Tailings Dams Risk of Dangerous Occurrences*. Bulletin 121, Paris, 144 p.
- IIED, International Institute for Environment and Development (2002), *Breaking new ground*, Earthscan, London, 441 p.
- IISD, International Institute for Sustainable Development (2004), *Seven questions to sustainability: how to assess the contribution of mining and minerals activities*, Winnipeg, 54 p.
- Lins, F.A.F.(2005), *O mineral business brasileiro*, Brasil Mineral 244: 86-93.
- Minayo, M.C.S. (1986), *Os homens de ferro: estudo sobre os trabalhadores da Vale do Rio Doce em Itabira*, Dois Pontos, Rio de Janeiro, 244 p.
- Parrotta, J.A.; Knowles, O.H (2001), *Restoring tropical forests on lands mined for bauxite: examples from the brazilian Amazon*, *Ecological Engineering*, 17(2-3): 219-239.
- Sánchez, L.E (1998), *Industry response to the challenge of sustainability: the case of Canadian nonferrous mining sector*, *Environmental Management*, 22(4): 521-531.
- Sánchez, L.E (2001), *Desengenharia: o passivo ambiental na desativação de empreendimentos industriais*, Edusp, São Paulo, 254 p.
- Sánchez, L.E (2003), *A produção mineral brasileira, cinco séculos de impacto ambiental*, In: W.C. Ribeiro (org.), *Patrimônio Ambiental Brasileiro*, Edusp, São Paulo, p. 125-163.
- Sánchez, L.E. (2005), *Dano e passivo ambiental*, In: A. Philippi Jr. e A.C. Alves (org.), *Curso Interdisciplinar de Direito Ambiental*. Ed. Manole, Barueri, p. 261-293.
- Silva-Sánchez, S, S. (2000), *Cidadania ambiental: novos direitos no Brasil*, *Humanitas/Annablume*, São Paulo, 202 p.

- Sobreira, F.G.; Fonseca, M.A. (2001), Impactos físicos e sociais de antigas atividades de mineração em Ouro Preto, *Geotecnia* 92: 5-28.
- Suslick, S.; Machado, I.F.; Ferreira, D.F. (2005), Recursos minerais e sustentabilidade, Komedi, Campinas, 246 p.
- Toy, T.J.; Griffith, J.J. (2001), Changing surface-mine reclamation practices in Minas Gerais, Brazil, *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment* 15(1): 33-51.
- UNEP – United Nations Environment Programme (2001), *APELL for Mining: guidance for the mining industry in raising awareness and preparedness for emergencies at local level*, Unep Division of Technology, Industry and Economics, Paris, 67 p.
- Villas-Boas, R.C.; González-Martínez, A; Albuquerque, A.G.S. (org.) (2003), *Patrimônio geológico y minero en el contexto del cierre de minas*, CNPq/Cyted, Rio de Janeiro, 258 p.
- Villas-Boas, R.C.; Beinhoff, C. (org.) (2002), *Indicators of sustainability for the mineral extraction industry*, CNPq/Cyted,Unido, Rio de Janeiro, 524 p.
- Volpato, T.G. (1984), *A pirita humana: os mineiros de Criciúma*, Ed. UFSC/Assembléia Legislativa do estado de Santa Catarina, Florianópolis, 159 p.
- World Bank. (2003), *Striking a better balance*, Volume 1. The World Bank Group and Extrative Industries. The Final Report of the Extractive Industries Review, December 2003. Disponível em www.worldbank.org, acesso em 24 nov.

PARTE III

QUESTÕES SISTÊMICAS

CAPÍTULO 1

MINERAÇÃO E GLOBALIZAÇÃO

*Iran F. Machado**

1. CONCEITO DE GLOBALIZAÇÃO

Para alguns a globalização é sinônimo de maldição, tendo como exemplos:

- A McDonalddização do mundo.
- A disseminação do capitalismo no estilo americano.
- A ditadura exercida por burocratas não-eleitos da Organização Mundial do Comércio (OMC) e do Fundo Monetário Internacional (FMI).

Para outros, é um nirvana moderno, com os seguintes atributos:

- O livre comércio gera riqueza.
- A propagação de idéias e informação promove a democracia e a conscientização das normas relativas aos direitos humanos.
- A experiência humana é enriquecida pela troca de culturas, experiências, hábitos alimentares e costumes.

A história da globalização remonta ao século XVI, quando a prata mexicana, descoberta pelos espanhóis, estimulou o comércio da Europa com a Ásia. Dois séculos mais tarde, o ouro brasileiro viria a fomentar a revolução industrial na Inglaterra. Nas primeiras décadas do século XIX, a Inglaterra importava produtos chineses e, para equilibrar sua balança comercial, passou a exportar ópio procedente da Índia. Devido à oposição da China Imperial a esse comércio, houve um conflito que levou à guerra do ópio (1839-1842), considerada a primeira guerra da globalização. Uma vez derrotada, a China foi forçada a ceder Hong Kong aos britânicos.

As primeiras multinacionais que surgiram no mundo ajudaram a construir os impérios coloniais. Por exemplo, a *English East India Company*, atuando em 1613, em Surat, Índia.

Nos séculos XVIII e XIX o processo de globalização recebeu uma série de estímulos que encurtaram as distâncias e reduziram dramaticamente os custos de transporte:

- A máquina a vapor.

* Professor do Departamento de Geologia e Recursos Naturais do IGE – Instituto de Geociências da UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. Atualmente está na Assessoria da Presidência do Serviço Geológico do Brasil - SGB/CPRM.

- O navio a vapor.
- O avião (século XX).

E ainda encurtaram o tempo:

- O telégrafo.
- O telefone.
- O rádio (século XX).
- A televisão (século XX).
- A rede (final do século XX).

O termo “globalizar” apareceu na década de 1960 do século XX, significando “tornar global em abrangência ou aplicação”.

Do ponto de vista antropológico, a globalização começou com nossos ancestrais, na busca de uma vida melhor:

- O primeiro grupo de humanos deixou a África Central cerca de 100.000 anos atrás, chegando ao Mediterrâneo
- 50.000 anos atrás um segundo grupo atingiu a Ásia
- Esses grupos foram os primeiros globalizadores – migrantes que precederam a existência de quaisquer fronteiras.

Nos primeiros estágios da história os agentes da globalização eram mercadores, missionários, aventureiros e soldados.

No período colonial, a necessidade de trabalhadores nas minas e nas plantações deu origem ao comércio da mão-de-obra escrava.

Dando um salto no tempo, as facilidades na disponibilidade de tecnologia encurtaram o tempo e cortaram os custos de maneira espantosa:

- Uma ligação telefônica de três minutos de Nova York a Londres passou de US\$ 300, em 1930, a US\$ 0,08, em 2003.
- Os custos de frete caíram 70% entre os anos de 1920 e 1990.
- A produção de componentes em unidades *offshore* reduziu preços e transferiu empregos para além das fronteiras nacionais.
- Por exemplo, o preço de um aparelho de TV variou da seguinte maneira:

1955	1980	2001	2001 (sem o processo de globalização)
US\$ 500	US\$ 375	US\$ 250	US\$ 700

Neste novo ambiente, novos atores emergiram para substituir os mercadores, soldados, missionários e aventureiros de eras passadas:

- 63.000 corporações multinacionais.
- 23.000 Organizações não-governamentais (ONGs).
- Agências da Organização das Nações Unidas (ONU).
- Organização Mundial do Comércio (OMC).
- Fundo Monetário Internacional (FMI).
- Bilhões de consumidores e turistas.

A diferença básica entre a globalização no passado e a atual reside na velocidade e volume das transferências e na mudança do equilíbrio do poder. Para citar um exemplo, a pimenta vermelha levou décadas, talvez uns cem anos, para sair da Coréia e chegar ao Sri Lanka. Foi aceita de modo voluntário, sem a presença de qualquer corporação poderosa forçando a sua venda. Inversamente, o McDonald's se espalhou por toda a Ásia em apenas duas décadas.

2. PANORAMA NA DÉCADA DE 1980

No ano de 1981, os grupos que controlavam as maiores multinacionais de mineração, por ordem decrescente de faturamento, eram os seguintes:

Faturamento		
	Empresa	US\$ (milhões)
1	Atlantic Richfield (Anaconda)	27.797
2	Standard Oil of Ohio (Kennecott)	13.457
3	Pechiney	7.585
4	Sumitomo Metal Industries	6.284
5	Rio Tinto Zinc	6.122
6	Nippon Mining	5.914
7	Gulf & Western (New Jersey Zinc)	5.702
8	Barlow Rand	5.584
9	BHP	5.322
10	Alcan	4.978
11	Alcoa	4.977
12	Metallgesellschaft	4.858
13	Degussa	4.638
14	Codelco	1.741
15	CVRD	1.710

Fonte: Machado, 1989

Naquela época, ainda sob o impacto do primeiro choque do petróleo, ocorrido em outubro de 1973, várias empresas do ramo do petróleo estavam reciclando seus petrodólares na aquisição de grandes empresas de mineração, conforme observado no caso da

Anaconda e Kennecott, maiores produtoras de cobre nos EUA no início da década de 1980. Nesta mesma época, a Exxon desenvolvia um megaprojeto de carvão na Colômbia e a British Petroleum-BP despendia cerca de 10 milhões de dólares anuais em diversos projetos de pesquisa mineral no Brasil.

As maiores empresas de mineração latino-americanas – Corporación Nacional del Cobre – CODELCO e Companhia Vale do Rio Doce – CVRD – apresentavam um traço comum: o fato de não desenvolverem atividades industriais ou de pesquisa fora dos seus respectivos países de origem. A globalização de ambas as empresas limitava-se às exportações de seus produtos, contrastando com as grandes empresas de mineração, que marcavam presença em vários continentes, abrindo minas e/ou fundições e refinarias.

De acordo com um levantamento elaborado pela revista *Business Week*, abrangendo mais de 1.000 empresas operando em 60 países (exclusive nos EUA), a CVRD aparecia em 25º lugar dentre as empresas que obtiveram os maiores lucros em 1985 (sendo a Petrobras a 4ª, o Banco do Brasil a 7ª e a Telebrás a 22ª), com US\$ 577 milhões de lucro contra um faturamento de US\$ 1.817,8 milhões, ou seja, uma performance de 31,7% de lucro sobre as vendas (*Business Week*, 1986).

3. SITUAÇÃO ATUAL

Em 2004, o Brasil produziu 20,8% da produção total de minério de ferro no mundo, ocupando a 2ª posição em seguida à China, que produziu o equivalente a 22,2% do total. A Austrália veio em 3º lugar, com 17,5% do total produzido no mundo.

Segundo dados do Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM, as exportações de bens minerais atingiram o montante de US\$ 23.245.429.000 em 2004, apresentando um crescimento de 34% sobre o ano anterior. Os 12 principais bens exportados (em valor) foram os seguintes:

Bens Minerais Exportados em 2004	Valor (em US\$ mil)
Ferro	11.326.580
Petróleo (inclusive derivados)	4.378.997
Alumínio (inclusive bauxita)	2.450.424
Rochas ornamentais	597.111
Cobre	445.317
Ouro	414.340
Nióbio (inclusive tantalita e vanádio)	303.198
Manganês	274.689
Níquel	255.983
Caulim	233.360
Fosfato	222.174
Crisotila	142.905

Nota: Abrange bens primários, semimanufaturados, manufaturados e compostos químicos.

Do lado das importações, o Brasil despendeu US\$ 19.013.858.000 com bens minerais no ano de 2004, com um crescimento de 50% em relação ao ano anterior. Os 14 principais bens minerais importados (em valor) seguem na tabela a seguir:

Bens Minerais Importados em 2004	Valor (em US\$ mil)
Petróleo	8.994.549
Gás Natural	1.673.741
Carvão	1.479.431
Fosfato	1.170.124
Cobre	1.078.963
Potássio	1.031.747
Aço	664.472
Alumínio	364.851
Sal	225.386
Níquel	205.105
Titânio	185.882
Enxofre	156.564
Zinco	136.854
Molibdênio	127.748

Nota: Abrange bens primários, semimanufaturados, manufaturados e compostos químicos.

De 1981 até 2005, a evolução das transnacionais ocorreu de tal modo que expurgou a influência e o interesse das empresas petrolíferas no setor mineral. Em outras palavras, as gigantes do petróleo se moveram estrategicamente no sentido *back to basics*, no qual se sentiam mais confortáveis. Até no Brasil isso se refletiu na extinção da PETROMISA, criada na década de 1970 visando o aproveitamento de bens minerais não-energéticos existentes nas bacias sedimentares brasileiras.

Alguns fatores, os quais vieram a moldar o ambiente de atuação das multinacionais, devem ser ressaltados neste período. O primeiro deles foi o crescimento da economia mundial a taxas mais reduzidas, principalmente em consequência dos dois choques do petróleo ocorridos na década de 1970. O segundo, interligado ao primeiro, foi a continuação da tendência de queda dos preços das matérias-primas de origem mineral, exigindo uma redução constante dos custos de produção. O terceiro fator foi a necessidade de incorporar aos custos de produção a variável ambiental, onerando as empresas de

mineração e, em alguns casos, deslocando as atividades dessas empresas para o Terceiro Mundo, com legislação menos exigente em relação à proteção ambiental¹.

Estes três fatores levaram ao desaparecimento de algumas empresas e a uma onda de fusões e aquisições, como resposta às mudanças ocorridas no mercado e na competição entre as empresas. O Anexo 1 apresenta um resumo das fusões e aquisições ocorridas no período mais recente, de 1997 a 2005.

Quanto ao ranking das transnacionais de mineração, o valor de mercado em 1990 obedecia à seguinte ordem (Anexo 2):

Transnacionais		Valor de Mercado (em US\$ bilhões)
01	BHP	9
02	Rio Tinto	8
03	Anglo American	8
04	De Beers	4
05	Gencor	<
06	Alcoa	<
07	Newmont	<
08	Alcan	<
09	Amplats	<
10	Placer Dome	<
11	Reynolds	<
12	Driefontein	<
13	WMC	<
14	Barrick	<
15	GFSA	2

Nota: O símbolo < significa um valor intermediário entre US\$ 2 e 4 bilhões.

Quinze anos mais tarde, em 2005, ocorreu um aumento gigantesco do valor de mercado das empresas líderes, passando-se a exibir a classificação que segue (Anexo 2):

¹ A Kennecott, uma das maiores produtoras de cobre dos Estados Unidos, foi adquirida da Sohio pela Rio Tinto, que é a sua controladora até hoje. A Anaconda, outra produtora importante de cobre, controlada pela petrolífera Atlantic Richfield, foi à falência em 1982, deixando para trás um dos maiores passivos ambientais da história da mineração americana (Estado de Montana). Esta área degradada faz parte dos sítios que são objeto da ação do Programa *Superfund*, sob a responsabilidade da EPA, agência ambiental norte-americana.

Transnacionais		Valor de Mercado (em US\$ bilhões)
1.	BHP-Billiton	85
2.	Rio Tinto	45
3.	Anglo American	35
4.	CVRD	34
5.	Alcoa	27
6.	Codelco	24
7.	Newmont	20
8.	Alcan	15
9.	Barrick	12
10.	Norilsk	12
11.	Xstrata	11
12.	Phelps Dodge	10
13.	AngloGold Ashanti	9
14.	Anglo Platinum	7
15.	Cameco	6
16.	Teck Cominco	6

A De Beers, uma das empresas integrantes da *holding* Anglo-American, desapareceu da lista de 2005. Com a fusão da Billiton com a BHP, a Gencor se restringiu aos negócios de ouro e platina na África do Sul, experimentando um *downsizing* que a expulsou da mesma lista. A Amplats mudou de nome para Anglo Platinum Corporation Limited, controlada pelo grupo Anglo American. A Reynolds sofreu uma fusão com a Alcoa no ano 2000. Em 2004 a WMC foi incorporada pela Xstrata, empresa suíça. A Placer Dome foi incorporada pela Barrick em 2005, fortalecendo esta última.

No dia 24 de outubro de 2006, a CVRD finalizou o processo de compra da Inco, segundo maior produtor mundial de níquel, adquirindo 75,66% das ações ordinárias dessa empresa canadense. A transação envolveu o montante de US\$ 13,3 bilhões. Sua intenção é de adquirir todas as ações ordinárias, o que elevará o preço da aquisição para US\$ 17,6 bilhões. Em consequência desta aquisição, o valor de mercado da CVRD subiu para US\$ 77 bilhões, saltando da quarta colocação para a segunda maior mineradora do mundo, em seguida à BHP-Billiton (valor de mercado estimado em US\$ 135,3).

3.1 A Companhia Vale do Rio Doce (CVRD)

A CVRD está desenvolvendo um dos maiores programas de exploração mineral do mundo, com atividades em dez países, em três continentes diferentes. O programa, que tem a vantagem de utilizar a mais alta tecnologia, é desenvolvido por um seleto grupo

de especialistas em geologia. Uma das principais razões para o crescimento orgânico da CVRD é a pesquisa dos depósitos de minério que irão se transformar em novos projetos de mineração. Focada na diversificação de suas atividades, em 2004, a CVRD concluiu a implementação da mina do Sossego - localizada no Pará - uma das mais competitivas minas do mundo, implantada em tempo recorde, marcando a inversão da balança comercial brasileira do cobre. Sossego é a primeira mina de cobre da CVRD e a maior do Brasil.

Em 2005, a CVRD desenvolveu atividades bastante significativas na área internacional, destacando-se as seguintes:

- Exploração mineral na Austrália: a CVRD e as empresas australianas Aquila Resources Limited (Aquila) e AMCI Holdings Australia Pty Ltd (AMCI) assinaram acordo para estudo exploratório do projeto de carvão subterrâneo Belvedere. Os recursos estimados deste projeto somam 2,7 bilhões de toneladas de carvão metalúrgico e estão localizados no estado de Queensland, Austrália. Conforme os termos do acordo celebrado, a CVRD pagará US\$ 2,5 milhões para cada uma das empresas australianas, Aquila e AMCI, e tem o compromisso de desenvolver o estudo do projeto até seu estágio de pré-viabilidade. Após a conclusão do estudo de pré-viabilidade, que tem duração estimada de 18 meses, a CVRD terá a opção de adquirir 51% de participação no Belvedere pelo preço de US\$ 90 milhões. A CVRD pode ainda ampliar sua participação no projeto para até 100% através da aquisição das participações das empresas Aquila e AMCI pelo preço de mercado determinado na época de exercício de cada opção.
- Incorporação da Rio Doce Austrália: o foco de atuação na Australásia contempla, além da Austrália, o Sudeste Asiático, demais países da Oceania, Rússia e outros. A primeira frente será responsável pela identificação de oportunidades de negócios ainda em fase inicial de exploração mineral, metais básicos (cobre e níquel), bauxita, minério de ferro, manganês e outros. A segunda frente terá como objetivo o desenvolvimento de projetos em fases mais avançadas, incluindo a possível aquisição de minas já existentes, principalmente na área de carvão. A CVRD tem como meta estar entre as cinco maiores exportadoras mundiais de carvão até 2015. Ambas as frentes darão suporte às diferentes áreas de negócio da CVRD. A equipe de trabalho na Austrália será formada por geólogos especialistas em carvão, metais básicos e gerenciamento de informações, além de profissionais especializados em desenvolvimento de novos negócios.
- Atividades de exploração no Peru: a CVRD venceu licitação internacional, promovida pelo governo do Peru, para exploração do depósito de fosfatos de Bayóvar, situado no departamento de Piura. A CVRD apresentou proposta que envolveu a maior capacidade de produção de longo prazo, de 3,3 milhões de toneladas anuais. Conseqüentemente, terá o direito de realizar estudos para a futura exploração desse depósito

de classe mundial, com reservas estimadas numa avaliação preliminar em 816 milhões de toneladas de rocha fosfática, e de avaliar e implantar um porto multimodal na região de Piura, que atenderá à exportação de fosfato e alavancará outros projetos no norte do Peru. A CVRD disporá de dois anos para desenvolver os estudos de viabilidade pertinentes. Após a conclusão desses estudos, a CVRD terá 36 meses para implantar o projeto.

- Pesquisa de potássio na Argentina: a CVRD venceu licitação internacional, promovida pelo governo da província de Neuquén, na Argentina, para pesquisa, avaliação e exploração de recursos de potássio situados às margens do rio Colorado. Os recursos estão localizados em uma das últimas bacias ainda não exploradas e apresentam alto potencial para identificação de jazidas de classe mundial. Ainda na fase inicial de pesquisa mineral, mas já com alguns poços com resultados positivos, a CVRD utilizará uma metodologia semelhante à pesquisa de petróleo (sísmica 3D e sondagem profunda de grande diâmetro). Nos próximos 24 meses, serão investidos cerca de US\$ 15 milhões no detalhamento de geofísica e execução de mais poços ou sondagens. Após esta etapa, será possível ter uma dimensão da reserva que, segundo projeções, poderá ter uma vida útil de mais de 20 anos, podendo chegar a uma produção de até 1 milhão de toneladas de sais de potássio por ano. A lavra de potássio será feita por dissolução – por ter um modelo geológico diferente da mina de Taquari-Vassouras – uma tecnologia conhecida, com custo operacional mais baixo. Além do projeto na província de Neuquén, existem outros projetos de pesquisa mineral no norte da Argentina, para cobre, ouro e boro.
- Pesquisa mineral na Mongólia: em 2003, em um processo de seleção de países para investimento e em seqüência a uma série de visitas técnicas, a CVRD decidiu estabelecer uma subsidiária na Mongólia, com o propósito de desenvolver um programa de pesquisa mineral e, conseqüentemente, projetos de exploração mineral focados principalmente em cobre, ouro e carvão. A Mongólia apresenta um conjunto único de características positivas para exploração mineral, como um expressivo potencial geológico para um grande número de *commodities* e uma boa base de levantamentos básicos elaborados durante o período socialista. Além disso, as condições são favoráveis ao investimento: a legislação no campo da mineração é bastante evoluída e existem profissionais altamente qualificados.
- Produção de carvão na China: acordo assinado entre a CVRD, Shanghai Baosteel Group Corporation, maior produtora de aço da China e Yongcheng Coal & Electricity Group para produção de carvão na China.
- Desenvolvimento de mina de carvão em Moçambique: a CVRD assinou um Memorando de Entendimentos com a IDC (Industrial Development Corporation) e Iscor, ambas da África do Sul, com objetivo de desenvolver estudos de pré-viabilidade para a exploração dos depósitos de carvão de Moatize, em Moçambique.

- Com a aquisição recente da Inco, a CVRD dá um passo importante na trajetória de sua diversificação na área de não-ferrosos e ainda acelera o processo de globalização. Passa a deter uma posição de liderança na produção mundial de níquel, com operações de mineração e metalurgia no Canadá e na Indonésia, duas refinarias no Reino Unido, projetos em desenvolvimento na Nova Caledônia e *joint ventures* no Japão, China, Coreia do Sul e Taiwan.

3.2 Outras empresas atuantes no exterior

Além da CVRD, outras empresas nacionais vêm, com o passar do tempo, explorando oportunidades no mercado externo. Um exemplo é o Grupo Votorantim, cuja receita anual se aproxima de R\$ 15 bilhões. A Votorantim Cimentos investirá R\$ 220 milhões para construir duas novas unidades industriais no Brasil e aumentar a produção em fábricas da América do Norte (Estados Unidos e Canadá). A empresa vem buscando se expandir internacionalmente por meio de aquisições na América do Norte, onde já tem cinco fábricas, e nos mercados asiáticos, especialmente Índia e China. No setor de cimento, a empresa informa que a meta é elevar para 40% a fatia das receitas geradas em moeda forte até 2007.

A Votorantim Metais, constituída em 1996, adquiriu o ano passado a Refinaria de Zinc Cajarmaquilla, no Peru, com capacidade para produzir 130.000 t/ano de zinco. Esta produção corresponde aproximadamente à metade de sua produção no Brasil, após a aquisição da Paraibuna Metais.

A Camargo Corrêa também passou a investir no exterior, adquirindo a fábrica de cimento Loma Negra, na Argentina.

3.3 Outras empresas exportadoras

Ainda no rol de empresas nacionais exportadoras, além daquelas já citadas, cabe mencionar as que se seguem, com o respectivo valor de suas exportações em 2004 (Ferraz, 2005):

- Sama: US\$ 48 milhões – amianto-crisotila.
- Magnesita: US\$ 43,5 milhões – magnesita.
- Ferbasa: US\$ 25,6 milhões – ligas de ferro-cromo.
- Rio Verde: US\$ 19 milhões – minério de ferro.
- Nacional de Grafite: US\$ 11,8 milhões – grafita (total do setor).

Dentre as empresas de capital estrangeiro ou sociedades com uma parcela de capital nacional e desenvolvendo atividade exportadora, temos a destacar (valores de exportação) e o produto/substância:

- Samarco (CVRD e BHP Billiton): US\$ 635 milhões – minério de ferro e pelotas.

- CBMM (Unibanco e Molycorp): US\$ 285 milhões - Fe-Nb, ligas e óxido de Nb.
- RCC-Imerys – US\$ 103 milhões: caulim de cobertura (*coating grade*).
- AngloGold Ashanti: US\$ 98 milhões – ouro.
- Rio Paracatu Mineração (Kinross): US\$ 79 milhões (est.) – ouro.
- Mineração Serra Grande (AngloGold e Newinco): US\$ 76 milhões – ouro.
- Sertão Mineração (Troy e Amaz. Goiás Velho Miner.): US\$ 45 milhões – ouro.
- São Bento Mineração (São Bento Gold): US\$ 45 milhões (est.) – ouro.
- Catalão (Anglo American): US\$ 44 milhões – Fe-Nb.
- Yamana Gold: US\$ 42 milhões – ouro.
- Corumbaense (Rio Tinto): US\$ 24 milhões – minério de ferro.

Embora não participe diretamente do setor mineral, o Grupo Gerdau ocupa a posição de maior produtor de aços longos no continente americano, com usinas siderúrgicas distribuídas pelo Brasil, Argentina, Canadá, Chile, Estados Unidos, Uruguai e Colômbia. Hoje, alcança uma capacidade instalada total de 16,4 milhões de toneladas de aço por ano.

4. DESAFIOS A SEREM ENFRENTADOS

A inserção mais efetiva do Brasil na mineração globalizada implica no atendimento a um elenco de fatores de maior relevância.

O primeiro deles é a disponibilização de informações geológicas (incluindo dados geofísicos e geoquímicos) confiáveis, de modo a atrair empresas de mineração interessadas em desenvolver empreendimentos mineiros no País. Para tanto, o Brasil precisa retomar os investimentos em geologia básica, estimulando o setor privado a investir cerca de US\$ 300 milhões anuais, o que corresponderá a um investimento 30% superior àquele da década de 1980.

Em segundo lugar, a atração de investimentos internos e externos implicará na existência de um modelo regulatório moderno, eficaz e desburocratizado, de modo a oferecer garantias jurídicas, racionalidade e rapidez na obtenção dos títulos minerários. Nossa legislação deverá evoluir na direção de um modelo que, ao mesmo tempo, estabeleça a gestão efetiva do patrimônio mineral pela União, conforme reza a nossa Constituição, e atenda, de modo objetivo, aos interesses do setor privado, o qual é responsável pela incorporação das nossas jazidas ao domínio econômico.

Em terceiro lugar, a proteção ambiental das atividades de mineração necessita de um tratamento harmônico entre as três esferas do governo, federal, estadual e municipal,

sem as quais a iniciativa privada estará impedida de concretizar os seus empreendimentos em tempo hábil.

Em quarto lugar, uma vez equacionada a questão ambiental, as empresas de mineração deverão adotar uma postura proativa e de intensa colaboração com a comunidade em torno dos empreendimentos mineiros. Tal iniciativa irá arrefecer tensões sociais que se têm manifestado em todo o mundo, em virtude de demandas de populações carentes de oportunidades de crescimento sócio-econômico, as quais gravitam em torno de pólos onde se desenvolve a mineração. Somente através do entendimento entre todos os atores responsáveis pelo sucesso da mineração é que tal sinergia irá possibilitar a abertura de novos empreendimentos, bem como a expansão daqueles já existentes, no ritmo preconizado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), que prevê investimentos anuais da ordem de US\$ 2,5 bilhões até o ano de 2010.

Desde o ano de 2004, o DNPM vem se empenhando em modernizar a gestão do patrimônio mineral do País. A modernização está ancorada em quatro pilares: o planejamento operacional, os sistemas gerenciais, o sistema de gestão e o controle de áreas. O processo de modernização elegeu como primeira prioridade o sistema de outorga de títulos minerários. O DNPM pretende dar um salto qualitativo na atratividade de investimentos por capitais nacionais e estrangeiros. Espera-se, com isso, a minimização de conflitos em milhares de processos dentro da jurisdição do DNPM, oriundos da falta de um sistema de outorga moderno, confiável, de maior praticidade e de resposta rápida ao minerador.

Não obstante todos os fatores mencionados acima sejam relevantes para o bom desempenho futuro do setor mineral, a questão que mais tem preocupado a iniciativa privada tem sido a falta de sintonia entre o Ministério do Meio Ambiente e o Ibama com a atuação dos órgãos ambientais estaduais e municipais, na avaliação dos impactos causados pela mineração sobre o meio ambiente. Caso não ocorram progressos sensíveis nesta área, é de se prever que o Brasil venha a perder algumas oportunidades de investimento para países que consigam lidar de modo mais eficaz com a aplicação da sua legislação ambiental.

No cenário internacional, a América Latina continua liderando a destinação dos principais investimentos em exploração mineral (dados de 2004): AL – 21,8%; Canadá – 19,6%; África – 16,1%; Austrália – 14,7%; EUA – 8%; Zona do Pacífico e SE Asiático – 4,4%; e demais países do Mundo – 15,4%. A liderança da América Latina durante todo o passado recente é fruto do potencial geológico da região, da sua infra-estrutura e do arcabouço jurídico-institucional favorável ao investimento de capitais nacionais e estrangeiros.

Conforme enfatizado por este autor durante o III Seminário Nacional sobre Política e Economia Mineral, realizado no CETEM em dezembro de 2005, o MME e o DNPM devem analisar em profundidade a lista de 62 bens minerais não-energéticos regularmente

importados pelos EUA (Machado, 2005). Com efeito, o Brasil vem exportando apenas sete bens minerais de maior significado econômico para o parque industrial daquele país, a saber: berilo, estanho, grafita, quartzo, minério de ferro, nióbio e silício (USGS, 2005). Em contraste, a China exporta 21 bens minerais, a Rússia - 15, a África do Sul - 9 e a Austrália - 8. Considerando o conhecimento atual do subsolo brasileiro, é se de supor que tenhamos capacidade de ampliar o leque de nossas exportações para os EUA e outros mercados, gerando divisas e empregos em áreas mais remotas. Ressalte-se que para 17 bens minerais (amianto, arsênico, bauxita e alumina, estrôncio, fluorita, grafita, índio, ítrio, manganês, mica, nióbio, quartzo, rubídio, tálio, terras-raras, tório e vanádio), a importação americana atinge o percentual de 100% de suas necessidades (Cf. Anexo 3). Não há dúvida de que sua dependência do subsolo alheio irá crescer ao longo do tempo.

Quanto à substituição de importações, o desempenho do nosso setor mineral ficará à mercê dos resultados a serem obtidos nos próximos dez anos pelo poder público (levantamentos básicos) e pela iniciativa privada (projetos de pesquisa mineral). Conforme assinalado no item 3 deste capítulo, o Brasil despense preciosas divisas na importação de bens minerais, tendo atingido a cifra de US\$ 19 bilhões no exercício de 2004.

Na área governamental, o SGB/CPRM vem desenvolvendo um amplo programa de mapeamento geológico e de levantamentos aerogeofísicos – Programa Geologia do Brasil (SGB/CPRM, 2006). No programa de mapeamento geológico colaboram treze universidades brasileiras. Na região Norte, o SGB/CPRM está executando quatro projetos: Rio Madeira, Amapari, Guaporé e SE Tocantins. Na região Nordeste, há doze projetos localizados em todos os estados, com exceção do Piauí e Sergipe. A região Centro-Oeste foi contemplada com o Projeto NW Mato Grosso. Na região Sudeste, vêm sendo desenvolvidos quatro projetos: Jequitinhonha, Alto Ribeira, Sete Lagoas-Abaeté e São Gabriel da Palha. Na região Sul, existem seis projetos em execução. Além da CPRM, existem diversas entidades estaduais realizando levantamentos básicos ou pesquisa mineral de alvos, os quais, se revelarem resultados promissores, poderão gerar empreendimentos mineiros, após negociação com o setor privado.

No ano de 2005, a CPRM vinha executando 12 projetos de aerogeofísica nos seguintes estados: Amapá, Pará, Rondônia, Piauí, Ceará, Pernambuco, Bahia, Minas Gerais, Goiás e Tocantins. Espera-se que esses projetos, juntamente com os de mapeamento geológico nas escalas de 1:50.000, 1:100.000 e 1:250.000, venham a fornecer subsídios importantes para as empresas de mineração. Segundo dados divulgados pelo Ministério de Minas e Energia, o setor mineral necessita de um investimento anual de US\$ 300 milhões em exploração mineral até 2010, a ser realizado pelas empresas de mineração, nacionais e estrangeiras. Na década de 1990, esses investimentos foram, na média, de US\$ 90 milhões. Na implantação de novas minas, expansão das existentes e manutenção da capacidade de produção, o MME alerta que o país necessita de US\$ 2,5 bilhões investidos anualmente até o ano de 2010.

A questão ambiental é outro desafio que se coloca diante das grandes empresas de mineração atuantes no Brasil, nacionais ou estrangeiras. Nossa legislação exige, em obediência a preceitos constitucionais e através do Decreto nº 97.632 de 10 de abril de 1989, a elaboração do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD na época do licenciamento ambiental. Ocorre, todavia, que, a partir do final da década de 1980, alguns países mineradores do Primeiro Mundo passaram a questionar a elaboração desse plano sem a devida contrapartida financeira. Considerando o risco de abandono, pela mineradora, da área durante a operação ou após a exaustão da jazida, alguns governos (Canadá e Austrália, rotadamente) passaram a exigir uma caução (*financial assurance*) depositada pela mineradora antes da abertura da mina, abrangendo todos os custos previstos no referido plano. Agindo desse modo, o governo estabelecia uma obrigação legal que evitaria o aumento da incidência de minas abandonadas, cujo número vinha crescendo ao longo da década de 1980. Anteriormente, não havendo compromisso da parte das mineradoras, o governo se via obrigado a recuperar as áreas degradadas pela mineração, representando um pesado ônus sobre o Estado. O instituto da caução garantiria a viabilidade financeira da recuperação pretendida pelo Estado e reclamada pela sociedade. Na presente data não existe ainda o instituto da caução na legislação mineral brasileira, mas, num horizonte de dez anos, poderá haver a tendência de se adotar dispositivos legais nesta direção. Portanto, as empresas de mineração de maior porte deverão ficar atentas a esta tendência que se vislumbra. Vale ressaltar que o Banco Mundial já incorporou, desde 1998, essa exigência para novos projetos de mineração. Quando o país sede do empreendimento não possuir legislação específica, o Banco Mundial se reserva o direito de adotar as normas e procedimentos do banco para garantir a recuperação da área degradada, protegendo o meio ambiente e as comunidades afetadas.

Além da questão ambiental, tem crescido desde o ano 2000 um movimento da sociedade civil pleiteando que os projetos de mineração sejam alvo da Licença Social. A Licença Social seria um passo adiante do instrumento da audiência pública para resolver pendências entre a empresa de mineração, os órgãos ambientais, as comunidades envolvidas e autoridades governamentais. Na prática, a Licença Social homologaria um projeto de mineração quando a relação custo/benefício fosse favorável aos grupos sociais envolvidos naquele projeto. Trata-se de uma inovação ligada estreitamente ao conceito de responsabilidade, que se espraia dentro do meio empresarial. Para a empresa, a Licença Social minimiza os riscos de enfrentamento com as comunidades envolvidas no projeto, o que no passado já deu lugar a greves prolongadas ou, pior que isso, a atos de sabotagem ou terrorismo dentro da área de operação das mineradoras. Algumas empresas de mineração têm sido pioneiras na adoção de planos de gerenciamento de risco, que necessariamente devem contemplar esse tipo de ocorrência. Constatou-se que o clima da mineração nos países em desenvolvimento passa por mudanças e as empresas, ao proteger seus ativos, precisam se adaptar aos novos tempos. Nos países andinos e em muitos países da Ásia, a prática da Licença Social vem crescendo nos úl-

timos anos, ainda que de modo incipiente. No horizonte de dez anos contemplado no trabalho em epígrafe, recomenda-se que as empresas de mineração atuantes no Brasil estejam sintonizadas para as mudanças aqui apontadas.

5. TENDÊNCIAS PARA 2015

O desenho de tendências para o ano de 2015 é um exercício limitado neste capítulo, pelo tempo relativamente curto que foi disponível para a sua elaboração de modo mais abrangente. Essa tarefa alcançaria melhores resultados se o autor dispusesse de, pelo menos, um ano para a sua execução. De qualquer modo, tentar-se-á esboçar aquelas tendências que parecem mais evidentes numa primeira avaliação.

Note-se que os órgãos oficiais não costumam elaborar exercícios de previsões sobre produção, consumo, exportações e importações de bens minerais. As grandes empresas elaboram suas previsões em seus respectivos planos estratégicos, porém não divulgam tais estudos através de publicações abertas ao público.

A globalização lida obviamente com questões ligadas ao comércio exterior, de modo que tentaremos visualizar as oportunidades ligadas à exportação e à importação de bens minerais.

– Ferro: a exportação deverá se expandir continuamente, de modo a satisfazer a demanda dos mercados europeu e asiático, principalmente. Em 2004, o Brasil exportou mais de 204 milhões de toneladas de minério de ferro e pelotas, um recorde histórico. Além disso, exportamos mais de 18 milhões de toneladas de produtos siderúrgicos. Em 2003, os EUA importaram minério de ferro dos seguintes países: Austrália, Brasil, Canadá, Chile, Peru, Suécia, Venezuela e outros. O Brasil contribuiu com 40% do total das importações americanas. Devido à nossa alta competitividade no mercado internacional, é de se prever que esta fatia crescerá até 2015.

Em 2004, as minas da CVRD produziram na seguinte proporção (tonelagem): Sistema Sul:Sistema Norte = 10:7. Deve-se considerar ainda a produção de outras empresas, controladas ou não pela CVRD, como a MBR, Ferteco, Samarco, CSN e outras menores. Nos próximos 10 anos esta relação deve se inverter em função da qualidade superior do minério de ferro de Carajás e da exaustão progressiva das melhores jazidas do Quadrilátero Ferrífero. Paralelamente a esta evolução, alguns municípios mineradores do Quadrilátero manifestarão a sua preocupação crescente com a desativação de minas que têm contribuído durante décadas com a arrecadação de impostos, geração de empregos e serviços diversos advindos da mineração de ferro.

Os Anexos 4 a 6 apresentam três cenários para o crescimento das exportações de minério de ferro até 2014 (cenário otimista, cenário conservador e cenário pessimista).

O otimista trabalha com uma taxa de crescimento de 9% a.a., supondo que o Efeito China perdure até o ano 2014; o conservador usa a taxa de 5% a.a., quatro pontos

percentuais abaixo do anterior; e o pessimista trabalha com a pior hipótese, uma taxa de apenas 3,45%, voltando à tendência anterior, ao Efeito China (média do período 1994-2000). O efeito da variável preço não foi levado em conta no caso do minério de ferro.

- Petróleo: provavelmente a exportação continuará crescendo, à medida que a produção nacional continue a crescer em função dos avanços tecnológicos em exploração e produção em águas profundas, nas bacias de Campos e Potiguar e, ainda, na bacia de Santos. A ANP elaborou um Plano Decenal de Estudos e Serviços de Geologia e Geofísica, que se estende até o ano de 2011. É necessário ampliar a área sob concessão, hoje não superior a 5% dos 3,5 milhões de quilômetros quadrados existentes no país.
- Alumínio: o Brasil produziu 20.914.000 toneladas de bauxita em 2004, o que corresponde a 13,4% da produção mundial. Desde o ano de 2003, o Brasil galgou a 2ª posição mundial, ultrapassando finalmente a Guiné. A Austrália permanece como o 1º produtor mundial, com 56 milhões de toneladas produzidas em 2004. Quanto à alumina, o Brasil ocupou a 4ª posição mundial, com 4.680.000 toneladas produzidas em 2004. Já na produção de alumínio primário, o Brasil desceu para a 6ª posição, com 1.440.000 toneladas produzidas em 2004. Em consumo aparente, o Brasil estava na 11ª posição em 2002, com 577.900 toneladas consumidas, abaixo da Rússia, Coréia do Sul e Índia. No caso do alumínio, o Brasil detém uma posição menos privilegiada do que no caso do minério de ferro.

Os custos de energia irão balizar o futuro de novos projetos de produção de alumínio primário. O setor gera apenas 13% do total da energia que consome, mas existem projetos que poderão elevar este percentual para 50%. Atualmente, os custos são de US\$ 20-22 por megawatt-hora, enquanto os custos na Venezuela, Islândia, Oriente Médio e China são mais baixos. Há boas possibilidades de que o Brasil esteja entre os quatro maiores produtores de alumínio primário em 2015. Vale ressaltar que a Alcoa (HQ) pretende fabricar 50% dos seus produtos a partir de reciclagem em 2020 (Alcoa, 2002).

Quanto à reciclagem de latas de alumínio, o Brasil vem apresentando avanços notáveis, acima de 90%, conforme ilustra o Anexo 7, com desempenho superior ao Japão, Argentina, EUA e Europa (ABAL, 2006).

- Rochas ornamentais: apesar de ser um item que não envolve tecnologia sofisticada, o Brasil vem dedicando um grande esforço nesta área. Além de gerar divisas através da exportação, este setor emprega um contingente apreciável de mão-de-obra pouco qualificada, atingindo um significado social importante nas áreas de extração. Em 2004, o Brasil ocupou a 4ª posição no *rank* mundial, em seguida à China (maior produtor), Índia e Itália. Nossa produção foi de 6.400.000 toneladas, contra 17.500.000 toneladas produzidas pela China. Percentualmente, produzimos, no ano passado, 8,2% do total mundial. Em 2004, as exportações brasileiras ficaram próximas de US\$ 600 mi-

Ihões. Em 2005, dados preliminares apontam para US\$ 716 milhões. No ano de 2005, o pólo de Cachoeiro do Itapemirim, no Espírito Santo, exportou US\$ 487 milhões, 53% a mais que em 2004. Estas cifras representam 68% do total das exportações de rochas ornamentais brasileiras.

A competição no mercado internacional será acirrada pelo fato de serem nossos principais concorrentes dois países de mão-de-obra barata – China e Índia. Ao contrário, Itália e Espanha serão concorrentes mais fáceis de se enfrentar devido aos seus custos mais elevados, incluídos os custos ambientais. O futuro do Brasil como exportador de rochas ornamentais é bastante promissor. A exportação de chapas deverá aumentar substancialmente, em contraposição à exportação de blocos em estado bruto.

- Cobre: este metal vem despontando como uma nova oportunidade no comércio exterior. Até recentemente, o Brasil era um produtor inexpressivo de cobre e grande importador, mas um número razoável de descobertas na Região Amazônica veio a mudar o panorama do cobre. Em 2004, a produção nacional de concentrado de cobre alcançou 321.200 toneladas, correspondendo a 102.500 toneladas de metal contido. Nos anos anteriores, a produção média era de 30.000 toneladas de metal, pelo fato de originar exclusivamente da mina de Caraíba, na Bahia. Com a entrada da mina de Sossego em produção, com uma capacidade anual de 140.000 toneladas de metal contido, as necessidades de importação irão decrescer. A auto-suficiência – 332.000 toneladas de consumo aparente de cobre eletrolítico – será alcançada nos próximos anos, em decorrência da produção das seguintes minas controladas pela CVRD: Salobo, Alemão, Projeto 118 e Cristalino, todas localizadas no estado do Pará.

As exportações de cobre metálico cresceram em quantidade de 65.257 t para 331.034 t, ou seja 407%, no período de 1994 a 2004, enquanto o crescimento em valor foi de 215% (US\$ 141.584.000 → 446.291.000). Mas o salto nas exportações deve-se principalmente aos concentrados de cobre exportados pela CVRD no ano de 2004. No ano anterior, os valores foram de 113.533 toneladas e US\$ 162.235.000, respectivamente. De qualquer modo, continuamos importadores líquidos de cobre, o que irá mudar quando todos os projetos da CVRD (P-118, Alemão, Cristalino e Salobo) no estado do Pará estiverem produzindo, além da Mineração Santa Elina, em Goiás, e possíveis expansões da Caraíba Metais, num horizonte que se estende até 2010. O Anexo 8 é uma projeção das exportações de cobre até o ano 2014, seguindo a tendência inercial anterior à entrada em produção da mina de Sossego, no Pará, em 2004. É um mero exercício, considerando as dificuldades de se fazer *forecasting* para os próximos 10 anos, para um metal com a volatilidade do cobre.

O futuro dos projetos supracitados vai depender em larga medida do comportamento dos preços do cobre, cuja volatilidade é notoriamente muito alta. À guisa de exemplo, o banco de investimento JP Morgan realizou projeções do preço do cobre até 2010 (Kelly & Bergtheil, 2006), prevendo que o preço do cobre estaria próximo de US\$ 3.900 a

tonelada (Anexo 9). Mas o preço do cobre já iniciou o ano de 2006 na faixa de US\$ 4.600.

Em julho de 2005, o presidente executivo da Codelco fez uma apresentação para o Senado chileno, na qual revelou suas projeções do preço do cobre até o ano de 2020 (Anexo 10). A Codelco trabalha com dois cenários: a) crescimento da demanda mundial a 4% ao ano; e b) crescimento a 3,5% a.a. Os dois cenários produzem resultados muito próximos para o preço do cobre em 2020, algo em torno de US\$ 1.900 a tonelada, o que sinaliza para um excesso de oferta, em comparação com os dias atuais. É notória a dominação deste mercado pelo Chile, mas o Brasil deverá ganhar alguma expressão no comércio exterior deste metal não-ferroso nas próximas décadas.

– Ouro: segundo dados divulgados pelo DNPM, a produção nacional de ouro, originária de empresas organizadas, alcançou 47,6 toneladas. A produção garimpeira foi estimada em 19,1 toneladas, procedente dos estados do Pará, Rondônia, Mato Grosso, Amapá e outros. O Brasil continua um produtor de pouca expressão (menos de 2% da produção mundial), quando comparado com a África do Sul, Estados Unidos, Austrália, China, Rússia, Canadá, Peru e Indonésia. As expectativas baseadas na produção a partir de rocha primária na região do Tapajós ainda não se concretizaram. Com a retirada da CVRD deste setor, as empresas estrangeiras continuam apostando no potencial aurífero do Brasil. Em 2004, o Brasil exportou 31,9 toneladas de ouro, auferindo divisas no valor de US\$ 414,3 milhões. Considerando o nosso potencial, principalmente na Amazônia, espera-se que, até 2015, o Brasil venha a expandir substancialmente a produção e a exportação. Se isto acontecer, será devido à aceitação do risco inerente a esses empreendimentos da parte de investidores estrangeiros. Note-se que o Peru participou com 6,5% da produção mundial de ouro em 2004. A continuidade dos garimpos poderá inibir, até certo ponto, a iniciativa das empresas de mineração, tanto na pesquisa mineral, quanto nas operações de lavra.

O comportamento do preço do ouro nos últimos onze anos é apresentado no Anexo 11. Depois da baixa do período janeiro de 1998 a fevereiro de 2002, o preço do ouro não pára de crescer (cotação de US\$ 552 no fechamento do dia 17.02.06, em Londres). Como esse crescimento é limitado no tempo, os analistas se perguntam sobre a data da estabilização ou da queda. Pelo menos no futuro próximo, não se espera que o preço venha a cair abaixo de US\$ 300 a onça, como ocorreu no início de 1998, provocando o fechamento de dezenas de minas pelo mundo afora.

– Nióbio: O Brasil permaneceu em 2005 como o líder absoluto, seja em reservas, seja na produção do nióbio, com 96,9% das reservas e 91,4% da produção mundial. As exportações de ferro-nióbio atingiram o valor de US\$ 296 milhões, tendo como principais destinos a União Européia (39%), a Ásia (30%) e os EUA (21%). O consumo doméstico é de apenas 7% da produção nacional. Não há qualquer indício de que o Brasil venha a perder esta situação confortável como exportador de produtos de nió-

bio, muito à frente dos outros produtores: Canadá, Austrália e Nigéria. Devido à participação da Molycorp no capital da CBMM e ao controle da outra empresa produtora pela Anglo American, os consumidores internacionais devem estar confiantes no fornecimento do produto a longo prazo e, ainda, a preços razoáveis. O futuro do Projeto Rocha Sã, da Paranapanema, situado em Pitinga, estado do Amazonas, para produzir columbita-tantalita junto com cassiterita, criolita e terras-raras, continua nebuloso.

- Tantalita: em reservas de tantalita, o Brasil (46,4%) disputa o primeiro lugar com a Austrália (41,3%), mas, em produção, caímos para 20,1%, enquanto a Austrália alcançou 58,0% (dados de 2004). Outros produtores menores são: Moçambique, Canadá e Namíbia. Nossas exportações ainda são modestas, tendo atingido a cifra de US\$ 7.062.000 em 2004, baseadas em 1.146 toneladas de concentrados e ligas. Em 2003, os principais destinos foram: China, Holanda, Estônia, Hong Kong, Alemanha, Estados Unidos, Tailândia, Japão e Cingapura. Devido ao uso do tântalo em capacitores para telefones celulares, circuitos de computadores, vídeo, câmeras e ainda em eletrônica automotiva, militar e equipamentos médicos, a busca de novas reservas de tantalita será incessante na próxima década. A vantagem competitiva do Brasil quanto aos ambientes geológicos deverá assumir importância fundamental no atendimento do mercado internacional.
- Manganês: devido à nossa geologia, muito favorável à ocorrência de jazidas de minerais ferrosos, o manganês sempre teve uma posição de destaque. Em 2004 produzimos 11,8% da produção mundial – 1.346.000 toneladas de metal contido. Embora duplicando nossas reservas no período de 1996 a 2004, estamos com apenas 2,5% das reservas mundiais, abaixo da África do Sul, Ucrânia, Índia e Gabão. As reservas vinham decrescendo de 1988 até meados da década de 1990, mas aconteceu uma reversão com investimentos da CVRD no setor. Ela é responsável agora por 95% da produção nacional, através de quatro minas: Azul, no Pará; Urucum, no Mato Grosso do Sul; Morro da Mina, em Minas Gerais; e Minérios Metalúrgicos, na Bahia. As exportações de concentrado atingiram US\$ 99 milhões em 2004, enquanto as ferroligas somaram US\$ 92 milhões. O desempenho das exportações, até o ano de 2015, dependerá da expansão de nossas reservas no Sudeste e na Amazônia, visto que as reservas do Morro do Urucum estão em localização desfavorável para abastecer os mercados interno e externo.
- Níquel: no período de 1996 a 2004, o Brasil quase triplicou suas reservas, sendo quase a totalidade de níquel laterítico, correspondendo a 6,1% das reservas mundiais. Mesmo assim, a nossa produção é de apenas 3,3% da produção mundial, com 47.446 toneladas de níquel contido. Entretanto, nossas exportações deram um salto de US\$ 46 milhões para US\$ 256 milhões nesse período. A Votorantim Metais é o principal produtor e exportador, com minas em Goiás e Minas Gerais. Dois projetos antigos estão sendo retomados atualmente, ambos em Goiás – Americano do Brasil (40.000 t/a de concentrado) e Barro Alto (10.000 t/a de níquel contido em Fe-Ni). Um terceiro

projeto – Onça Puma – foi adquirido da empresa canadense Caniço, pela CVRD, em dezembro de 2005. O projeto Onça Puma foi orçado em US\$ 1,1 bilhão, com uma capacidade projetada de 53.000 toneladas anuais. Um quarto projeto é o Níquel do Vermelho, também em implantação, no qual a CVRD pretende investir US\$ 1,2 bilhão para produzir 46.000 t/ano. Percebe-se que a CVRD planeja se tornar um *global player* no segmento do níquel em escala mundial. Semelhantemente ao caso do cobre, tais projetos dependerão essencialmente da evolução dos preços deste metal nos próximos dez anos.

- Caulim: desde a década passada, o Brasil vem se consolidando como importante produtor e exportador de caulim de alta qualidade (*coating*), para a indústria de papel, tintas, borracha e outras. As reservas de caulim pertencentes aos dois principais concorrentes do Brasil – Estados Unidos e Inglaterra – não são reveladas, enquanto o Brasil apresenta a cifra de 7,7 bilhões de toneladas de caulim bruto. Em produção, o Brasil esteve em 2004 na 4ª colocação, após os EUA, CEI e República Tcheca, e à frente do Reino Unido, produtor tradicional. Com uma produção superior a 2 milhões de toneladas, o Brasil participa desse mercado com 5,4%. Quanto ao futuro, o Brasil atenderá a uma proporção sempre crescente devido à diminuição das reservas de boa qualidade da Geórgia e do Cornwall. Na Geórgia, a rentabilidade sobre o investimento líquido das empresas esteve negativa em 2000 e 2001, com ligeira recuperação nos anos seguintes, mas abaixo de 4% (positivos) em 2004 (dados da China Clay Producers Association-CCPA). É provável que, em 2015, o Brasil assuma a posição de principal pólo exportador de caulim de alta qualidade, suplantando a Geórgia, com suas reservas maduras. O Anexo 12 mostra a curva de tendência das exportações do caulim processado até 2014. A ocupação do espaço deixado gradualmente pelas exportações da Geórgia e do Cornwall e a inexistência de um quarto produtor importante são dois fatores que dão sustentação a esta previsão.
- Fosfato: para um país de inegável vocação agrícola, o Brasil tem reservas extremamente modestas de rocha fosfática – 1,1% das reservas mundiais. Mais grave ainda é o fato de que as reservas diminuíram de 1996 até 2004, caindo de 370 milhões de toneladas de rocha fosfática para 216.740.000. Estranhamente, as exportações aumentaram nesse período, passando de US\$ 34 milhões, em 1996, para US\$ 222 milhões, em 2004. A maior parcela cabe a produtos intermediários, cuja exportação saltou de 72.156 toneladas, em 1996, para 693.132 toneladas, em 2004. Não havendo ampliação de reservas, o Brasil poderá vir a importar rocha fosfática no futuro. Será positivo para o nosso *agribusiness*?
- Crisotila: banido legalmente na Europa e, por falta de consumo na América do Norte resultante da conscientização da sociedade, o amianto-crisotila continua tendo uma curva ascendente no Brasil. A SAMA, única produtora da fibra de crisotila, está entre as três maiores empresas do mundo. Sua produção anual é da ordem de 230.000 toneladas e, em 2004, a empresa exportou US\$ 48 milhões. As exportações representa-

vam 31% da produção no ano 2000 e agora atingiram o percentual de 65% (DNPM, 2004). Esta empresa tem desenvolvido um programa muito amplo para envolver autoridades oficiais, além de políticos locais, com o objetivo de demonstrar que sua produção é limpa. Todavia, a SAMA ignora os malefícios causados ao longo da cadeia, através do uso do amianto na construção civil e outras indústrias consumidoras, além da exposição do consumidor final. As questões trabalhistas envolvendo trabalhadores que foram vítimas da inalação das fibras continuam a crescer. Estudos realizados pela USP dão a medida da gravidade do problema de saúde ocupacional provocado pelo amianto. O USGS fornece, no *Mineral Commodity Summary* do amianto (USGS, 2006), uma lista com mais de dez substitutos: silicato de cálcio, fibra de carbono, fibra de celulose, fibra cerâmica, fibra de vidro, fibra de aço, wollastonita e algumas fibras orgânicas, tais como aramida, polietileno, polipropileno e politetrafluoroetileno, dependendo do tipo de aplicação.

É evidente que a variável preço é importante para viabilizar a substituição. Observa-se que a economia americana não sofreu maiores danos por causa da recusa da sociedade em usar amianto, desde o final da década de 1980. O Canadá, maior produtor ocidental, tem assumido uma posição criticável ao insistir em exportar amianto, recomendando o uso seguro pelos países consumidores do produto. Ocorre que 95% das exportações deles são dirigidas para países em desenvolvimento, os quais não possuem renda ou regulamentos adequados para banir o uso do amianto. Espera-se que, até 2015, o Brasil já tenha banido o uso desse material, mas tudo vai depender do lobby do estado de Goiás e do fundo de pensão Centrus (Banco Central), acionista majoritário da SAMA. Espera-se, ainda, que o STF venha a ser mais bem informado sobre o problema real que representa o uso desse material para a saúde humana.

O Anexo 13 ilustra a tendência inercial das exportações de crisotila até 2014. Havendo banimento antes do final desse período, a curva será provavelmente interrompida num cenário de desaceleração gradual que permita minimizar problemas sociais e de interrupção de receita para as partes envolvidas.

6. COMENTÁRIOS FINAIS

De modo geral, as tendências para os próximos dez anos são alvissareiras no tocante às exportações brasileiras de bens de origem mineral. A competição será intensa com países de forte presença no mercado internacional, tais como: Canadá, China, Rússia, Índia, México, Chile e muitos outros. Todos estão ávidos para exportar matéria-prima de origem mineral para os três grandes mercados consumidores - América do Norte, União Européia e Zona do Pacífico – nas próximas décadas. Em alguns casos, as empresas brasileiras necessitarão criar entrepostos nessas regiões para manter estoques junto aos consumidores. A eficiência dos nossos terminais oceânicos também será um item importante para garantir a confiabilidade e o baixo custo da logística dessas exportações.

Ao mesmo tempo, as grandes empresas deverão estar preparadas para enfrentar maiores exigências no controle ambiental de suas atividades, principalmente quanto ao fechamento das minas em atividade com duração prevista até 30 a 40 anos. Neste caso, seguindo a tendência internacional, a legislação de um grande número de países vem adotando a exigência da caução (financial assurance), apresentada ao governo antes do início da lavra, como garantia da recuperação futura das áreas degradadas, conforme ressaltado no item 4 deste trabalho. Quando as reservas apresentarem uma vida útil superior a 50 anos, será uma tarefa difícil para o Poder Público exigir dados detalhados sobre o fechamento da mina e sua respectiva caução. Reservas de centenas de anos de duração (por exemplo as reservas de minério de ferro de Carajás) ficarão tecnicamente fora dessa discussão, o que não impede que os órgãos ambientais acompanhem os trabalhos de recuperação gradual das áreas degradadas, através de relatórios periódicos das mineradoras.

Como tratar a degradação ambiental provocada por empresas de porte médio e pequeno, tipicamente descapitalizadas? Esta questão deve ser discutida em profundidade no âmbito da Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, do MME, do DNPM, do Conama, do IBAMA, das Secretarias Estaduais do Meio Ambiente e da Associação Brasileira de Municípios, buscando-se uma solução viável. A criação de um fundo para a recuperação das áreas degradadas parece inevitável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAL, 2006, *home page* [14.02.2006]

www.abal.org.br/ e www.abal.org.br/numeros/index.cfm?frame=numeros_perfil

ALCOA, *Global climate change — ALCOA's sustainable development initiatives*, Sep. 30, 2002 www.alcoa.com/global/en/environment/pdf/pizzey_speech.pdf [13.02.2006].

CODELCO, *Resultados de la gestión 2000-2005*, Presentación al Honorable Senado de la República Juan Villarzú R., Presidente Ejecutivo - 19 de Julio. www.codelco.com/prensa/presentaciones/pdf/presentacion_senado.pdf [3.11.2005]

CPRM – Programa Geologia do Brasil, www.cprm.gov.br [4.01.2006].

CVRD, vários links www.cvrd.com.br

Davis, Mick. *Positioned for value: the mining industry and Xstrata*. JP Morgan CEO Conference, Rome 12 May, 2005. www.xstrata.com/reports/doc/x_slides_050512_en.pdf [7.11.2005]

DNPM – *Anuário Mineral Brasileiro e Sumário Mineral*, diversas edições.

Ferraz. C.P., O preço ajuda a quem cedo madruga. *Brasil Mineral*, nº. 240.

INCO, vários links www.inco.com

Kelly, James & Bergtheil, Jon A venture beyond the boundaries of the stated. J.P. Morgan, 30th January, 2006.

Kitco.com, 2006. www.kitco.com/ [15.02.2006]

LME-*London Metal Exchange*, 2006.

www.lme.co.uk/; www.lme.co.uk/datapricespricegraphs.asp [18.02.2006]

www.lme.co.uk/dataprices_historical.asp [13.02.2006]

Machado, I.F. *A mineração e a globalização*. Palestra realizada no III Seminário Nacional sobre Política e Economia Mineral, realizado no CETEM, Rio de Janeiro, de 12 a 15.12.2005. ftp://ftp.cetem.gov.br/sem_econo_mineral/

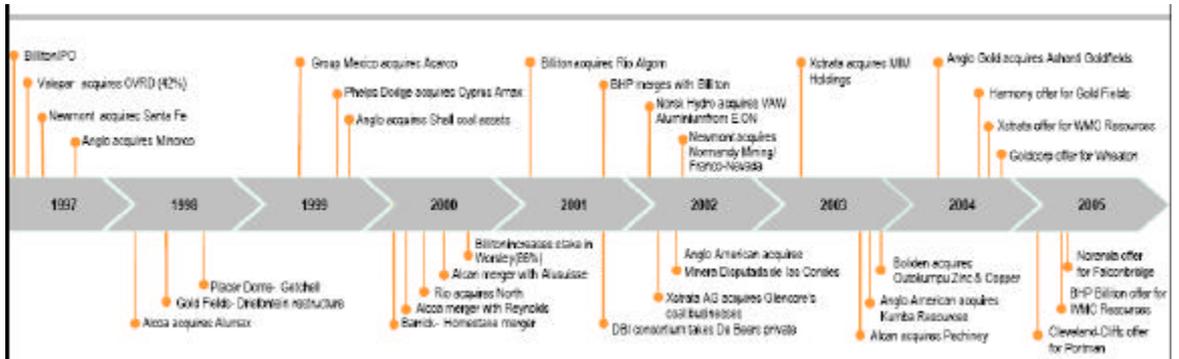
_____ *Recursos minerais, política e sociedade*, São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 410p.

USGS, *Mineral Commodity Summaries – Asbestos*, 2006. <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/asbestos/asbesmcs06.pdf> [8.11.2005]

_____ *Mineral Commodity Summaries* 2005. <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2005/mcs2005.pdf> [8.11.2005]

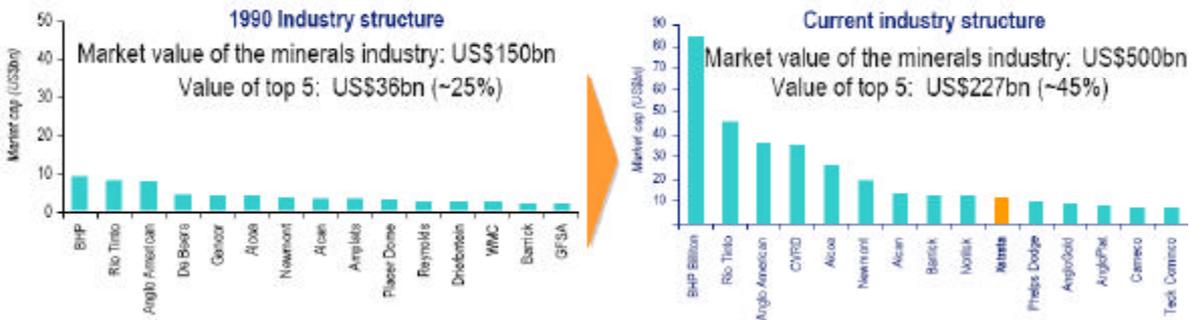
ANEXOS

1. CONSOLIDAÇÃO DA INDÚSTRIA MINERAL - FUSÕES E AQUISIÇÕES (1997- 2005)



Fonte: Davis, 2005

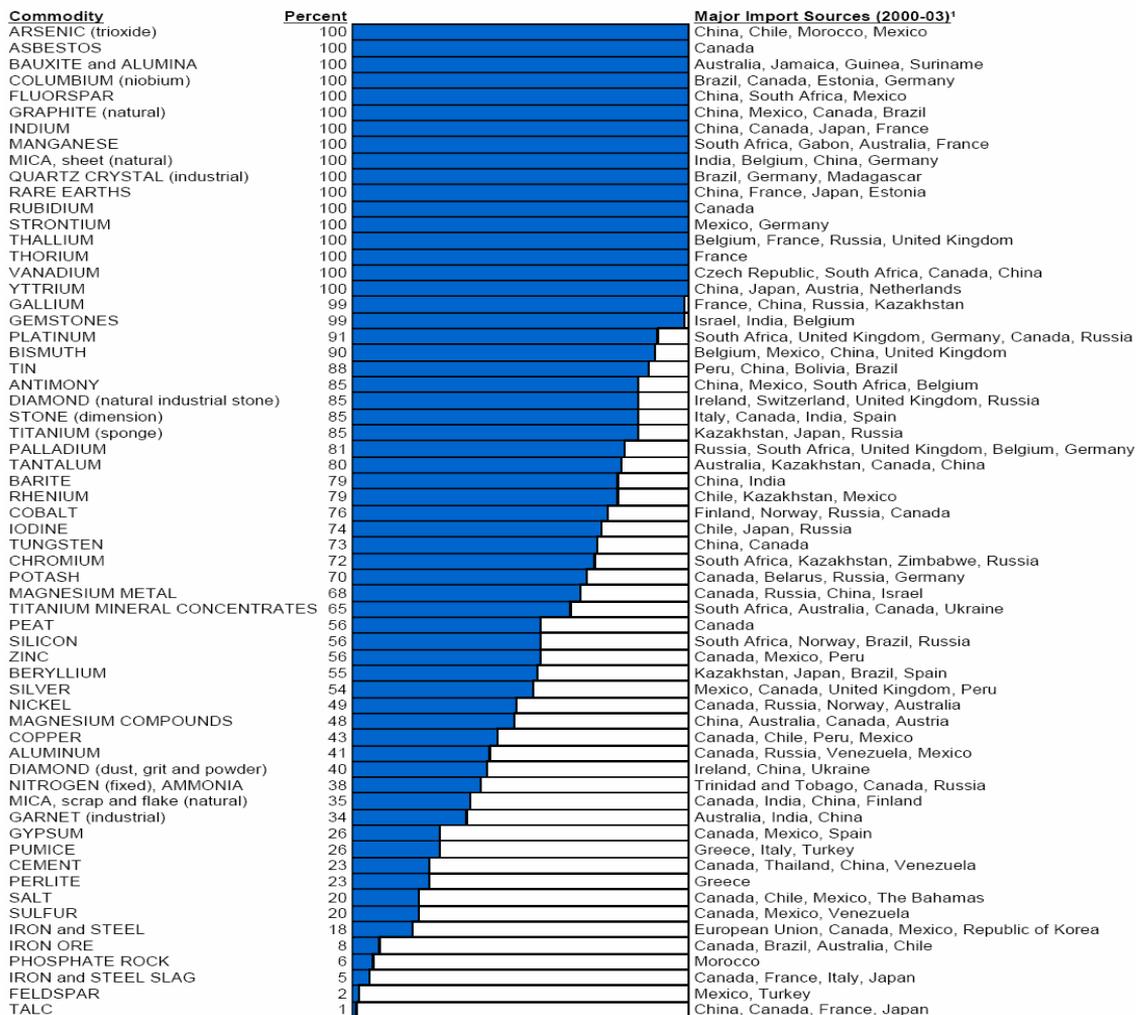
2. ESTRUTURA DA INDÚSTRIA MINERAL MUNDIAL - VALOR DE MERCADO (1990 E 2005)



Fonte: Davis, 2005

3. DEPENDÊNCIA DOS EUA EM MINERAIS NÃO-ENERGÉTICOS IMPORTADOS - (2004)

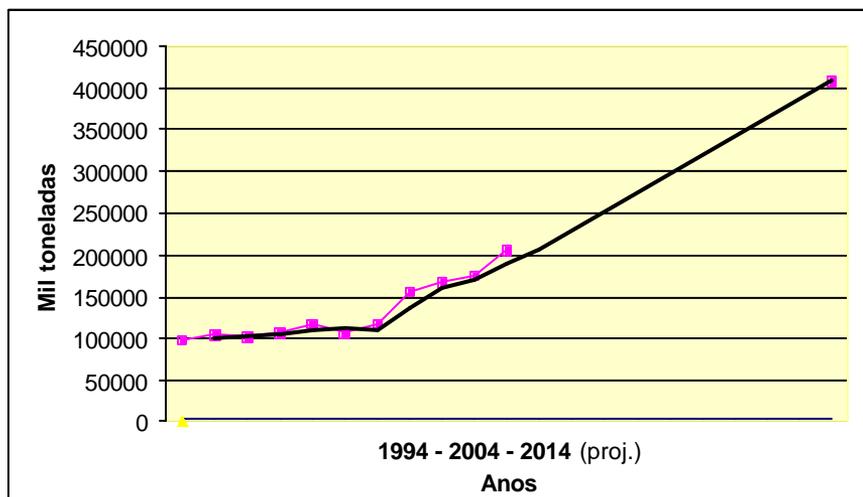
2004 U.S. Net Import Reliance for Selected Nonfuel Mineral Materials



¹In descending order of import share

4. EXPORTAÇÕES DE MINÉRIO DE FERRO - PROJEÇÃO 2005- 2014

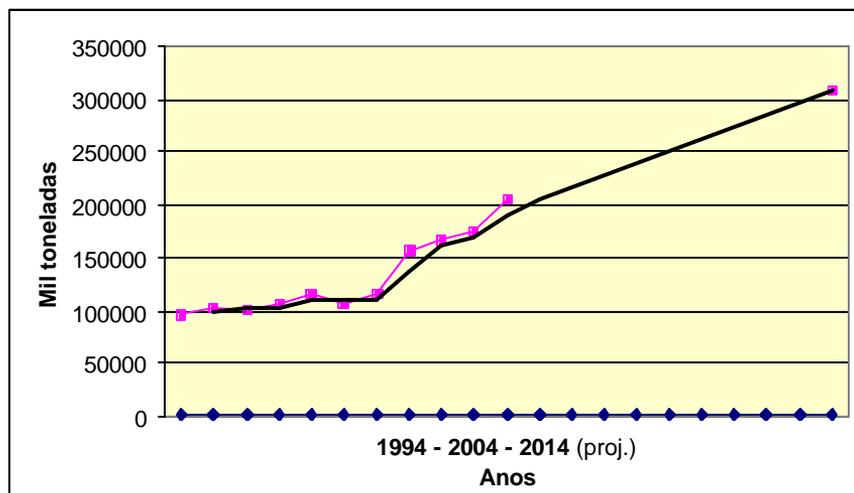
CENÁRIO OTIMISTA			
Ano	1.000 t	Ano	1.000 t
1994	96.618	2005	
1995	103.340	2006	
1996	100.840	2007	
1997	105.320	2008	
1998	116.826	2009	
1999	106.126	2010	
2000	116.630	2011	
2001	155.746	2012	
2002	166.527	2013	
2003	174.846	2014	409.536
2004	204.768		



Fontes: DNPM, Anuário Mineral Brasileiro e Sumário Mineral, diversas edições.

5. EXPORTAÇÕES DE MINÉRIO DE FERRO - PROJEÇÃO 2005-2014

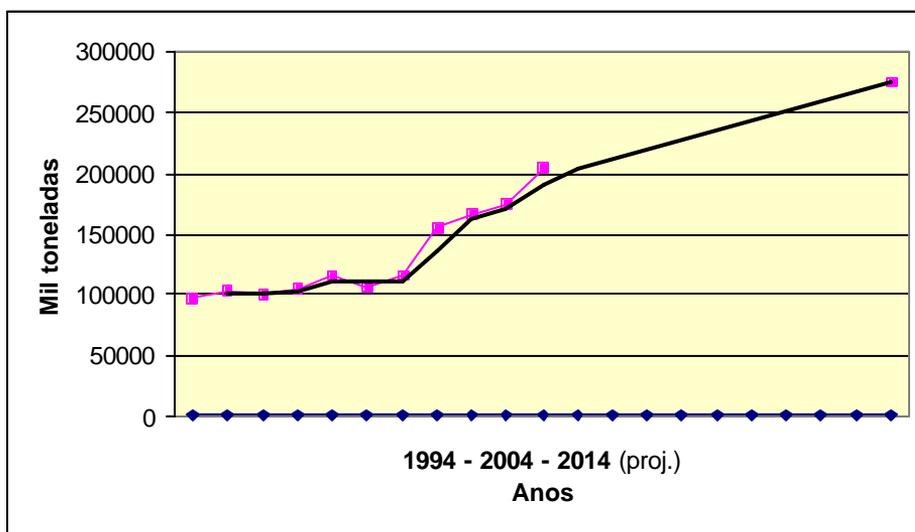
CENÁRIO CONSERVADOR			
Ano	1.000 t	Ano	1.000 t
1994	96.618	2005	
1995	103.340	2006	
1996	100.840	2007	
1997	105.320	2008	
1998	116.826	2009	
1999	106.126	2010	
2000	116.630	2011	
2001	155.746	2012	
2002	166.527	2013	
2003	174.846	2014	307.152
2004	204.768		



Fontes: DNPM, Anuário Mineral Brasileiro e Sumário Mineral, diversas edições.

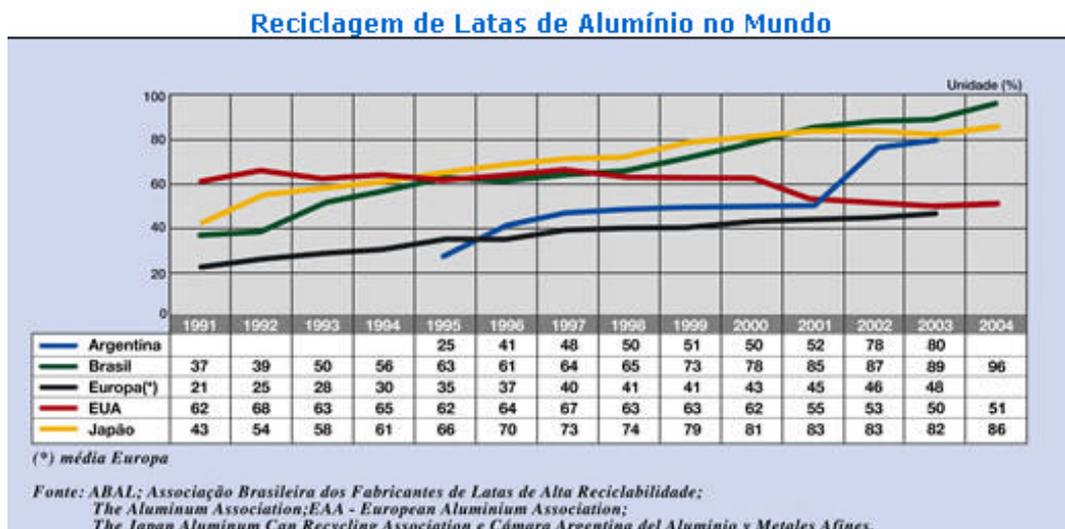
6. EXPORTAÇÕES DE MINÉRIO DE FERRO - PROJEÇÃO 2005 - 2014

CENÁRIO PESSIMISTA			
Ano	1000 t	Ano	1000 t
1994	96.618	2005	
1995	103.340	2006	
1996	100.840	2007	
1997	105.320	2008	
1998	116.826	2009	
1999	106.126	2010	
2000	116.630	2011	
2001	155.746	2012	
2002	166.527	2013	
2003	174.846	2014	275.413
2004	204.768		



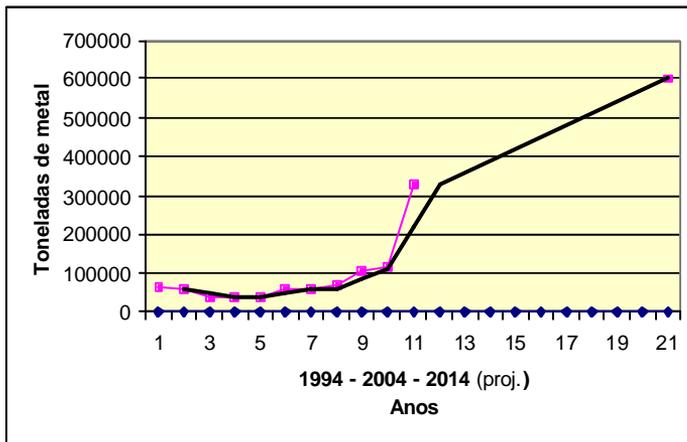
Fontes: DNPM, Anuário Mineral Brasileiro e Sumário Mineral, diversas edições.

7. RECICLAGEM DE LATAS DE ALUMÍNIO NO MUNDO (1991- 2004)



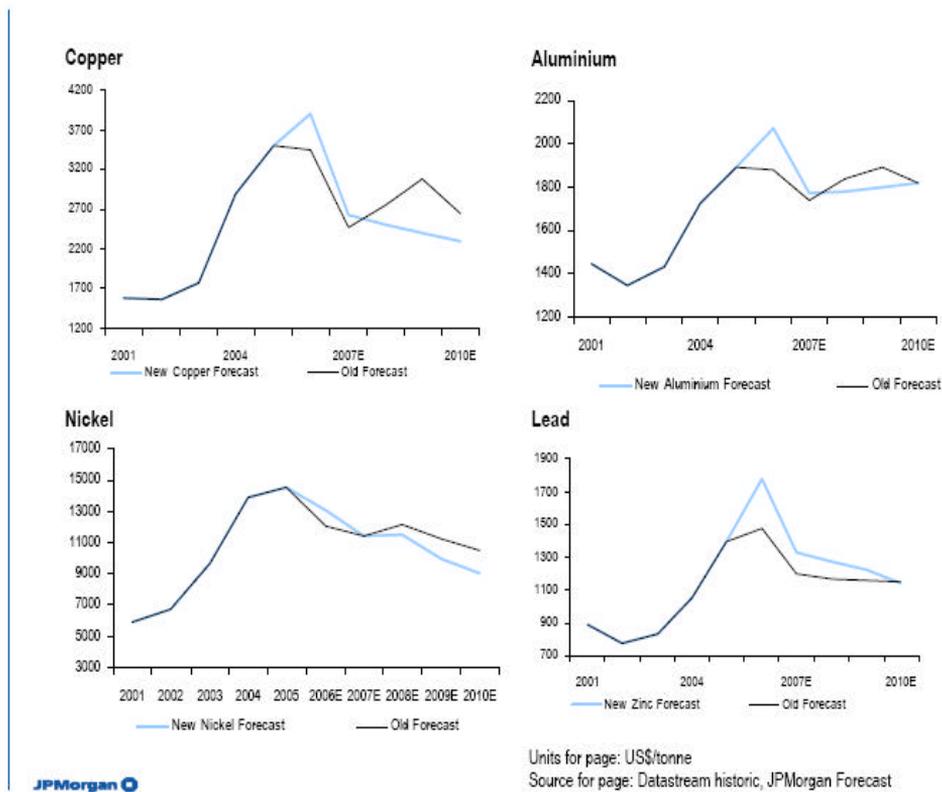
8. EXPORTAÇÕES DE COBRE - PROJEÇÃO 2005 – 2014

Ano	t de metal contido	Ano	t de metal contido
1994	65257	2005	
1995	58423	2006	
1996	41982	2007	
1997	35987	2008	
1998	35316	2009	
1999	59676	2010	
2000	55712	2011	
2001	67987	2012	
2002	107080	2013	
2003	113533	2014	602482
2004	331034		



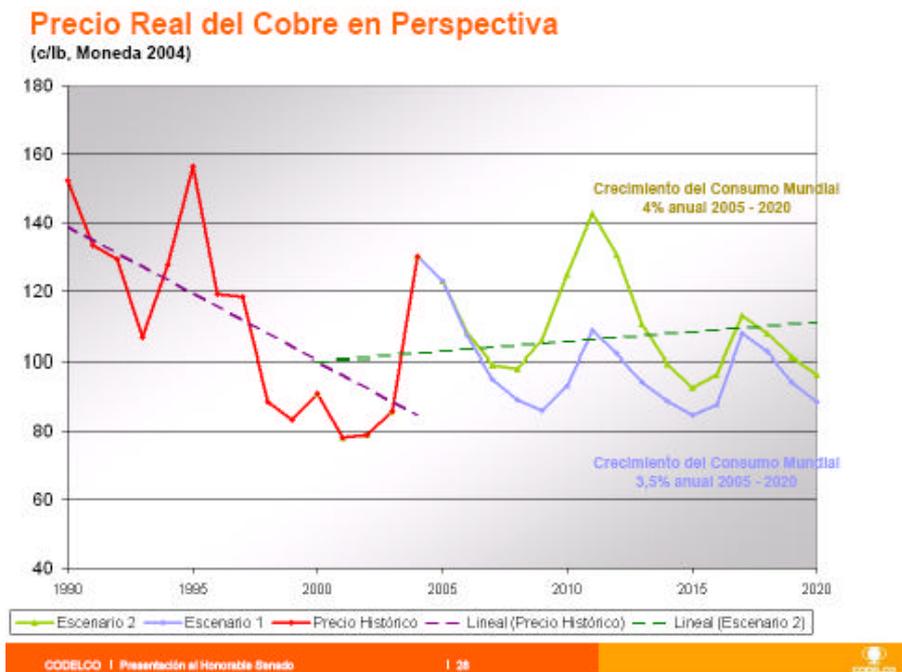
Fontes: DNPM, Anuário Mineral Brasileiro e Sumário Mineral, diversas edições.

Forecast commodity prices



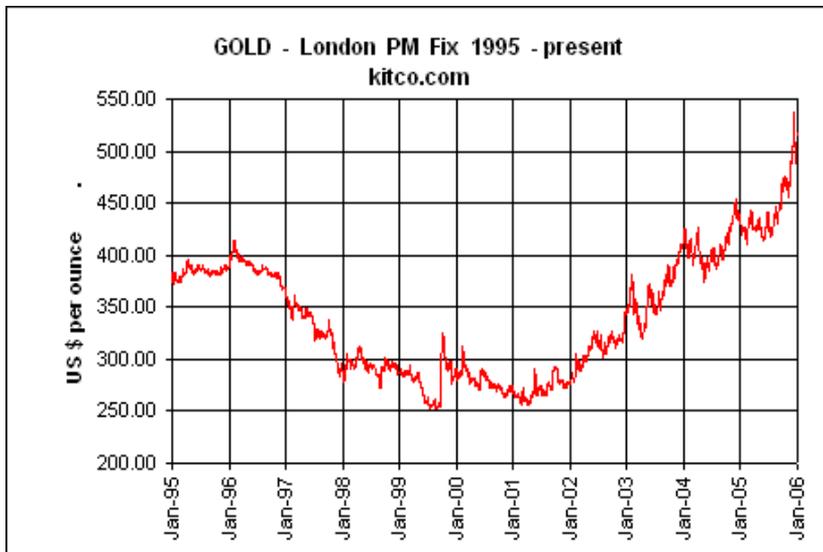
Fonte: Kelly, James & Bergtheil, Jon. *A venture beyond the boundaries of the stated* J.P. Morgan, 30th January, 2006.

10. TENDÊNCIAS DO PREÇO DO COBRE - 2005 – 2020



Fonte: Codelco, Resultados de la gestión 2000-2005
 Presentación al Honorable Senado de la República
 Juan Villarzá R., Presidente Ejecutivo - 19 de Julio, 2005

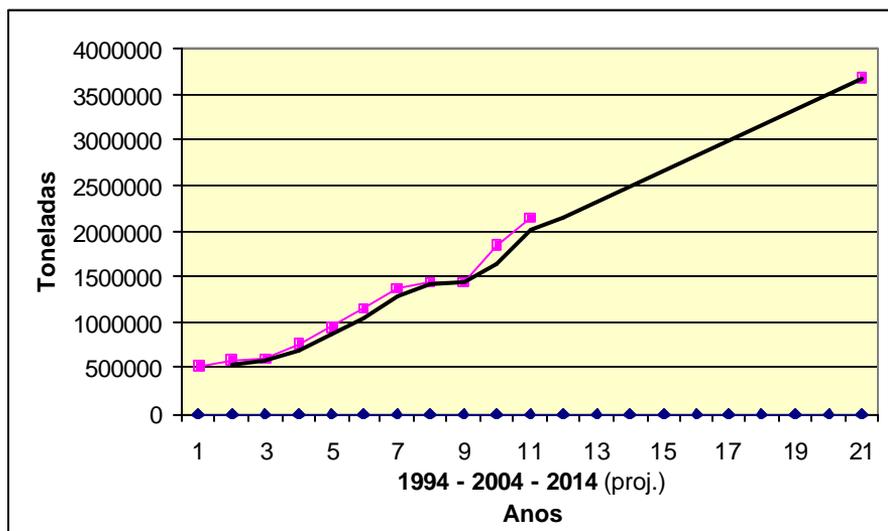
www.codelco.com/prensa/presentaciones/pdf/presentacion_senado.pdf

11. COMPORTAMENTO DO PREÇO DO OURO - JAN. 1995 – JAN. 2006

Fonte: www.kitco.com [13.02.2006]

12. EXPORTAÇÕES DE CAULIM PROCESSADO - PROJEÇÃO 2005 - 2014

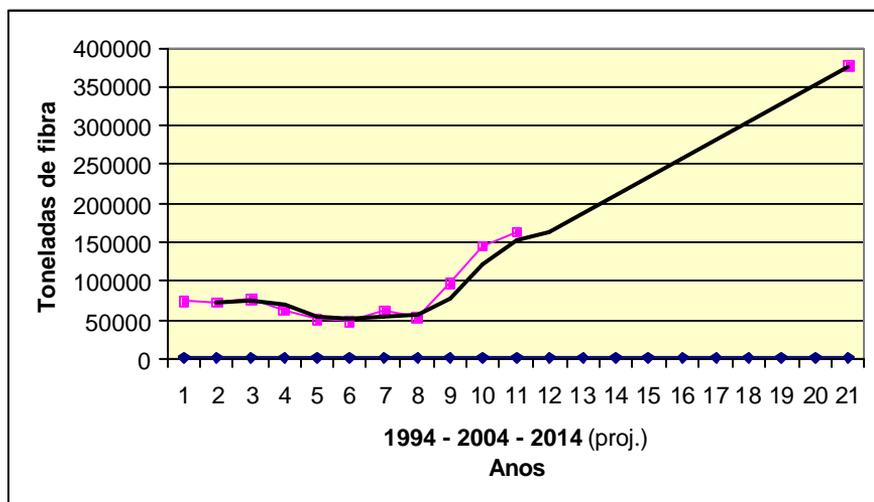
Ano	Tonelada	Ano	Tonelada
1994	524.883	2005	
1995	579.810	2006	
1996	602.145	2007	
1997	764.743	2008	
1998	964.268	2009	
1999	1.156.593	2010	
2000	1.390.636	2011	
2001	1.437.400	2012	
2002	1.444.160	2013	
2003	1.852.376	2014	3.670.898
2004	2.147.980		



Fontes: DNPM, Anuário Mineral Brasileiro e Sumário Mineral, diversas edições.

13. EXPORTAÇÕES DE CRISOTILA (FIBRAS) - PROJEÇÃO 2005 – 2014

Ano	tonelada	ano	tonelada
1994	74.037	2005	
1995	71.745	2006	
1996	78.294	2007	
1997	63.164	2008	
1998	51.239	2009	
1999	49.418	2010	
2000	63.134	2011	
2001	53.919	2012	
2002	99.341	2013	
2003	144.342	2014	376.326
2004	163.620		



Fontes: DNPM, Anuário Mineral Brasileiro e Sumário Mineral, diversas edições.

CAPÍTULO 2

MINERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – DIMENSÕES, CRITÉRIOS E PROPOSTAS DE INSTRUMENTOS

Maria Amélia Rodrigues Enríquez ; José Augusto Drummond***

1. INTRODUÇÃO

Nenhuma sociedade moderna pode prescindir dos bens minerais. Os minerais são necessários a uma vasta gama de atividades humanas, que abrange desde insumos para a agricultura até componentes de computadores. Além de sua importância para o consumo, os minerais são de valor decisivo para muitas economias cuja base está assentada na exploração dos bens minerais, as denominadas “economias mineiras”¹. Assim, tanto pelo lado da oferta como pelo lado da demanda, uma sociedade que pretende crescer e se desenvolver de forma sustentável não pode abrir mão dos bens minerais. Por outro lado, a proposta de desenvolvimento sustentável requer um duplo compromisso: com as gerações presentes (intrageração) e com as futuras gerações (intergeração). Sabe-se que os recursos minerais não são reprodutíveis, portanto, estão sujeitos ao esgotamento. Assim, como pensar em desenvolvimento sustentável e mineração?

A literatura sobre o tema ressalta que, do ponto de vista da geração atual, a mineração pode promover o desenvolvimento sustentável, se ampliar o nível de bem-estar socioeconômico e minimizar os danos ambientais e, do ponto de vista das gerações futuras, se conseguir proporcionar riqueza alternativa que compense os recursos exauridos. A partir dessa perspectiva analítica discutiremos as certificações ambiental e social e os fundos minerais enquanto instrumentos voluntários e de mercado com grande potencial para estabelecer a ponte entre a mineração e o desenvolvimento sustentável.

2. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MINERAÇÃO: PRINCÍPIOS, DIMENSÕES E CRITÉRIOS

Conceito, processo, estrutura, caminho, teoria, proposta, novo paradigma, enfim, são inúmeros os termos adotados para denominar a expressão “desenvolvimento sustentá-

* Professora dos Departamentos de Economia da UFPA e UNAMA. Doutoranda do Centro de Desenvolvimento Sustentável (CDS) da Universidade de Brasília (UnB).

** Professor Adjunto do Centro de Desenvolvimento Sustentável (CDS) da Universidade de Brasília (UnB).

¹ A usual classificação de economia mineira feita pelo Banco Mundial considera o peso do setor mineral no PIB (no mínimo 10%) e/ou nas exportações (no mínimo 40%). Classificações mais recentes levam em conta a graduação do peso no setor mineral nas exportações. Assim tem-se as economias de base mineira “dominantes” (com mais de 50% de participação das *commodities* minerais nas exportações), “críticas” (entre 15% e 50%) e “relevantes” (com até 15%) (PEGG, 2006).

vel”, cuja idéia central, universalizada por intermédio da *World Commission on Environment and Development* (1987), mais conhecido como Relatório *Brundtland*, revela uma preocupação ética com a atual e, principalmente, com as gerações futuras. Porém, como dar garantias às futuras gerações, quando os recursos utilizados para promover o desenvolvimento são exauríveis?

O conceito normativo e amplamente difundido de desenvolvimento sustentável (DS)², aparentemente conflita com a atividade mineral, uma vez que os bens minerais, por definição, são recursos não-renováveis. Para Eggert (2000), é teoricamente simples pensar em sustentabilidade quando se trata de recursos renováveis, porém isso é bem mais complicado para o caso dos recursos que existem em quantidades fixas. Quando o petróleo se esgotar, por exemplo, só será possível pensar em sustentabilidade em uma perspectiva global no caso de se descobrir outras fontes alternativas de energia.

Mikesell (1994) alerta que, para ser mais do que um *slogan*, a proposta de DS deve apresentar definições rigorosas, objetivos quantificáveis e indicadores de progresso ou de retrocesso em relação a esses objetivos. Acrescenta que uma das mais difíceis áreas para um tratamento analítico é a dos recursos exauríveis, pela óbvia razão de que eles irão se esgotar.

Faucheux & Noël (1997) melhor qualificam outros aspectos implícitos à agenda do DS, tais como:

- O que de fato está em causa é um *desenvolvimento econômico* sustentável, no qual o adjetivo “sustentável” significa duração, continuidade.
- O DS é *multidimensional*, pois conduz teoricamente às dimensões econômica, social e ecológica.
- É um conceito *normativo*, ou seja, é um *vetor de objetivos sociais desejáveis*, ou de atributos que a sociedade procura alcançar ou maximizar. A escolha destes objetivos passa pelo filtro de juízos, que tem por base os *valores predominantes* e as *normas éticas da sociedade*.
- O conceito de DS não permite determinar as condições necessárias e suficientes para o seu alcance, nem medir o nível de sustentabilidade; trata-se, então, de propor, não só regras mas também *indicadores de sustentabilidade*.

Tilton (1996) afirma que o DS requer que o padrão atual de consumo de recursos exauríveis não force as gerações futuras a reduzir o seu padrão de vida. Para Tilton o debate em torno da exaustão de recursos naturais e da conseqüente ameaça ao bem-estar das

² De acordo com o Relatório *Brundtland*, o desenvolvimento sustentável é aquele que permite às atuais gerações a satisfação de suas necessidades, sem que isso comprometa a possibilidade de as gerações futuras satisfazerem as suas.

futuras gerações está polarizado em dois “paradigmas”: o do *estoque fixo* e o do *custo de oportunidade*.

- O *paradigma do estoque fixo*, defendido por ecologistas, cientistas e engenheiros, vislumbra um futuro pessimista. Segundo essa perspectiva, o planeta Terra não pode continuar suportando por muito tempo o nível atual e o previsto de demanda por combustíveis fósseis e outros recursos exauríveis. Argumentam que, mesmo que as evidências revelem um aumento dos estoques desses recursos, a formação dessas jazidas é esgotável, pois requer eras geológicas, e os custos ambientais da extração são crescentes.
- O *paradigma dos custos de oportunidade* é assumido principalmente por economistas e adota uma visão de futuro demasiadamente otimista. O fato de os recursos exauríveis terem ou não uma oferta fixa é totalmente irrelevante³ para essa abordagem, uma vez que será o *custo de oportunidade*⁴, subjacente à exploração e processamento dos minerais, que indicará o nível ótimo da exploração e sua possível substituição quando estiver se esgotando. Segundo essa perspectiva, o Planeta, com auxílio dos incentivos de mercado, das políticas públicas adequadas e das novas tecnologias, pode ampliar indefinidamente a provisão das necessidades materiais dos seres humanos.

Um dos adeptos do primeiro paradigma é Herman Daly *apud* Kumah (2006), que alerta para a necessidade de que o uso dos recursos não supere a sua taxa de renovação ou substituição. Autores como Mikesel, Gibson e Auty *apud* Kumah (2006) parecem estar mais sintonizados com o segundo paradigma, embora explorem aspectos complementares do uso sustentável de recursos exauríveis. Mikesel, por exemplo, alerta para a necessidade da destinação de uma parte da *renda mineral* para a criação de alternativas produtivas sustentáveis quando a mineração se esgotar. Gibson argumenta que os custos socioambientais de curto prazo sofridos pelas comunidades mineradoras são amplamente recompensados pelos aportes que a mineração gera. Auty, da mesma forma, argumenta que os transtornos causados às comunidades afetadas por empreendimentos mineradores são fortemente compensados pelas rendas mineiras.

Essas distintas interpretações conduzem a diferentes posições quanto à política mineral. A adoção do paradigma do estoque fixo evoca o “*princípio da precaução*”, ou seja, na dúvida, é melhor evitar atividades que possam comprometer, de forma definitiva, os recursos naturais e ambientais. Embora reconheça que, em certa medida, é possível substituir recursos naturais e ambientais por outras formas de capital, o paradigma do estoque fixo questiona se tal substituição pode continuar indefinidamente, por conta dos limites

³ As estimativas de duração dos minerais podem oscilar muito, dependendo da variável calculada: sobre as reservas (medidas, estimadas, inferidas) ou sobre a base de recursos. As diferenças computadas podem ser de milhares de anos.

⁴ Também conhecido como “custo alternativo”. Significa que a decisão de usar um recurso do modo “A” sacrifica os modos alternativos “B”, “C” e “D” de uso (ou não-uso).

físicos do Planeta. A adoção do paradigma do custo de oportunidade, por sua vez, favorece uma política da produção mais expansiva e, no limite, imprudente, pois desconsidera que o uso de recursos naturais e ambientais de forma irrestrita pode resultar em irreversibilidades ecossistêmicas. Os seus principais argumentos são que: mudanças tecnológicas, substituição de recursos, novas descobertas e outras atividades induzidas pelo mecanismo de preços de mercado podem auxiliar na manutenção do DS, mesmo com maior exploração de recursos exauríveis.

O recente debate sobre sustentabilidade e mineração tem procurado superar essa visão dicotômica que Tilton (1996) muito bem sintetizou. Nos anos 1990, na tentativa de melhor qualificar o termo “sustentabilidade”, pesquisas conduzidas principalmente pelo Banco Mundial (Serageldim, 1995; Warhust, 1999) acrescentaram os adjetivos “forte”, “fraca” e “sensata ou prudente”. Esses adjetivos associam o conceito de desenvolvimento às diferentes dimensões representadas pelo capital natural (dimensão biofísica), capital manufaturado (dimensão econômica), capital social (dimensão política no sentido amplo) e capital humano (dimensão que abrange as condições de saúde, educação e renda).⁵

Capital natural é a base dos recursos naturais e ambientais da humanidade. O capital manufaturado refere-se a toda produção científica, tecnológica e econômica; estão incluídos conhecimentos, idéias, equipamentos, instalações, sistema financeiro e monetário etc. O capital humano diz respeito às condições de saúde, educação, nível e distribuição de renda. O capital social refere-se ao estágio de participação cívica, práticas de cidadania e fortalecimento institucional, dentre outros aspectos da vida política.

A sustentabilidade forte se liga à idéia de preservação dos recursos naturais e ambientais e considera que a continuidade da vida econômica depende muito dessa base de recursos. Ela pressupõe que há uma relação de complementaridade entre os recursos ambientais e outras formas de capital, particularmente, de capital manufaturado. Portanto, se os recursos naturais forem reduzidos, a atividade econômica também declinará, se não imediatamente, mas inevitavelmente mais tarde (Serafi, 1997). Esse tipo de enfoque se liga à *deep ecology* (ecologia profunda), para a qual as preocupações econômicas e sociais devem ser sacrificadas em proveito de preocupações ecológicas. É neste sentido que esta análise e a regra que ela impõe resultam em uma sustentabilidade conservacionista (Fauchex & Noël, 1998).

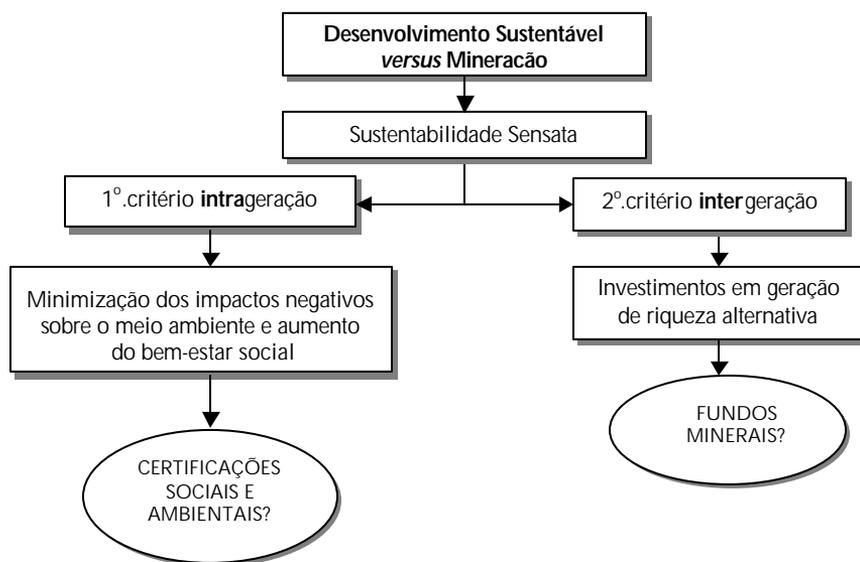
A *sustentabilidade fraca* admite que o capital natural e o capital manufaturado são substituíveis. O objetivo é manter o nível de bem-estar socioeconômico da sociedade. Será a “renda sustentável”, ou seja, um fluxo de rendimento contínuo que manterá o nível de

⁵ Sachs (1996) considera que o processo de desenvolvimento deve atentar para cinco dimensões: social, econômica ecológica, espacial e cultural. Guimarães (1997), por sua vez, destaca a necessidade de se atentar para oito dimensões da sustentabilidade: planetária, ecológica, ambiental, demográfica, social, cultural, política e institucional.

bem-estar futuro, mesmo após o esgotamento do recurso natural. Essa renda, que é gerada a partir da exploração mineral, deve ser muito bem empregada para que gere esse fluxo contínuo. Assim, a redução do estoque de capital natural é aceitável, desde que haja investimentos que garantam um fluxo durável de rendimento no futuro (Serafi, 1997).

O conceito de *sustentabilidade sensata ou prudente destaca* a necessidade de buscar de equilíbrio entre as diferentes dimensões do desenvolvimento. O esgotamento de uma jazida mineral (capital natural) só se justifica se a receita obtida for convertida em outras formas de capital (humano, social ou produzido pelo homem), entre os quais haja equilíbrio, não negligenciando, entretanto, a necessidade de se manter certos níveis mínimos dos diferentes capitais. Esta idéia admite a hipótese de substituíbilidade entre o capital natural e o capital manufaturado, mas reconhece também que, a partir de certo limite, eles passam a ser complementares (Serageldin, 1995).

Para a análise do desenvolvimento de regiões cuja base econômica está assentada na exploração e uso de recursos não-renováveis, só podem ser adotados os conceitos de sustentabilidade fraca ou de sustentabilidade sensata. Eles podem ser usados a partir de duas perspectivas: a da atual geração (intrageração), que pressupõe a minimização dos danos ambientais e o aumento do bem-estar social; e a da geração futura (intergeração), pela qual a atividade deve ser capaz de gerar um fluxo permanente de rendimentos para garantir o nível de bem-estar (Auty & Warhurst, 1993). Os requisitos básicos das duas perspectivas – intrageracional e intergeracional - estão ilustrados na Figura 1.



Fonte: Elaboração dos autores inspirado em Auty & Warhurst. 1993.

Figura 1 - Critérios para Sustentabilidade em Mineração

2.1 Mineração e DS - 1º Critério Intrageracional: a atividade mineral deve minimizar os impactos negativos sobre o meio ambiente e promover o aumento do bem-estar social das gerações presentes

Na tentativa de apresentar uma espécie de guia prático de sustentabilidade a ser seguido pela indústria mineira, Hilson & Murck (2000) partem da crítica ao Relatório Brundtland por ele ter foco global e nacional, por ser amplo demais em sua abordagem e por dar muito pouca atenção às minas em si e ao papel a ser exercido pelas companhias mineradoras. Procurando superar essas deficiências, os autores sugerem alguns procedimentos sustentáveis para a indústria mineral. Para os autores, DS, no contexto das companhias mineradoras, requer compromisso contínuo com a melhoria ambiental e socioeconômica, desde a pesquisa e a operação até o fechamento das minas. Ao atribuírem o mesmo peso para a dimensão natural e para a dimensão socioeconômica, os autores contemplam também o caráter multidimensional do DS, conforme enfatizado por Faucheux & Noël (1997).

No que se refere ao capital natural, Hilson & Murck (2000) acreditam que as teorias sobre extração mineral sustentável não são necessariamente relevantes para a agenda de operação na fase de pesquisa mineral (exploração), pois a atividade só se converterá em mina se a extração e o processamento forem economicamente viáveis. No caso da extração mineral (exploração), os problemas ambientais são bem conhecidos. A atividade atrai muito a atenção pública por causa da constante necessidade de obter licenças ambientais e ganha ainda mais visibilidade por excluir todos os demais usos alternativos do solo e por gerar efeitos incômodos (barulho, pó e tráfego).

Esses autores advertem que a gestão ambiental de uma mina não deve se basear apenas na legislação ambiental vigente, que difere bastante de um país a outro. Na maioria dos casos, os países subdesenvolvidos têm regras muito menos rigorosas que os países desenvolvidos. Portanto, acatar a legislação não significa necessariamente adotar uma prática ambiental ótima.

A sustentabilidade requer uma gestão pró-ativa, ou seja, a adoção de um padrão de desempenho muito acima das demandas dos textos regulatórios. Uma gestão dessas requer a integração de vários instrumentos, tais como auditorias, inspeções, monitoramento de práticas, sistemas de gestão ambiental (SGA) e sistemas de informação. Isso auxilia o corpo dirigente das empresas em operações de longo prazo, tornando-as capazes de se anteciparem aos problemas de desperdício e lidarem melhor com os problemas ambientais consumados.

Para que uma mina contribua ambientalmente com o DS, os seus gerentes e empregados devem definir, desde a pesquisa até o fechamento da mina, os grupos de atividades que melhor prevenirão os danos ambientais. As melhores práticas implicam na adoção de várias outras ferramentas, tais como contabilidade ambiental, políticas ambientais explícitas e avaliações do ciclo de vida. Essas ferramentas são usadas quando uma com-

panhia adota um sistema de certificação ambiental, como a ISO 14001, por exemplo. Isto deve ser parte de uma estratégia ambiental corporativa.

Faucheux & Noël (1997) e Hilson (2000) consideram que o compromisso com o DS precisa superar a mera obrigação de melhora do desempenho ambiental das empresas. Esse entendimento está de acordo com De Graaf *et al apud* Hilson (2000), para os quais uma das maiores debilidades nas interpretações e avaliações de sustentabilidade é que o DS é frequentemente visto como sinônimo de “gerenciamento ambiental”. Nesse caso, há uma forte tendência em considerar apenas o problema da deterioração biofísica do meio ambiente e ignorar os problemas econômicos e sociais. Para esses autores, o foco de muitas avaliações de DS em mineração tem se concentrado demasiadamente sobre a proteção do meio físico, negligenciado as necessidades socioeconômicas das populações afetadas.

Para Warhust (1999), os impactos da atividade mineradora são desigualmente distribuídos entre os diferentes *stakeholders* (grupos de interesse). As companhias mineradoras se preocupam, tradicionalmente, com seus empregados, acionistas, governos que abrigam as operações mineiras e com os financiadores. Muito pouca atenção é dada às questões relativas à pobreza e vulnerabilidade das comunidades mineradoras.

Hilson (2000) cita a Declaração do Rio, que diz que os seres humanos devem estar no centro das preocupações do DS. Portanto, um outro elemento crítico do DS é a responsabilidade social. No contexto da indústria, isso implica considerar as necessidades dos *stakeholders* mais vulneráveis.

Hilson (2000) considera que as companhias mineradoras, mais do que a média das outras indústrias, estão constantemente em contato com um grande número de *stakeholders*. Desta forma, para estabelecer uma relação positiva com bancos, companhias de seguros e outras organizações, elas precisam ajudar a criar um ambiente harmônico nas comunidades onde operam. Este é um desafio para as mineradoras, cujas operações são tidas como ambiental e ecologicamente destrutivas. Assim, Hilson & Murck (2000) recomendam que as indústrias mineiras adotem as seguintes estratégias:

- Captar a percepção das comunidades locais quanto ao desenvolvimento da mina.
- determinar de antemão os prováveis efeitos do desenvolvimento dos processos evolutivos normais dentro da comunidade (modo de vida, relações sociais, comportamentos e resiliência social).
- Identificar os possíveis impactos sobre elementos históricos ou religiosos.
- Prever a participação de pessoas locais na operação da mina.
- Avaliar se há necessidade de realocar a população como resultado do projeto de mina.
- Examinar o potencial para conflitos com a comunidade.

- Calcular os custos econômicos para a proteção de valores culturais locais.
- Identificar os prós e os contras do projeto sobre a comunidade.

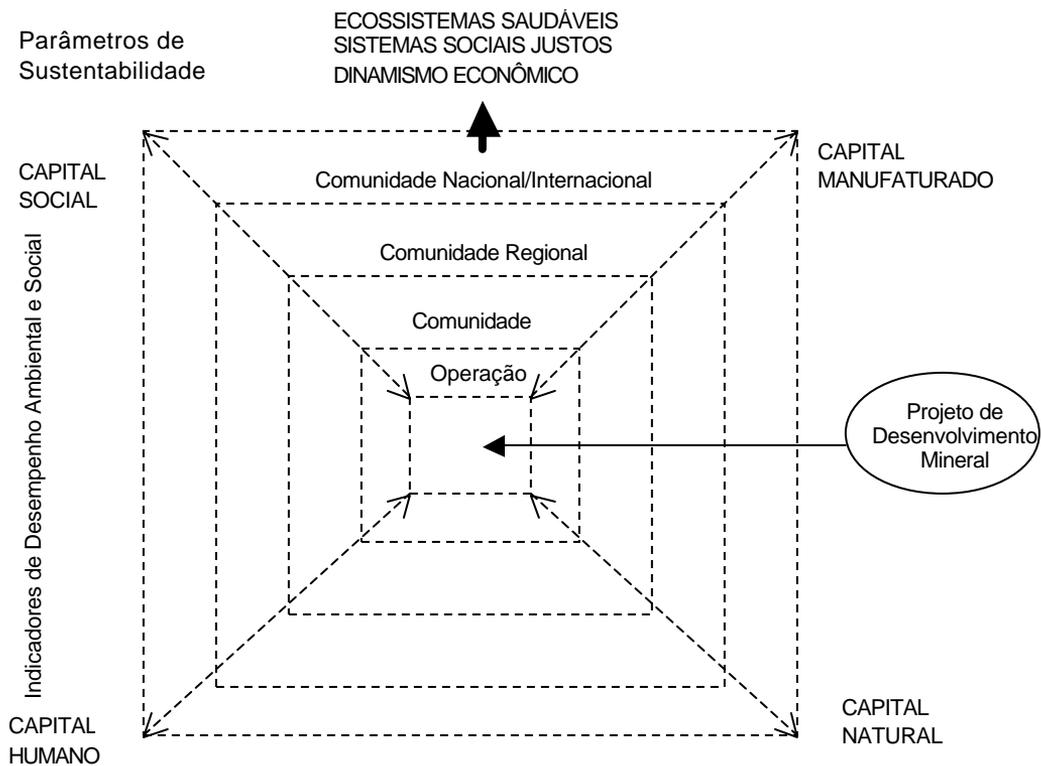
Essas estratégias seguem as recomendações dos organismos internacionais que formulam as políticas globais para a mineração, tais como o Conselho Internacional de Metais e Meio Ambiente (ICME)⁶ e o Banco Mundial. Segundo eles, as empresas mineradoras devem perseguir os seus interesses de modo a promover também os interesses das comunidades nas regiões onde operam, visando a sustentabilidade e a viabilidade de ambos, no longo prazo (Veiga *et al*, 2001). Em todo o mundo, o reconhecimento das necessidades e dos direitos das comunidades está se tornando um princípio forte para a tomada de decisões sobre novos investimentos, principalmente para as altamente visíveis companhias mineradoras. Elas precisam ter uma boa reputação e ser reconhecidas por práticas socialmente responsáveis.

Portanto, DS, no contexto das corporações mineiras, exige a adoção das melhores práticas ambientais e socioeconômicas. Ambientalmente, para que uma mina contribua para o DS, ela deve abandonar práticas de gestão ambiental *ad hoc* e adotar uma posição preventiva e pró-ativa. Social, econômica e eticamente, a mina deve identificar todas as partes potencialmente impactadas pelas suas operações e explicitamente lidar com as necessidades de cada uma delas. Deve empregar residentes, prover trabalho e serviços de treinamento e ajudar financeiramente os principais projetos de desenvolvimento da comunidade (Hilson & Murck, 2000).

A Figura 2 é uma boa síntese das dimensões e implicações do DS para os diferentes *stakeholders*. Ela ilustra as quatro dimensões do DS e as trajetórias ambientais, mostra também a perspectiva dos diferentes *stakeholders* e as oportunidades e desafios criados a partir de um projeto de desenvolvimento mineral e procura relacioná-los aos parâmetros da sustentabilidade – ecossistemas saudáveis, justiça social e dinamismo econômico – por intermédio de indicadores de desempenho social e ambiental (Warhust, 1999)

Como a mineração é considerada uma das mais impactantes atividades, tanto social quanto ambientalmente, a indústria mineira, em todo o mundo, é muito focalizada nos debates sobre responsabilidade social e ambiental. Nesse sentido, discutiremos a seguir as certificações ambiental e social como possíveis instrumentos que têm o potencial de induzir às práticas corporativas sustentáveis, com o objetivo de conduzir os processos produtivos a uma trajetória que leve ao DS.

6 Sigla em inglês de International Council on Metals and the Environment.



Fonte: Warhust, 1999.

Figura 2 - Quadrado da Sustentabilidade

2.1.1 Certificações socioambientais – histórico e evolução recente

É recente e ainda controversa a incorporação do meio ambiente ao processo de decisão empresarial. O marco de referência internacional remonta aos anos 1970. As primeiras experiências mundialmente conhecidas ocorreram nos EUA, motivados por alguns graves acidentes industriais de repercussão global.⁷ Desde então, a relação entre empresas e o meio ambiente passou por uma trajetória que abarca desde os comportamentos reativos, nos quais o meio ambiente é visto apenas na sua dimensão física, até decisões de encarar o meio ambiente como uma variável estratégica, parte do diferencial competitivo das empresas (Quadro 1). Não se trata, porém, de uma evolução linear, alcançada etapa a etapa, uma vez que essas atitudes se manifestam distintamente em um mesmo espaço, em diferentes empresas ou em empresas de um mesmo ramo.

⁷ Exemplos: o acúmulo de resíduos tóxicos em Love Canal, no estado de New York (EUA); o vazamento de gás venenoso, em 1984, em Bophal, Índia; em 1989, o vazamento de 11 milhões de litros de óleo bruto do petroleiro Exxon Valdez, no estado do Alaska (EUA); no Brasil, Freitas *et al apud* Vinha (2003) relatam que, em 1984, um incêndio na plataforma de produção de petróleo da Petrobras na Bacia de Campos (Enchova) matou 40 pessoas.

Quadro 1 - Tipologia das atitudes das empresas em relação ao meio ambiente

Atitudes das empresas	Fatores Desencadeantes
agressiva	diferencial competitivo
reativa	escândalos corporativos, perigo de acidentes
<i>trade-off</i> explícito	imposição da força da lei
pró-ativa	relação entre o preço final do bem e os custos da preservação ambiental
competitividade sistêmica	importância estratégica

Fonte: Baseado em Vinha (2003).

Vinha (2003) destaca que o processo de internalização do conceito de DS também não evoluiu da mesma forma no universo das empresas. Nos setores em que ele mais avançou – petroquímico metalúrgico e papel e celulose - e nas empresas multinacionais, de forma geral, as causas foram a maior influência dos agentes de pressão e a magnitude dos custos associados ao passivo ambiental.

A internalização corporativa do conceito mais amplo de meio ambiente depende de diversos fatores - exigências do mercado consumidor, custos de produção, tamanho do empreendimento, localização espacial, dentre outros (Donaire, 1999; Bello, 2001; Vinha, 2003; Lustosa, 2003 destaca quatro fatores que induzem essa internalização: pressões das regulamentações ambientais, pressões dos consumidores finais e intermediários, pressão dos *stakeholders* e pressão dos investidores).

A vasta literatura sobre o tema indica uma variabilidade na adoção de estratégias sustentáveis de acordo com setores e tipos de empresas, porém a sua prática tem sido uma constante nos últimos anos. As certificações ou rotulagens ambientais surgem como uma espécie de passaporte que abre novas possibilidades para as empresas. Para Almeida (2002), a rotulagem ambiental é parte de um processo pelo qual a proteção do meio ambiente se converte em um valor social. Mesmo recente, é uma realidade em rápida evolução em todos os mercados. O autor acrescenta ainda que essa expansão, embora tenha encontrado resposta positiva por parte dos consumidores, gerou também certa confusão. Isso demandou o desenvolvimento de normas e diretrizes.

Neste capítulo, tratamos de duas categorias de certificações: uma focada nos aspectos ecológicos da gestão empresarial (série ISO 14.000); e outra voltada para os aspectos sociais da gestão corporativa, com foco no Balanço Social da Ibase e nos Indicadores de Responsabilidade Social do Instituto Ethos.

2.1.1.1 O sistema ISO 14000

O SGA da série ISO⁸ 14000, que trata de documentos e normas relativos ao meio ambiente, foi lançado em 1997, a partir da colaboração de centenas de países. Segundo Bello (2001), a série ISO 14000 pode ser vista como um reflexo do Relatório Brundtland, pois pela primeira vez a indústria mundial foi convocada para desenvolver sistemas de gerenciamento ambiental. Para Lawrence (1997) *apud* Bello (2001), a norma ISO 14000 exige que a empresa reconheça os seus impactos negativos e faça um plano de mitigação e melhoria. Acrescenta, porém, que uma empresa pode ser certificada mesmo que esteja poluindo, pois o que é exigido é apenas um plano de prevenção/mitigação ou melhoria. Almeida (2002) destaca que a concessão da certificação não envolve avaliação de desempenho ambiental, mas apenas o reconhecimento dos princípios e normas ambientais que devem ser observados.

Newbold (2006) afirma que, no Chile, as iniciativas de certificação apareceram no início dos anos 2000 e já são consideradas cruciais no contexto de acordos de comércio. A certificação com base em um padrão internacional, como a ISO 14001, demonstra o nível de compromisso de gerentes, empregados, clientes, *stakeholders* e financiadores, o que ajuda no financiamento e na aceitação de novos projetos. As companhias mineradoras privadas e públicas do Chile passaram a adotar a certificação ISO 14001, porque ela representa um reconhecimento internacional da responsabilidade ambiental assumida por elas. Para o vice-presidente da Codelco *apud* Newbold (2006, p.254):

“a sustentabilidade ambiental da companhia foi necessária para manter e melhorar a aceitação de seus produtos no mercado mundial. Em uma pesquisa com 100 clientes da Codelco, 97% afirmaram que consideraram importante ou muito importante a certificação ISO 14001. Estas respostas foram semelhantes em todos os diferentes mercados geográficos e para todos os produtos. Uma gestão ambiental responsável foi percebida também como uma exigência para a aceitação e boas relações com as comunidades nas quais a Codelco opera. Com a conquista da certificação, a Codelco se posicionou entre as grandes corporações mundiais”.

No Brasil, até novembro de 2006, 728 empresas foram credenciadas pelo Inmetro (Tabela 1). Dessas 15 se referem à indústria extrativa de minerais não-energéticos e 14 de minerais não-metálicos, ou seja, 4% do universo das empresas certificadas pelo padrão ISO 14000.

⁸ A ISO (*International Standard Organization*), sediada em Genebra, é uma federação mundial de organismos padronizadores nacionais – como a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Tabela 1 - Brasil: Certificados Válidos com Credenciamento Inmetro, 1998-2006

Ano de Emissão	Empresa	Certificados	Empresas Acumuladas	Certificados Acumulados
1998	3	3	3	3
1999	2	2	5	5
2000	22	23	27	28
2001	113	120	140	148
2002	174	196	314	344
2003	105	115	419	459
2006	nd	nd	nd	728

Fonte: Inmetro (www.inmetro.gov.br).

Vinha (2003) ressalta que o número de empresas certificadas só não é maior porque muitas não podem arcar com os custos da certificação, particularmente as pequenas e médias. Por outro lado, no universo das empresas brasileiras, trata-se de uma participação mínima e altamente concentrada em termos espaciais, já que a grande maioria das empresas certificadas está no Centro-Sul do país, principalmente no estado de São Paulo.

2.1.1.2 O balanço social do ibase e os indicadores ethos de responsabilidade social

Bello (2001) analisa o movimento da noção de responsabilidade social corporativa (RSC). A idéia surgiu no final do século XIX, com os princípios centrais de “caridade” e “custódia”, e alcançou as recentes teorias sobre o desempenho social das empresas, a mudança e incorporação de novos princípios, processos e políticas sociais.

Aos poucos já está se formando um consenso sobre a necessidade de as empresas adotarem os princípios da RSC⁹. No entanto, o assunto ainda desperta polêmica. Para o influente economista Milton Friedman *apud* Bello (2001, p.67),

“as empresas não se encontram na posição de determinar urgência dos problemas sociais, nem a quantidade de recursos da organização a um problema específico (...) a liberdade leva a menos desperdícios e maior produtividade. (...) as empresas devem produzir com eficiência seus bens e serviços, deixando a solução de problemas sociais para os indivíduos e os órgãos governamentais competentes”.

Por outro lado, conforme destaca o Instituto Ethos, a maior integração dos mercados e a queda das barreiras comerciais em virtude da globalização significaram, para grande

⁹ O sistema ISO está em vias de lançar o guia para a responsabilidade social, por intermédio da série ISO-26000 que trata exclusivamente dos padrões relativos à responsabilidade social que as empresas devem adotar. Seu lançamento está previsto para o início de 2008, 54 países estão debatendo as normas e os princípios que deverão nortear os padrões da RSC.

parte das empresas, a inserção, muitas vezes forçada, numa competição em escala planetária. Em curto espaço de tempo, essas empresas viram-se forçadas a mudar radicalmente as suas estratégias de negócio e os seus padrões gerenciais. Tiveram que fazer isso para enfrentar os desafios e aproveitar as oportunidades e as demandas decorrentes da ampliação de seus mercados potenciais, do surgimento de novos concorrentes e de novas expectativas da sociedade.

Esse novo contexto representa desafios para as empresas. Ao mesmo tempo em que devem conquistar maiores níveis de competitividade e produtividade, elas devem se ocupar cada vez mais da legitimidade social de sua atuação. Nos últimos anos, intensificada pela onda de escândalos contábeis de grandes corporações, a responsabilidade social empresarial ganhou relevância ainda maior, especialmente nos principais centros da economia mundial. Os cidadãos passaram a exigir mais informações confiáveis das empresas das quais são consumidores e acionistas. Nos EUA e na Europa, têm crescido significativamente os fundos de investimento formados por ações de empresas que atuam e divulgam as suas atitudes na esfera social. O *Sustainability Index*, da Dow Jones, por exemplo, enfatiza a necessidade de integração dos fatores econômicos, ambientais e sociais nas estratégias de negócios. Normas e padrões internacionais ligados ao tema da responsabilidade social, como as normas SA 8000 (Social Accountability - relações de trabalho) e AA1000 (diálogo com partes interessadas), ganham crescente aceitação.

Para Jenkins & Yakovleva (2006), a divulgação dos relatórios sociais e ambientais corporativos tem vários papéis: avaliar os impactos sociais e ambientais de atividades produtivas; medir a efetividade dos programas corporativos, tanto social quanto ambientalmente, além de relatar as responsabilidades sociais e ambientais da empresa.

No Brasil, apesar de a prática de auditoria social já existir desde os anos 1940, a certificação social é muito recente. As certificações sociais em vigor estão relacionadas à norma inglesa ISO, que são: a SA 8000 e a BS¹⁰ 8800, conhecidas como "ISO para área social". Datam de 1998 as primeiras empresas brasileiras com este tipo de certificação (Petrobras e Avon).

Essas normas estão mais voltadas para o ambiente interno de trabalho. São contemplados itens como: trabalho infantil, trabalho escravo, saúde e segurança, liberdade de associação, direito de negociação coletiva, práticas disciplinares, carga e horário de trabalho, dentre outros (Bello, 2001). O Balanço Social do Ibase e os Indicadores de Responsabilidade Social do Instituto Ethos, da mesma forma que outras certificações socioambientais, são de caráter voluntário e têm alcançado crescente aceitação por parte das empresas brasileiras.

¹⁰ British Standard.

2.1.1.3 O balanço social do Ibase

De acordo com o Ibase, o marco histórico da responsabilidade social corporativa ocorreu na França, em 1972, com a publicação do primeiro Balanço Social (BS)¹¹ Cinco anos mais tarde, com a Lei nº 77.769, tornou obrigatória a realização periódica de BS para todas as empresas com mais de 700 funcionários sediadas na França. Posteriormente, o número mínimo de funcionários caiu para 300.

No Brasil, não há obrigatoriedade legal de se publicar o BS.¹² No entanto, muitas empresas o fazem por motivos que vão desde um compromisso ético até às vantagens competitivas conseqüentes. O modelo de BS mais adotado no Brasil é o do Ibase, que ganhou visibilidade a partir de 1997, através da atuação do sociólogo Herbert de Souza ("Betinho"), que lançou uma campanha para estimular empresas a divulgarem as suas ações sociais e ambientais. As corporações envolvidas recebem anualmente o *Selo Balanço Social Ibase/Betinho*. Desde que foi lançado, em 1998, quase 300 empresas já publicaram o Balanço Social, sendo a maioria absoluta sediada no estado de São Paulo.

O BS tem servido como referência mundial, por suas múltiplas funções e qualidades: fomenta ações empresariais responsáveis, visando minimizar a pobreza, a exclusão e as injustiças sociais; serve para avaliar o desempenho da própria empresa na área social e para estabelecer comparações entre empresas; garante maior transparência nas informações; e contribui para o desenvolvimento de responsabilidade social nos empresários e nas empresas (www.ibase.org.br).

2.1.1.4 Indicadores Ethos de responsabilidade social

Para o Instituto Ethos¹³ (www.ethos.org.br), a gestão empresarial que tem como referência apenas os interesses dos acionistas (*shareholders*) é insuficiente. Uma boa gestão deve ser balizada pelos interesses e pelas contribuições de um conjunto maior de partes interessadas. A busca de excelência pelas empresas passa a ter como objetivos a qualidade nas relações e a sustentabilidade econômica, social e ambiental. Os Indicadores Ethos de Responsabilidade Social são uma ferramenta para a promoção desses objetivos. Segundo o Instituto Ethos,

¹¹ Segundo Freire *apud* Rizzi (2002, p.181), "o balanço social é um conjunto de informações de base técnica, contábil, gerencial e econômica, capaz de proporcionar uma visão da relação capital-trabalho no que diz respeito aos seus diferentes aspectos econômico-sociais". Ele fornece informações de caráter social e benefícios aos diversos tipos de usuários, além do que "a exibição de informações que não são estritamente de caráter financeiro faz com que as empresas que se preocupam com o meio ambiente sejam mais valorizadas pelos investidores e seus produtos, mais aceitos no mercado."

¹² O primeiro BS brasileiro foi publicado em 1984, pela Nitrofértil. O BS do Sistema Telebrás foi publicado em meados da década de 1980. O do Banespa, de 1992, também compõe a lista de precursores em BS no Brasil.

¹³ O Instituto Ethos de Empresas e Responsabilidade Social é uma organização sem fins lucrativos, fundada em 1998. Reúne centenas de empresas em operação no Brasil, de diferentes portes e setores. A sua missão é mobilizar, sensibilizar e ajudar as empresas a gerirem seus negócios de forma socialmente responsável (www.ethos.org.br).

“a empresa é socialmente responsável quando vai além da obrigação de respeitar as leis, pagar impostos e observar as condições adequadas de segurança e saúde para os trabalhadores, e faz isso por acreditar que assim será uma empresa melhor e estará contribuindo para a construção de uma sociedade mais justa”.

O Instituto Ethos concebeu os Indicadores Ethos para avaliar o estágio em que se encontram as práticas de responsabilidade social nas empresas. Para o Instituto, os indicadores também reforçam a tomada de consciência dos empresários e da sociedade brasileira sobre o tema.

O Quadro 2 sintetiza as certificações socioambientais analisadas. A maioria absoluta das ações está concentrada no estado de São Paulo. Até o final de 2002, 994 empresas receberam o certificado ISO 14000. Atualmente, apenas 757 desses certificados são válidos (por conta de descredenciamentos, falta de renovação etc.); 286 empresas já publicaram o Balanço Social do Ibase e 992 empresas já participaram do sistema de avaliação. São números ainda modestos, mas que sinalizam uma mudança de atitude.

Quadro 2 - Certificações Socioambientais no Brasil (situação em dezembro de 2002)

Tipo	Ano de Criação	Quantidade	% de Empresas certificadas sediadas em São Paulo
ISO 14000	1997	757 válidos 450 INMETRO	42%
Balanço Social	1997	994 emitidos 286 BS publicados	48%
Indicadores Ethos	1998	792 associadas	64%

Fonte: elaborado pelos autores a partir dos sites: www.ibase.org.br; www.ethos.org.br; www.inmetro.gov.br

A natureza finita dos recursos minerais, os diversos impactos ambientais associados com a sua extração e o seu uso, a importância econômica das indústrias de extração e os seus impactos sociais nas comunidades levaram a indústria mineira a ser um dos setores que mais publica informações sociais e ambientais. Nesse sentido, a maioria das grandes companhias mineiras já presta informações sobre as dimensões abarcadas pelo RSC.

Utilizando as informações constantes nos relatórios ambientais e sociais das dez maiores companhias mineradoras do mundo¹⁴, publicados no período de 2000 a 2006, Jenkins & Yakovleva (2006) demonstram que nos últimos anos é crescente a importância da gestão corporativa ligada à sustentabilidade. O estudo revela que os relatórios sociais e ambientais estão ficando mais completos e sofisticados, cobrindo um amplo leque de questões relativas ao DS. De acordo com os dois autores, “Responsabilidade Social Corporativa” e “sustentabilidade” são dois entre muitos termos usados para des-

¹⁴ As companhias avaliadas são: BHP Billiton, Anglo American, Rio Tinto, CVRD, Newmont, MMC Norilsk, Barrick Gold, Anglo Platinum, Anglo Gold, Xstrata.

crever as contribuições sociais e ambientais e as conseqüências da atividade empresarial. Acrescentam que DS, no contexto corporativo da mineração, requer compromisso com a contínua melhoria ambiental e socioeconômica, desde a pesquisa mineral e a operação até o fechamento das minas.

No entanto, da mesma forma que Vinha (2003) constatou para as empresas brasileiras, Jenkins & Yakovleva (2006) concluem que não é homogêneo o entendimento da RCS entre as grandes companhias mineradoras do mundo. A partir de indicadores extraídos dos relatórios publicados por essas próprias companhias, classificam-se as 10 maiores companhias mineradoras do mundo em três padrões: do mais sofisticado e completo *deluxe* (BHP Billiton, Rio Tinto, Newmont), passando pelos mais básicos *standard* (Anglo American, AngloGold, Amplat, Barrick Gold, Xstrata) e até a categoria *economy* (CVRD, MMC Norilsk).

Se, do ponto de vista da geração atual, as certificações sociais e ambientais têm o potencial de induzir práticas sustentáveis, ao possibilitarem uma reflexão e, conseqüentemente, um posicionamento das companhias mineradoras quanto às suas políticas voltada para o meio ambiente físico e sobre a RSC, o que dizer das gerações futuras quando o recurso mineral se exaurir? Nesse sentido, o item seguinte analisa o segundo critério relacionado à mineração e ao DS, discutindo modelos dos fundos minerais considerados como referência global que têm o potencial de induzir práticas sustentáveis que levem em consideração as gerações futuras.

2.2 Mineração e DS - 2º. Critério: a realização de investimentos que visem produzir riqueza alternativa para substituir o patrimônio mineral esgotável

O argumento sobre a necessidade de se realizarem investimentos que gerem riqueza alternativa para substituir o patrimônio mineral esgotável encontra amparo na teoria dos recursos exauríveis, com destaque para o clássico trabalho de Hartwick (1977). Esse autor demonstra que o *custo de uso*, ou *renda da escassez*, resultante da extração dos minerais, deve ser reinvestido em outras formas de capital com a finalidade de manter o nível de produção econômica e, dessa forma, preservar o nível de bem-estar social já adquirido. Na mesma linha de argumentação, Sollow (1993) enfatiza que a "sustentabilidade" não é uma simples "expressão emotiva"; sua proposta deve estar relacionada à preservação da capacidade produtiva para um futuro indefinido. Isso só seria compatível com o uso de recursos não-renováveis, se toda a sociedade substituísse o uso desses recursos por algo distinto.

Eggert (2000) enfatiza que, do ponto de vista da sustentabilidade econômica, a efetiva contribuição da atividade mineral depende: da riqueza mineral gerada; do reinvestimento em outras atividades para a manutenção do nível de bem-estar social, quando a atividade mineral estiver exaurida; e das políticas governamentais para controle dos potenciais efeitos macroeconômicos negativos.

Para Mikesell (1994), as rendas de um projeto mineral provenientes da exploração dos recursos naturais, são as receitas da venda do minério, subtraídos os custos com trabalho e com capital associados ao projeto. Pougando uma parcela da renda mineira líquida anual e acumulando um determinado montante ao ano a uma taxa de juros compostos, pode ser criado um fundo suficientemente grande para garantir às futuras gerações uma receita líquida equivalente às rendas minerais, mesmo após a exaustão da mina.

Será que os fundos formados a partir de rendas mineiras têm o potencial de exercer esse papel?

2.2.1 Equidade intergeração e uso das rendas minerais

Há farta literatura sobre economias ricas em recursos naturais não-renováveis, porém com atraso no desenvolvimento de seus setores produtivos e baixo nível de qualidade de vida da maioria de sua população (Auty & Warhurst, 1993; Stern, 1995; Shafer, 1994; Ayree, 2001; Auty, 2001; Humphreys, 2001; Pegg, 2006). Os casos clássicos receberam algumas denominações especiais como “doença holandesa” (*Dutch disease*)¹⁵ e “maldição dos recursos” (*resource curse*)¹⁶. Para os autores citados, grande parte desses problemas é resultado da má gestão dos abundantes recursos financeiros que a atividade mineral proporciona (renda mineral). Para esses autores a abundância de dinheiro está associada ao desperdício e, por conseqüência, à dificuldade de criação de economias auto-suficientes, que usem plenamente seu trabalho produtivo e que possam criar uma ampla classe consumidora que seja capaz de fortalecer a economia local e, assim, resolver o problema da dependência exclusiva da mineração.

Nesse sentido, a criação de fundos para administrar as abundantes rendas provenientes da mineração atende, em tese, a pelo menos três objetivos:

- Evitar os efeitos nefastos da “maldição dos recursos”.
- Garantir benefícios às gerações atuais.
- Promover o princípio de equidade intergeracional, gerando alternativas para a manutenção do nível de bem-estar social após o esgotamento das reservas minerais.

Os fundos que atualmente são considerados modelos de uso sustentável das rendas minerais foram criados no estado do Alaska (EUA), na Província de Alberta (Canadá) e na Noruega. Explícita ou implicitamente esses fundos estão relacionados a esses três obje-

¹⁵ É uma simbiose negativa entre o setor mineral e os demais setores não mineiros da economia (agricultura e manufatura). A pujança da mineração acaba inibindo o investimento nesses outros setores e, conseqüentemente, retardando o processo de crescimento econômico (Auty & Warhyst, 1993).

¹⁶ De acordo com essa abordagem, o desempenho de países bem dotados em recursos minerais é pior que o dos países que não são de base mineral. Isso ocorre, dentre outros motivos, pelas dificuldades de gestão eficiente das rendas minerais, que acabam provocando valorização excessiva do câmbio, favorecendo as importações e o conseqüente desestímulo à indústria local (Lewis, 1984).

tivos e nasceram da necessidade de se evitar a má utilização dos recursos financeiros oriundos da extração do petróleo (Enríquez, 2006).

Enriquez (2006) afirma que, dado o êxito dos fundos minerais em suas sociedades, eles passaram a ser recomendados como alternativas de políticas públicas e referidos como bons exemplos de uso das rendas e de equidade intergeracional. No entanto, a questão é saber até que ponto esses exemplos são, de fato, replicáveis para outras economias de base mineira com fracos indicadores socioeconômicos e quais lições pode-se extrair deles.

Em uma abrangente discussão sobre o uso das rendas do petróleo, Daniel (2004) resalta que a decisão de uma economia de base mineira em adotar o modelo dos fundos sucede à decisão de se poupar, ou não, a renda mineral. Questões relativas à visão, sabedoria, honestidade, compromisso com o desenvolvimento, por parte dos governantes, sempre estão presentes neste tipo de decisão. Há muitas economias mineiras que pouparam sem que, no entanto adotem o modelo dos fundos minerais. Na hipótese de se optar pelo fundo mineral, Daniel (2004) afirma que há três motivos para a existência de tais fundos:

- estabilização (o fundo protege de instabilidades financeiras).
- poupança (conserva os valores para o futuro).
- precaução (proteção das incertezas econômicas).

Assim, cada fundo tem a sua própria identidade. No entanto, o autor adverte que os fundos não são substitutos de um bom gerenciamento fiscal, muito embora seja de vital importância sua integração com tal gerenciamento. Como elementos-chave para eficiência dos fundos, o autor destaca:

- Responsabilidade dos representantes eleitos.
- Auditoria independente das transações e atividades.
- Clara estratégia de investimento.
- *Benchmarking* dos retornos devidos dos investimentos nos diferentes segmentos de mercado.
- Concurso para a nomeação de gerentes de investimento.

A análise dos fundos minerais do Alaska (Alaska Permanent Fund Corporation - APFC), de Alberta (Alberta Heritage Savings Trust Fund) e da Noruega (Government Pension Fund) revelam que:

- Nessas sociedades há uma explícita preocupação com o longo prazo.

- Há um receio enraizado de que a volatilidade dos preços dos minerais ou esgotamento das jazidas possa comprometer a qualidade de vida das atuais e das futuras gerações.
- Essas sociedades realizam amplas campanhas educativas para a população de todas as faixas etárias, mas, especialmente, para as crianças, a fim de que elas compreendam o processo de geração e utilização da riqueza que as estão beneficiando.
- Para a criação dos fundos foram promovidas amplas discussões com vários segmentos da sociedade, porém o gerenciamento dos fundos é feito por uma administração executiva.
- A principal finalidade das administrações dos fundos é aplicar bem os recursos, a fim de gerar mais dividendos aos beneficiários.

As experiências descritas acima são universais e certamente podem ser replicadas em economias mineradoras de regiões pobres. Por outro lado, o investimento dos recursos advindos dos fundos mineiros e a distribuição dos dividendos são assuntos completamente distintos que necessitam ser contextualizados de acordo com a realidade socioeconômica de cada país ou região.

Os fundos da Noruega, do Alaska e de Alberta foram criados e geridos em sociedades com um elevado grau de participação democrática. No Alaska, os cidadãos foram consultados, um a um, e foram eles que decidiram sobre o destino a ser dado aos recursos do APFC, por intermédio de emendas constitucionais e de uma série enorme de regulamentações.

Em todos os fundos analisados, periodicamente, ocorrem amplos debates para se discutir a forma de gestão, o uso dos recursos, a partilha entre os beneficiários etc., com o objetivo de promover os ajustes necessários ao melhor funcionamento do fundo e de atualizá-lo em relação às novas demandas da sociedade.

Todo o processo de construção e implementação do fundo do Alaska, por exemplo, foi precedido por um intenso e amplo debate. O processo de definição sobre a melhor forma de gerir os recursos do fundo, se através do sistema bancário (Banco de Desenvolvimento), ou se através de um Conselho com responsabilidade pública, durou cerca de quatro anos.

A gestão democrática e a forte participação social fazem toda a diferença. No Fundo do Alaska, há uma grande preocupação com o aspecto didático para o esclarecimento de crianças e adolescentes sobre o que ele é, como foi gerado e qual o seu objetivo. Há toda uma programação educativa especialmente preparada para cada faixa etária, além de fortes estímulos para que os professores participem com os seus alunos dos programas educacionais promovidos pelo fundo, nos quais a principal mensagem é: *“lições é que são permanentes”*.

No âmbito da administração dos recursos, há uma ampla discussão sobre a forma como os recursos devem ser utilizados - se como fundo para promover o investimento ou simplesmente como fundo de capitalização que busca boas opções de investimento financeiro em qualquer lugar do mundo, cujo principal foco é a obtenção de dividendos (portfólio de investimento *versus* portfólio industrial).

Nessas economias ricas, é a lógica do mercado que orienta a administração dos fundos. Essa orientação se revela pela incorporação, nos mecanismos decisórios, das preferências dos consumidores, da busca de elevação do nível pessoal de renda, de repasses individuais, entre outros. Isso é justificado pela própria estrutura socioeconômica dos países hospedeiros desses fundos, nos quais as necessidades básicas da população já se encontram plenamente atendidas.

Não obstante toda a preocupação com as futuras gerações, esses fundos também se constituem em instrumentos necessários para neutralizar os desequilíbrios provocados pela *Dutch disease* e, assim, garantir o padrão de vida das gerações atuais. Os fundos servem para enxugar a liquidez do sistema (retirar o excesso de dinheiro que circularia se não houvesse essa opção), contribuindo para a manutenção dos preços internos. Isso assegura certo equilíbrio entre os preços relativos e, portanto, contribui para não desestruturar os setores não-mineiros da economia.

Os modelos dos fundos minerários apresentados nos alertam para o fato de que regiões com abundante dotação mineral devem se preocupar com o futuro. O bônus econômico que o setor proporciona localmente é passageiro, mas, se os recursos gerados forem bem administrados, essa riqueza poderá se prolongar muito além da vida útil da jazida mineral. Portanto, a concepção geral de um fundo para capitalizar e redistribuir as rendas da mineração parece ser uma alternativa muito promissora para regiões ricas em recursos minerais. No entanto, o grande problema está na forma de utilização e administração desses fundos.

Entendemos que, no caso do Brasil, ou de outro país com indicadores socioeconômicos semelhantes, as prioridades no uso dos recursos provenientes da mineração devem estar em consonância com as necessidades sociais. Em sociedades com elevado nível de pobreza e desigualdade, tais recursos devem auxiliar na criação de renda e de novas oportunidades para incorporação dos segmentos sociais excluídos e não apenas como um bônus suplementar para a criação de poder de compra adicional.

Como exemplo de um fundo mineral em um país periférico, podemos citar o Fundo Mineral de Gana - *Mineral Development Fund (MDF)* – que foi criado em 1992, a partir da idéia de transformar a mineração (ouro, diamante, bauxita, manganês) em um catalisador tanto para o desenvolvimento da mineração quanto para a transformação da comunidade (Ayree, 2001; Kumah, 2006). Os recursos do MDF provêm de 20% dos *royalties* minerais pagos pelas companhias mineradoras. Estes *royalties*, por sua vez, variam de 3% a 12% das vendas minerais (Manu, 2001).

Os objetivos do MDF são bem diferentes daqueles dos fundos anteriormente apresentados. Enquanto estes visam à estabilização macroeconômica e manutenção das condições de bem-estar da sociedade, o MDF objetiva desenvolver o setor mineral e mitigar efeitos adversos da mineração. Segundo Manu (2001), os objetivos do MDF são:

- Corrigir os impactos negativos da mineração.
- Empreender projetos de desenvolvimento nas comunidades que abrigam os projetos minerais.
- Financiar os orçamentos das instituições do setor mineral.
- Promover projetos especiais relacionados à mineração.

Os beneficiários do MDF são distintos daqueles dos modelos anteriormente apresentados. Enquanto os fundos do Alaska, de Alberta e da Noruega beneficiam todos os cidadãos, no caso de Gana, os beneficiários são apenas as instituições vinculadas ao setor mineral (recebe 50%) e às comunidades nas quais estão localizadas as minas – Conselho Tradicional e Assembléia dos Distritos.

Em uma recente avaliação sobre o MDF, na qual os principais grupos de interesse (*stakeholders*) manifestaram a sua percepção sobre o fundo, fica claro que as lições dos modelos dos fundos anteriormente analisados estão bem distantes da realidade de Gana (Manu, 2001). A percepção dos *stakeholders* é a seguinte:

- *Comunidades* - o MDF é desejável, mas a quantia é inadequada, os procedimentos para o desembolso são constrangedores e de difícil acesso.
- *Assembléia dos Distritos* - a maior parte do MDF deveria ser destinada à Assembléia. As autoridades tradicionais não usam os recursos para beneficiar as comunidades. A demora nos repasses afeta negativamente o planejamento orçamentário.
- *Companhias Mineradoras* - o MDF é desejável desde que não implique pressão de custos. Não existe transparência no uso dos recursos. As autoridades tradicionais não aplicam os recursos em benefício da população. Deveriam ser exigidos relatórios informativos formais e regulares.
- *Setores Institucionais* - os constantes atrasos nos pagamentos afetam o planejamento orçamentário.

As fragilidades apontadas nos atuais arranjos do MDF revelam as profundas diferenças em relação aos modelos dos fundos das regiões ricas, anteriormente apresentados. Essas diferenças se relacionam à ausência de uma gestão democrática do fundo, à falta de transparência no uso dos recursos e aos desvios em relação aos objetivos originais. Como principais fragilidades do MDF, os *stakeholders* destacam (Manu, 2001):

- Pouca visibilidade quanto à contribuição do MDF para o desenvolvimento social e de infra-estrutura nas comunidades de base mineira.

- Uso crescente do fundo para financiar outras atividades distintas daquelas para as quais foi criado.
- Ausência de relatórios adequados e de prestação de contas dos recursos pagos aos beneficiários.
- Passividade das companhias mineradoras quanto ao uso dos fundos.
- Nenhuma conexão com a criação de alternativas de geração de renda local.

Como alternativas para a correção de rota do MDF, foi constituída uma comissão avaliadora propondo que: o fundo deve ter como base uma Lei Parlamentar; os objetivos do fundo devem ser redefinidos dando ênfase à criação de alternativas de renda; deve ser criado um Conselho de Confiança para examinar o uso do fundo; as companhias mineradoras devem exercer um papel pró-ativo no uso do fundo.

No entanto, as principais recomendações estão focadas no papel que as comunidades mineiras devem ter nesse processo: elas devem ser envolvidas em decisões referentes ao seu próprio bem-estar, um assento na mesa irá assegurar que elas participarão do “almoço”, que elas entenderão como e por que o almoço está sendo preparado e, mais do que tudo, que seus líderes não estão escondendo alguma parte do alimento na cozinha (Manu, 2001).

Dessa forma, observamos que muito embora a natureza dos recursos financeiros dos fundos seja a mesma – extração de recursos não-renováveis – quando esse tipo de instrumento é adotado em diferentes contextos socioeconômicos ele gera resultados distintos.

Nas sociedades ricas, o desenho dos fundos foi precedido por um amplo debate democrático com a participação maciça da população, no entanto, a parte operativa do fundo é altamente profissional. No caso de Gana, não houve ampla participação da sociedade, principalmente das comunidades das regiões mineradoras. Há críticas sobre a falta de prestação de contas e de transparência no gasto, o que revela também ausência de operacionalidade técnica. Além disso, nas sociedades ricas, os dividendos dos fundos estão beneficiando a geração presente através de melhorias no bem-estar social (saúde, segurança social e aumento de consumo) e os recursos capitalizados estão, em tese, criando meios para beneficiar as gerações futuras. No caso de Gana, os recursos estão sendo utilizados muito mais para resolver problemas internos ao setor mineral – fomento à atividade de mineração e mitigação de impactos – do que para atender aos requisitos da equidade com as gerações futuras.

Finalmente, é evidente o grande potencial dos fundos no que se refere à possibilidade de gerar um fluxo de rendimento que permita a manutenção do atual nível de bem-estar às futuras gerações. Entretanto, pouco pode ser dito a respeito de sua efetividade, uma vez que ainda não se esgotaram as reservas minerais das regiões estudadas. Muito pelo contrário, com a persistente elevação dos preços dos minerais a partir do ano 2000, es-

ses fundos estão em plena atividade de captação das rendas mineiras. Assim, a criação desses fundos representa um diferencial qualitativo em relação a outras economias de base mineira que não contam com instrumento dessa natureza.

3. COMENTÁRIOS FINAIS

A partir da definição das quatro dimensões e dos critérios intra e intergeracional da proposta de DS, discutimos as certificações ambiental e social e os fundos minerais enquanto instrumentos voluntários e de mercado, com grande potencial para estabelecer a ponte entre mineração e desenvolvimento sustentável.

Quanto ao primeiro critério Silva & Drummond (2005), em estudo de caso sobre o impacto das certificações sociais e ambientais na competitividade das empresas mínero-metálicas no estado do Pará e no desenvolvimento das regiões produtoras, concluíram que as grandes companhias mínero-metálicas do Pará (CVRD, MRN e ALBRÁS) têm um viés muito mais voltado para a dimensão natural do que social ou humana do DS. Todas as empresas estudadas conquistaram as certificações ambientais ISO 14001, mas nem todas publicam Balanço Social ou divulgam os indicadores de Responsabilidade Social propostos pelo Instituto Ethos, muito embora todas exerçam algum tipo de ação social. Os autores sugerem uma forte associação entre desempenho ambiental dessas empresas e ganhos de mercado.

Quanto aos aspectos sociais, os indicadores de educação, de saúde e de renda *per capita* dos municípios-sede apresentaram melhor desempenho que a média dos municípios paraenses. No entanto, a atividade mineral se revelou concentradora de renda e pouco capaz de estender seus benefícios econômicos para o entorno. Até que ponto um programa de certificações sociais pode contribuir para minimizar esse quadro? É possível afirmar que os certificados existentes ainda contemplam ações muito pontuais – como o prêmio Ethos atribuído à ALBRAS pelo seu trabalho com o lixo, dentre outros. Ainda não há um sistema de avaliação social que contabilize os efeitos mais amplos das empresas no entorno.

Contudo, iniciativas nesse sentido já começam a se materializar pelas exigências dos organismos financeiros. No plano internacional, destacam-se as diversas ações do Banco Mundial. No Brasil, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), por exemplo, já impõe cláusulas de responsabilidade social como contrapartida de seus empréstimos¹⁷

A pesquisa também evidenciou a necessidade de se estabelecer os padrões e as metas, bem como os instrumentos, para a promoção do DS na agenda política local. Isso vale-

¹⁷ Por iniciativa da ALBRAS e com financiamento do BNDES, foi decidida a implantação de unidades de reciclagem e compostagem de lixo em Abaetetuba, Igarapé-Miri, Moju e Barcarena, nos moldes da unidade implantada, com recursos próprios da ALBRAS, na Vila dos Cabanos (Balanço Anual, 2001).

ria não apenas para os municípios-sede das empresas, mas principalmente para os municípios do entorno, uma vez que a atividade mineradora atrai migrantes. Isso precisa estar enquadrado em políticas públicas mais amplas que as da mineração.

Silva & Drummond (2005) ressaltam que os indicadores disponíveis ainda não conseguem captar aspectos relevantes para uma análise mais acurada do DS, tais como:

- Distribuição da renda mineral.
- Parcela dos ganhos obtidos que, de fato, retorna para a sociedade local sob a forma de novos investimentos ou de circulação de renda (que pode fomentar outras atividades produtivas).
- Atividades, valores, costumes que desapareceram em função do florescimento da atividade mineral.
- Novas atividades que surgiram por conta da instalação dos empreendimentos minero-metálicos.

Quanto ao segundo critério, para Enríquez (2006), os fundos minerais são importantes instrumentos econômicos que têm a possibilidade de captar a renda mineral e, dessa forma, apresentam o potencial de promover a equidade intergeração na partilha dos benefícios de um recurso não-renovável, além de servir como amortecedor do excesso de liquidez e, dessa forma, evitar os transtornos da *Dutch disease* e *resource curse*. Nesse sentido, sua adoção é recomendável para economias de base mineira.

As experiências dos fundos do Alaska, de Alberta e da Noruega revelam a importância da participação efetiva da sociedade na definição dos objetivos e critérios de partilha e também da necessidade de uma gestão técnica dos recursos. Todavia, os fins para os quais os atuais fundos estão sendo usados são incompatíveis com as necessidades das regiões pobres. Dessa forma, os objetivos, os critérios de repartição dos benefícios e a forma de administração devem ser adequados ao contexto socioeconômico a que o fundo está associado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, Luciana Togeiro (2002), As interações entre comércio e meio ambiente, *In: Braga, Sérgio & Miranda, L. Camargo (orgs), Comércio e Meio Ambiente: uma agenda positiva para o desenvolvimento sustentável*, Brasília, MMA/SDS, p. 27-40.
- Atkinson, Giles *et al* (1997), *Measuring sustainable development – macroeconomics and the environment*, Massachusetts, Edward Elgar Publishing Inc.
- Auty, R & Warhurst, A. (1993). Sustainable Development in Mineral Exporting Economies, *Resources Policy*, march: 14-29.
- Auty, Richard M. (2001), The political state and the management of mineral rents in capital surplus economies, Botswana and Saudi Arabia, *Resources Policy* 27: 77-86.

- Ayree, Benjamin N.A. (2001), Ghana's mining sector: its contributions to the national economy, *Resources Policy* 27: 61-75.
- Bello, Célia Vieira Vitali (2001), *Uma proposta de sistema de gerenciamento empresarial voltado ao desenvolvimento sustentável: a visão integrada, quadro de referência e seus condicionantes e requisitos*, Tese de doutorado em Engenharia, Florianópolis, UFSC.
- Brundtland Report* (1987), World Commission on Environment and Development, "Our Common Future".
- Cowell, Sarah J.; Wehrmeyer, Walter; Argust, Peter W & Robertson, Graham S. (1999), Sustainability and primary extraction industry: theories and practice. *Resources Policy* 25: 277-286.
- Crowson, Philip (1998), Environmental and community issues and the mining industry, *Natural Resources Forum*, V.22, p. 127-130.
- Daniel, Philip (2004), Overview of the Issue, Orgs UNDP, World Bank Energy Sector Management Assistance Programme (ESMAP), *In: Petroleum Revenue Management Workshop*, Washington (DC), World Bank, March.
- Donaire, Denis (1999), *Gestão ambiental na empresa*, São Paulo, Atlas.
- Eggert, Roderick G. (2000), *Sustainable development and the mineral industry*, In: James M. Otto e John Corde (editores), *Sustainable development and the future of mineral investment*, Paris, United Nations Environment Programme.
- Enríquez, Ma. Amélia R. da S. (2006), Equidade intergeracional na partilha dos benefícios dos recursos minerais: a alternativa dos Fundos de Mineração. *In: Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*. Vol. 5: 61-73, disponível em (www.redibec.org/IVO/rev5_05.pdf)
- Faucheux ,Sylvie e Noël, Jean-Fraçois (1995), *Economia dos recursos naturais e do meio ambiente*, Lisboa, Instituto Piaget.
- Guimarães, Roberto P. (1997), *Desenvolvimento sustentável: da retórica à formulação de políticas públicas*. In: Becker, Bertha K. & Miranda, M. (orgs.), *A geografia política do desenvolvimento sustentável*, Rio de Janeiro, Editora da UFRJ.
- Hartwick, J. (1977), Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources, *American Economic Review*, 67: 972-974.
- Hilson, Gavin & Murck, Barbara (2000), Sustainable development in the mining industry: clarifying the corporate perspective, *Resources Policy*, p. 227-238.
- Hilson, Gavin (2000), Sustainable development policies in Canada's mining sector: an overview of government and industry efforts, *Environmental Science & Policy*, 3, p. 201-211.
- Hotelling, H. (1931), The economics of exhaustible resources, *Journal of Political Economy*, V. 39, nº 1:137-175.
- Humphreys, D. (2001), Sustainable development: can the mining industry afford it? *Resources Policy*, 27, p. 1-7.
- Jenkins, Heledd M.& Yakovleva, Natalia (2006), Corporate social responsibility in the mining industry: exploring trends in social and environmental disclosure. *Journal of Cleaner Production*, 14, p. 271-282.
- Karl, Terry Lynn (1997), *Paradox of Plenty: Oil Booms and Petro-States*, California, Univerity Press.

- Kumah, Abraham (2006), Sustainability and gold mining in the developing world. *Journal of Cleaner Production*, 14, p. 315 - 323.
- Lambert, Ian B. (2001), Mining and sustainable development: considerations for the mineral supply, *Natural Resources Forum*, 25: 275-284.
- Lawrence, Linda (1997), *Lead Auditor Course – ISO 14000, Environmental Management Systems*, Canadá, Quality Management Institute.
- Lewis, Stephen (1984), Development problems of the mineral-rich countries. In Syrquin Moshe et alii(eds) *Economic Structure and Performance: Essays in the Honor of Hollis B, Chenery*. Orlando FL, Academic Press,157-177.
- Lustosa, Maria Cecília (2003), Industrialização, meio ambiente, inovação e competitividade, *In: May, Peter; Lustosa, Cecília & Vinha, Valéria da (orgs.), Economia do Meio Ambiente*, Rio de Janeiro, Elsevier, p. 155-172.
- Maimon, Dália (1995), Responsabilidade ambiental das empresas brasileiras: realidade ou discurso?" *In: Cavalcanti, C. (org.), Desenvolvimento e Natureza: Estudos para uma Sociedade Sustentável*, São Paulo, Cortez; Recife, Fundação Joaquim Nabuco, p. 399-416.
- Manu, K Sarpong (2001), The concept and management of a mineral development fund in Ghana, *In: IIED workshop*, London, August-15-17.
- Mikesell, Raymond F. (1994), Sustainable development and mineral resources, *Resources Policy*, 20 (2): 83-86.
- Newbold, Jane (2003), Social consequences of mining and present day solutions – Region II in Chile Highlighted, *Sustainable Development*, 11. p. 84-89.
- Newbold, Jane (2006), Chile's environmental momentum: ISO 14001 and the large-scale mining industry, Case studies from the state and private sector, *Journal of Cleaner Production*, 14, p. 248 - 261.
- Pegg, Scott (2006), Mining and poverty reduction: transforming rhetoric into reality, *Journal of Cleaner Production*, 14, p. 376-387.
- Programa piloto para a proteção das florestas tropicais do Brasil (PPG7), 2003, O PPA 2004-2007 na Amazônia: novas tendências e investimento em infra-estrutura (Relatório da XIX Reunião do Grupo de Assessoria Internacional). Brasil: Brasília.
- Rizzi, Fernanda Basaglia (2002), Balanço social e ação de responsabilidade social das empresas, *In: Vários, Responsabilidade Social das Empresas – a Contribuição das Universidades*, São Paulo, Peirópolis.
- Serafy, Salah El. (1997), Green accounting and economic policy, *Ecological Economics* 21, p. 217-229.
- Serageldim, Ismail (1995), Sustainability and the wealth of nations: first Steps in an ongoing journey, Preliminary draft for discussion, Presented at the *Third Annual World Bank Conference on Environmentally Sustainable Development*, September.
- Shafer, D M (1994), *Winners and losers: how sectors shape the developmental prospects of states*, Cornell University Press, Ithaca, NY.
- Shinya, Wayne M. & Hoskins, Wanda (2003), Mineração - os programas de certificação e a sustentabilidade da indústria, *Brasil Mineral*, Edição Especial "A Mineração e o Meio Ambiente", n. 217 jun., p.38-41.

- Silva, M. Amélia Rodrigues da (2000), Indicadores para avaliação da sustentabilidade ambiental da indústria de transformação do alumínio no Pará, Convênio Unama/Fidesa/Banco da Amazônia (Relatório de Pesquisa).
- Silva, M. Amélia Rodrigues da (1999), Efeitos da gestão ambiental das empresas minero-metalúrgicas da Amazônia Oriental (estado do Pará), *Anais do V Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente*, São Paulo, FEA:USP/ FGV, p. 519-534.
- Smith, Nigel J. H. *et alii* (1995), *Amazônia: resiliency and dyanmism of the land and its people*, New York, United Nations University.
- Solow, Robert (1993), An almost practical step toward sustainability, *Resources Policy*, 19 (3): 162-172.
- Stern, David (1995), The contribution of the mineral sector to sustainability in developing countries, *Ecological Economics*,13: 53-63.
- Tilton, John E. (1996), Exhaustible resources and sustainable development, *Resources Policy*, Vol.22, nº 01/02, p. 91-97.
- Veiga, Marcello M., Scoble, Malcolm, Mcallister, Mary Louise (2001), Mining with communities, *Natural Resources Forum*, 25, p. 191-202.
- Vinha, Valéria da (2003), As empresas e o desenvolvimento sustentável: da eco-eficiência à responsabilidade social corporativa. *In: May, Peter; Lustosa, Cecília & Vinha, Valéria da (orgs), Economia do Meio Ambiente*, Rio de Janeiro, Elsevier, p. 173-196.
- Warhurst, Alyson (1999), Mining & sustainable development, Working Paper nº 177. Mining & Energy Research Network (MERN), UK: Warwick Business Scholl.
- Warhurst, Alyson & Bridge, Gavin (s.d.), Economic liberalisation, innovation, and technology transfer: opportunities for cleaner production in the minerals industry. *Natural Resources Forum*, V.21, p. 1-12.
- World Commission On Environment And Development (1987), *Our Common Future*, Oxford: Oxford University Press.

CONSULTA AOS SITES:

- www.albertaheritagefund.com - Fundo de Alberta
- www.apfc.org - Fundo do Alaska
- www.balancosocial.org.br, consultado em 01/12/2003
- www.ethos.com.br, consultado em 30/11/2003
- www.ibase.org.br, consultado em 30/11/2003
- www.inmetro.gov.br, consultado no dia 30/11/2003
- www.norges-bank.no/english/petroleum-fund - Fundo da Noruega

CAPÍTULO 3

RECICLAGEM DE MATERIAIS: TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS DE UM NOVO SETOR

*Heloísa V. de Medina**

1. INTRODUÇÃO: PRODUÇÃO E USO SUSTENTÁVEL DE MATERIAIS

A mais importante sinalização de tendências dos rumos do desenvolvimento tecnológico e produtivo para esse século é a tomada de consciência de que o padrão de produção e consumo dos recursos naturais não-renováveis, engendrado pelo modelo de industrialização do século passado, não é mais sustentável. Quais produtos provocaram ou acentuaram o nível de degradação atual pouco importa, o que conta é que hoje já se tem noção de que os materiais produzidos a partir de recursos minerais não-renováveis são a base desse modelo.

O aumento da população, aliado ao modelo já insustentável de crescimento econômico intensivo em energia e em materiais, exerceu forte pressão sobre os bens minerais e, conseqüentemente, sobre o equilíbrio ambiental do Planeta. De acordo com Scliar (2004, p.26):

“nos últimos 50 anos a economia mundial praticamente quintuplicou, o consumo de grãos triplicou e o consumo de papel cresceu além de seis vezes. No entanto, ainda, hoje mais de 2,8 bilhões de pessoas sobrevivem com menos de 2 dólares por dia segundo dados publicados pelo PNUD no Sustainable consumption: a global status report, de 2002.”

Segundo dados do DNPM, cerca de 6,5 bilhões de toneladas de minérios foram oficialmente lavrados no mundo, excluindo-se rochas ornamentais e petróleo. Isso tem levado em alguns casos à exaustão das melhores reservas, mais ricas em termos de teor de concentração dos minérios, e o deslocamento da atividade de exploração para jazidas que apresentam teores mais baixos provocando assim maiores impactos ambientais, tanto pela movimentação dos terrenos como pela geração de rejeitos, para a obtenção de igual quantidade de minério comercializável. Segundo Scliar (2004), o cobre é um bom exemplo disso, pois, no início do século XX, o minério de cobre contendo menos de 10% de metal não tinha importância econômica. Atualmente, jazidas de minério com apenas 0,4% de cobre vêm sendo exploradas.

O setor mineral brasileiro é importante não só por ser gerador de divisas, pela exportação de minérios beneficiados, mas também pela grande representatividade da

* D.Sc. Engenharia de Produção da COPPE/UFRJ; Tecnologista-pesquisadora do CETEM – Centro de Tecnologia Mineral

base mineral na economia industrial do país, ou seja, como setor intermediário na produção de matérias-primas para as indústrias metal-mecânica, química, petroquímica, de papel, de embalagens, automobilística, aeronáutica, de construção naval e civil, e produtos agroindustriais, entre outros. Associando-se, por exemplo, alguns dos minerais mais importantes na matriz geológica brasileira aos seus usos tem-se uma visão dessa amplitude, como pode ser visto no Quadro 1.

Quadro 1 - Minerais brasileiros e seus principais usos industriais

Caulim	Papel, cerâmica fina, porcelana, refratários, pigmentos e cargas etc.
Grafita	Fibra de carbono para barcos, trens, motos, aviões, eletrônicos e refratários
Bauxita/alumínio	Aviões, automóveis, embalagens, utensílios domésticos, construção civil
Vermiculita	Placas de freios, isolantes térmicos, construção civil
Ferro/aço	Portos, aeroportos, trens, automóveis, aviões, tratores, máquinas e equipamentos para construção civil
Cobre	Material elétrico, cabos, construção civil, transportes, mecânica fina, equipamentos
Estanho e chumbo	Baterias, cabos, embalagens além de diversos usos na química e metalurgia
Magnesita	Tijolos refratários, tratamento de águas, indústria química
Manganês	Aços especiais de alta resistência, pilhas, antiabrasivos
Titânio	Ligas de aço titânio, indústrias aeronáutica e espacial, protetores solar (cremes) etc.

O movimento de tomada de consciência ambiental, surgido no final do século XX, cunhou um novo paradigma de produção e consumo sustentável de materiais, que deve se tornar um imperativo para o século XXI. Nesse novo paradigma a reciclagem se apresenta como uma solução importante para prolongar a vida dos recursos não-renováveis. Critérios de reciclabilidade passam assim a fazer parte da escolha de materiais para produtos e processos no desenvolvimento de novos projetos industriais. Na esteira da gestão da qualidade, a gestão ambiental passa a ser normatizada e se torna fator de competitividade. Assim, a reciclagem passa a fazer parte da gestão ambiental da produção, como destino final mais correto a ser dado aos resíduos industriais, assim como aos componentes e produtos em fim de vida.

A reciclagem de produtos em fim de vida, pós-consumo, é, contudo, uma atividade complexa em termos técnicos e econômico-sociais além de nem sempre ser uma solução sem riscos ambientais, apesar de ser altamente difundida dentre as propostas de desenvolvimento sustentável. A reciclagem e o desenvolvimento sustentável têm em comum o fato de ambos exigirem não apenas mudanças tecnológicas, mas, sobretudo,

mudanças de atitudes, tanto políticas como culturais. A associação desses dois termos pressupõe mudanças radicais que vão constituir os alicerces da construção de um novo paradigma sócio-técnico e econômico em que um mercado de produtos duráveis e recicláveis ocupará o lugar do atual mercado de consumo em massa de produtos descartáveis.

Como bens intermediários entre a indústria extrativa e de transformação industrial, os materiais são parte de um segmento transversal com impactos a montante e a jusante de sua cadeia produtiva afetando todos os demais setores. Por exemplo, a reciclabilidade de um produto é função direta da reciclabilidade dos materiais que o compõem e é afetada, em alguma medida, pelos tratamentos de superfície e pelos processos de produção de componentes e de montagem final do produto. Tendo em conta que o desenvolvimento tecnológico dos materiais e de seus processos de transformação e tratamento se dá de forma contínua, pode-se considerar que a reciclabilidade faz parte de um universo em formação, cuja sustentabilidade precisa ser permanentemente buscada e renovada. Assim, a reciclagem, como um novo setor de atividade econômica, é portadora das maiores esperanças de se ter um modelo de desenvolvimento competitivo e ao mesmo tempo sustentável em âmbito mundial. É certo que não existe solução única para todos os problemas ambientais, mas a reciclagem, mesmo sem operar milagres, é a alternativa mais viável a curto e médio prazos. A taxa de reciclabilidade já vem sendo amplamente utilizada na seleção de materiais em novos projetos de produtos na Europa, por força da legislação ambiental européia, sobre eco-concepção e reciclagem de embalagens, veículos e equipamentos elétricos e eletrônicos. A maior reciclabilidade dos produtos atualmente é resultado de:

- Um novo padrão de competitividade tecnológica que inclui inovações ambientais.
- Uma seleção de materiais direcionada por essa tendência global e irreversível.
- Um forte desenvolvimento de materiais de menor impacto ambiental, ou ecomateriais.
- Novos métodos de desenvolvimento de projetos: Eco-design, DFR – *Design for Recycling*, DFE – *Design for Environment*.
- Tecnologias limpas para produção, tratamento e reciclagem de materiais.

A pesquisa de soluções de engenharia de menor impacto ambiental tornou-se um elemento importante na competitividade de setores tão diversos como embalagens, eletroeletrônicos e automóveis. Pode-se dizer ainda que a tomada de consciência ambiental em âmbito mundial tornou os materiais mais visíveis para os consumidores. Hoje todos querem saber do que é feito o produto que estão consumindo, pelo menos para se assegurarem de que ele não faz mal a sua saúde. Nesse contexto, os produtos verdes, feitos de materiais verdes e/ou através de processos verdes, já criaram seu mercado, dito ecológico ou biológico. Esse mercado, que surgiu nos anos 70 como alternativo e de pro-

dução em pequena escala, se expande e assume dimensões globais. Alimentos biológicos, carros elétricos, a álcool ou a biodiesel, embalagens recicláveis são exemplos de uma longa lista que cresce a cada dia.

Essa tomada de consciência fez também evoluir a regulamentação ambiental que vem forçando as empresas a considerarem as questões ambientais nas suas atividades em nome da responsabilidade social. Assim, a produção industrial começa a ser administrada não só em termos técnicos e econômicos mas também ambientais. Inaugura-se a era da "produção limpa", na qual a gestão ambiental está ligada à gestão da qualidade, na medida em que todo desperdício (resíduo) é visto como custo da não qualidade.

Mas a maior vantagem da reciclagem é permitir fechar o ciclo de vida dos materiais fazendo-os retornar a novos produtos como matéria-prima secundária, com grande economia de energia e de recursos naturais primários. O desafio maior é acompanhar a evolução dos materiais para melhor gerenciar seus ciclos de vida. Por outro lado, é necessário haver um desenvolvimento articulado das técnicas e processos de tratamento de resíduos, separação e reciclagem de produtos em fim de vida. Uma gestão sustentável dos materiais envolveria, assim, uma intervenção no ciclo de vida dos materiais, tal como ele se apresenta hoje, para buscar em cada etapa eliminar perdas, rejeitos, emissões etc, no sentido de uma produção sem retornos ao meio ambiente. O ideal seria produzir em um sistema fechado com reciclagem ao longo de todo o ciclo. O fluxo fechado de materiais funcionaria como na Figura 1, no qual a extração de matérias-primas primárias só ocorreria em função de um aumento do nível geral de produção, pelo crescimento do mercado mundial.

Repensar o ciclo de vida dos materiais e reconcebê-lo em bases mais sustentáveis não é, contudo, tarefa simples nem evidente. Requer conhecimentos e informações múltiplos nem sempre disponíveis e que devem ser buscados caso a caso para cada projeto ou re-projeto de produto no qual se deseja intervir. Isto significa que uma gestão sustentável da produção de materiais requer um amplo sistema de informações em todos os níveis de produção e consumo, a saber: das técnicas de extração e beneficiamento de minérios, dos processos de transformação metalúrgica e química para produção de materiais, da produção de peças e componentes, da montagem de produtos, reciclagem ou descarte final, incluindo, em todas as fases, o consumo de energia e de materiais, os custos de transporte e armazenamento (Medina, 2005).

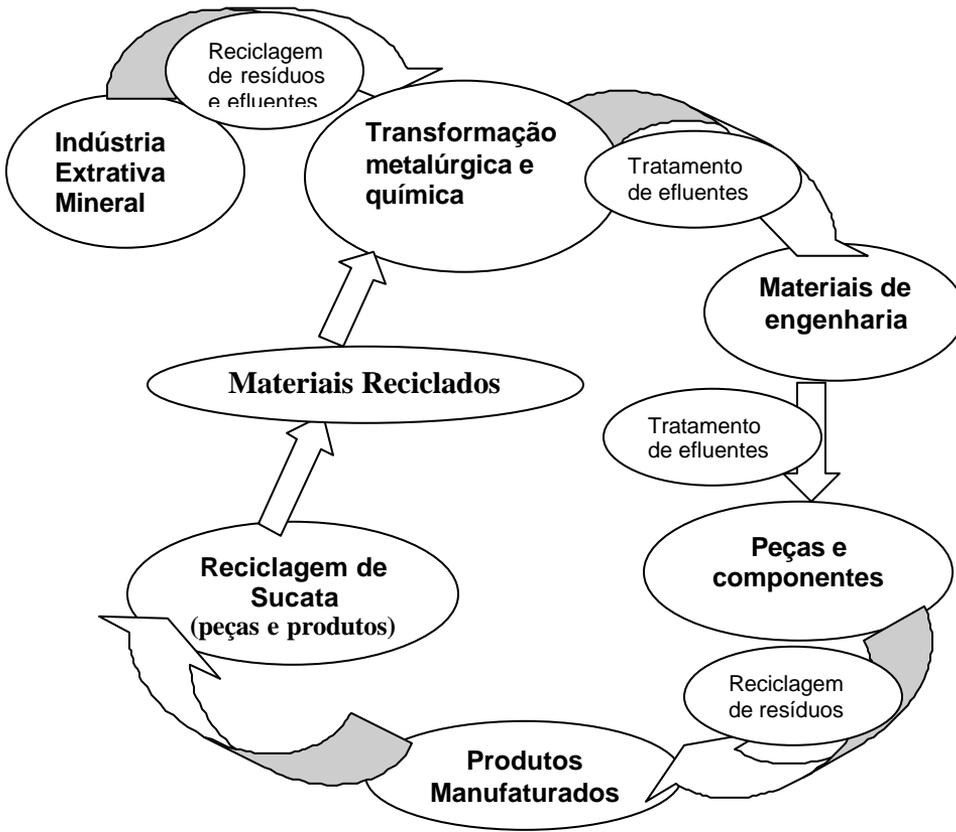


Figura 1 - Fechando o ciclo dos materiais pela reciclagem

2. O CENÁRIO ATUAL DA RECICLAGEM

De uma maneira geral pode-se dizer que a reciclagem é uma atividade tão antiga quanto a própria metalurgia. Na Idade Média, por exemplo, as armaduras e armas dos vencidos eram recicladas pelos vencedores por razões econômicas. Mas a noção de economizar os recursos naturais do Planeta só surgiu no último quartel do século XX. E, em menos de 20 anos, passou a ser uma atividade industrial com vantagens econômicas, ambientais e sociais.

Atualmente a reciclagem é importante para economizar o planeta, gerar empregos e renda e melhorar a qualidade dos processos industriais. Ela é uma atividade em franca expansão em todo o mundo e, como tal, vem sendo bastante supervisionada, em termos técnicos, e regulamentada, em termos ambientais, até mais do que as empresas de ramos tradicionais da produção de matérias-primas, como a siderurgia, a metalurgia e a petroquímica. O mercado de reciclados, ou matérias-primas secundárias, sofre a pressão

da concorrência dos preços das matérias-primas primárias. Esse mercado precisa então se organizar para garantir um material competitivo em qualidade e preço.

2.1 Regulamentação ambiental e reciclagem

A partir dos anos 90, programas de gestão ambiental mais amplos vêm sendo estabelecidos pelas grandes empresas nos moldes dos programas de gestão da qualidade dos anos 80, incorporando desde a adoção de tecnologias limpas até políticas de reciclagem. Assim, normas e padrões para certificação ambiental (ISO 14000) vieram a se somar aos de certificação de qualidade (ISO 9000) como parte de um processo de normalização e regulamentação ambiental tornando indústrias, produtos e processos cada vez mais controlados em termos de exigências técnicas e em termos de mercado (Medina, 2006-A).

Atualmente, na Europa, três setores estão particularmente visados por essa regulamentação: embalagens, automóveis e produtos eletroeletrônicos. A existência de diretivas europeias (instrumentos legais e normativos da Comissão Europeia aprovados pelo Parlamento Europeu) para esses setores levou-os a adotar e desenvolver abordagens ambientais como ACV - Análise do Ciclo de Vida, para avaliar os impactos ambientais de seus produtos. O exemplo do automóvel é particularmente ilustrativo dessa situação. A Diretiva 2000/53/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 18 de setembro de 2000, relativa aos veículos em fim de vida, responsabiliza as montadoras pelo ciclo de vida, da montagem à reciclagem dos veículos, e fixa em 95% a taxa de reciclabilidade (incluindo a reutilização e a recuperação energética) até 2015. Seus objetivos estão resumidos em seu artigo 1º como se segue:

“Objectivos: A presente directiva estabelece medidas que têm como primeira prioridade a prevenção da formação de resíduos provenientes de veículos e, além disso, a reutilização, reciclagem e outras formas de valorização dos veículos em fim de vida e seus componentes, de forma a reduzir a quantidade de resíduos a eliminar, bem como a melhoria do desempenho ambiental de todos os operadores económicos intervenientes durante o ciclo de vida dos veículos e, sobretudo, dos operadores directamente envolvidos no tratamento de veículos em fim de vida.”

No artigo 4º a diretiva adota o princípio da prevenção estabelecendo que os produtores de materiais e equipamentos devem reduzir e controlar o uso de substâncias tóxicas, cuja substituição progressiva é objeto de anexo específico, com avaliações e revisões bienais, considerando-se o estado da arte das tecnologias necessárias para essa substituição. O artigo 4º, em seu parágrafo 1º, alíneas a, b e c, diz textualmente:

“§1º Com o objectivo de promover a prevenção dos resíduos, os Estados-Membros devem, nomeadamente, dar incentivos para que:

- a) *Os fabricantes de veículos, em colaboração com os fabricantes de materiais e equipamentos, controlem a utilização de substâncias perigosas nos veículos e reduzam o seu uso, tanto quanto possível, a partir da fase de projecto dos veículos, em especial a fim de evitar a libertação dessas substâncias para o ambiente, facilitar a reciclagem e evitar a necessidade de eliminar resíduos perigosos;*
- b) *Nas fases de projecto e produção de veículos novos sejam tomados plenamente em consideração e facilitados o desmantelamento, a reutilização e a valorização, especialmente a reciclagem, dos veículos em fim de vida, bem como dos seus componentes e materiais;*
- c) *Os fabricantes de veículos, em colaboração com os fabricantes de materiais e equipamentos, integrem uma quantidade crescente de material reciclado em veículos e outros produtos, a fim de desenvolver os mercados de materiais reciclados”.*

Assim, essa legislação europeia trata dos impactos ambientais dos veículos desde sua origem primeira, ou seja, seus materiais constituintes, e indica como solução seu tratamento precoce na fase do projeto do produto (eco-concepção), da seleção dos materiais e dos processos de produção e tratamento desses. Nesse sentido pode-se dizer que a atuação normativa e reguladora da União Europeia (EU) está tendo um papel difusor nessa tendência, comparável ao que ocorreu na Califórnia nos anos 60/70.

Ao lado desta há outras, como as Diretivas sobre Embalagens (14 de dezembro de 1994) e sobre Descarte de componentes e produtos eletroeletrônicos (2002/96/CE e 2004/249/CE), só para citar alguns exemplos em que a ACV e o eco-design têm sido instrumentos de políticas e estratégias ambientais públicas e privadas. Nesse sentido, a Comissão Europeia tem estimulado e mesmo induzido o uso desses instrumentos pela indústria europeia, como fica evidente no Livro Verde da Política Integrada dos Produtos (Medina, 2005) para criar um mercado para os materiais reciclados.

É importante esclarecer aqui a diferença entre reciclável e reciclado. Reciclável é o material que tem aptidão, ou condição técnica, para ser reciclado. Essa propriedade do material pode ser expressa através de uma taxa ou grau de reciclabilidade dos produtos dos quais eles participam. Assim os automóveis de hoje foram concebidos para serem 95% recicláveis mas só são efetivamente reciclados em média 75%.

De acordo com os padrões ambientais de rotulagem dos produtos, a ISO 14021 define um material reciclado como sendo aquele que foi produzido a partir de um resíduo. No Brasil, segundo a Portaria CONAMA 15/96, de 23 de janeiro de 1996, a reciclagem é definida como reprocessamento dos resíduos num processo de produção para o fim original ou para outros fins. Os resíduos podem ser líquidos (efluentes) ou sólidos. Os resí-

duos sólidos são classificados no Brasil segundo a NBR 10004 - Classificação de Resíduos Sólidos, que segue o critério de riscos potenciais ao meio ambiente em três níveis:

- Resíduos Classe I - resíduos perigosos com uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, toxicidade, reatividade e que representam risco à saúde pública e ao meio ambiente, *i.e.* baterias, produtos químicos, lâmpadas fluorescentes.
- Resíduos Classe II - não inertes (inclusive os biodegradáveis, solúveis etc como lixo orgânico e papel).
- Resíduos Classe III - inertes como tijolos, vidros, plásticos, compósitos e borrachas, embalagens plásticas, que não se decompõem a curto prazo.

Em termos industriais, reciclagem é o processo de produção de matérias-primas secundárias a partir de rejeitos industriais (resíduos) e de produtos em fim de vida (sucata) para reintroduzi-los no processo produtivo. A sucata é todo resíduo sólido reaproveitável via reciclagem que pode ter origem pós-industrial ou pós-consumo:

- Sucata Pós-industrial é formada por rejeitos – resíduos ou refugos - da produção de bens intermediários: metalúrgicos, siderúrgicos, petroquímicos (plásticos), e peças e componentes e produtos manufaturados rejeitados pelo controle de qualidade.
- Sucata Pós-consumo é formada por produtos em fim de vida, desmontados ou não, como peças e carcaças de automóveis, geladeiras, fogões, e eletroeletrônicos em geral.

Uma vez que os materiais são a base constitutiva de todos os produtos industriais, sua seleção nos projetos desses produtos irá condicionar o nível dos impactos ambientais destes ao longo de todo seu ciclo de vida. Os materiais emprestam suas funções e características aos produtos que podem ser classificados segundo seus materiais constitutivos em: recicláveis, biodegradáveis, verdes etc. Estas e outras denominações formam a grande categoria dos produtos ditos ecológicos, ou seja, aqueles que utilizam ecomateriais em sua composição ou processo de fabricação, e que, como veremos mais adiante, são materiais especialmente desenvolvidos para substituir os atuais com vantagens ecológicas diversas e marcantes (Medina, 2005).

2.2 O Mercado da reciclagem no Brasil

Segundo a revista Conjuntura Econômica de setembro de 2005:

“Os números da reciclagem no Brasil são significativos: só em latas de alumínio, o segmento movimentou R\$ 1,4 bilhão no ano passado, com a reciclagem de 121,3 toneladas ou 9,3 bilhões de unidades (Tetracampeão mundial com 95,7% em 2004). Cerca de 160 mil pessoas sobrevivem da coleta de latinhas. No setor de plástico, as quase 500 empresas recicladoras faturam mais de R\$1 bilhão por ano, dezenas de milhares de pessoas estão envolvidas na atividade e foram

recicladas mais de 700 mil toneladas de todo tipo de plástico, em 2003, segundo pesquisa realizada pela Plastivida – Instituto Sócio Ambiental dos Plásticos - em 2004. Já na indústria de celulose e papel, estima-se, por baixo, que existam 20 mil catadores de restos de papel, que permitiram, no ano passado, a reciclagem de 3,4 milhões de toneladas.”

O reconhecimento de que a reciclagem de sucata já assume importância nacional está no fato de que ela já faz parte da Classificação Nacional das Atividades Econômicas – CNAE utilizada pelas estatísticas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE desde 2003, como o 37º ramo da atividade industrial. A Pesquisa Industrial Anual – PIA Empresas 2003-2004, registrou a existência de 491 empresas exclusivamente dedicadas à reciclagem em 2003 com 540 unidades locais¹. Esses números cresceram cerca de 24% em um ano, enquanto o total de empresas industriais, considerando-se todos os setores, cresceu apenas 4%. Assim, com 613 empresas e 652 unidades locais, em 2004, o setor de reciclagem apresentou um dinamismo tal que justificou seu detalhamento, por grupo de atividade, a saber: reciclagem de sucatas metálicas (108 empresas) e reciclagem de sucatas não-metálicas (505 empresas). O total do pessoal ocupado nos dois grupos chega quase a 15 mil pessoas das quais cerca de 70% estão no grupo das sucatas não-metálicas. Esse primeiro levantamento oficial do setor realizado pelo IBGE mostra ainda uma grande concentração dessa atividade na região sudeste. Contudo, diante do grande dinamismo do setor, essa situação pode sofrer alterações em menor período de tempo do que são atualizadas as pesquisas do IBGE. A Tabela 1 mostra a distribuição das recicladoras por região, no país em 2004.

Tabela 1 - Número de recicladoras por grupo de atividade, região e estados em 2004

Regiões	Sucatas Metálicas	Sucatas Não-Metálicas	Total
TOTAL			652
Norte			11
Centro-Oeste	-	-	33
Nordeste			60
Sul	36	199	235
Sudeste	75	225	311

Fonte: IBGE, PIA – Empresas 2004.

A distribuição regional das recicladoras, constante da Tabela 2, revela uma maior concentração na região Sudeste, seguida do Sul e do Nordeste que juntos detinham quase 93% dos estabelecimentos existentes em 2004. Contudo, comparando-se a distribuição regional da população brasileira com a dos estabelecimentos de reciclagem fica evidente que a maior força dessa atividade se encontra na região Sul, com 36% das recicladoras para menos de 15% da população do país. Com menor força relativa está o

¹ Estabelecimentos industriais com endereços distintos mesmo que pertencentes à mesma empresa.

Nordeste com quase 30% da população e menos de 10% das empresas de reciclagem. A região Sudeste apesar de ser a mais importante do país em termos econômicos mantém-se em torno da média de participação populacional com 47% dos estabelecimentos e 42% da população.

Tabela 2 - Distribuição percentual dos estabelecimentos de reciclagem e da população brasileira por região

Regiões	% Empresas (A)	% População (B)	Grau de reciclagem A? = ? B
Norte	2,0	7,7	Fraco
Centro-Oeste	5,1	6,9	Médio
Nordeste	9,2	28,0	Fraco
Sul	36,0	14,8	Forte
Sudeste	47,7	42,6	Médio

Fonte: IBGE, PIA – Empresas 2004 e PNAD 2003.

Assim, quanto à intensidade da reciclagem, pode-se classificar as regiões segundo o peso relativo desta atividade em função da população. Propõe-se aqui distinguir três níveis:

- Fraco: quando o percentual de recicladoras na região for muito menor do que a percentual de população na região em relação ao total do país ($A < B$)
- Médio: quando o percentual de recicladoras estiver próximo ao da população ($A = B$)
- Forte: quando o percentual de recicladoras for muito maior que o da população ($A > B$)

O perfil forte da reciclagem no Sul do país pode ser explicado pelo pioneirismo da região em termos de política ambiental. Nos anos 80, Curitiba foi a primeira cidade brasileira a implantar um programa de coleta seletiva e reciclagem denominado *Lixo que não é Lixo*. Em renovadas campanhas anuais, vem desde então educando a população para separar os materiais a serem descartados. Isso resultou em uma mudança cultural em favor da reciclagem e do reaproveitamento de materiais. Segundo a Prefeitura, Curitiba é hoje a cidade brasileira com um dos mais altos índices de separação (20% do que é gerado vai para a reciclagem e estima-se que o aproveitamento máximo esteja em torno dos 38% do lixo total). Essa iniciativa foi seguida no início dos anos 90 por diversos municípios da região Sudeste, que, pelo seu peso econômico, assumiu nos anos 2000 a liderança em termos de volume de produção. Em 2004 foram recicladas cerca de 27,7 toneladas a um valor de transformação industrial de quase R\$ 302 milhões (IBGE - PIA

Empresa e PIA Produto), já representando 1% do valor da transformação industrial total de 37 setores de atividade da CNAE.

Outra característica que se pode depreender das informações do IBGE é a predominância da reciclagem de sucata não-ferrosa, em termos de número de estabelecimentos. Isso pode ser explicado, em parte, pela classificação assumida pela pesquisa, que classifica as empresas e suas unidades locais (estabelecimentos) segundo a natureza de sua atividade principal. Portanto, empresas dos segmentos siderúrgicos e metalúrgicos, mesmo que parte de sua produção seja realizada através de sucata metálica, não são consideradas recicladoras, no sentido estrito do termo.

Por outro lado, não se pode deixar de reconhecer que os avanços tecnológicos na reciclagem de plásticos foram importantes, tanto nacional como internacionalmente, e que tiveram reflexo direto no aumento da comercialização desse tipo de sucata. O dinamismo desse segmento tem sido tão expressivo que em 2004, ano base 2003, foi realizada uma pesquisa intitulada *Elaboração e Monitoramento dos Índices de Reciclagem Mecânica dos Plásticos no Brasil – IRMP*, com abrangência nacional e metodologia do IBGE (www.plativida.org.br).

Para o cálculo do IRMP foram pesquisadas 492 empresas (Tabela 3), cujos dados de produção foram consolidados por região e cruzados com a geração total de plásticos em cada região, totalizando ambos os resultados para o país. O fato de a pesquisa do IRMP ter registrado um número mais elevado de recicladoras de plásticos do que toda a categoria de reciclagem de sucata não-metálica da PIA-Empresas 2004 deve-se ao fato de que o IBGE, como já foi dito, classifica como recicladoras as empresas que se dedicam à transformação industrial de sucata como atividade principal, enquanto a IRMP considera também as empresas verticalizadas que se dedicam à triagem e comercialização de sucata.

Segundo os resultados dessa pesquisa o índice de reciclagem mecânica de plásticos no Brasil é de 16,5%, só perdendo para a Alemanha e para Áustria. Mas, como ressalta a análise feita pela Plativida, com uma estrutura adequada de coleta seletiva, esse índice poderá ser ampliado em 26,4%, o que colocaria o país em primeiro lugar, superando os índices atuais da Alemanha e a da Áustria, hoje com 31,1% e 19,1%, respectivamente. Na distribuição relativa desse índice em termo regional destaca-se em primeiro lugar a região Sul com região sul com 26,2%, bem acima da média nacional, seguida da Sudeste com 19,2%. Contudo, em termos absolutos, o primeiro lugar na reciclagem de plásticos pós-consumo é da região Sudeste, com 58% do volume total de plásticos reciclados, seguida pela região Sul, com 25%, e pela região Nordeste, com 14,5% (Tabela 3).

Tabela 3 - Índice de reciclagem mecânica de plástico pós-consumo

Tipo de Resíduo Plástico	Tonelada/ano					
	Centro-Oeste	Norte	Nordeste	Sul	Sudeste	Brasil
PET	0,0	0,0	27,3	62,7	47,2	39,3
PEAD	15,1	0,0	12,9	24,0	18,2	16,6
PVC	0,0	0,0	21,3	28,8	14,7	16,5
PEBD/ PELBD	9,0	0,0	4,3	25,4	15,4	13,2
PP	4,9	0,0	6,7	6,8	10,7	8,2
PS	0,0	0,0	0,0	13,1	5,4	4,7
Outros tipos	0,0	0,0	0,0	7,8	5,5	4,0
TOTAL	6,2	0,0	10,7	26,2	19,4	16,5

Fonte: Extraída de www.plastivida.org.br/reciclagem/pes_mercado.htm em 31/08/2006

O dinamismo do segmento de plásticos está também refletido na PIA-Produto 2004 do IBGE em que ele é o único material destacado entre reciclagem de sucata metálica e de sucata não-metálica. O item “granulação e recuperação de plástico” consta da classificação da PIA de produto, denominada *Prod-list* composta de cerca de 4000 itens, elaborada a partir da Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM) e ordenada por classe da CNAE de predominância de origem do produto, identificada pelo código de oito dígitos: 37.20.90.20, em que: 37 corresponde ao ramo reciclagem, 20 ao subgrupo sucata não-metálica e 90 à atividade serviço de reciclagem de sucata não-metálica. Os plásticos isoladamente representaram 13% do segmento de não-metálicos que, por sua vez, representou 56% do total das informações do ramo reciclagem como um todo.

Quanto à origem da sucata para reciclagem, três tipos de produtos são especialmente volumosos: as embalagens, os produtos elétricos e eletrônicos e os veículos. Dentre esses a reciclagem de embalagens foi o primeiro grande impulso e pode ser ampliada pela coleta seletiva, como também os pequenos eletrodomésticos. Já a linha de eletroeletrônicos de uso doméstico, comercial ou industrial requerer organização logística e de coleta especiais. Assim, a melhor perspectiva de crescimento para a reciclagem como um setor econômico está nos veículos em fim de vida que já vem sendo organizado em nível mundial e mesmo no Brasil. Mesmo assim ainda há problemas de qualidade no material reciclado que impedem seu retorno às mesmas funções, o que é uma das mais fortes tendências internacionais do setor. Ultrapassar esse *gap* de qualidade requer grande esforço de P&D, coordenação entre universidades, centros de pesquisa e empresas além de uma organização logística adequada. Gestão integrada da cadeia produtiva e forte

incentivo à pesquisa tecnológica, com investimentos em infra-estrutura laboratorial, são, portanto, indispensáveis para uma reciclagem de qualidade técnica e ambiental.

A reciclagem de veículos e de autopeças, por exemplo, é essencialmente uma atividade transversal e que se realiza tanto interna como externamente ao setor automotivo. Na verdade é preciso construir uma nova cadeia baseada numa logística reversa da qual devem participar montadoras e fornecedores de autopeças e materiais, assim como empresas de outros setores, potenciais consumidores dos materiais reciclados. Além disso, devem estar presentes nessa rede associações de classe, organizações patronais, agências governamentais e centros de pesquisa e universidades. O papel do governo, através de políticas públicas, tecnológicas, ambientais e industriais e de seu poder de regulamentação, é o de mediar e conciliar os diversos interesses e visões distintas em prol da organização do setor de reciclagem em bases econômicas, técnicas e ambientais sustentáveis. Na prática, verifiquei essa diversidade, em visitas e entrevistas com agentes envolvidos na cadeia da reciclagem no Brasil.

Na opinião de proprietários de recicladoras, por exemplo, os principais entraves ao crescimento da atividade de reciclagem no Brasil são:

Entraves ao mercado de materiais reciclados	
1	Falta de logística reversa entre os geradores de resíduos e sucatas e os recicladores.
2	Falta de incentivo para o mercado de materiais reciclados.
3	Sistema tributário anacrônico com carga tributária excessiva indiferenciada incidindo sobre o material virgem, sobre a sucata e sobre o material reciclado.
4	Legislação e normatização insuficientes ou inadequadas.
5	Falta de financiamento acessível para as pequenas e médias empresas de reciclagem.

Além disso, também foram identificadas lacunas no nível tecnológico e industrial, através da discussão com especialistas de diversos ramos industriais, professores e pesquisadores. Em um balanço dessas discussões realizadas ao longo dos últimos três anos foram apontados como entraves mais importantes ao pleno desenvolvimento de uma reciclagem industrial de bom nível de qualidade técnica e ambiental:

Entraves atuais ao desenvolvimento da reciclagem industrial	
1.	Falta de incentivo a P&D em tecnologias limpas para reciclagem.
2.	Falta de incentivo a P&D em materiais de menor impacto ambiental os chamados ecomateriais: livre de substâncias tóxicas, mais recicláveis ou biodegradáveis.
3.	Faltam laboratórios de controle de qualidade e desenvolvimento de processos certificados para atuar em prestação de serviços tecnológicos junto à indústria de reciclagem e materiais.
4.	Falta de alternativas tecnológicas com viabilidade industrial e econômica para processos de produção e tratamento de materiais metálicos ou compósitos de menor impacto ambiental.
5.	Falta de estudos e pesquisas em novos processos de montagem de peças, sistemas e componentes de produtos manufaturados, substituindo contaminantes e técnicas de junção que dificultem a desmontagem.

Finalmente, com base na experiência de cinco anos de estudos sobre o tema no Brasil e na Europa, pode-se apontar alguns pontos positivos da situação da reciclagem no mercado brasileiro.

Pontos positivos	
1	As regulamentações do conama.
2	A criação da Bolsa de Resíduos.
3	Editais para tecnologias sociais, como o do CNPq Catadores.
4	Iniciativas das Federações de Indústrias em Gestão Ambiental FIRJAN.
5	Coleta Seletiva e programas de reciclagem de Prefeituras.
6	O Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis.
7	A atuação de organizações não-governamentais (Plastivida, CEMPRE, etc).
8	Estratégia Ambiental de Grandes Empresas para certificação ISO 14000.
9	91 projetos de lei tramitando na Câmara Federal nos últimos 10 anos tratando de reciclagem, interdição de substâncias tóxicas e tratamento de resíduos.

3. RECUPERAÇÃO DE MATERIAIS EM PRODUTOS EM FIM DE VIDA (PFV)

A reciclagem de produtos em fim de vida nos países desenvolvidos está hoje no centro das atenções da gestão ambiental, e o que mais preocupa governos nacionais, instituições transnacionais ou organizações não-governamentais é a entrada de países emergentes, como Brasil, Rússia, Índia e China (o chamado BRIC) no mercado de produção e consumo em massa de veículos, eletroeletrônicos, enfim, os chamados, em economia, bens de consumo duráveis. Esses produtos em seu conjunto consomem um enorme volume de matérias-primas que, se não forem devidamente recicladas, podem antecipar o fim já anunciado de muitas das reservas minerais mundiais. Em resumo como se diz frequentemente na Europa, “as minas do século XXI serão os produtos em fim de vida”.

3.1 Eco-concepção e seleção de materiais²

Em resposta a esse desafio de tornar sustentável ambientalmente a produção de bens industriais em larga escala surge o *eco-design* ou eco-concepção como uma nova forma de projetar globalmente produtos, ou seja, pensando não apenas na sua produção venda e consumo mas também nos seus antecedentes materiais (se são renováveis ou recicláveis) e nos seus conseqüentes impactos sobre o ambiente ao fim de sua vida útil. Essa prática começou na década de 1990, como resultado da pressão legislativa e normativa em relação ao meio ambiente.

Na Europa essa nova forma de projetar tem permitido às empresas atender às exigências da legislação ambiental e até mesmo antecipar-se a elas. Segundo Jounot (2004, p. 81):

“A eco-concepção se caracteriza por uma visão global: é uma abordagem multi-critério (água, solo, ruído, rejeitos e resíduos, matérias-primas e energia) e multietapas (Design, seleção de materiais e de processos, projeto de engenharia, detalhamento do produto, dos equipamentos e técnicas de produção, projeto industrial). Ela ainda leva em conta todas as fases do ciclo de vida do produto: desde a extração de matéria-prima até o tratamento de produtos em fim de vida (...) as expectativas dos consumidores, a viabilidade técnica, os custos, a qualidade, e os prazos”.

Na prática, a eco-concepção está baseada no conceito de ecoeficiência, que vem sendo adotado por empresas do mundo inteiro, no intuito de mostrar que seus sistemas de produção, produtos e serviços têm performances econômica e ambiental corretas. Nesse sentido, a empresa minimiza o consumo de matérias-primas primárias, substituindo-as por matérias-primas secundárias; concentra esforços em pesquisas para diminuir a toxicidade dos componentes de seus produtos e aumentar sua vida útil, além de buscar reduzir seu consumo industrial de energia elétrica. Ela pode se aplicar tanto ao projeto de

² Extraído de Medina (2006-A).

produtos como à pesquisa e desenvolvimento de novos materiais com menor impacto ambiental ou os já chamados ecomateriais.

Eco-concepção, ou eco-design, define-se como uma abordagem global, multicritérios e multietapas, dos impactos ambientais de um produto. Multicritérios por se basear na ACV, que pressupõe um inventário amplo das condições de utilização de matérias-primas, energia, água, ar, solo e dos rejeitos e perdas produzidos em cada etapa. Multietapas por considerar todas as etapas da vida de um produto, da extração de matérias primas ao tratamento dos componentes e do próprio produto em fim de vida. Segundo Graedel (1998), *apud* Medina (2005), todo produto tem cinco grandes fases:

- Extração mineral e produção de materiais.
- Tratamento de materiais e fabricação de peças.
- Embalagem, distribuição e vendas.
- Uso ou consumo.
- Descarte ou reciclagem.

Estes estágios englobam todo o ciclo de vida de um produto da pré-manufatura (produção de matérias-primas) à remanufatura (reciclagem) (Medina, 2005).

Manzini e Vezzoli (2002) consideram a fase de extração mineral e produção de materiais como pré-produção em que são consumidas energias e matérias-primas que determinam os níveis de emissões nesta fase e nas posteriores, assim como várias formas de impacto ambiental e efeitos diversos sobre a saúde humana e o ecossistema. Além disso, eles dizem que o peso do impacto ambiental de um determinado produto ou de um material pode mudar segundo o contexto de sua produção e consumo.

Contudo, os autores destacam que há alguns materiais que, independente do seu uso e proveniência, constituem um verdadeiro perigo ambiental. O uso de tais materiais normalmente é proibido por lei. O exemplo dado é o do amianto material cujos riscos podem se manifestar em todo o seu ciclo de vida, segundo já foi mundialmente verificado. Devido a sua facilidade de extração e beneficiamento, é um material muito econômico e, por isso, foi usado em mais de 3.000 produtos a partir da II Guerra Mundial. Desde 1999 intervenções legislativas em mais de 80 países proibiram o amianto. No Brasil ele foi banido do estado de São Paulo e em âmbito federal há um projeto de lei n° 10/2003 atualmente na Comissão de Seguridade Social e Família (CSSF).

Enfim, a substituição de substâncias tóxicas faz parte de um cenário que torna a seleção de materiais durante o projeto cada vez mais complexa e exige competências múltiplas. É um cenário de hiperescolha no sentido de que o leque de opções é cada vez maior. Para uma mesma peça ou função pode-se utilizar materiais tão diferentes como polímeros, metais, cerâmicas ou compósitos, que conjugam dois ou mais desses, com características químicas, físicas ou mecânicas idênticas. Uma primeira seleção tem que ser feita

na fase inicial do projeto, quando apenas o design em termos de forma do produto está concluído, e deve se estender pelas demais fases sendo validada a cada passo para aprovação final na fase de industrialização do projeto.

3.2 Desenvolvimento de ecomateriais³

Segundo Halada e Yamamoto (2001), o conceito de ecomateriais foi proposto no Japão antes da II Conferência Mundial do Meio Ambiente no Rio de Janeiro, em 1992 - World Summit Rio 92. Ele nasceu de uma série de discussões entre cientistas e engenheiros especialistas em materiais dentro de uma visão “holística” dos materiais, no sentido de enfatizar seus aspectos positivos em relação ao meio ambiente. Essa visão valoriza os últimos desenvolvimentos a favor do meio ambiente. Propõe-se que esses materiais, ditos avançados, novos ou melhorados, sejam reconhecidos por sua contribuição à manutenção ou recuperação do equilíbrio ecológico do planeta. Os mesmos autores assinalam que essa contribuição se dá em quatro principais vertentes:

- Materiais para a proteção do meio ambiente, por exemplo, catalisadores e filtros de ar, de óleo e de combustíveis e filtros industriais para captar partículas tóxicas emitidas por atividades industriais diversas.
- Materiais para geração de energia em sistemas alternativos como: células fotovoltaicas para energia solar, pilhas combustível, sistemas de armazenamento de energia etc.
- Materiais concebidos para terem menor impacto ambiental e cujo projeto foi orientado pela ACV dos materiais atualmente em uso no mercado. Os exemplos são os plásticos biodegradáveis, todos os materiais recicláveis e de menor consumo energético.
- Substituição de substâncias tóxicas ou prejudiciais à saúde humana em processos de produção e ou tratamento de materiais por processos mais limpos.

A ACV, na verdade, auxilia a identificação de oportunidades de melhorias do sistema produto-material-processos de fabricação que possam levar à otimização do desempenho ambiental do produto. Nesse sentido pode e tem levado ultimamente ao desenvolvimento de novos materiais, quando a solução desejada não se encontra ainda disponível no mercado.

Essa abordagem proporciona uma visão global da questão ambiental em toda sua pluralidade, realizando *check-points* em todos os estágios da vida do produto a saber:

- Produção: extração de minerais, produção de materiais e produtos finais.
- Consumo: venda, uso e manutenção dos produtos.
- Fim de Vida: reciclagem ou descarte de produtos ou componentes usados.

³ Extraído de Medina (2005), Análise do Ciclo de Vida aplicada à pesquisa e desenvolvimento de ecomateriais no Brasil, p. 310-330.

Para todas essas fases, a ACV possibilita que se conheça não apenas os impactos ambientais que podem acontecer mas também sob quais cenários socioeconômicos e tecnológicos eles vão ocorrer e, ainda, em que medida eles podem ser evitados ou minorados. É nesse sentido que a ACV vem sendo usada para o desenvolvimento de novos materiais. Uma vez feito o inventário de todos os materiais existentes, possíveis de serem utilizados em uma dada função de um produto, pode-se conceber um material alternativo que tenha a mesma função, mas um balanço ambiental mais favorável, que seja mais leve ou mais econômico energeticamente ou reciclável ou ainda biodegradável, entre outras vantagens possíveis.

Esses desenvolvimentos têm sido buscados principalmente para os plásticos nas funções de embalagem e estruturais, que hoje já podem ser encontrados sob diversas formulações como materiais recicláveis, biodegradáveis ou ainda hidrossolúveis, como é o caso de uma embalagem especialmente concebida para pesticidas para plantas e que se dissolve dentro do regador sem ser necessário o contato humano (Bertholini, 1995).

diante dos fortes sinais de esgotamento do modelo energético atual, os materiais ligados à produção de novas formas de energia são, sem dúvida, uma grande unanimidade como tendência mundial de P&D em ecomateriais nesse início de século. São exemplos os biocombustíveis, as membranas permeáveis ao oxigênio, o hidrogênio e suas formas de estocagem, célula-combustível, novas baterias à base de lítio, entre outros.

Em um segundo grupo, não longe de uma universalização a médio prazo, vêm os materiais:

- Que retêm as diversas formas de poluição: filtros, catalisadores etc.
- Que substituem substâncias tóxicas, como amianto e metais pesados, *vis-à-vis* a progressiva interdição parcial ou total destas em nível mundial.
- Recicláveis, biodegradáveis, reutilizáveis, enfim, as diversas alternativas que reduzem os resíduos finais a serem descartados e prolongam a vida dos materiais economizando matérias-primas primárias.

No caso da reciclagem, todos os setores, fortes consumidores de materiais, têm se voltado para essa opção. No setor automotivo, por exemplo, todos os conceitos e métodos de projetar como DFR e ACV já estão hoje presentes na estratégia ambiental das montadoras e de seus principais fornecedores. Eles têm desenvolvido preconizações técnicas para a concepção de novos veículos tendo em vista sua reciclagem final. Essas diretrizes, segundo Coulter *et al.* (1996), citados em Medina e Gomes (2002), nos casos da Chrysler e da GM, possuem muitos pontos em comum diferenciando-se apenas em alguns detalhes. Os autores destacam que ambas as empresas recomendavam, já no início dos anos 90, que seus projetos focalizassem:

- Na seleção de materiais, a redução da diversidade de materiais e evitassem plásticos não compatíveis.

- Na seleção de técnicas de junção (soldagem, colagem, encaixes etc) a redução da diversidade de técnicas e a utilização de encaixes, quando possível, e evitassem adesivos contaminantes que degradam o material.
- No projeto de sistemas e componentes, a desmontagem para reciclagem para viabilizar economicamente a reciclagem.

Como puderam constatar Medina e Gomes no estudo que realizaram em 2001/2002 (Medina e Gomes, 2003) com as montadoras francesas, na França como no Brasil, a situação é semelhante e atenção especial vem sendo dada à utilização dos plásticos. A Renault e PSA, em parceria, estabeleceram no ano 2000 um programa conjunto para orientar a concepção e o projeto de automóveis cada vez mais recicláveis.

4. ASPECTOS TÉCNICOS, ECONÔMICOS E AMBIENTAIS DA RECICLAGEM

Existem diversas formas de se reciclar produtos e materiais. Diferentes tipos de reciclagem são utilizados de acordo com o material ou o produto e com as condições técnica e de mercado. A reciclagem hoje é vista como uma atividade economicamente organizada e tecnicamente capaz de minorar os impactos ambientais causados pelo descarte de produtos em fim de vida. As formas de reciclagem mais utilizadas são a reciclagem energética, química e mecânica (www.cempre.org.br).

A reciclagem energética tem estreita relação com a incineração de resíduos. Ela é feita a partir de uma instalação de combustão de resíduos, mas difere da usina de incineração porque gera um produto, a energia (eletricidade e calefação), que pode ser vendido ou reutilizado para abastecer processos. Esse tipo de reciclagem pode ser bastante vantajoso para a indústria, por prover um certo grau de auto-suficiência energética. Entretanto, tem como grande desvantagem a emissão de poluentes na atmosfera, que pode ser minimizada através de uma preocupação prévia com o tratamento desses resíduos. Um exemplo desse processo é a reciclagem de pneus, que será mostrada mais adiante.

A reciclagem química visa recuperar compostos químicos que deram origem aos materiais plásticos ou seus compósitos. Isso é possível com a quebra parcial ou total das moléculas dos resíduos plásticos, selecionados e limpos através de reações químicas. Os materiais obtidos exigem tratamento dispendioso na purificação final. No Brasil, a reciclagem química é feita para o poli (metacrilato de metila), PET, PP em pára-choques de automóveis, PPE, PA, PC e ABS em freios e em tanques de combustível, PE. O objetivo dessa recuperação dos compostos e substâncias químicas é reutilizá-los como matéria-prima secundária de novos plásticos.

A reciclagem mecânica consiste na redução de tamanho e reprocessamento dos materiais transformando-os em matéria prima secundária. Esse tipo de reciclagem fecha o ciclo de reciclagem de um produto, que pode voltar a ser utilizado como matéria-prima

para gerar o mesmo produto que fora, ou um novo produto, continuando a contribuir com a indústria.

4.1 Limites e tendências da reciclagem de metais

De uma maneira geral, os metais podem ser reciclados quase indefinidamente sem perda significativa de suas propriedades. Mas, de fato, a qualidade final do material recuperado vai depender diretamente da separação dos componentes das ligas e dos elementos contaminantes destas, utilizados em tratamentos de superfície exigidos pelo uso ao qual se destina o material. Essa degradação pode fazer com que esses metais, uma vez reciclados, tenham o mesmo destino dos plásticos, ou seja, percam seu valor inicial e só encontrem empregos cada vez menos nobres na cadeia produtiva. Assim, mesmo que o Brasil seja o líder mundial de reciclagem de latas de alumínio, com uma taxa de 90%, em 2003, superior ao Japão e Estados Unidos, o alumínio reciclado de automóveis, aqui como no resto do mundo, parte para construção civil ou embalagens e, em casos extremos, pode até vir a ser fundido junto com metais ferrosos de menor valor, como aço.

Enfim toda matéria reciclada sofre alguma desvalorização, por perda de suas propriedades químicas iniciais. Além disso, no caso de produtos ou componentes em fim de vida há incompatibilidades entre seus materiais constituintes até entre os metais, mesmo que seja bem menor que entre os plásticos.

Apresento a seguir os resultados de um estudo do qual participei na França, em 2004, sobre eco-concepção para a melhoria da qualidade da reciclagem do aço e do alumínio automotivos (Medina, 2006).

Mesmo no caso do aço, que é o material mais facilmente reciclado, há perda de propriedade, por excesso de elementos residuais que estão presentes na sucata dos automóveis e que não são eliminados pelos processos de reciclagem atualmente em uso. Isto impede que a maior parte desse material reciclado retorne ao automóvel. De uma maneira geral, os resíduos encontrados em peças metálicas provenientes de VFV podem ser classificados em três categorias:

- Oxidáveis: totalmente eliminados no processo de refino do aço. Exemplo: Al, Si, Ti.
- Semi-oxidáveis: eliminados em parte no refino do aço. Exemplo: Cr, Mn, P.
- Não-oxidáveis: permanecem como contaminantes do aço. Exemplo: Cu, Sn, Mo, Ni.

A dificuldade maior reside na eliminação ou no controle do percentual desses elementos residuais após a segunda fusão da liga metálica. Alguns desses elementos, como o silício, o alumínio, ou ainda, o titânio, podem ser totalmente eliminados por oxidação. Outros são apenas parcialmente eliminados, como: o fósforo, o manganês e o cromo. E, finalmente, na última categoria estão os que não podem ser separados dos metais ferro-

ços, como o cobre, o molibdênio e o níquel, permanecendo como contaminantes no aço reciclado.⁴

Nesse último caso a alternativa técnica é a diluição para se chegar a um percentual aceitável de contaminação. O risco maior de tal contaminação é sua difusão, no longo prazo, de toda a sucata ferrosa disponível para reciclagem, pela acumulação desses elementos em peças ou veículos após sucessivas reciclagens. Na verdade, esse efeito se acentua à medida que o processo de fusão se repete, concentrando assim os resíduos nas sucatas e exigindo cada vez mais quantidade de aço de primeira fusão ou matéria-prima primária para a produção de autopeças. Nesse sentido os aços automotivos reciclados se degradam atingindo um baixo nível de qualidade o que dificulta sua reutilização em peças ou veículos novos. As chapas de aço para carrocerias de automóveis, por exemplo, devem apresentar uma alta qualidade de acabamento superficial – sem imperfeições aparentes - o que só é possível se o aço (primário ou secundário) tiver menos de 1% de cobre e estanho somados.

Por outro lado, há que se considerar as contribuições positivas desses elementos para as características de alguns aços ligados que fazem parte das exigências dos projetos dos veículos, conforme especificado pelas montadoras aos seus fornecedores. O Quadro 2 resume as principais propriedades desses aços ligados:

Quadro 2 - Propriedades melhoradas dos aços ligados

Elementos dos aços ligados	Propriedades
Cromo	Aumenta a temperabilidade e a resistência à corrosão.
Níquel	Aumenta a temperabilidade e resistência à tração.
Cobre	Melhora a resistência à corrosão atmosférica.
Molibdênio	Aumenta a temperabilidade e a resistência térmica.
Fósforo	Facilita a usinagem e protege contra a corrosão.

Fonte: Projeto CR2A (Relatório final).

Desse modo, todo desenvolvimento de novas ligas e/ou novos processos visando substituir uma ou mais dessas substâncias no aço automotivo terá que respeitar as propriedades requeridas pela indústria do produto. Assim, qualquer melhoramento no sentido de aumentar a reciclabilidade dos produtos terá de ser pensado funcionalmente, ou seja para peça, produto e função e processo a que se destina.

⁴ Ver fotos ilustrativas dessa situação em peças tiradas de veículos em fim de vida em Medina (2006-A).

4.2 A evolução da reciclabilidade dos plásticos

A produção de plásticos virgens e reciclados foi a que mais se desenvolveu do ponto de vista tecnológico e industrial nos últimos 10 anos. Junto com o alumínio foi o material que teve aumento mais significativo na composição dos veículos neste período. Sua reciclabilidade e efetiva reciclagem são crescentes no mundo e no Brasil.

No Brasil é o setor de plásticos que mais fatura com a reciclagem, depois do alumínio, tendo envolvido cerca de 500 empresas e mais de R\$ 1 bilhão, segundo dados da Plástivida (www.plastivida.org.br). Em 2004, o setor reciclou mais de 700 mil toneladas de todos os tipos de plástico, empregando dezenas de milhares de pessoas.

Os plásticos apresentam-se hoje como solução de engenharia para inúmeras aplicações sem as restrições ambientais que tinham há cerca de 10 anos. Eles são recicláveis e também encontram aplicações entre os biomateriais. Do ponto de vista dos materiais, pode-se dizer que foram os plásticos que mais se desenvolveram nesse sentido, reduzindo sua toxicidade e aumentando sua reciclabilidade e valorização energética em produtos em fim de vida. Ou seja, muitos plásticos fazem parte dos chamados ecomateriais, que são materiais concebidos sem substâncias tóxicas, biodegradáveis ou recicláveis.

Os plásticos podem ser submetidos a três formas de reciclagem: mecânica, química e energética. Na reciclagem mecânica, o material é submetido a processos mecânicos (exemplos: lavagem, moagem e extrusão) e, normalmente, ocorre uma perda de propriedades por quebra de sua cadeia molecular.

O depoimento de Jorôme Vidalie da empresa de plástico francesa INOPLAST dá um testemunho de pioneirismo e trabalho coordenado com as indústrias, clientes como a Renault, na França, num programa voltado para eco-concepção junto a seus fornecedores:

“Enquanto outras montadoras nos pedem informações sobre substâncias tóxicas ou nocivas contidas nessa ou naquela peça, a Renault vai mais longe e entra no domínio da eco-concepção.”... “já faz seis meses que estamos utilizando o software deles (OPERA) em fase de observação para que possamos estabelecer uma base de dados sobre as diferentes soluções (alternativas para composição de materiais plásticos). Pode-se imaginar que, no futuro, os critérios ambientais serão determinantes, se bem que atualmente os critérios econômicos e de qualidade continuam sendo decisivos.”

Tecnicamente todos os plásticos, inclusive os termoplásticos, ditos plásticos de engenharia que vêm progressivamente substituindo os metais em funções semi e mesmo estruturais, podem ser reciclados. O problema é que para eles retornarem ao mesmo produto ou terem um uso tão nobre quanto à matéria secundária a ser reciclada precisa estar livre de contaminantes, desde sujeira comum e mofo até solventes, água, gasolina

ou óleo. Alguns aditivos funcionais, os antiinflamáveis, e cloro, entre outros, podem também gerar impactos ambientais durante o processo de reciclagem.

Nesse sentido, a indústria automobilística nos anos 2000 tem procurado reduzir a diversidade dos plásticos automotivos concentrando seu uso nos de melhor reciclabilidade, ou seja o PP e o ABS. O PP chega a representar em alguns modelos 50% da categoria.

Os plásticos estão em segundo lugar, atrás dos metais, na composição média dos automóveis, com 12 a 15% da massa total dos veículos. No caso do Modus da Renault, o peso do veículo é de 1150 Kg e os plásticos participam com cerca de 15% desse peso, ou seja, com cerca de 173 Kg, dos quais cerca de 10,5% são provenientes de matéria-prima secundária ou reciclada. Além disso, tudo nele foi pensado para favorecer a reciclagem de suas peças e do próprio veículo. A Renault acredita que essa seja a via mais segura para atender às exigências da Diretiva Européia sobre Reciclagem de veículos em fim de vida, e atingir os 10% que faltam para a taxa de reciclabilidade efetiva de 95% em 2015, incluindo reciclagem, reutilização e valorização energética (recuperação da energia contida nos materiais). Atualmente, o automóvel é reciclado entre 70 e 75% do seu peso, o que corresponde quase exatamente a sua parte metálica. A reciclagem de plásticos automotivos para fins automotivos não ultrapassa a casa de 1%, enquanto que a parte metálica é reincorporada ao automóvel em até 50%.

O problema é que, como todos os materiais, os plásticos e as tecnologias de processamento não cessam de evoluir tornando a reciclabilidade um conceito dinâmico que pode variar muito nos próximos anos, com o advento das nanotecnologias em amplas aplicações industriais. A notícia da Gazeta Mercantil de 26 de outubro de 2005 é exemplar:

"A Braskem investiu US\$ 3 milhões em pesquisa, equipamento e profissionais para chegar à sua primeira patente em nanotecnologia para resinas plásticas e dar a largada na produção de resinas inteligentes, modificadas pela mistura de nanopartículas (de dimensão atômica) de argila à massa plástica. A empresa pretende aplicar a tecnologia com as várias resinas que produz: polipropileno (PP), polietileno (PE), poliestireno (PS), resina tipo PET, entre outras."

Por outro lado as nanotecnologias podem também ser utilizadas para o desenvolvimento das técnicas de reciclagem e tratamento de resíduos (separação por membranas) e ainda colaborarem com o desenvolvimento de materiais nanoestruturados de menor impacto ambiental e maior reciclabilidade.

5. CENÁRIOS E TENDÊNCIAS

Duas fortes tendências vão tornar os cenários nacional e mundial convergentes, ao longo deste século.

A primeira é a própria evolução tecnológica dos materiais que vêm acontecendo com maior intensidade, velocidade e abrangência do que no século passado. Essa evolução vem acontecendo no sentido de incorporar novas funções, melhorar ou integrar funções já existentes nos produtos o que leva a um cenário de hiperescolha⁵ de materiais, como foi previsto por especialistas na década de 1980. Tem-se hoje uma forte tendência a novos desenvolvimentos dos chamados materiais funcionais. Os produtos ditos bens de consumo duráveis que chegarão ao fim de suas vidas daqui a 5, 15 ou 20 anos, terão em sua composição: metais, plásticos e várias possíveis conjugações destes como compósitos de matriz polimérica com carga mineral ou com reforço de fibras vegetais ou de ligas metálicas, além dos materiais nanoestruturados que devem ser introduzidos em breve.

Em consonância com os avanços dos materiais a segunda tendência forte é a da evolução dos processos industriais, no sentido de uma produção limpa verticalmente integrada, ou seja, produtos verdes são feitos com materiais verdes em fábricas verdes. A certificação ambiental tem um efeito à jusante e à montante da produção industrial de bens de consumo finais.

Assim a busca da sustentabilidade ambiental impulsionada por legislações ambientais e normas técnicas relacionadas à reciclagem de produtos em fim de vida, tornou-se um imperativo em âmbito mundial. Na Europa, os produtos já vêm sendo projetados incorporando requisitos ambientais que fazem com que a atividade de projeto englobe desde a escolha dos materiais até o seu tratamento em fim de vida, ou seja, o chamado eco-design. Neste contexto, os novos modelos de automóveis europeus e seus componentes já são 95% recicláveis, e as montadoras européias instaladas no Brasil seguem os mesmos critérios ambientais das matrizes, além de terem promovido a vinda de uma nova geração de fornecedores de novos materiais e novos componentes eletrônicos. As peças e componentes vêm sendo assim “nacionalizados” sem alterações significativas nas suas características, uma vez que os carros produzidos aqui são também exportados. São, portanto, modelos eco-concebidos.

Porém, ainda não há no Brasil uma estrutura industrial e tecnológica capaz de aproveitar esse potencial, o que poderá acarretar, mesmo com o crescimento da reciclagem no país, um grande desperdício em termos econômicos. A baixa qualidade do material reciclado impedirá que ele retorne ao mesmo produto, peça original, como ocorre na Europa. Além disso, o ciclo de vida dos produtos tem diminuído, entre outros fatores por

⁵ A expressão cunhada na França por Cohendet nos anos 80, *hyperchoix de matériaux*, continua sendo hoje a mais exata para definir uma tendência que só tende a se aprofundar.

obsolescência tecnológica, o que resulta em lançamentos cada vez mais rápidos de novos modelos no mercado, acarretando uma enorme quantidade não só de produtos em fim de vida como de peças obsoletas, de produtos fora de linha de produção. Essa seria uma sucata nobre não só para a reciclagem industrial propriamente dita, de alto valor, mas como para a remanufatura e o reuso.

6. AGENDA DE PRIORIDADES – BRASIL 2015

O melhor aproveitamento das oportunidades para a sociedade brasileira, requer uma agenda mínima de ações de fomento público para ciência, tecnologia e inovação em materiais e reciclagem:

- Substituição de substâncias tóxicas em ligas metálica, compósitos, tratamentos superficiais e processos de produção de materiais.
- Tecnologias limpas, para reciclagem e tratamento de resíduos em todas as fases da produção industrial.
- Inovação em materiais, processos e produtos ecoconcebidos.
- Pesquisa em tecnologias de descontaminação de produtos, materiais e áreas contendo substâncias tóxicas ao meio ambiente ou à saúde humana.
- Criação de programas de pesquisa em nanotecnologias em todos os níveis de novos desenvolvimentos científicos a aplicações industriais diversas.

Ainda como outros importantes itens tem-se:

- Incentivo a P&D em tecnologias limpas para reciclagem.
- Incentivo a P&D em materiais de menor impacto ambiental os chamados ecomateriais: livre de substâncias tóxicas, mais recicláveis ou biodegradáveis.
- Laboratórios de controle de qualidade e desenvolvimento de processos certificados para atuar em prestação de serviços tecnológicos junto à indústria de reciclagem e materiais.
- Alternativas tecnológicas com viabilidade industrial e econômica para processos de produção e tratamento de materiais metálicos ou compósitos de menor impacto ambiental.
- Estudos e pesquisas em novos processos de montagem de peças, sistemas e componentes de produtos manufaturados, substituindo contaminantes e técnicas de junção que dificultem a desmontagem.

Sem essa agenda mínima e sem um papel pró-ativo dos poderes públicos no sentido de organizar a cadeia produtiva, desde extração de mineral até a reciclagem em bases sustentáveis, o país corre sério risco de transformar esse cenário de oportunidades em

grandes ameaças não só do ponto de vista ambiental mas também, tecnológico, econômico e social.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrassart C. e Aggeri F. (2002), La naissance de l'éco-conception: du cycle de vie du produit au management environnemental "produit", *Revue Responsabilité et Environnement*, n 25, pp.41-63, série trimestrielle des Annales des Mines, éditions ESKA.
- Adamian R. (2006), *Ecologia Industrial*, Apostila do curso COP 814: tópicos especiais em eco-concepção e reciclagem de materiais, Doutorado de Engenharia de Produção na COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- Castilho A. e Castro Fa. (2006), Vendem-se resíduos, *Indústria Brasileira*, janeiro, pp. 22-26, www.cni.org.br.
- CEMPRE - Compromisso Empresarial com a Reciclagem, www.cempre.org.br
- CIMM - Centro de Informação Metal Mecânica, www.cimm.com.br
- Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council, of 18 September 2000, on end-of life vehicles*, texte officiel publié par le Official Journal of the European Communities, le 21 october 2000, L 269/34 à L 269/43.
- FAPESP, www.agencia.fapesp.br, *Nanopartículas brancas*, 10/10/05, O Instituto de Química da UNICAMP e a multinacional Bunge lançaram um pigmento branco para tintas a partir de nanopartículas de fosfato de alumínio.
- FIRJAN - Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro, www.firjan.org.br (Bolsa de Resíduos)
- Goldberg S. (2005), Os ganhos saídos do lixo, *Conjuntura Econômica*, set. pp.30-39.
- INFOMET, www.infomet.com.br
- John Young et Aron Sachs (1989), *Créer une économie soutenable des matériaux, dans L'Etat de la planète*.
- Lupis C.H.P., *Greenhouse gases and the metallurgical process industry*, the 1999 *Extraction and processing lecture the Minerals, metals and materials society*, in *Metallurgical and Materials Transactions B*, vol. 30B, pp 841-856.
- Manzini E. Verzzoli C. (2002), *O desesenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais*, EDUSP – Editora da Universidade de São Paulo, Brasil, 2002, 366 p.
- Medina H. V. de (2003), Non ferrous metals recycling: economic, technical and environmental aspects of aluminium and lead market in Brazil, *International Workshop on Non Ferrous Metal Recycling in Emerging Markets*, State Mining Institute, St Petersburg.
- Medina H. V. de (2001), *Inovação em materiais na indústria automobilística*, Série CETEM Estudos e Documentos n° 48, MCT/CETEM, Rio de Janeiro, Brasil, 68 p.
- Medina H. V. de (2005), *Análise do ciclo de vida aplicada à pesquisa e desenvolvimento de ecomateriais no Brasil*, pp. 310-330, In: *Avaliação do Ciclo de Vida: a ISO 14000 na América Latina*, organizado por Caldeira-Pires A., Souza-Paula M.C. e Villas Bôas R.C., Editora ABIPIT, apoio CNPq, CYTED e UNB, Brasília, 330 p.

- Medina H. V. de (2006), *Clean technologies for recycling*, In: Daniel Brissaud, Serge Tichkiewitch and Peggy Zwolinski, Innovation in Life Cycle Engineering and Sustainable Development, Springer, Netherlands, pp. 199-208.
- Medina H. V. De (2006-A), *Eco-concepção para a qualidade da reciclagem do aço e do alumínio automotivos*, Série CETEM Inovação e Qualidade n° 01, Rio de Janeiro, Brasil, no prelo.
- Medina H. V. de e Gomes D. E. B. (2003), *Reciclagem de automóveis: estratégias, práticas e perspectivas*, Série CETEM Tecnologia Ambiental n° 27, CETEM/MCT, Rio de Janeiro, Brasil, 60 p.
- Medina H.V. de et Naveiro R. M. (2003), Designing for sustainability: tomorrows' car encompassing environmental paradigm, *Proceedings of the XI Rencontre Internationale du GERPISA*, Paris.
- Schwartz L. H. (1999), Sustainability: the materials role, *Metallurgical and Materials Transactions B*, volume 30B, Abril, pp.157-170.
- Scliar C. (2004), *Mineração a base material da aventura humana*, Editora Legado, Belo Horizonte, Brasil, 159 p.
- Szekely and Trapaga (1995), Materials and the environment: industrial ecology – the need to rethink the materials cycle: some problems, solutions, and opportunities in the materials field, *Journal of Mater. Res.* Vol. 10, pp. 2178-2196, USA.
- Werneck I. K., Themelis N. J. (1998), Recycling metals for the environment", In: *Annual Rev. Energy Environment*, vol. 23, pp 465-497.
- www.usinagem-brasil.com.br, Ford e Boeing pesquisarão nanotecnologia, consultado em 08/10/05.

ANEXOS

1. LISTA DOS COLABORADORES CONSULTADOS AO LONGO DOS ÚLTIMOS 6 ANOS (DESDE 2000)

PROFESSORES/ESPECIALISTAS	ÁREAS	INSTITUIÇÃO/EMPRESA
Rupen Adamian	Metalurgia e Materiais	COPPE/ UFRJ
Ricardo Naverio	Mecânica e Produção	COPPE/ UFRJ
Elen Pacheco	Eng. Química	IMA/UFRJ
Eloisa Manno	Eng. Química	IMA /UFRJ
Daniel Froelich	Física e Materiais	ENSAM–Chambéry (Diretor)
Elisabeth Froelich	Eng Quínica	ENSAM / Chambéry
Yan Leroy	Doutorando	ENSAM / Chambéry
Dominique Millet	Eco-design	ENSAM-Paris/SUPMECA-Toulon
Goran Radulovic	Doutorando	ENSAM- Paris
Youcef Bouzidi	Eng. Metalúrgica	UTT- Troyes
Fabrice Mathieux	Pos-Doutorando	UTT- Toyes
Jean Claude Prevost	Metalurgia e Materiais	L'ARAMM – Chambéry (Diretor)
Robert Léveque	Metalurgia e Materiais	L'ARAMM - Chambéry
Gerard Maeder	Eng. de Materiais	Eng. de Materiais Renault (Diretor)
Robert Lassartesses	Reciclagem	Chefe Serviço de Reciclagem (Renault)
Pierre Valersteinas	Reciclagem	Serviço de Reciclagem (Renault)
Mathieu Olenyck	Reciclagem	Serviço de Reciclagem (Renault)
Michel Lettré	Eng. de Materiais	Gerente de Materiais (PSA)
Marielle Dunand	Reciclagem	Chefe Serv. de Reciclagem (PSA)
Annie Beretti	Gestão da Inovação	Programa de Competitividade (PSA)
Huges De Ferraudy	Eng. De Minas	Galloo Plastiques – (Diretor)
Loïc Jacqueson	Materiais/Reciclagem	Faurecia
M. Tuchman	Materiais automotivos	Arcelor
Anne Pichat	Materiais automotivos	Pechiney
Richard Debaue	Reciclagem	CFF Cia Française de Feraille
Manuel Burnand	Reciclagem	CFF Cie Française de Feraille
S. Richet	Materiais	PSA

2. EMPRESAS VISITADAS POR HELOISA MEDINA

Setor automotivo

Volkswagen (Taubaté, São Bernardo, São Carlos - São Paulo)
 Volkswagen Caminhões (Resende – Rio de Janeiro)
 Volkswagen / Audi (Paraná)
 Renault (São José dos Pinhais - Paraná, Flins - França e Valladolid - Espanha)
 PSA Peugeot-Citroën (Porto Real - Rio de Janeiro e Passy - França)
 General Motors (São Bernardo - São Paulo)
 Mercedes (São Bernardo - São Paulo)
 Scania (São Bernardo – São Paulo)
 Ford (São Bernardo - São Paulo e Camaçari - Bahia)

Setor de reciclagem

LMG Serviço de Injeção de Plásticos, Reciclagem, Ferramentaria e Usinagem Geral
 NEWPET Indústria e Comércio de Plástico Ltda.
 COMLURB – Campo Grande – Companhia Municipal de Limpeza Urbana
 COOPERMISO Cooperativa Mista de Trabalho e Produção da Zona Oeste Ltda.
 Galloo Plastics (Lille, França)
 Galloo Recycling (Lille, França e Metals Bélgica)

Setor de materiais e peças

COSIGUA (GERDAU – Rio de Janeiro)
 Aços Finos Piratini (Gerdau- Rio Grande do Sul)
 Plástico Ominun (Taubaté - São Paulo)
 Moura Bateriais (Belo Jardim-Pernambuco)
 UMICORE (Metals refining and recycling HOBOKEN - Bélgica)

Recicladoras de plástico no Brasil pesquisadas através de questionário

por Alexandre Valles mestrando da UTT em estágio para elaboração de dissertação sob minha co-orientação e da Profa. Elen Pacheco do IMA/UFRJ. Trabalho realizado entre abril e set./ 2006.

Rio de Janeiro	São Paulo
EcoPlast (ex Flasche) – RJ	Aredes
Plastiquímica	Raitek
São Sebastião	Plastital
Luvi Reciclagem	Fortymil
Plastimaq	Process
Poli-injet	Sulplástico
IMP Ltda	Plasticora
IBP	Termoplásticos
Plastifame	Neuplast
Plastin	Recipoli
LMG	JC System
	Scalea

CAPÍTULO 4

A INDÚSTRIA EXTRATIVA MINERAL: ALGUMAS QUESTÕES SOCIOECONÔMICAS

*Maria Helena Machado Rocha Lima**

1. INTRODUÇÃO

A indústria extrativa mineral, pela sua abrangência e importância na economia nacional, historicamente tem tido um papel importante no esforço de promover o desenvolvimento econômico e social e de reduzir as desigualdades regionais.

Os governos militares acreditaram que a mineração era um fator de integração nacional e, dentro da doutrina de segurança nacional, formularam uma política de incentivos fiscais para a implantação de projetos exportadores, dos quais se destacaram os minero-metalúrgicos na Amazônia. A visão de desenvolvimento regional, naquela época, tinha como fundamento a concentração em pólos de desenvolvimento e a rigidez locacional das atividades econômicas.

A noção de que pólos de mineração com objetivo exportador trariam o desenvolvimento regional perdeu espaço, em anos mais recentes, para um conceito de “eixos estruturadores de integração nacional e internacional” (Monteiro, 2005). Atualmente, além de se considerar a tecnologia como variável central do desenvolvimento econômico e, por conseqüência, do desenvolvimento regional ou local, deve-se levar em conta outras variáveis ou aspectos não tangíveis, fundamentados na cultura local, no comportamento da sociedade civil, na organização institucional e produtiva, nas novas formas de competição e cooperação que são considerados elementos centrais na explicação do desenvolvimento regional ou local (Diniz, 2000).

Este trabalho pretende levantar algumas questões importantes relacionadas ao impacto da atividade de mineração na qualidade de vida das pessoas e das comunidades. Esse impacto pode se dar através da capacidade da atividade mineral de impulsionar o desenvolvimento econômico e principalmente o desenvolvimento social das comunidades, regiões e estados onde estão localizadas.

* D.Sc. pela USP – Universidade de São Paulo e Tecnologista-Pesquisadora do CETEM – Centro de Tecnologia Mineral.

2. SETOR FORMAL

As informações analisadas neste item referem-se às questões sociais relacionadas com o setor formal das empresas brasileiras, mais precisamente o contingente de estabelecimentos constantes na Relação Anual de Informações Sociais – RAIS do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). Este é o universo dos dados e informações das questões discutidas como: o relacionamento das grandes empresas e o desenvolvimento local; emprego, renda e questões de gênero e acidentes de trabalho nas indústrias extrativas minerais.

Boas relações com as comunidades locais não fazem parte das preocupações comuns e da cultura das grandes minerações. A indústria extrativa mineral é de alto risco, requer vultuosos investimentos na fase de pesquisa e, dada a grande quantidade de incertezas, desenvolvem pouco interesse em estabelecer relações com as comunidades locais (World Bank, 2001). Por outro lado, as comunidades envolvidas nessa atividade ficam apreensivas por não participarem dos benefícios gerados pelos projetos mineiros. Portanto, a falta de comunicação e compreensão entre as empresas de mineração e as comunidades locais é o comportamento mais comum e gera, na grande maioria das vezes, a falta de confiança mútua. Algumas indicações dessa questão serão levantadas no próximo item.

2.1 Grandes mineradoras e desenvolvimento local

A permanência, na localidade do empreendimento mineral, de parte da riqueza gerada pela atividade de mineração é fator importante para o desenvolvimento local, propiciando a distribuição de renda e a melhoria na qualidade de vida da população. Os custos e benefícios que a atividade de mineração de grande porte podem gerar sobre as comunidades locais e a melhoria das relações entre as empresas e os municípios são temas cada vez mais importantes, na medida em que se exige cada vez mais maximizar os benefícios sustentáveis da mineração, tanto nos países desenvolvidos como naqueles em desenvolvimento.

Atualmente e cada vez mais, existe o consenso que as empresas de mineração devem ter em suas listas de prioridades a eliminação de seus possíveis efeitos prejudiciais aos ecossistemas frágeis e de efeitos sociais negativos sobre as comunidades locais (World Bank, 2006). Essas prioridades devem levar em conta que existem: estratégias de ação de curto prazo, estratégias que existem somente no período em que a mineração atua na comunidade e estratégias de longo prazo, que perduram além do tempo de vida da mineração.

Dentro de uma perspectiva de curto prazo, os encargos que incidem sobre as atividades minerais, ou seja, o pagamento de tributos ao governo, deveria contribuir para estratégias de ação de longo prazo. A geração de renda, além da quantidade e qualidade de

emprego gerado pela atividade de mineração, deveria ser uma fonte importante para o crescimento social e econômico dessas comunidades.

Além dos tributos incidentes sobre as empresas de mineração e produtos minerais que têm uma conotação social e que não estão vinculados aos municípios que geraram a receita, a Compensação Financeira por Exploração dos Recursos Minerais (CFEM) tem um percentual que deve ser aplicado no município que gerou a receita e é, portanto, o que melhor contribui para o estudo dos impactos sociais no município arrecadador. Os municípios mineradores, com atividade de mineração formalizada, recebem essa compensação financeira, que é um fluxo de recursos que retorna ao município. A CFEM pode exercer um papel importante como gerador de mudanças sociais e de crescimento econômico.

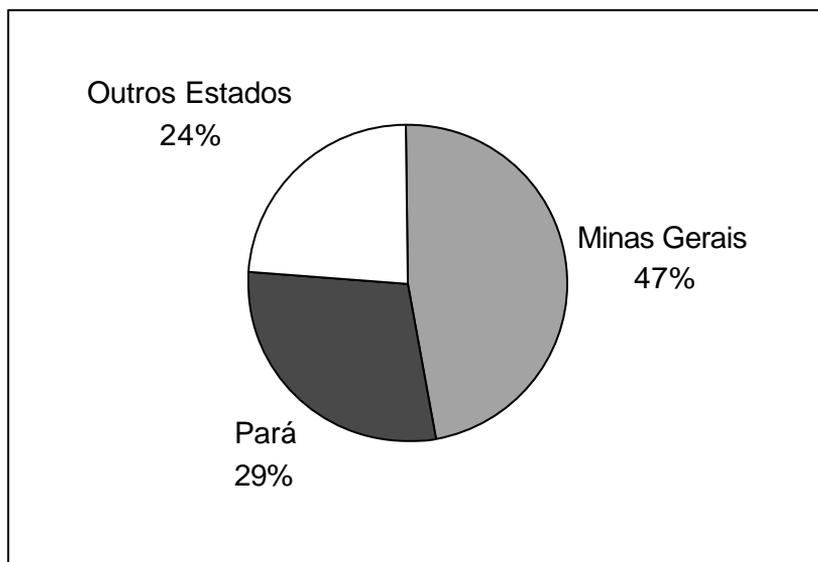
Nesse trabalho pretende-se medir, em cada município, a parte da riqueza gerada que é proveniente do setor mineral e que tem um retorno para a população local. A CFEM pode ser considerada um indicador do impacto social da mineração nos municípios mineradores (Lima e Teixeira, 2006), além de ser um indicador do valor da produção mineral em cada município¹.

Essa compensação pela atividade de mineração é devida pelas mineradoras em decorrência da exploração de recursos minerais. Ela não pode ser aplicada nos municípios em pagamento de dívida ou no quadro permanente de pessoal dos municípios, devendo somente ser aplicada em projetos que, direta ou indiretamente, revertam em prol da comunidade local na forma de melhoria da infra-estrutura, da qualidade ambiental, da saúde e da educação.

Pretende-se apontar aqui os municípios mineradores que, tendo em vista o grande volume de recursos advindo da CFEM, deveriam apresentar um nível mais alto de desenvolvimento econômico e social. Esses municípios estão relacionados aos grandes empreendimentos minerários (empresas mineradoras), nos seus respectivos estados. Uma análise do Produto Interno Bruto – PIB *per capita* dos municípios em relação à CFEM *per capita* de cada município e uma análise da evolução do IDH destes municípios será feita com o objetivo de mostrar a relação entre a riqueza gerada pela mineração (CFEM) e a riqueza total (PIB municipal) gerada em cada município. Pretende-se selecionar os municípios mais importantes, sob o aspecto do volume de renda gerada na mineração (valores de CFEM acima de R\$ 500 mil), e comparar a participação da atividade de mineração (CFEM) na renda municipal (PIB municipal) e com o IDH. Serão relacionadas duas variáveis (CFEM e PIB municipal) para cada um dos municípios selecionados que mais arrecadaram CFEM.

O Gráfico 1 mostra a participação percentual da arrecadação da CFEM nos principais estados no ano de 2004.

¹ O valor da produção mineral só é calculado para estados da federação pelo DNPM.



Fonte: DNPM (2006).

Gráfico 1 - Percentual de CFEM arrecadado pelos principais estados - 2004

O gráfico mostra que o volume maior de produção mineral se concentra nos estados de Minas Gerais e Pará, os dois estados com 2/3 do volume arrecadado, sendo seguidos a uma grande distância por outros estados, como Goiás (4%), Bahia (3%), São Paulo (4%) e Santa Catarina (2%). Portanto, neste trabalho foram selecionados municípios dos estados de Minas Gerais e Pará, que são os estados com a maior produção mineral.

2.1.1 Estado de Minas Gerais

Minas Gerais é o estado que tem a maior variedade de substâncias exploradas e comercializadas (16 substâncias metálicas e 29 não-metálicas) e em reservas (28 metálicas e 33 não-metálicas). É também o estado mais importante em termos de arrecadação da CFEM. No ano de 2004 arrecadou 98,8 milhões de reais o que corresponde a 47% do total arrecadado no país. No entanto, em termos de número de municípios que arrecadam a CFEM, fica atrás de São Paulo, que é o quinto estado em valor arrecadado.

Dentre os 244 municípios do estado que arrecadaram CFEM no ano de 2004, foram selecionados os municípios com arrecadação maior que R\$ 500 mil, responsáveis por cerca de 91,45% do total arrecadado de CFEM. Destaca-se a produção de minério de ferro, concentrado na região central do estado – o Quadrilátero Ferrífero que tem como vértices os municípios de Belo Horizonte, Santa Bárbara, Congonhas e Mariana.

Os grandes empreendimentos minerais no estado de Minas Gerais existem por muitas décadas e alguns são centenários. A atividade de mineração faz parte da história e do processo de desenvolvimento da região. Atualmente essa atividade está inserida numa

economia bastante diversificada e compete com outras atividades econômicas industriais.

Tabela 1 - Empresas mineradoras em atividade nos municípios selecionados no estado de Minas Gerais e o seu principal bem mineral

Municípios	Empresas	Bem Mineral
Itabira	CVRD	minério de ferro
Nova Lima	MBR, Magnesita, Rio Verde	minério de ferro, argila e hematita
Mariana	CVRD, Samarco	minério de ferro
Brumadinho	MBR, V&M	minério de ferro
Itabirito	CVRD, MBR, Magnesita	minério de ferro e argila
Congonhas	CVRD, CSN	minério de ferro
Santa Bárbara	São Bento	minério sulfetado
Sabará	CVRD	minério de ferro
Barão de Cocais	CVRD	minério de ferro
Tapira	Fosfertil	rocha fosfática
Paracatu	RPM	ouro e prata
Fortaleza de Minas	Votorantim Metais	sulfetado de níquel
São Gonçalo do Rio Abaixo	CVRD	minério de ferro
Araxá	CBMM, Bunge	pirocloro, fosfato
Vazante	Votorantim Metais	zinco

Fonte: Revista Brasil Mineral, 2005.

O PIB dos municípios é composto pelas estimativas do valor adicionado da agropecuária, da indústria e dos serviços². A tipologia dos municípios, quanto ao valor adicionados por atividade, na região Sudeste, se caracteriza por áreas e eixos bem delimitados com características semelhantes (IBGE/Contas Nacionais, 2005). Como exemplo é possível citar a região em torno de Belo Horizonte, que se caracteriza por ser uma importante área industrial, levando em conta que é também uma região de importantes empreendimentos minerais. A mineração é parte importante do valor adicionado dentro da indústria nos municípios selecionados.

Todos os municípios considerados na Tabela 1 são predominantemente industriais, apresentando quase nenhuma atividade agropecuária. Somente os municípios de Fortaleza de Minas e Paracatu têm o setor agropecuário e o de serviços, respectivamente, mais importantes do que o setor industrial.

² Agrega-se ao valor adicionado da agropecuária, indústria e serviços também os impostos sobre produto e uma dummy financeira para se obter o PIB municipal, em valores correntes, não contemplando variações de volume e preços (IBGE/Contas Nacionais, 2005).

O PIB *per capita* é um indicador de desenvolvimento local e a CFEM *per capita*, um indicador da capacidade da atividade de mineração de transferir benefícios financeiros à população em áreas onde existe a extração mineral.

De acordo com a Tabela 2, a mineração não é um componente tão importante, como se poderia prever, da economia nos municípios selecionados. Observa-se que a taxa CFEM *per capita*/PIB *per capita* é muito pouco significativa em todos os municípios. Constatase que, em algumas cidades, a compensação pela exploração mineral é um pouco mais importante na composição do PIB municipal do que em outras, tomando como exemplo São Gonçalo do Rio Abaixo, no qual a taxa é de 6,9%. Por outro lado, em Ouro Preto, Sabará e Araxá, a taxa é bem menor, levando em consideração que são cidades com uma grande diversidade de atividades econômicas.

Tabela 2 - Relação entre CFEM e PIB *per capita* e IDH dos municípios selecionados no estado de Minas Gerais

Municípios	CFEM per capita/PIB per capita	IDH (2000)
Itabira	1,55	0,798
Nova Lima	1,27	0,821
Mariana	2,21	0,772
Brumadinho	3,05	0,773
Ouro Preto	0,94	0,787
Itabirito	1,51	0,786
Congonhas	1,85	0,788
Santa Bárbara	2,34	0,762
Sabará	0,46	0,773
Barão de Cocais	1,37	0,757
Tapira	2,42	0,780
Paracatu	0,48	0,760
Fortaleza de Minas	3,58	0,765
São Gonçalo do Rio Abaixo	6,88	0,702
Araxá	0,18	0,799
Itatiaiuçu	1,43	0,727
Vazante	0,60	0,757

Fonte: DNPM (2006), IBGE/Contas Nacionais (2005) e PNUD (2007).

Nota: (CFEM *per capita*/PIB *per capita*) x 100

Considerando todos os municípios do estado, o IDH médio (ano de 2000) é de 0,773, índice que está dentro da faixa de 0,5 a 0,8 e que, portanto, corresponde à faixa média de IDH³. Na Tabela 2 observamos que, entre 17 municípios, nove deles apresentam IDH igual ou superior à média do estado. Os demais estão abaixo dessa média. Observamos também que o único município cujo IDH está na faixa acima de 0,8, considerada IDH alto, é a cidade de Nova Lima, que, devido à proximidade com Belo Horizonte, pode ser considerada região metropolitana.

É interessante observar que apesar da CFEM ser a mais significativa em termos da sua proporção ao PIB no município de São Gonçalo do Rio Baixo, o seu IDH é o mais baixo dos municípios selecionados.

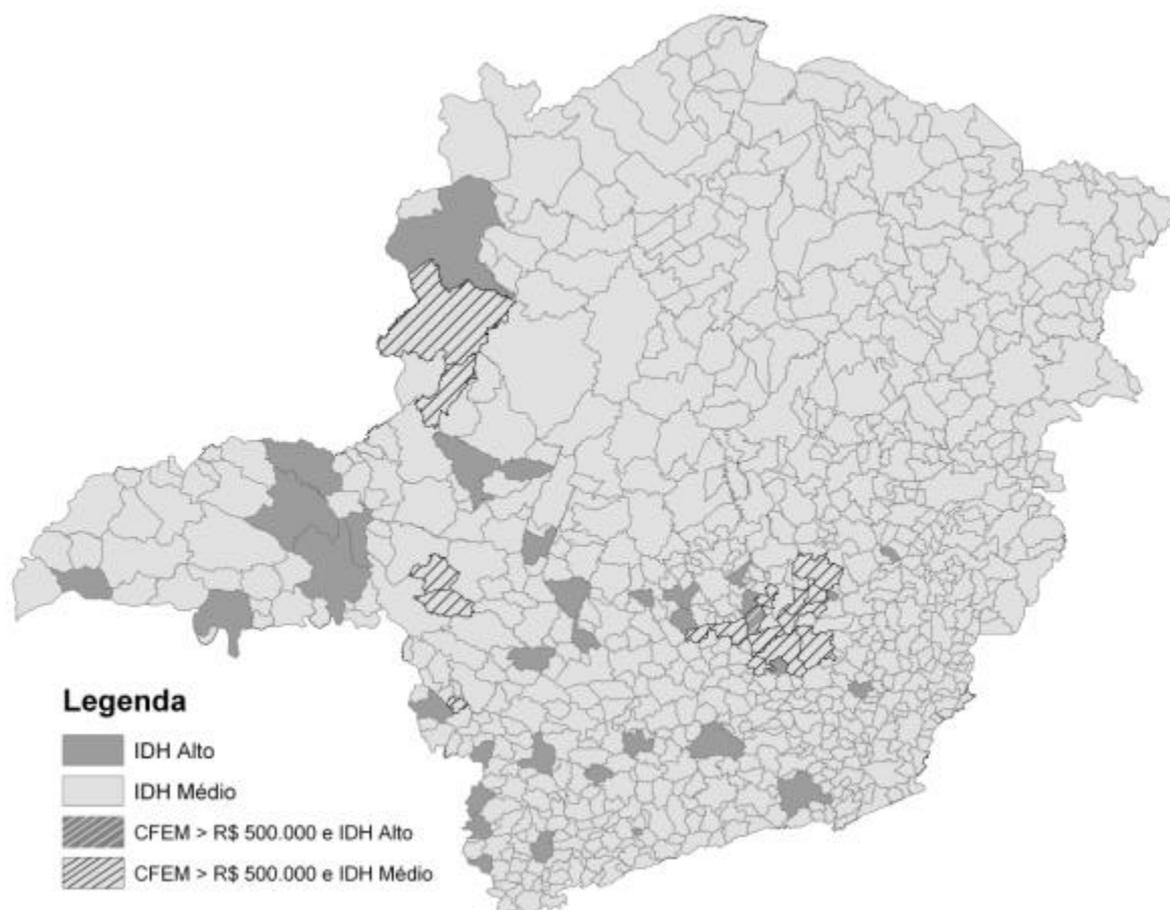
Um mapa temático foi gerado com o objetivo de visualizar os municípios mineradores que coincidem com aqueles com o IDH médio e alto do estado.

O IDH foi selecionado por ser um indicador de desenvolvimento social que retrata as condições gerais da vida da população municipal. O Mapa 1, que combinou os municípios mineradores com os municípios com alto IDH (índice acima de 0,8) é bastante claro ao mostrar essa combinação somente no município de Nova Lima (fundo escuro e achuriado branco).

De acordo com o mapa a seguir, observa-se que o estado de Minas Gerais apresenta o maior número de municípios situados na faixa de 0,500 a 0,799.

O estado de Minas Gerais é aquele que possui o maior número de municípios destacados com arrecadação da CFEM superior a R\$ 500 mil. Entretanto, não se pode concluir que a atividade de mineração determina uma melhor qualidade de vida para a população local, uma vez que os municípios mineradores destacados no mapa não são aqueles que apresentam IDH na faixa alta, tanto que quase todos os realçados como grandes arrecadadores de CFEM estão na faixa de IDH médio.

3 A classificação do IDH foi feita segundo a metodologia do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), que classifica o IDH em três categorias: IDH baixo (< 0,500), são aqueles municípios considerados de baixo desenvolvimento humano; IDH médio ($0,500 < 0,800$), municípios de médio desenvolvimento humano e IDH alto ($\geq 0,800$), aqueles com alto desenvolvimento humano.



Fonte: elaboração própria com dados do IBGE (2005) e DNPM (2006).

Mapa 1 - IDH dos municípios que mais arrecadam CFEM no estado de Minas Gerais

2.1.2 Estado do Pará

O segundo estado em importância para o setor mineral do país é o Pará, que arrecadou 59,8 milhões de reais de CFEM no ano de 2004, cerca de 29% do total.

O Pará é o estado que apresenta maior diversidade tipológica, segundo o IBGE/Contas Nacionais (2005). Em razão do seu histórico recente de ocupação, possui municípios que apresentam grande peso na atividade agropecuária e outros como Barcarena (indústria de alumínio), Tucuruí (usina hidrelétrica) e Parauapebas (extração mineral) onde predomina o setor industrial. Os municípios de Oriximiná e Parauapebas apresentam predominância do setor industrial, enquanto os municípios de Canaã dos Carajás e Ipixuna do Pará têm a predominância do setor agropecuário (IBGE/Contas Nacionais, 2005).

Tabela 3 - Empresas mineradoras em atividade nos municípios selecionados no estado do Pará e o seu principal bem mineral

Municípios	Empresa	Bem mineral
Paraupebas	CVRD	minério de ferro
Oriximiná	MRN	bauxita
Ipixuna do Pará	Pará Pigmentos	caulim
Canaã dos Carajás	CVRD	cobre, níquel

Fonte: Revista Brasil Mineral, 2005.

Constata-se a importância da Companhia Vale do Rio Doce – CVRD, no estado do Pará, tendo em vista que, além de participar da extração de minério de ferro em Carajás, extrai minério de cobre e participa da Mineração Rio do Norte – MRN na extração de bauxita.

Segundo a Tabela 4 todos os quatro municípios apresentam a taxa de PIB *per capita* em relação a CFEM *per capita* bem mais alta do que a maioria dos municípios do estado de Minas Gerais, o que evidencia que a atividade de mineração tem mais impacto nos municípios do estado do Pará, cabendo ressaltar que esta é uma região de ocupação recente e que tem na exploração dos recursos naturais (inclusive os minerais) sua atividade principal.

Tabela 4 - Relação entre CFEM e PIB *per capita* e IDH dos municípios selecionados no estado do Pará

Municípios	CFEM <i>per capita</i> PIB <i>per capita</i>	IDH (2000)
Paraupebas	3,2	0,741
Oriximiná	3,8	0,717
Ipixuna do Pará	3,8	0,622
Canaã dos Carajás	4,3	0,700

Fonte: DNPM (2006), IBGE/Contas Nacionais (2005) e PNUD (2007)

Nota: (CFEM per capita / PIB per capita) x 100

A relação entre CFEM e PIB municipal mostra que a atividade mineral é mais importante para a geração de riqueza dos municípios do estado do Pará que no estado de Minas Gerais, levando-se em conta os valores apresentados na Tabela 4.

Com exceção de Belém, todos os municípios constantes no Mapa 2 estão enquadrados na faixa (de 0,5 a 0,8) de IDH médio, sendo que a média do estado é de 0,723. A Tabela 4 mostra que somente o município de Parauapebas apresenta um IDH acima da média do estado, os demais estão abaixo.



Fonte: elaboração própria com dados do IBGE/Contas Nacionais (2005) e DNPM (2006).

Mapa 2 - IDH dos municípios que mais arrecadam CFEM no estado do Pará

O Pará está inserido na região amazônica, e sua integração econômica volta-se, em sua maior parte, para o mercado internacional. A apropriação dos recursos naturais é a principal atividade econômica vigente, sendo os recursos minerais um ponto chave na dinâmica do estado, que, por consequência, fizeram surgir indústrias e obras de infraestrutura como hidrelétricas para sustentar a atividade industrial ligada à exploração de minérios da região. Ressalta-se ainda a criação de rotas de escoamento com a implantação de ferrovias que se ligam aos portos visando o mercado externo.

2.2 Emprego, renda e questões de gênero

A indústria extrativa mineral⁴ não é um setor que emprega grande contingente de trabalhadores, apesar de sua importância estratégica como fornecedora de insumos básicos à indústria de transformação. Segundo estimativas das Contas Nacionais do IBGE, a contribuição da extrativa mineral na geração do PIB brasileiro, no ano de 2000, foi de 2,6% e, de acordo com o Censo Demográfico, este setor de atividade ocupava 0,36% dos trabalhadores no país.

Tabela 5 - Pessoas ocupadas no país de 10 anos ou mais de idade – ano de 2000

	Total	Homens	Mulheres
Total	65.629.892	40.860.097	24.769.796
Indústria extrativa mineral	234.869	218.003	16.866
Participação da indústria extrativa na ocupação total (%)	0,36	0,53	0,07

Fonte: IBGE, Censo Demográfico (2000).

Os dados da Tabela 5 levam em conta tanto o setor formal quanto o informal da economia, no entanto, têm a limitação da defasagem temporal do Censo, que é realizado somente a cada dez anos. Este levantamento, realizado em todos os domicílios do país, identifica a situação de trabalho de todas as pessoas ocupadas e o segmento de atividade econômica em que trabalham.

Por outro lado, os dados do Ministério do Trabalho e Emprego (Tabela 6) são disponibilizados anualmente, mas estão restritos ao mercado de trabalho formal (trabalhadores com carteira assinada)⁵.

⁴ De acordo com a Classificação Nacional de Atividades Econômicas – CNAE, classificação utilizada nas estatísticas do IBGE e também do Ministério do Trabalho e Emprego, a Indústria Extrativa inclui os seguintes segmentos de atividade: extração de carvão mineral, extração de petróleo e gás natural e serviços relacionados, extração de minério de ferro, alumínio, estanho, manganês, minerais radioativos, minérios de metais preciosos, minerais para fabricação de adubos e fertilizantes, extração de pedras e outros materiais para construção, outros minerais não-metálicos. Inclui também atividades complementares de beneficiamento associado à extração, desde que este beneficiamento não altere as características físicas ou químicas dos minerais.

⁵ O emprego é o dado básico apurado anualmente através da RAIS – Relação Anual de Informações Sociais do Ministério do Trabalho e Emprego e atualizadas, mensalmente através do CAGED – Cadastro Geral de Admitidos e Demitidos. As estatísticas da RAIS levam em conta, além dos empregados regidos pela CLT, os empregados do setor público e os trabalhadores que prestam serviços por meio de sindicatos, conforme definido em lei.

Tabela 6 - Empregos por gênero em 2003 – total e indústria extrativa mineral

	Total	Homens	Mulheres
Total	29.544.927	15.051.944	11.803.983
Indústria Extrativa	122.806	112.726	10.080
Participação da indústria extrativa na ocupação total (%)	0,42	0,75	0,09

Fonte: MTE - Anuário Estatístico RAIS (2003)

Considerando a diferença do universo pesquisado e a defasagem de tempo entre os dados da Tabela 5 (setor formal e informal e ano de 2000) e Tabela 6 (setor formal no ano de 2003), a participação percentual em número de trabalhadores da indústria extrativa mineral em relação à população total ocupada é bastante similar.

Nas últimas décadas, o mercado de trabalho brasileiro passou por grandes transformações, com aumento de mulheres trabalhando, aumento do desemprego, desregulamentação do mercado de trabalho e crescimento do trabalho informal. Esta situação obrigou mulheres e homens a recorrerem a estratégias de sobrevivência que se distanciaram do setor formal da economia e provocaram a precarização de suas condições de vida.

Apesar da defasagem temporal entre as duas tabelas, a diferença entre o setor formal (Tabela 6) e o total da população ocupada (Tabela 5) poderia ser considerada o setor informal. Portanto, tanto na indústria em geral quanto na indústria extrativa, o setor formal é responsável por cerca de 50% do total da população ocupada.

É interessante observar as diferenças de gênero na indústria extrativa, na qual a participação de mulheres é muito mais baixa do que em outras atividades econômicas. No total da população ocupada, em todo país (pelo Censo), a participação da mulher é de cerca de 37% enquanto na indústria extrativa mineral é de somente 7% (Tabela 5).

Por outro lado, de acordo com os dados da Tabela 6, as mulheres ocupadas na indústria extrativa mineral correspondem a somente 0,07% do total de mulheres trabalhando no país. Em relação aos dados de emprego do RAIS/MTE, a participação da mulher chega a 40% no total das indústrias e 8% na indústria extrativa. Portanto, pode-se concluir que há muito mais mulheres no setor informal que no formal.

O aumento da participação da mulher foi uma transformação importante no mercado de trabalho, na medida em que passou de uma média de 20% da população economicamente ativa (PEA) para 40%, nas últimas quatro décadas. No entanto, esse aumento não superou os obstáculos de acesso a cargos de chefia e diferenças salariais, conforme se observa na Tabela 7.

De maneira geral, a indústria extrativa mineral tende a trazer impactos negativos desproporcionalmente maiores para as mulheres do que para os homens, tendo em vista que os benefícios do aumento do número de empregos e os altos salários são capturados muito mais pelos homens do que pelas mulheres, ao mesmo tempo em que os impactos sociais e ambientais negativos da atividade tendem a atingir e penalizar muito mais as mulheres e crianças (World Bank, 2006).

Como se pode comparar com os dados da Tabela 5, o salário médio (homens e mulheres) da indústria extrativa é mais alto que o da média das outras atividades econômicas, que são: para a região Norte o salário médio era de R\$ 866,63 em 2003, no Nordeste era de R\$ 703,64, no Sudeste era de R\$1.091,18, no Sul de R\$916,89 e de R\$1.121,13 no Centro-Oeste.

Tabela 7 - Remuneração média na indústria extrativa, em 2003
(em R\$)

	Homens	Mulheres
Norte	2.262,51	1.747,36
Nordeste	1.663,62	1.105,04
Sudeste	2.272,83	1.715,82
Sul	884,53	847,08
Centro-Oeste	1.129,79	759,95

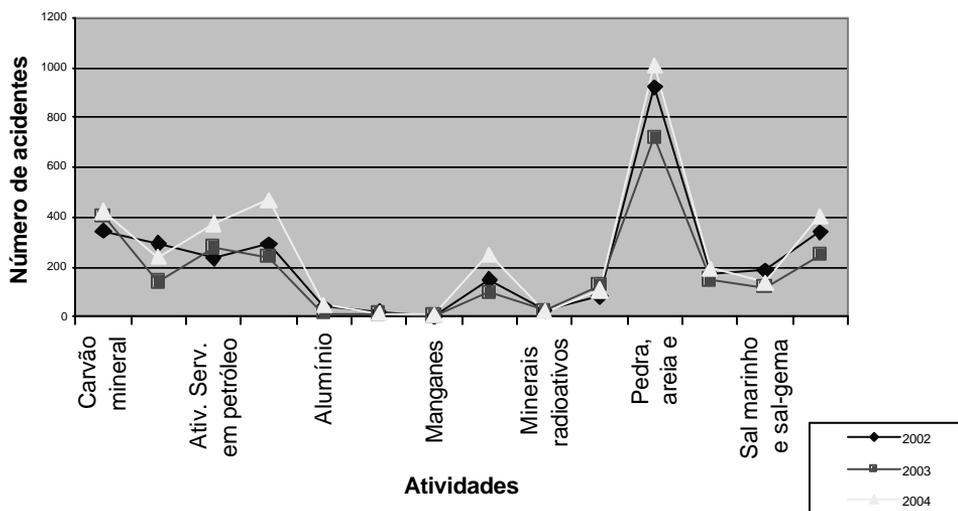
Obs.: média de dezembro de 2003.

Fonte: MTE - Anuário Estatístico RAIS (2003).

2.3 Acidentes de trabalho

As informações sobre acidentes de trabalho são provenientes do Ministério da Previdência e Assistência Social (MPAS), cujos dados limitam-se aos trabalhadores segurados. Os acidentes de trabalho⁶ podem ser definidos como ocorrências repentinas, em situação de risco existentes no local de atividade do trabalhador, podendo resultar em lesão, doença e até em morte.

⁶ Os acidentes de trabalho são agrupados em dois grandes blocos: os acidentes liquidados e os registrados. Os primeiros representam o número de processos de acidentes de trabalho liquidados em um determinado ano, independentemente de o acidente haver ocorrido no ano de referência. Os acidentes registrados correspondem ao número de acidentes cujos processos foram abertos administrativamente pelo INSS. São aqueles dados provenientes das Comunicações de Acidentes de Trabalho – CAT e se dividem-se em: (1) acidentes típicos, que ocorrem no exercício de trabalho, (2) acidentes de trajeto, aqueles sofridos no percurso entre a residência e o trabalho e (3) doenças do trabalho.



Fonte: MPAS - Anuário Estatístico (2004).

Gráfico 2 - Número de acidentes de trabalho por atividades da indústria extrativa mineral

A distribuição em números absolutos dos acidentes de trabalho nos subsetores da indústria extrativa mineral evidencia que a extração de pedra, areia e argila apresenta o mais elevado número de casos nos três anos, com a notificação de cerca de 1000 casos somente no ano de 2004, conforme observado no Gráfico 2.

A incidência de acidentes de trabalho, muito mais do que revelar o número de acidentes, mostra a vulnerabilidade da atividade econômica aos riscos ocupacionais. A incidência é um indicador de frequência que leva em consideração o número de casos no período de avaliação (numerador) e a população exposta (denominador), no caso o número de empregados celetistas. Na Tabela 8, observa-se que o Maranhão possui um número pequeno de trabalhadores e, no entanto, mostra a maior incidência (8,79), sendo seguido de Santa Catarina (4,12), que é o sexto estado em número de celetistas. Os estados que são grandes empregadores na atividade mineral apresentam uma incidência baixa em torno de 1,85, que é a média do total da indústria extrativa mineral. Os estados onde ocorre grande número de acidentes não correspondem, como se pode observar na Tabela 8, com os estados do Pará, Goiás, Bahia, exceto Minas Gerais que tem o maior número de acidentes.

São consideradas também como acidentes de trabalho as doenças ocupacionais, assim entendidas como doenças produzidas ou desencadeadas pelo exercício do trabalho, peculiar à determinada atividade e em função de condições especiais em que o trabalho é realizado (MPAS, 2004).

Tabela 8 - Acidentes de trabalho (At) na indústria extrativa mineral - 2003

Estados	Celetistas	Liquidado	Registrado	Incidência
Minas Gerais	27.708	614	564	2,04
Rio de Janeiro	19.530	345	320	1,64
Espírito Santo	13.314	237	219	1,64
São Paulo	12.576	284	254	2,02
Bahia	8.796	160	152	1,73
Santa Catarina	5.432	242	224	4,12
Rio Grande do Norte	5.290	41	38	0,72
Rio Grande do Sul	4.467	116	106	2,37
Paraná	4.284	90	79	1,84
Goiás	4.276	69	64	1,5
Pará	4.170	30	29	0,7
Ceará	1.856	11	10	0,54
Sergipe	1.609	47	43	2,67
Mato Grosso	1.357	42	39	2,87
Pernambuco	1.353	17	13	0,96
Paraíba	1.221	4	4	0,33
Amazonas	1.145	21	19	1,66
Mato Grosso do sul	1.048	15	15	1,43
Piauí	731	5	5	0,68
Rondônia	518	12	11	2,12
Tocantins	467	5	4	0,86
Alagoas	438	4	4	0,91
Maranhão	398	36	35	8,79
Distrito Federal	232	6	6	2,59
Amapá	114	3	2	1,75
Acre	59	1	1	1,69
Roraima	14	0	0	0
Total indústria extrativa	122.403	2.457	2.260	1,85

Fonte: MPAS - Anuário Estatístico (2004).

Bahia e Minas Gerais foram os estados com respectivamente 45 e 33 casos de doenças ocupacionais no ano de 2003, ficando os demais estados com menos de 10 casos cada: Rio de Janeiro (9), São Paulo (8), Santa Catarina (6), Espírito Santo (5), Rio Grande do Sul (4), Goiás (3), Pará (3), Mato Grosso (2), Rio Grande do Norte (2), Acre (1) e Paraná (1) e Sergipe (1).

As doenças ocupacionais acontecem quando trabalhadores expostos à poeira de sílica, agrotóxicos, chumbo, mercúrio, solventes orgânicos, ou a condições de trabalho repetitivo ou estressante, desenvolvem doenças decorrentes do contato com as matérias-primas utilizadas na empresa ou sobrecarga de atividades. Na indústria extrativa mineral pode-se citar as seguintes intoxicações exógenas causadas por:

- Mercúrio (hidrargirismo) - A doença aparece em trabalhadores que lidam com a extração do mineral ou fabricação de tintas e o absorvem, por meio de inalação, contato com a pele ou via oral.
- Solventes orgânicos (benzenismo) - Por serem tóxicos e agressivos, podem intoxicar trabalhadores de refinarias de petróleo e indústrias de transformação.
- Chumbo (saturnismo) - Em fundições e refinarias, a exposição contínua ao chumbo pode provocar, em longo prazo, um tipo de intoxicação cuja gravidade varia de acordo com as condições do ambiente, tempo de exposição e fatores individuais de saúde do trabalhador.

Outros tipos de doenças relacionadas ao ambiente de trabalho:

- Perda auditiva (PAIR) - A exposição contínua a níveis elevados de ruídos pode provocar diminuição gradual da audição.
- Doenças das vias aéreas - Substâncias agressivas inaladas no ambiente de trabalho, como poeira de sílica e do amianto, depositam-se nos pulmões, podendo causar pneumocomoniose, além da asma ocupacional.
- Dermatoses de contato - Certos agentes químicos manuseados durante o trabalho podem provocar desde irritação e alergia até as chamadas "dermatites de contato", que são alterações da pele e das mucosas.
- LER/DORT (lesão por esforço repetitivo/distúrbio osteomuscular relacionado ao trabalho) - Movimentos repetitivos, trabalho muscular estático e postura inadequada durante muitas horas de trabalho por dia.

As taxas de mortalidade e de letalidade são indicadores de frequência que levam em consideração o número de casos no período de avaliação (numeradores) e a população exposta (denominadores).

A taxa de mortalidade representa o risco médio de um trabalhador sofrer um acidente de trabalho fatal. A Tabela 9 mostra que existe um alto risco de mortalidade no estado do Amapá: 1 (óbito) por 114 (número de celetistas - Tabela 8) multiplicado por 100.000 (igual a 877,19). Por outro lado, o risco é bem menor no estado do Rio de Janeiro onde há 3 (óbitos) por 19.530 (número de celetistas) multiplicado por 100.000.

A taxa de letalidade representa a probabilidade média de que um acidente de trabalho seja fatal. Portanto, o denominador agora não é mais o número de celetistas e sim o to-

tal de acidentes de trabalho liquidados (Tabela 8). A maior letalidade é também no estado do Amapá que apresenta 1(um) óbito por cada 3 acidentes liquidados. O estado que apresentou a menor taxa de letalidade foi Santa Catarina, com 1(um) óbito para 242 acidentes liquidados.

Tabela 9 - Acidentes de trabalho registrados e taxas no ano de 2003.

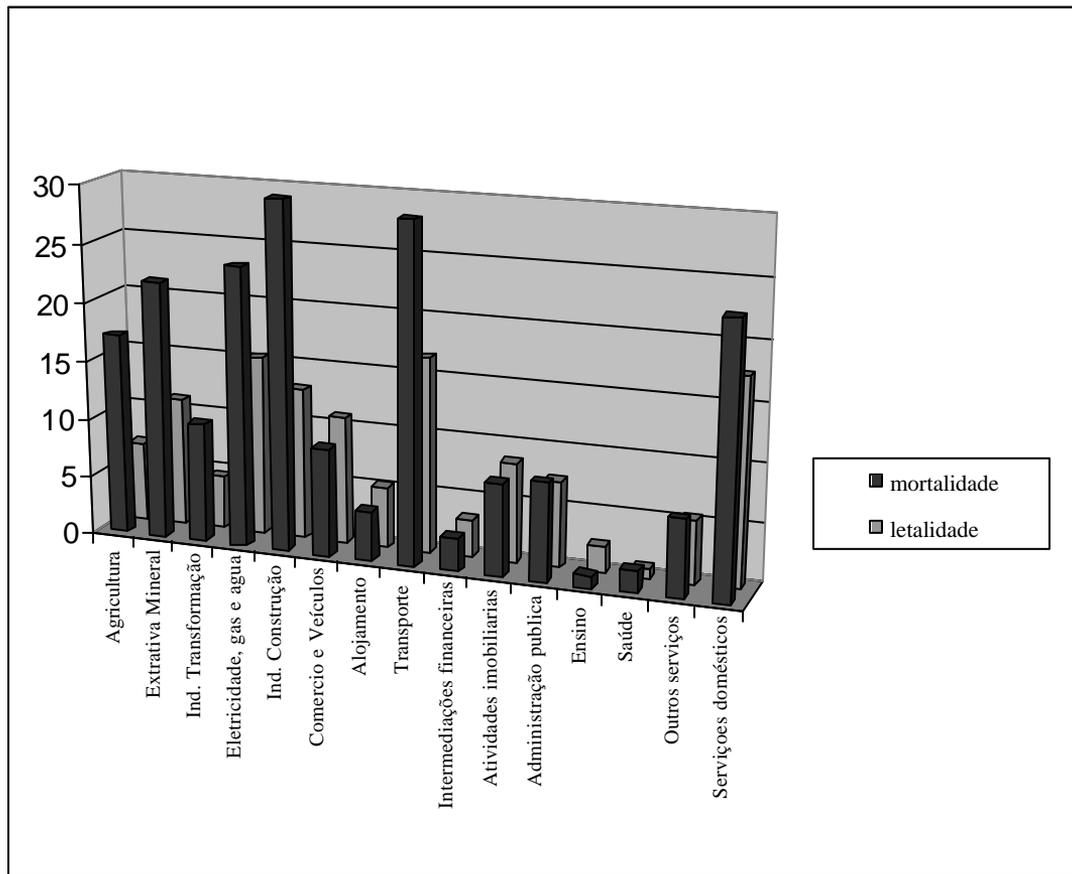
Estados	Típicos	Trajeto	Óbitos	Taxas de Mortalidade	Taxas de Letalidade
Minas Gerais	501	30	9	32,48	14,66
Rio de Janeiro	297	14	3	15,36	8,7
Espírito Santo	208	6	3	22,53	12,66
São Paulo	225	21	3	23,85	10,56
Bahia	105	2	2	22,74	12,5
Santa Catarina	206	12	1	18,41	4,13
Rio Grande do Norte	34	2	1	18,9	24,39
Rio Grande do Sul	100	2	0	0	0
Paraná	72	6	1	23,34	11,11
Goiás	57	4	1	23,39	14,49
Pará	26	0	0	0	0
Ceará	9	1	0	0	0
Sergipe	40	2	0	0	0
Mato Grosso	35	2	0	0	0
Pernambuco	12	1	0	0	0
Paraíba	3	1	0	0	0
Amazonas	17	2	1	87,34	47,62
Mato Grosso do Sul	14	1	0	0	0
Piauí	5	0	0	0	0
Rondônia	7	4	1	193,05	83,33
Tocantins	2	2	0	0	0
Alagoas	4	0	0	0	0
Maranhão	32	3	0	0	0
Distrito Federal	5	1	0	0	0
Amapá	2	0	1	877,19	333,33
Acre	0	0	0	0	0
Roraima	0	0	0	0	0
	2.018	119	27	22,06	10,99

Fonte: MPAS - Anuário Estatístico (2004).

Considerando todos os grupos de atividade econômica, a indústria extrativa mineral fica em quinto lugar quanto à mortalidade, atrás da indústria de construção (1º lugar), transporte (2º), eletricidade, gás e água (3º) e serviços domésticos (4º). Em relação à letali-

dade, a indústria extrativa mineral fica também nesta posição, quase igual ao grupo de comércio e veículos.

O Gráfico 3 mostra que a indústria extrativa tem uma taxa de mortalidade de 22,06 por 100.000 pessoas trabalhadoras com carteira assinada e taxa de letalidade de 10,99 por 1.000, por acidentes liquidados. O setor que apresenta a maior taxa de mortalidade é o da Construção com 29,74 por 100.000 trabalhadores, enquanto a letalidade é maior nos Serviços Domésticos, com uma taxa de 17,54 por 1.000 acidentados.



Fonte: MPAS - Anuário Estatístico (2004).

Gráfico 3 - Taxas de mortalidade e letalidade, segundo grupos de atividade econômica – ano de 2003

3. SETOR INFORMAL

O alto índice de informalidade na atividade de mineração é derivado, dentre outros fatores, de procedimentos de legalização inadequados e, muitas vezes, leva a situações socialmente insustentáveis. O trabalho infantil é uma dessas questões sociais evidenciadas pela Organização Internacional do Trabalho (OIT) e que será discutida no próximo item.

3.1 Trabalho infantil nas cadeias produtivas de base mineral

O trabalho infantil está relacionado ao nível de renda da família, mas não pode ser explicado somente como uma estratégia das famílias mais pobres para aumentá-la. Na realidade, a pobreza está associada a algumas características dos domicílios onde encontramos trabalho infantil, como: o baixo nível educacional dos pais, pais que trabalharam na infância têm filhos que também trabalham, tamanho do domicílio e, principalmente, a região onde este se localiza (Cardoso e Souza, 2004).

Trabalhos recentes apontam a necessidade de se considerar outros fatores que podem também determinar a existência de trabalho infantil. Schwarzman e Schwarzman (2004) observou que o trabalho infantil nas zonas rurais tem menos a ver com exploração de mão-de-obra do que com tradições familiares ou com a ausência e/ou precariedade das escolas. São fatores importantes, portanto, os de natureza cultural que dizem respeito às formas tradicionais e familiares da organização econômica e da incapacidade do sistema escolar em manter as crianças na escola.

O trabalho infantil na mineração está sempre relacionado a um tipo de trabalho que impõe danos físicos e mentais às crianças. É comum tratar dos benefícios do trabalho infantil em algumas atividades, pois nem todo tipo de trabalho é tão danoso, podendo estar associado à disciplina e ao treinamento para o trabalho futuro. No entanto, existem evidências que o trabalho infantil, seja qual for, trás impactos negativos à educação e aos rendimentos futuros (Ilahi *et al*, 2000). O trabalho de crianças e adolescentes é um poderoso inibidor de oportunidades e ganhos futuros, incluindo o de maior escolaridade.

Pode-se afirmar que ainda existe no Brasil o trabalho infantil nas pequenas minerações e nos garimpos. Atualmente, não se observa trabalho infantil em grandes e médias empresas de mineração, tendo em vista as restrições legais severas e sanções à exportação. Nas disputas internacionais de comércio, o combate a esta prática não só é um diferencial em relação a outros países produtores como, principalmente, elimina o risco de ser vetado por novos e antigos mercados.

O avanço no combate ao trabalho infantil no Brasil é bastante claro na última década, quando observado o período de 1993 a 2004, segundo a PNAD⁷, em que houve uma diminuição significativa da percentagem de crianças que trabalham em relação ao grupo de crianças que não trabalham na faixa etária de 5 a 17 anos. Pode-se dizer que este índice caiu pela metade até o ano de 2004. No entanto, a PNAD de 2005 mostra um retrocesso importante na conquista da última década, tendo em vista houve um aumento significativo no percentual de crianças e adolescentes ocupados em todos os grupos de idade, conforme se observa na Tabela 10.

Tabela 10 - Percentual de pessoas ocupadas na população de 5 a 17 anos

Ano	Grupos de Idade			
	5 a 9 anos	10 a 14 anos	15 a 17 anos	Total
1993	3,2	19,6	46,0	10,0
1998	2,9	14,6	35,8	15,1
2003	1,3	10,4	30,3	11,7
2004	1,4	9,5	30,5	11,4
2005	1,8	10,8	30,8	12,2

Fonte: IBGE/PNAD (2005).

A relevância dos diversos fatores que contribuíram para este declínio precisava ser mais estudada. Uma legislação bastante severa e a existência dos programas de transferência de renda para a população de baixa renda - programa Bolsa Escola e o PETI – Programa para a Erradicação do Trabalho Infantil foram fatores utilizados pelas autoridades que mostraram ser eficientes. Em 1995, esforços da Organização Internacional do Trabalho – OIT juntamente com interesses de grandes empresas exportadoras, que já estavam sofrendo acusações de utilizarem em suas cadeias produtivas o trabalho infantil, foram as principais motivações para a criação do PETI. A coexistência do PETI junto ao programa Bolsa Família nos últimos anos, pode estar diminuindo a eficácia do mesmo, na medida em que o programa Bolsa Família remunera melhor e não tem a contrapartida de permanência da criança após as atividades da escola com um tutor. O PETI é muito mais focado nas características e necessidades da criança e adolescente que trabalha.

De acordo com a Tabela 11, o envolvimento de crianças e adolescentes no mercado de trabalho apresenta diferenças regionais bastante significativas. A região Nordeste apresentou o maior percentual de ocupação na faixa etária de 5 a 14 anos, sendo seguida

⁷ O IBGE/PNAD – Pesquisa Nacional de Amostra por Domicílio do IBGE, consiste numa pesquisa anual por amostragem e, portanto, não tem o detalhamento censitário e não possibilita uma contagem nos níveis mais desagregados como o município, sendo os estados da federação a menor unidade.

pela região Sul. A região Sudeste é a que apresenta os menores níveis nas duas faixas etárias. Na faixa etária, de 15 a 17 anos, a região Sul apresenta o maior índice.

Tabela 11 - Pessoas de 5 a 17 anos, ocupadas, em atividade no trabalho principal – 2005.

Região	Grupos de Idade	Agrícola	Não-agrícola	Total
Norte	5 a 9 anos	27.402	14.651	42.053
	10 a 14 anos	112.527	112.167	224.694
	15 a 17 anos	102.427	199.535	301.962
	Total	242.356	326.353	568.709
Centro-Oeste	5 a 9 anos	4.803	2.658	7.461
	10 a 14 anos	39.868	51.478	91.346
	15 a 17 anos	52.625	187.976	240.601
	Total	97.296	242.112	339.408
Nordeste	5 a 9 anos	130.765	36.060	166.825
	10 a 14 anos	614.309	281.255	895.564
	15 a 17 anos	584.927	542.018	1.126.945
	Total	1.330.001	859.333	2.189.334
Sudeste	5 a 9 anos	25.423	12.512	37.935
	10 a 14 anos	129.796	241.155	370.951
	15 a 17 anos	171.512	909.981	1.081.493
	Total	326.731	1.163.648	1.490.379
Sul	5 a 9 anos	43.853	4.764	48.617
	10 a 14 anos	197.861	84.406	282.267
	15 a 17 anos	170.473	362.251	532.724
	Total	412.187	451.421	863.608
Brasil		2.408.571	3.042.867	5.451.438

Fonte: IBGE/PNAD (2005).

Observa-se que, na região Nordeste, onde o nível de ocupação das crianças e adolescentes é mais elevado, a participação da população é maior na atividade agrícola. Em todas as faixas de idade, a atividade agrícola na região Nordeste permanece como a mais importante atividade para crianças e adolescentes.

Nas demais regiões, à medida que avançam em idade o número de crianças e adolescentes em atividades não-agrícolas aumenta, por outro lado, o aumento do número destes na atividade agrícola é proporcionalmente menor, chegando mesmo a diminuir na região Sul, na faixa dos 15 a 17 anos. Nas regiões Sudeste e Sul, o número de adolescentes em atividades não-agrícolas aumenta muito na faixa de 15 a 17 anos.

Estes números delimitam o campo para diagnósticos e ações de combate ao trabalho infantil. Portanto, são 4.766.697 crianças e adolescentes (soma de todas as faixas etárias nas regiões) ocupadas no Brasil, em todas as atividades econômicas, no ano de 2004.

A OIT fez uma estimativa, a partir dos dados da PNAD de 2003, de cerca de 150.000 crianças e adolescentes ocupados na mineração, considerando somente as atividades de extração e beneficiamento de minerais metálicos e não-metálicos.

O documento "Mapa Indicativo de Trabalho Infantil e Adolescência – 2004", do Ministério do Trabalho e Emprego⁸, resulta na integração de dados da ação de fiscalização para a erradicação do trabalho infantil, que é levada a cabo pelos auditores-fiscais do trabalho e servidores atuantes nos GECTIPAs, grupos especiais de combate ao trabalho infantil e proteção ao trabalhador adolescente. Estes dados não são quantitativos, mas refletem a situação dos municípios segundo as observações qualitativas da fiscalização do trabalho, que visam localizar atividades ilícitas.

O MTE apresenta duas listas⁹, uma lista dos municípios onde foram encontrados focos de trabalho infantil e outra de municípios com indicativo de redução do trabalho infantil. Nestas listas são apresentadas as atividades de mineração e as que fazem parte de cadeias produtivas relacionadas a mineração, como:

- Cerâmicas e olarias.
- Extração de pedra, areia e argila.
- Extração de pedras preciosas e semipreciosas.
- Extração e beneficiamento de pedras e outros minerais não-metálicos.
- Fabricação de artefatos de gesso e peças forjadas de aço e ferro.
- Artesanato com pedra-sabão.
- Salinas.
- Produção de carvão vegetal.

Tendo em vista que as atividades de cerâmica e olarias; extração de pedra, areia e argila e a produção de carvão vegetal foram as atividades que tiveram o número mais expressivo de focos de trabalho infantil, foram elaborados mapas (Lima e Teixeira, 2006), considerando o universo das minas pequenas, classificadas pelo DNPM como de classe H e I, ou seja, que produzem menos de 50.000 t/ano do produto. Neste trabalho foram identificados os municípios onde estão estas minas e as cerâmicas e olarias. Estas atividades são predominantemente produzidas em minas de pequeno porte, que correspondem a 71% do total das minas exploradas no Brasil. Os mapas mostram a abrangência e a dis-

⁸ Não existe correspondência dos dados deste documento com as denominações das atividades econômicas utilizadas na IBGE/PNAD. Esta classificação é muito pouco precisa e não possibilita uma compatibilização com dados de outras fontes.

⁹ As duas listas foram unidas, pois mesmo havendo o indicativo de redução de trabalho infantil não significa que este tenha sido eliminado.

persão dentro do território nacional das atividades que ainda utilizam trabalho infantil nas cadeias produtivas de base mineral.

4. AGENDA DE PRIORIDADES – BRASIL 2015

A seguir, listaremos algumas propostas de ações para o setor público, como:

- Fazer estudos aprofundados dos grandes empreendimentos mineiros no país, tendo como escopo as variáveis intangíveis (cultura local, comportamento da sociedade civil, organização institucional e produtiva, competição e cooperação), para identificarmos os casos bem sucedidos, que contribuíram para o desenvolvimento local *versus* casos dos empreendimentos que pouco ou nada contribuíram para esse desenvolvimento. Proposta de ação.
- Identificar novas questões sociais relacionadas à atividade de mineração, como: trabalho infantil em cadeias produtivas de base mineral, questões de emprego e produtividade do trabalho, os acidentes de trabalho no setor informal da mineração. Dar continuidade e aprofundar as análises de questões que já estão sendo estudadas. Proposta de ação.
- Incentivar a articulação interna dos atores em cada um dos municípios mineradores (empresa privada, governo local e sociedade civil) criando canais efetivos e eficientes entre eles. O planejamento estratégico participativo é um exemplo de instrumento indispensável para o empreendimento mineral, seja ele grande, médio ou pequeno e, em qualquer das suas fases inclusive, para o fechamento da mina.
- Divulgar informações importantes para a comunidade, como os valores da arrecadação da CFEM e o uso feito pelas prefeituras desse recurso. O governo local (municipal) deve ser transparente com as contas da CFEM e sua aplicação nos projetos sociais de cada comunidade.
- Retomar a agenda da “I Oficina nacional sobre o trabalho de crianças e adolescentes no setor mineral” , Belo Horizonte, set. 2005.

5. CONCLUSÃO

Grandes mudanças podem ser observadas, nos últimos anos, em relação à atividade mineral e sua postura diante dos impactos sociais que acarreta para as comunidades locais. A tendência para os próximos anos é de que essas questões sejam aprofundadas. Cabe, portanto, aos diversos atores a tarefa de fazerem análises mais profundas dos problemas sociais, além de apresentarem e testarem novas práticas. É importante levar-se em conta que existem diferentes perspectivas para essas análises e práticas: a do setor privado (empresas), a da sociedade civil e comunidades locais e a do governo, nos diversos níveis (municipal, estadual e federal).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MINISTÉRIO DA PREVIDÊNCIA E ASSISTÊNCIA SOCIAL - Anuário Estatístico - MPAS - (2004) <http://www.mpas.gov.br>
- MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO - Anuário Estatístico/RAIS - Relatório Anual de Informações Sociais (2004) <http://www.mte.gov.br/estudiosospesquisadores>
- PNUD (2007) ATLAS DO DESENVOLVIMENTO HUMANO NO BRASIL, PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento/Dados de 2000, <http://www.pnud.org.br>
- CARDOSO, E.; SOUZA, A. P. (2004), *The impact of cash transfers on child labor and school attendance in Brazil*, Working Paper 04-W07, Vanderbilt University, Nashville.
- DINIZ, C.C. (2000), *Global-local: interdependência e desigualdade ou notas para uma política tecnológica e industrial regionalizada no Brasil*, Seminário Arranjos & Sistemas produtivos locais e as novas políticas de desenvolvimento industrial e tecnológico, Rio de Janeiro.
- DNPM (2006), Anuário Mineral Brasileiro, DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília.
- ILAHY, N.; ORAZEM, P.; SEDLACEK, G. (2000), *The implications of child labor for adult wages, income and poverty: retrospective evidence from Brazil*, Unpublished Working Paper. The World Bank, Washington D.C.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2000) - Censo Demográfico, Rio de Janeiro.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2005) - *Produto Interno Bruto dos Municípios 1999-2002*, Contas Nacionais, número 14, Rio de Janeiro.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2005) - Programa Nacional de Amostra por Domicílios - PNAD, Rio de Janeiro.
- LIMA, M.H.M.R.; TEIXEIRA, N.S. (2006) *O trabalho infantil em cadeias produtivas de base mineral*, in, Castilhos, Z.; Lima, M.H.M.R.; Castro, N.F.(orgs), *Gênero e Trabalho Infantil na Pequena Mineração*, CETEM/MCT, Rio de Janeiro
- MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO (2004), *Mapa de indicadores de trabalho da criança e do adolescente*, Ministério do Trabalho e Emprego, Brasília.
- MONTEIRO, M. A. (2005), *Meio século de mineração industrial na Amazônia e suas implicações para o desenvolvimento regional*. Estudos Avançados 19 (53).
- REVISTA BRASIL MINERAL (2005), *As maiores empresas do setor mineral*, Ano XXII, Nº 240.
- SCHWARSTMAN, S.; SCHWARSTMAN, F. (2004), *Tendências do trabalho infantil no Brasil entre 1992 e 2002*, OIT – Organização Internacional do Trabalho, Brasília.
- WORLD BANK, (2001), *Large mines and the community: socioeconomic and environmental effects in Latin America, Canada and Spain*. IDRC/World Bank.
- WORLD BANK (2006) *Sharing experience: enhancing the benefits to communities from extractive industry projects*. CommDev Workshop, IFC/World Bank, Washington.

CAPÍTULO 5

INVESTIMENTOS EM PESQUISA GEOLÓGICA

*José Guedes de Andrade**

1. INTRODUÇÃO

A pesquisa geológica, base para o desenvolvimento do setor mineral, compreende os levantamentos geológicos básicos, a prospecção e a exploração mineral¹. É também fundamental às diversas áreas da engenharia e ao planejamento para a gestão do meio físico.

Os levantamentos geológicos básicos envolvem as atividades de mapeamento geológico e de levantamentos geofísicos e geoquímicos, executados em escala regional, semidetalhada e detalhada. São atividades desenvolvidas pelos governos, principalmente federal e estadual, tendo como objetivo atender as necessidades de planejamento e tomada de decisões por parte dos órgãos governamentais e, em especial, por investidores do setor mineral. A aplicação de recursos financeiros nesses levantamentos acarreta investimentos subsequentes em prospecção e produção mineral, daí resultando benefícios para vários níveis da economia, com melhor aproveitamento dos recursos naturais, fortalecimento das economias local e regional, desenvolvimento tecnológico, atração de investimentos para a indústria de transformação e, conseqüentemente, geração de emprego e renda.

As atividades de prospecção e exploração mineral também são desenvolvidas por órgãos de governo, mas, principalmente, pela iniciativa privada. A prospecção visa identificar os ambientes geológicos favoráveis à descoberta de depósitos minerais, enquanto a exploração mineral objetiva a definição e quantificação de jazidas minerais.

2. IMPORTÂNCIA DOS INVESTIMENTOS EM PESQUISA GEOLÓGICA

Os investimentos em pesquisa geológica, tanto básica como exploratória, são de grande importância para o desenvolvimento de um país ou de uma região.

No caso da pesquisa básica, os levantamentos sistemáticos da cartografia geológica do país são voltados para a elaboração de mapas geológicos com diversas configurações temáticas, tendo como principal objetivo reconstruir parte da história geológica da

* Formado em Geologia pela UFPE, Mestre pela Colorado School of Mines e Doutor em Engenharia Mineral pela USP.

¹ A exploração mineral corresponde à expressão "pesquisa mineral", freqüentemente usada no Brasil, inclusive no Código de Mineração. A prospecção é considerada a etapa preliminar da exploração mineral.

Terra, representada em determinada área. Intimamente relacionada às várias etapas de desenvolvimento dessa história, está a origem dos mais diversos depósitos minerais. Assim, o mapeamento geológico possibilita uma melhor compreensão do processo gerador de concentrações de bens minerais, permitindo definir, com relativa precisão, o seu potencial e, em alguns casos, prever a sua existência.

Por outro lado, os mapas geológicos temáticos são utilizados nas diferentes áreas do conhecimento humano, tais como: engenharia civil (traçado de túneis e estradas, locação de portos, aeroportos, oleodutos, gasodutos, loteamentos etc.); engenharia elétrica (locação de usinas hidrelétricas, nucleares e térmicas); engenharia agrícola e florestal (suporte na definição de tipos e fertilidade dos solos); engenharia ambiental (prevenção, impactos e recuperação de áreas degradadas); defesa civil (análises de riscos e prevenção de catástrofes naturais – enchentes, escorregamentos de morros, terremotos etc.); saúde pública (qualidade das águas); geologia médica (influência de fatores geológicos ambientais sobre a saúde humana e dos animais).

Os mapas geológicos são também de suma importância no apoio à elaboração de planos diretores de instituições públicas, comitês de bacias hidrográficas, empresas privadas e organizações da sociedade civil, objetivando o ordenamento territorial e a gestão ambiental de regiões geográficas (bacias hidrográficas, unidades de conservação, áreas municipais, regiões metropolitanas, áreas costeiras e zonas de fronteiras). São imprescindíveis na indicação de áreas propícias para: urbanismo (limitação ou expansão de moradia, locação de aterros sanitários e cemitérios, zonas industriais); mineração (recursos minerais, inclusive para materiais de construção); preservação de mananciais (locação, avaliação e captação de recursos hídricos); turismo (áreas de beleza cênica e seu grau de estabilidade).

A pesquisa exploratória compreende a prospecção e a exploração mineral propriamente dita. A primeira é normalmente empreendida pelos órgãos de governo, mas também pelas empresas de mineração, principalmente na preparação de mapas com escala maior que 1:50.000. Essas atividades englobam os mapas geológicos, geofísicos e geoquímicos, muito úteis para a fase de exploração, desenvolvida principalmente sobre a égide das empresas de mineração. A exploração mineral corresponde ao primeiro elo da cadeia de suprimentos minerais. É por meio dela que as empresas iniciam a busca por depósitos minerais de valor comercial.

2.1 Benefícios para a sociedade

Além dos benefícios proporcionados pela utilização dos mapas geológicos em suas diversas escalas e temáticas, outros benefícios são esperados da pesquisa geológica, principalmente da exploração mineral.

O resultado mais relevante da fase de exploração mineral é a descoberta de depósitos que podem gerar minas, transformando em riqueza um recurso até então desconhecido,

ou pouco conhecido. No entanto, é na fase de mineração que esses benefícios se apresentam mais contundentes, refletidos de forma direta e indireta, como destaca Andrade (2001).

Benefícios diretos:

- Entrada de capitais na região onde vai se realizar o projeto de exploração.
- Criação de novos empregos para geólogos, geofísicos e demais profissionais envolvidos com a atividade de exploração.
- Treinamento da mão-de-obra local, ou mesmo regional, a fim de atender as novas funções demandadas pela implantação dos projetos de exploração e, quando é o caso, de mineração.
- Instalação de infra-estrutura, em termos de estradas de acesso, portos e outras facilidades inerentes aos projetos de grande porte da indústria mineral, em função do desenvolvimento de projetos de mineração em áreas remotas.
- Arrecadação financeira (impostos, taxas e *royalties*), advinda da indústria de mineração e destinada aos governos federal, estaduais e municipais.
- Crescimento substancial do comércio de bens e serviços supridos pela comunidade onde se instala um programa de exploração, quando ocorre a mineração.
- Incremento no conhecimento da geologia local e regional.

Os benefícios indiretos para o governo e a sociedade, resultantes das atividades de exploração e mineração, são observados através do Produto Interno Bruto (PIB), da balança comercial e de outros indicadores econômicos, os quais refletem a aplicação de recursos para a sociedade através das atribuições de responsabilidade do governo, tais como: educação, saúde, segurança, infra-estrutura e, até mesmo, amparo financeiro às populações de baixo poder aquisitivo.

Considerando o importante papel da exploração mineral para o desenvolvimento do setor mineral de um país ou de uma região, é importante que se encoraje essa atividade, principalmente do ponto de vista social, econômico e ambiental, ou seja, com uma visão de desenvolvimento sustentável. Esse encorajamento se dá mediante políticas de incentivo para ampliação do conhecimento geológico e dos investimentos na exploração mineral, dentre outras.

2.2 Políticas governamentais de incentivo

O conhecimento do potencial geológico de um país ou região é de fundamental importância para as atividades de exploração mineral, as quais desempenham um papel crítico no processo de conversão da dotação física de minerais em reservas econômicas. Porém, como afirma Eggert (1992), o nível de exploração em um país é determinado

não somente pelos fatores geológicos, tecnológicos e econômicos, mas também por políticas governamentais.

Os governos podem se utilizar de políticas de fomento a fim de ampliar o conhecimento do potencial geológico, incentivando assim a exploração mineral. Dentre essas políticas, destacam-se aquelas voltadas para a coleta e disseminação de informações geológicas básicas, bem como programas de incentivo à exploração. Outras medidas, tais como restrições ao acesso em terras prospectáveis e taxaço da renda econômica², desencorajam a exploração.

Dentre os fatores que influenciam as empresas na alocação dos investimentos em exploração são considerados mais importantes os que atingem o potencial de retorno econômico dos projetos, tendo em vista que a exploração mineral é visualizada, pelas empresas, como um investimento em uma futura capacidade produtiva. De acordo com pesquisa realizada por Andrade (2001), destacam-se os seguintes fatores:

- Fatores mais relevantes: potencialidade geológica, legislação mineral, legislação tributária, acesso à terra, estabilidade política, estabilidade social (transparência, segurança).
- Fatores medianamente relevantes: estabilidade econômica, legislação ambiental, legislação comercial, infra-estrutura.
- Fatores pouco relevantes: incentivos fiscais, conhecimento geológico, localização geográfica, grau de desenvolvimento do país (econômico, industrial, tecnológico).

As políticas governamentais são, portanto, imprescindíveis para o desenvolvimento da exploração mineral. Quando bem direcionadas, afetam positivamente os fatores mais relevantes para as empresas, destacando-se o conhecimento do potencial geológico do país. Esse conhecimento, associado a outros fatores relevantes, determina o nível dos investimentos na exploração mineral, por parte da iniciativa privada.

3. INVESTIMENTOS EM GEOLOGIA BÁSICA

Como já relatado na seção anterior, os investimentos em geologia básica são destinados tanto às atividades desenvolvidas no âmbito governamental, quanto àquelas desenvolvidas pela iniciativa privada. Pela sua abrangência, são geralmente de responsabilidade dos governos, com pouca ou nenhuma participação por parte da iniciativa privada, na obtenção das informações geológicas básicas, pelo menos por duas razões, como analisa Eggert (1992): primeiro porque o setor privado é mais adverso ao risco do que a so-

² A renda econômica é definida como sendo a diferença entre o preço que é realmente pago e o preço que teria de ser pago para que um bem ou serviço fosse produzido (Stiglitz, 1996) apud Otto *et al.* (2006). É a diferença entre o preço de mercado para uma *commodity* ou insumo e seu custo de oportunidade (Cordes, 1995) apud Otto *et al.* (2006). É essa expectativa de retorno que estimula as empresas a investirem em exploração mineral (Doggett, 1994).

cidade em geral e, dessa forma, não estaria disposto a investir o montante ótimo – na visão da sociedade – em atividades com longa duração e retorno incerto, tais como a coleta de informações geológicas básicas para uso em exploração regional; em segundo lugar porque as empresas privadas dificilmente se beneficiariam de todos os dados por elas coletados durante o levantamento das informações geológicas regionais e, portanto, estariam investindo na obtenção de dados que seriam utilizados por toda a sociedade sem a obtenção de qualquer retorno pelo correspondente dispêndio. Logo, o conhecimento geológico regional (ou básico) é uma atribuição dos governos, os quais possuem um importante papel ao prover as informações básicas sobre as quais os geólogos exploracionistas baseiam suas percepções do potencial mineral, além da utilização pelos demais setores da economia, como mencionado anteriormente.

Naturalmente, a política mineral de um governo, no que se refere ao levantamento de informações geológicas básicas, dependerá de suas condições financeiras e dos interesses da sociedade. Assim, faz-se necessário um cuidadoso planejamento a fim de selecionar os dados mais urgentes para a exploração e para os demais usos das informações geológicas; deve-se proceder a uma quantificação dos custos e benefícios dos vários tipos de informações geológicas, antes de se decidir que dados serão coletados. Por se tratar de investimentos de grande vulto, geralmente sua aplicação nos países em desenvolvimento tem sido aquém de suas necessidades.

Ao comentar a importância dos serviços geológicos na exploração mineral, Johnson (1990) observa que, quando se compara a política da Austrália, Canadá e Estados Unidos àquela dos países em desenvolvimento, é impressionante o montante relativamente grande de informações geológicas básicas supridas por aqueles países, através de seus serviços geológicos. E complementa:

“Os governos da maioria dos países em desenvolvimento são ineficientes na compilação e distribuição das informações geológicas para os potenciais investidores. É raro encontrar uma lista completa de mapas, publicações e relatórios atualizados que possam ser prontamente obtidos ou examinados por potenciais investidores.”

No Brasil, não tem sido diferente; a falta de investimentos em pesquisa geológica básica tem sido crônica. Desde 1934, quando foi criado o Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) até o final da década de 1950, o órgão passou por longos períodos de escassez de recursos, tanto financeiros como humanos e materiais.

Somente a partir da década de 1960, o Brasil presenciou um período áureo para o conhecimento geológico do país, devido à realização de uma série de eventos voltados para esse fim. Em 1960, foi criado o Ministério das Minas e Energia (MME), ao qual passou a ser vinculado o DNPM, até então subordinado ao Ministério da Agricultura (MA). Mesmo assim, continuavam escassos os recursos financeiros destinados ao DNPM, que

só foram reforçados após a criação do Fundo Nacional de Mineração (FNM)³, em 1964; no mesmo ano, foi elaborado o *I Plano Mestre Decenal para a Avaliação de Recursos Minerais do Brasil 1965-1974 (I PMD)*, que estabelecia um programa sistemático de levantamentos geológicos e avaliação dos recursos minerais brasileiros. Ao mesmo tempo, a Petrobras passou a desenvolver o mapeamento das áreas sedimentares visando à prospecção de petróleo, e a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) iniciou trabalhos de mapeamento geológico sistemático, em escala de semidetalhe, no Nordeste. Data dessa mesma época a formação das primeiras turmas de geólogos no Brasil, bem como a reforma do Código de Mineração (1967), que se encontra vigente até os dias atuais (2006), embora tenha sofrido algumas modificações nesse período.

No primeiro ano da década de 1970, entrou em operação a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM)⁴, facilitando a atuação do DNPM – fortalecido pelos incentivos do FNM⁵ – na execução de suas atribuições, principalmente daquelas decorrentes do I PMD. Além de atender ao DNPM, também se constituíram objetivos da CPRM: a exploração mineral (objetivando desenvolver a mineração brasileira) e a prestação de serviços a outros órgãos responsáveis pelo estudo dos recursos naturais do país, dentre eles o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) e a SUDENE.

Vários órgãos estaduais de geologia e mineração foram criados na década de 1970⁶, alguns deles realizando atividades de mapeamento geológico e/ou de exploração mineral. No âmbito federal também foram criadas algumas empresas⁷, além da implantação do Projeto Radar da Amazônia (RADAM), pelo DNPM, e do Projeto Reconhecimento da Margem Continental (REMAC) – convênio entre o Ministério da Marinha, DNPM e CPRM.

Todas as iniciativas citadas contribuíram para que os investimentos em geologia básica e geofísica alcançassem, na década de 1970, cifras nunca antes verificadas, segundo estudo elaborado pela Sociedade Brasileira de Geologia (1985). De fato, conforme se verifica na Figura 1, o investimento médio, no período 1970-79, foi de US\$41,5 mi-

³ O Fundo Nacional de Mineração, instituído pela Lei nº 4425/64, foi vinculado ao MME/DNPM, com o objetivo de prover e financiar a busca, descoberta e avaliação de recursos minerais em todo o território nacional, assim como os estudos complementares relacionados com as atividades de produção de bens primários.

⁴ A CPRM foi criada pelo Decreto-Lei nº 764, de 15 de agosto de 1969.

⁵ Em 1969, pelo Decreto-Lei 1038 o FNM passou a ser constituído da cota-parte da União (10%) no Imposto Único sobre Minerais (IUM); 2,4% do valor do óleo ou gás extraídos da plataforma continental; 20% dos dividendos pagos à União pela Companhia Vale do Rio Doce (CVRD); alíquota de 0,3% (alocados ao DNPM) do Imposto Único sobre Combustíveis e Lubrificantes Líquidos; e 0,5% do preço de realização dos combustíveis automotivos, do querosene iluminante e do gás liquefeito de petróleo (Alínea J, Art.13 do Decreto-Lei nº 1387/75).

⁶ Dentre os órgãos criados, destacam-se: Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM), Minérios de Pernambuco S.A., Metais de Minas Gerais S.A. (METAMIG) – sucedida pela atual Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG), Metais de Goiás S.A. (METAGO) e Minérios do Paraná S.A. (MINEROPAR).

⁷ Na área federal, citam-se dentre outras: a Rio Doce Geologia (DOCEGEO) – subsidiária da Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), para cuidar da exploração mineral da Empresa – e a NUCLEBRAS, braço executivo da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), na exploração dos minerais nucleares.

Ihões/ano (em valores de 2005)⁸. A partir de então, caiu abruptamente até 1981, quando foi extinto o FND⁹. Os anos seguintes foram de penúria, com investimentos diretos na faixa média de US\$6,5 milhões/ano, variando entre o mínimo de US\$0,4 milhão (1985) e o máximo de US\$12,7 milhões (1996). Somente em 2005 verificou-se uma recuperação desses investimentos, que alcançaram a cifra de US\$13,2 milhões, graças a uma melhoria no orçamento da CPRM, principalmente no que se refere aos levantamentos geofísicos.

Apenas com esse incremento já foi possível a retomada dos levantamentos geológicos em diferentes partes do território nacional (CPRM, 2006). No ano de 2005, foram desenvolvidas, pela CPRM, atividades de mapeamento (nas escalas 1:100.000 e 1:250.000) em 17 estados da Federação, abrangendo um total de mais de 400.000 km² (4,7% do território). Também foram iniciadas parcerias com universidades públicas de 14 estados, que estão participando do mapeamento, na escala 1:100.000, perfazendo um total de 150.000 km² (1,75% do território).

No que se refere aos levantamentos aerogeofísicos, a CPRM deflagrou 10 projetos, dos quais um foi concluído em 2005 e o restante o será em 2006, compreendendo cerca de 1.170.000 km de perfis, ou cerca de 5,3% do território nacional, em áreas prioritárias do Norte, Nordeste e Centro-Oeste.

⁸ Todos os dados de investimentos citados neste capítulo se referem a dólares americanos, com valores constantes a preços de 2005, atualizados pelo U.S Consumer Price Index.

⁹ Em 1974, o FNM sofreu o primeiro impacto, com a transferência de 50% do IUM (cota parte da União) para o Fundo Nacional de Desenvolvimento (FND). Em 1981, o FND foi extinto pelo Decreto-Lei nº 1859 (Machado, 1989).

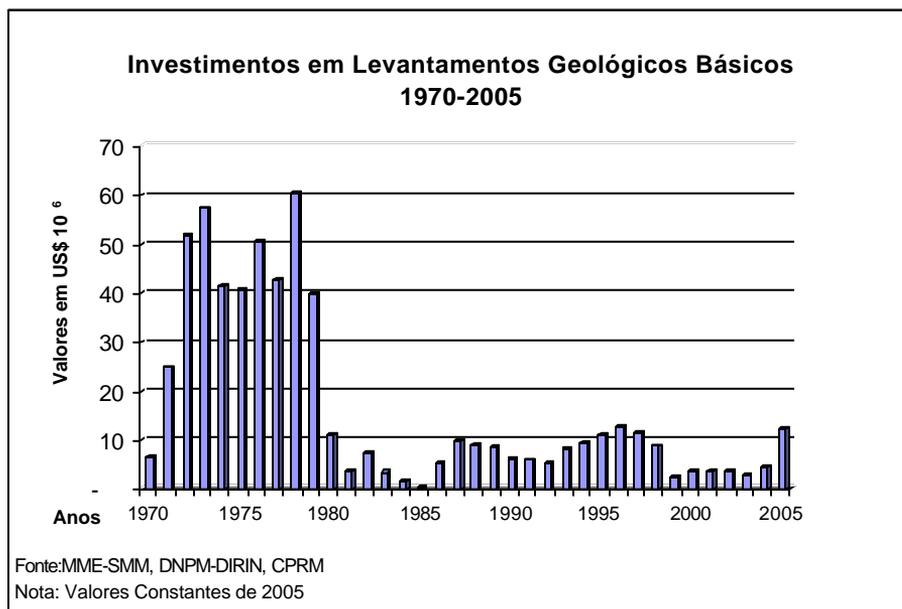


Figura 1 - Investimentos em Levantamentos Geológicos Básicos – 1970-2005

Espera-se a continuidade dessa recuperação nos próximos anos, com a aplicação dos recursos governamentais advindos da *participação especial* na exploração e produção de petróleo e gás natural¹⁰. Se já estivessem sendo aplicados, esses recursos seriam da ordem de US\$125 milhões/ano (média observada no triênio 2003-2005). Como se nota, a aplicação de 50% desse montante faria com que os investimentos alcançassem valores semelhantes aos observados na década de 1970.

Apesar de apresentar sinais de recuperação, os investimentos por parte do governo federal continuam pequenos, principalmente quando se consideram as dimensões continentais do Brasil. Há investimentos por parte dos governos estaduais, no entanto esses dados não estão disponíveis. Por isso, a análise procedida limitou-se às informações obtidas apenas para os investimentos realizados no âmbito federal.

Como resultado dos poucos investimentos verificados ao longo dos anos, o grau de conhecimento da geologia do país ainda é muito baixo; apenas 14% do país estão mapeados na escala 1:100.000 e 46%, na escala 1:250.000, como se constata na tabela a seguir.

¹⁰ Lei nº 10.848/04 prevê a aplicação de 15% da cota-parte do Ministério de Minas e Energia em projetos e estudos destinados a promover o conhecimento geológico do território brasileiro.

Tabela 1 - Cartográfica Geológica do Brasil (DNPM / CPRM)

Escala	Produto	Nº folhas	Km2	%	Total
1:250.000	PLGB *	62	1.116.000	13,1	45,9 %
	Pré-PLGB **	155	2.790.000	32,8	
	PLGB (integração) ***	41	738.000	8,7	
1:100.000	PLGB *	147	441.000	5,2	10,0 %
	Pré-PLGB **	135	414.000	4,8	
	PLGB (integração) ***	111	333.000	3,9	

Fonte: CPRM - Banco de Dados Geológicos (GEOBANK), 2006a

* Mapas geológicos posteriores a 1986

** Mapas geológicos anteriores a 1986

*** Mapas geológicos com atividade de campo insuficiente

4. INVESTIMENTOS EM EXPLORAÇÃO MINERAL¹¹

Informações sobre a exploração mineral no Brasil são conhecidas desde o período colonial, a partir das primeiras notícias, datadas do final do século XVI, registrando as descobertas de ouro no estado de São Paulo e, posteriormente, em Minas Gerais (Abreu, 1973).

A partir dessas descobertas, várias expedições visando à prospecção desse metal, de pedras preciosas e de outros bens minerais foram implementadas, resultando em inúmeros depósitos minerais. Embora sejam conhecidos os registros de grande parte dessas ocorrências, pouco se sabe a respeito dos investimentos alocados aos trabalhos de exploração mineral. Somente a partir da entrada em vigor do Código de Mineração (Decreto-Lei nº 227, de 28.02.1967) (Brasil, 1981), essas informações passaram a ser coletadas pelo DNPM, ainda de forma precária, sem que fossem organizadas e disponibilizadas para efeito de análise econômica. Mesmo assim, as informações apresentadas referiam-se aos orçamentos para exploração mineral (ou pesquisa mineral, como é designada pelo Código).

De acordo com o Código de Mineração (Art. 16, Inciso VII¹²), as empresas e pessoas físicas interessadas em desenvolver atividades de exploração mineral passaram a ser obrigadas a apresentar documentação constando, dentre outras exigências, de um “plano dos trabalhos de pesquisa acompanhado do orçamento e cronograma previstos para sua execução”, sem o qual não lhes seria concedido, pelo governo federal, o alvará de pesquisa.

¹¹ Este tópico corresponde à atualização da seção 4.2 Exploração Mineral no Brasil, da tese de doutorado Competitividade na Exploração Mineral, de José Guedes de Andrade, defendida na EPUSP, em 2001.

¹² Conforme redação alterada pela Lei nº 9.314, de 14.11.1996.

A partir da publicação do *Anuário Mineral Brasileiro* (1972), as estatísticas do setor mineral brasileiro passaram a ser divulgadas de forma sistemática. No entanto, as informações sobre a exploração mineral só eram coletadas para as atividades desenvolvidas na área da mina, em função da obrigatoriedade, por parte dos concessionários de lavra, de apresentação do relatório anual de lavra contendo, entre outras, as informações sobre “investimentos feitos na mina e nos trabalhos de pesquisa” – Art. 50, Inciso V do Código de Mineração (Brasil, 1981).

Somente em 1983 foi iniciado o levantamento periódico dos investimentos em exploração mineral, através do Sistema de Investimentos em Pesquisa Mineral (SIPEM)¹³, no qual são agrupados os dados de investimentos em áreas com alvará de pesquisa, detalhados por: substância mineral, local do projeto, empresa e valor do investimento alocado. Esses dados estão disponíveis para o período 1982-1999. A partir de 1999, o DNPM implantou uma mudança metodológica na obtenção dos dados, que passaram a ser coletados por Alvará de Pesquisa, ao invés de serem computados por empresa ou pessoa física detentora de Autorização para Pesquisa, como ocorria até então. Em face da mudança metodológica, deixaram de ser coletadas as informações referentes ao período 2000-2002. Essa mudança e a interrupção na série (1982-1999 / 2003-2005) dos dados analisados, provavelmente acarretaram distorções entre os dois períodos contemplados.

4.1 Representatividade dos investimentos

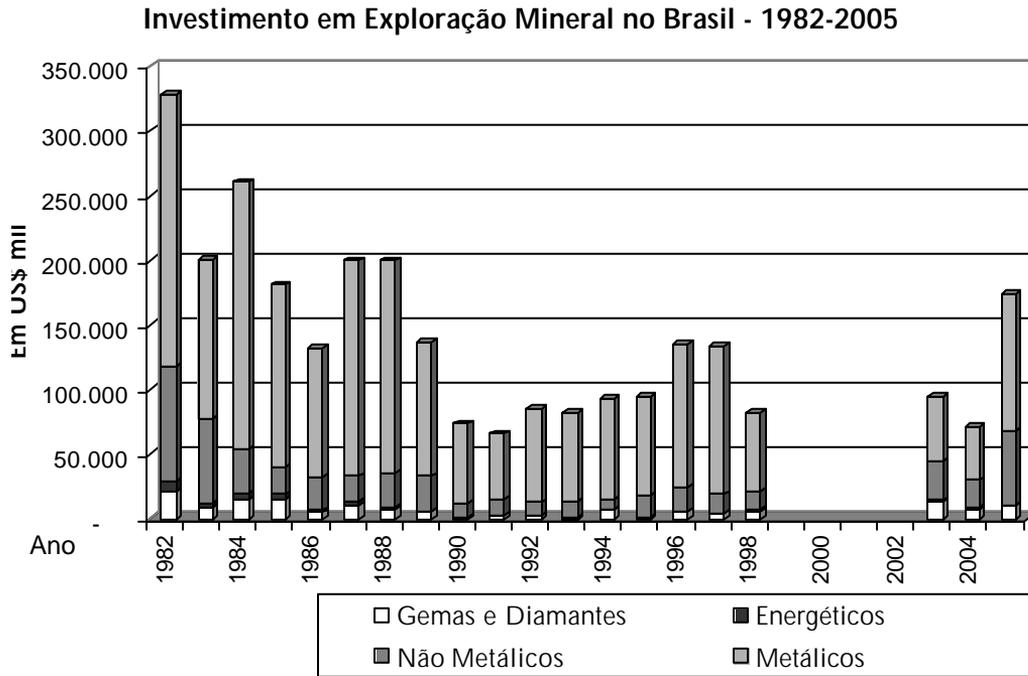
Os investimentos em exploração mineral no Brasil¹⁴, a partir de 1982, mostram um comportamento irregular, com tendência nitidamente decrescente durante a década de 1980 (Figura 2). Os dados registrados no início do período apontam para investimentos superiores a US\$ 320 milhões (a preços de 2005)¹⁵, declinando para algo em torno de US\$ 74 milhões em 1990¹⁶, o que representa apenas 23% do primeiro valor. Observe-se que a queda mais abrupta se deu a partir de 1988, tendo alcançado o seu ponto mínimo em 1991; uma pequena reação aconteceu nos anos de 1996-97, o que voltou a ocorrer em 2005. Em ambos os casos, acompanhando o comportamento internacional, como pode ser visualizado mais adiante.

¹³ Projeto desenvolvido pela CPRM, para o DNPM (CPRM, 1984).

¹⁴ Os investimentos, objeto da presente análise, estão restritos aos realizados nas áreas com Alvará de Pesquisa autorizadas pelo DNPM. Não incluem, portanto, os valores investidos nas áreas com concessão de lavra (área da mina). Esses dados foram descartados por incorporarem os trabalhos desenvolvidos no corpo do minério sendo lavrado, os quais não são considerados como atividade de exploração.

¹⁵ As análises, com base em valores monetários, apresentam, nesta seção, preferencialmente, valores constantes de 2005, exceto quando explicitamente indicado.

¹⁶ Deixaram de ser considerados na análise, os dados referentes a 1999 (US\$ 38 milhões), em virtude de os mesmos não terem sido depurados pelo DNPM.



Fonte: DNPM, 2006 (Base de Dados do SIPEM – 1982-1998).

Notas: Os dados para o período 2000-02 não foram computados pelo DNPM.

Os dados de 1999 não foram depurados pelo DNPM.

Os energéticos não incluem petróleo e gás natural.

Figura 2 - Investimentos em Exploração Mineral no Brasil – 1982-2005 (por Classes Minerais)

Nos últimos três anos, os investimentos têm sido bastante irregulares: de US\$ 94 milhões em 2003, regrediram para US\$ 71 milhões em 2004 e chegaram a US\$ 174 milhões em 2005, com incremento de 144% em relação ao ano anterior, caracterizando o maior valor alcançado desde 1989.

O comportamento brasileiro é explicado, em parte, pelo clima de instabilidade econômica e política, ao qual esteve submetido o País, durante toda a década de 1980 e a primeira metade da década de 1990. Nesse ínterim, foi promulgada a Constituição de 1988, a qual exerceu um papel inibidor ao desenvolvimento do setor mineral brasileiro, ao restringir o capital estrangeiro a um máximo de 49% do capital votante das empresas (Barboza; Gurmendi, 1995).

Outro aspecto relevante foi a expansão da atividade garimpeira, durante a década de 1980, a qual foi fortalecida pela política oficial do governo (Miranda *et al.*, 1997). Surgiu naquela ocasião a figura do empresário de garimpo, que mais tarde se oficializou com a aprovação da Lei nº 7.805, que, por sua vez, alterou o Código de Mineração de 1967, criando o regime de *Permissão de Lavra Garimpeira*.

Dentre os vários fatores inibidores às atividades de mineração, o baixo nível de conhecimento geológico e os entraves burocráticos associados às legislações mineral e ambiental foram muitos importantes.

No período analisado (20 anos), foram investidos em exploração mineral no Brasil cerca de US\$ 2.858 milhões, quantia aparentemente alta, porém relativamente modesta quando comparada aos valores registrados para a exploração mineral no mundo, da ordem de US\$ 56,3 bilhões, apenas no período 1991-2005, como indicado na Tabela 2. Em termos relativos, os investimentos no Brasil representaram algo em torno de 2,3% do montante mundial, nesse período¹⁷.

O comportamento dos investimentos em exploração mineral no Brasil mostra certa semelhança com o observado no mundo, durante a década de 1990, embora tal fato não justifique a sua pequena representatividade. Considerando-se que a extensão territorial seja uma *proxi* razoável para efeito de comparação dos investimentos em exploração mineral, em nações distintas, verifica-se que o território brasileiro tem uma área correspondente a 6% da superfície sólida do globo terrestre, enquanto os investimentos em exploração mineral representam pouco mais de um terço desse valor, o que caracteriza o baixo nível de investimentos realizados no país.

¹⁷ Essa comparação é aproximada, pois os valores para o Brasil são referentes a todos os bens minerais (exclusive petróleo e gás natural), mas não consideram as atividades de exploração na *área da mina*; os valores mundiais, por sua vez, são baseados nos orçamentos das grandes e médias empresas de exploração e mineração, mas só incluem os investimentos em exploração de metais não-ferrosos e preciosos e os minerais não-metálicos.

Tabela 2 - Investimentos em exploração mineral no Brasil (1982-2005) e no Mundo (1991-2006)

(Em US\$ 1000 de 2005)

Ano	Brasil (B)	Mundo (M)	B/M (%)
1982	327.687	...	...
1983	200.418	...	...
1984	260.429	...	...
1985	180.903	...	...
1986	131.498	...	...
1987	199.754	...	...
1988	199.772	...	...
1989	136.390	...	...
1990	73.684	...	...
1991	65.816	3.300.000	2,0
1992	85.222	2.950.000	2,9
1993	82.014	3.240.000	2,5
1994	93.003	3.860.000	2,4
1995	94.564	4.550.000	2,1
1996	134.442	5.720.000	2,3
1997	132.867	6.200.000	2,1
1998	82.032	4.190.000	2,0
1999	38.153(?)	3.170.000	1,2(?)
2000	...	2.940.000	...
2001	...	2.450.000	...
2002	...	2.090.000	...
2003	94.251	2.580.000	3,7
2004	71.163	3.860.000	1,8
2005	173.958	5.100.000	3,4
1991-2005	...	56.300.000	
1991-1999/ 2003-2005	1.147.486	48.820.000	2,3
1982-1998/ 2002-2005	2.819.868	...	...

Fontes: DNPM (Brasil); MEG (2000-2006).

Notas: Os dados para o período 2000-02 não foram computados pelo DNPM.

Os dados de 1999 não foram depurados pelo DNPM.

Os dados referentes à exploração mineral no mundo são estimados pelo MEG, a partir dos valores apresentados pelas empresas que têm orçamento para exploração acima de US\$ 2,9 milhões/ano (1993-99) ou US\$100 mil (2000-2006). O orçamento dessas empresas corresponde a cerca de 80% (1991-99), 90% (2000-2003) e 95% (2004-2006) do investimento mundial, em exploração mineral, abrangendo os metais não-ferrosos e preciosos e os minerais não-metálicos. Não incluem, portanto, os metais ferrosos, exceto o níquel, considerado metal básico.

Tomando-se um indicador semelhante (investimento por quilômetro quadrado), para efeito de comparação entre o Brasil e outros países, verifica-se que a discrepância continua, pelo menos com relação àqueles países que apresentaram os maiores orçamentos para exploração mineral no ano de 2004, como indicado na Tabela 3. Nesse aspecto, despontam como os maiores investidores em exploração mineral: África do Sul (US\$ 160/km²), Peru (US\$ 152/km²) e Chile (US\$ 143/km²). O Brasil ocupa a última posição entre os 11 maiores, em termos relativos e absolutos (US\$ 8/km²).

Tabela 3 - Nível de Investimento na Exploração Mineral – 2004 (Países Selecionados)

País	Área ¹ (em mil km ²)	Investimento ² (em mil US\$)	Nível de Investimento (em US\$/km ²)
África do Sul	1.221	194.900	160
Peru	1.285	195.700	152
Chile	757	108.800	143
México	1.973	153.500	78
Canadá	9.971	697.100	70
Austrália	7.682	524.100	68
Mongólia	1.565	99.400	64
Estados Unidos	9.373	283.000	30
Rússia	17.075	150.800	9
China	9.571	86.000	9
Brasil	8.547	68.831*	8

Fontes: (1) Almanaque Abril (1999); (2) MEG (2004); (*) DNPM (2006).

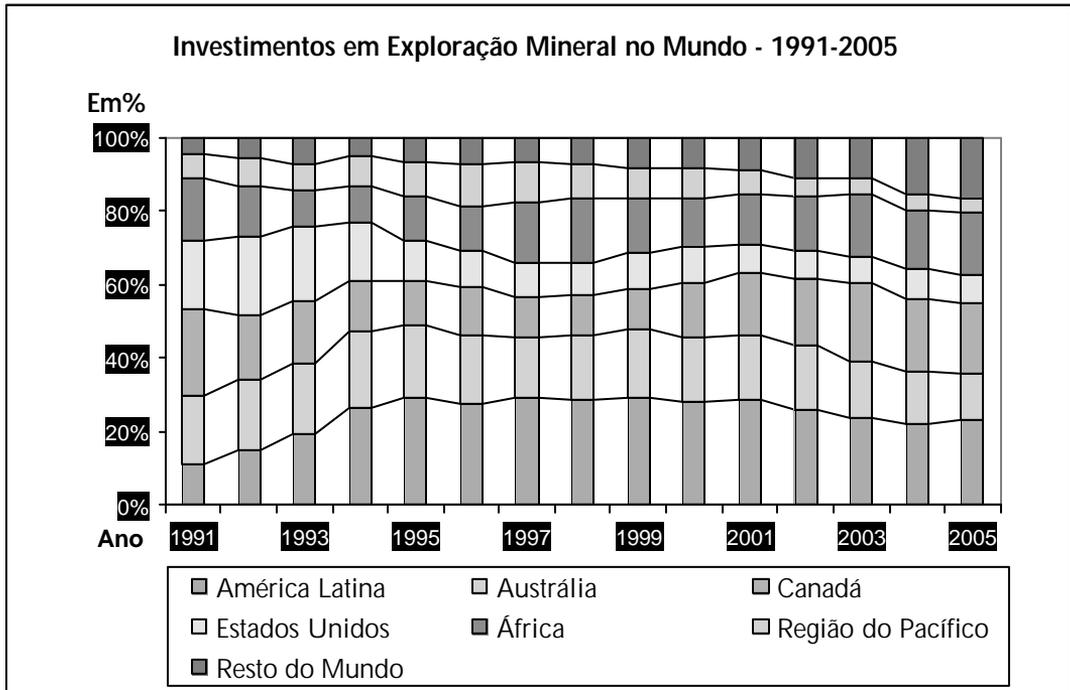
Notas: (2) Valores levantados pelo MEG, a partir dos dados oriundos das grandes e médias empresas de exploração e mineração, que apresentam orçamento igual ou superior a US\$100.000,00, destinados à exploração mineral de metais não-ferrosos, metais preciosos e minerais não-metálicos, no ano de 2004, representando cerca de 95% do orçamento de todas as empresas.

A comparação dos investimentos em exploração mineral no Brasil com os dos seus parceiros da América Latina (AL) indica que a participação do Brasil se situou em torno de 8,7% na década de 1990, passando para 12,5%, no triênio 2003-05. É importante ressaltar que a extensão territorial do Brasil representa 36% do total da AL.

A participação da AL em relação ao mundo, que se situava em torno de 10% no início da década de 1990, alcançou um patamar de 30% no final da década e baixou para 23% nos últimos três anos analisados.

Em termos globais, verifica-se uma troca de posições nas participações do segundo e terceiro maiores investidores: em 2005 o Canadá ocupou a primeira posição, mas esteve secundado pela Austrália durante a década de 1990. Os Estados Unidos têm mostrado uma participação decrescente durante todo o período analisado (Figura 3).

As razões que justificam as similaridades ou diferenças entre os comportamentos descritos para o Brasil, a AL e o mundo estão relacionadas, principalmente, aos preços dos minerais e às potencialidades minerais e questões políticas dos respectivos países. Sempre que os preços estão em alta, verifica-se um reflexo imediato no nível de investimentos na exploração mineral em todo o mundo. Os distúrbios de ordem política e econômica, por sua vez, são os principais motivos que afastam os investidores desses investimentos.



Fonte: MEG (1991-2005)

Figura 3 - Investimentos em Exploração Mineral no Mundo – 1991-2005 (Em %)

4.2 Direcionamento e localização dos investimentos

À semelhança da distribuição dos recursos destinados à exploração mineral no mundo, os investimentos no Brasil também estão concentrados nos metais e, em particular, no ouro. Nos últimos três anos, os primeiros responderam por 57,7%. O ouro, sozinho, absorveu 25,4%; os metais básicos, 17,8%; os metais ferrosos, 3,9%; e os demais metais, 10,3% (Tabela 4).

Tabela 4 - Investimentos em Exploração Mineral no Brasil – 2003-2005

Ano	Valores em US\$1.000 de 2005				%
	2003	2004	2005	2003-2005	
Total	94.251	71.163	173.958	339.373	100,00
Metálicos	49.253	41.307	105.340	195.899	57,72
Metais Ferrosos	2.984	2.205	7.965	13.154	3,88
Cromo (Cromita)	133	84	88	305	
Ferro	732	770	3.200	4.703	
Manganês	1.778	1.156	3.370	6.304	
Nióbio	144	10	58	211	
Titânio	197	97	1.113	1.407	
Tungstênio	-	88	136	224	
Metais Básicos	15.803	8.597	36.065	60.466	17,82
Chumbo	51	279	41	370	
Cobre	9.094	5.180	9.905	24.179	
Estanho (Cassiterita)	292	223	305	821	
Níquel	3.950	1.743	18.326	24.019	
Zinco	2.417	1.173	7.487	11.077	
Metais Preciosos	20.291	19.379	47.689	87.359	25,74
Ouro	19.575	18.936	47.645	86.156	
Platina	309	268	41	619	
Prata	406	175	3	584	
Outros Metálicos	10.175	11.125	13.621	34.921	10,29
Não-Metálicos	30.653	21.342	58.237	110.231	32,48
Mat. Ind. Construção	15768	10434	44811	71.014	20,92
Areia	2406	1441	2584	6.431	
Argila	2592	2474	4831	9.896	
P. Brit.E Orn. (Granito)	8840	5389	35346	49.576	
P. Brit.E Orn. (Mármore)	299	325	916	1.540	
P. Brit.E Orn. (Gnaiss e Outros)	1631	806	1134	3.571	
Minerais Industriais	7385	7700	11743	26.828	7,91

Tabela 4 - Investimentos em Exploração Mineral no Brasil – 2003-2005 (continuação)

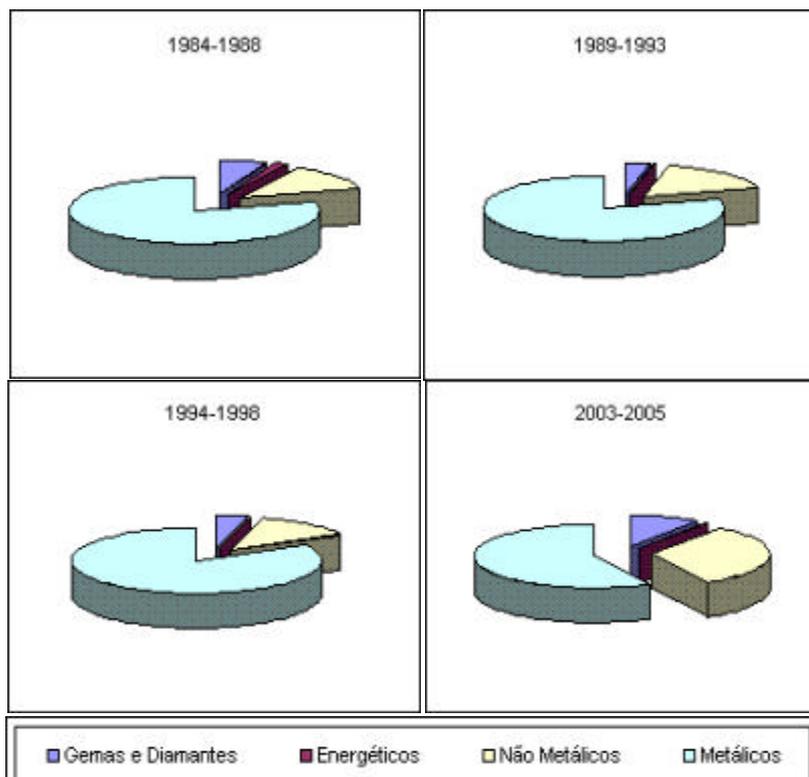
Ano	Valores em US\$1.000 de 2005				%
	2003	2004	2005	2003-2005	
Calcário	2875	88	2886	5.849	
Caulim	576	486	610	1.673	
Feldspato	152	275	204	631	
Fert. Fosf. Naturais	496	1424	2665	4.584	
Fluorita	11	16	79	106	
Grafita	193	126	13	332	
Quartzito	1029	759	1488	3.276	
Quartzo	474	290	578	1.342	
Outros Não-Metálicos	1578	4235	3223	9.036	
Água Mineral	7499	3208	1682	12.389	3,65
Gemas/Diamantes	13740	8155	10062	31.957	9,42
Diamante	13432	7985	9144	30.561	
Gemas	307	171	917	1.395	
Energéticos	606	359	320	1.286	0,38
Carvão	70	3	40	113	
Turfa	455	286	246	988	
Outros Energéticos	81	70	34	185	

Fonte: DNPM, 2006 (Base de dados do SIPEM).

Os minerais não-metálicos representaram 32,5% dos investimentos, destacando-se as pedras britadas e ornamentais (16,1%), água mineral (3,7%), calcário (1,7%) e fertilizantes fosfáticos (1,3%). As gemas, responderam por 9,4% (principalmente diamantes) e os energéticos por 0,4% (principalmente turfa).

Verifica-se que houve um aumento generalizado nos investimentos em exploração mineral no ano de 2005. Merecem destaque o ouro, o níquel e o diamante (acompanhando a tendência internacional) e as pedras britadas e ornamentais, tendo em vista o constante aumento nas exportações brasileiras de rochas ornamentais.

A Figura 4 mostra a participação dos investimentos em exploração por classes de minerais, divididos em quinquênios para o período 1984-1998, durante o qual o comportamento foi muito semelhante. Para o triênio 2003-2005 houve um aumento dos investimentos nas classes dos minerais não-metálicos, gemas e diamantes. Essas variações devem ser vistas com cautela, pois ainda não houve a depuração completa desses dados por parte do DNPM.



Fonte: DNPM, 2006 (Base de dados do SIPEM)

Figura 4 - Investimentos em Exploração no Brasil – 1982-1998 (Participação por Classes Minerais)

A distribuição geográfica desses investimentos tem se concentrado em quatro Unidades da Federação, as quais responderam por mais de 70% dos investimentos no triênio 2003-05: Pará (30,0%), Minas Gerais (19,0%), Bahia (15,1%) e Goiás (8,1%), conforme indicado na Tabela 5. Tal comportamento reflete a potencialidade mineral desses estados, com a seguinte participação percentual das principais substâncias nos investimentos (Tabela 6):

- Pará: alumínio, cobre, ouro e níquel (93,7%).
- Bahia: ouro, granito, diamante e manganês (80,2%).
- Minas Gerais: granito, diamante, ouro, ferro e zinco (75,4%).
- Goiás: ouro, níquel, zinco, cobre e fosfato (84,1%).

Tabela 5 - Investimentos em Exploração Mineral no Brasil – 2003-05
Por unidade da Federação

Em US\$1.000 de 2005 (valores constantes)

Região/UF	2003	2004	2005	Média 2003-05	%
Norte	35.116	27.083	54.358	38.853	34,3
AM	204	51	858	371	0,3
AP	316	317	1.097	577	0,5
PA	30.217	24.396	47.067	33.893	30,0
RO	1.666	1.606	3.980	2.417	2,1
RR	897	4	52	318	0,3
TO	1.816	708	1.305	1.276	1,1
Nordeste	15.796	13.671	40.231	23.232	20,5
AL	38	50	-	29	0,0
BA	7.862	9.485	33.971	17.106	15,1
CE	1.334	913	1.288	1.179	1,0
MA	2.945	972	995	1.638	1,4
PB	1.986	546	1.003	1.178	1,0
PE	223	273	859	452	0,4
PI	952	1.134	1.437	1.174	1,0
RN	313	177	605	365	0,3
SE	143	122	73	112	0,1
Sudeste	23.607	17.149	46.732	29.163	25,8
ES	2.072	974	5.980	3.009	2,7
MG	15.560	13.186	35.759	21.501	19,0
RJ	1.150	506	2.918	1.525	1,3
SP	4.825	2.483	2.075	3.128	2,8
Sul	5.701	6.785	8.530	7.005	6,2
PR	2.935	2.341	4.838	3.371	3,0
RS	1.089	3.198	1.740	2.009	1,8
SC	1.678	1.246	1.953	1.625	1,4
Centro-oeste	12.423	6.475	24.109	14.336	12,7
DF	310	285	185	260	0,2
GO	5.923	4.558	17.156	9.213	8,1
MS	1.175	436	654	755	0,7
MT	5.015	1.195	6.115	4.108	3,6
Total Brasil	94.251	71.163	173.961	113.125	100,0

Fonte: DNPM, 2006 (Base de Dados do SIPEM).

Tabela 6 - Investimentos em Exploração Mineral no Brasil - 2003-05
Estados Selecionados - Principais Substâncias

Principais Ufs	2003	%	2004	%	2005	%	Média 2003-05	%
Pará	30.217	100,0	24.397	100,0	47.067	100,0	33.893	100,0
Alumínio/bauxita	9.217	30,5	7.357	30,2	11.866	25,2	9.480	28,0
Cobre	6.274	20,8	3.904	16,0	6.614	14,1	5.597	16,5
Ouro	12.811	42,4	9.186	37,7	19.445	41,3	13.814	40,8
Níquel	-	0,0	87	0,4	8.561	18,2	2.883	8,5
Outros	1.915	6,3	3.862	15,8	581	1,2	2.120	6,3
Bahia	7.862	100,0	9.485	100,0	33.971	100,0	17.106	100,0
Argila	198	2,5	110	1,2	525	1,5	278	1,6
Diamante	2.747	34,9	509	5,4	1.334	3,9	1.530	8,9
Granito	1.663	21,1	1.599	16,9	9.840	29,0	4.367	25,5
Mármore	191	2,4	251	2,6	871	2,6	438	2,6
Ouro	1.104	14,0	4.644	49,0	14.094	41,5	6.614	38,7
Fosfato	160	2,0	541	5,7	539	1,6	413	2,4
Manganês	512	6,5	529	5,6	2.628	7,7	1.223	7,1
Quartzito	477	6,1	550	5,8	994	2,9	674	3,9
Outros	810	10,3	752	7,9	3.146	9,3	1.569	9,2
Minas Gerais	15.560	100,0	13.186	100,0	35.759	100,0	21.501	100,0
Alumínio/Bauxita	333	2,1	179	1,4	291	0,8	268	1,2
Argila	56	0,4	73	0,6	204	0,6	111	0,5
Calcário	518	3,3	217	1,6	382	1,1	372	1,7
Caulim	241	1,5	75	0,6	355	1,0	223	1,0
Diamante	6.845	44,0	5.640	42,8	3.414	9,5	5.300	24,6
Ferro	440	2,8	332	2,5	2.360	6,6	1.044	4,9
Fosfato	160	1,0	541	4,1	627	1,8	443	2,1
Granito	2.193	14,1	1.607	12,2	17.100	47,8	6.967	32,4
Manganês	87	0,6	88	0,7	282	0,8	152	0,7
Níquel	11	0,1	418	3,2	1.758	4,9	729	3,4
Ouro	469	3,0	991	7,5	4.618	12,9	2.026	9,4
Quartzito	294	1,9	94	0,7	204	0,6	197	0,9
Quartzo	363	2,3	168	1,3	429	1,2	320	1,5
Zinco	975	6,3	766	5,8	929	2,6	890	4,1
Outros	2.575	16,6	1.997	15,1	2.806	7,8	2.459	11,4
Goiás	5.923	100,0	4.559	100,0	17.156	100,0	9.213	100,0
Alumínio/bauxita	-	0,0	-	0,0	561	3,3	187	2,0
Cobre	112	1,9	6	0,1	1.549	9,0	556	6,0
Fosfato	234	3,9	731	16,0	1.338	7,8	768	8,3
Ouro	1.078	18,2	2.470	54,2	3.438	20,0	2.329	25,3
Níquel	1.342	22,7	360	7,9	5.585	32,6	2.429	26,4
Zinco	1.343	22,7	180	4,0	3.480	20,3	1.668	18,1
Outros	1.814	30,6	811	17,8	1.204	7,0	1.277	13,9

Fonte: DNPM, 2006 (Base de Dados do SIPEM).

5. CONCLUSÕES

Da análise procedida, ficam evidentes a importância e os benefícios que a pesquisa geológica proporciona ao governo e à sociedade, por meio de cartas temáticas utilizadas nas diferentes áreas do conhecimento humano, tais como: engenharia civil, elétrica, agrícola, florestal e ambiental; defesa civil, saúde pública e suprimento de recursos minerais e hídricos. No entanto, verifica-se que o investimento em geologia ainda é muito pequeno, quando se comparam essas necessidades, às dimensões do Brasil e ao seu potencial para identificação de novos depósitos minerais e aquíferos subterrâneos.

Em termos de levantamentos geológicos básicos e geofísicos, os investimentos diretos se situaram em torno de US\$6,5 milhões/ano, nos últimos 25 anos (1981-2005), após terem alcançado uma média de US\$41,5 milhões/ano na década de 1970 (em valores constantes de 2005). Em 2005, quando os investimentos alcançaram US\$13,2 milhões, houve uma pequena recuperação.

Como conseqüência, o Brasil apresenta um baixo nível de conhecimento geológico: apenas 46% do seu território estão satisfatoriamente mapeados na escala 1:250.000 e 10% na escala 1:100.000.

Esses resultados inibem os investimentos em exploração mineral, que se situaram em torno de US\$88 milhões na década de 1990, representando 2,2% dos investimentos mundiais. No triênio 2003-05 houve uma razoável recuperação, com investimento médio na faixa de US\$113 milhões/ano, acompanhando a tendência internacional.

O significativo aumento dos investimentos em exploração mineral no mundo, alcançando US\$3,9 bilhões em 2004 e US\$5,1 bilhões em 2005, refletiram a alta nos preços das *commodities* minerais, de uma maneira geral. Por outro lado, os investimentos em exploração mineral no Brasil ainda apresentam valores pouco significativos, principalmente quando se considera que sua extensão territorial representa 6% da mundial. Em 2004, os investimentos foram da ordem de US\$8/km², colocando o país na 11ª posição do *ranking* mundial. Os países com maior nível de investimento foram África do Sul (US\$160/km²), Peru (US\$152/km²) e Chile (US\$143/km²).

Acompanhando a tendência mundial, as substâncias que receberam os maiores investimentos no Brasil, no triênio 2003-05, foram: ouro (25,4%), metais básicos (17,8%) e diamantes (9%); as rochas ornamentais também tiveram uma alta representatividade (16,1%), justificada pelo desempenho das exportações brasileiras para o mercado internacional. A distribuição geográfica desses investimentos tem se concentrado em quatro Unidades da Federação, as quais responderam por mais de 70% dos investimentos no triênio 2003-05: Pará (30%), Minas Gerais (19%), Bahia (15%) e Goiás (8%).

Em termos prospectivos, espera-se que haja um substancial incremento dos investimentos nos levantamentos geológicos básicos, nos próximos anos, por parte do governo fe-

deral, tendo em vista os recursos advindos da exploração do petróleo e do gás natural, com base na Lei nº 10.848/04. Esta lei prevê a aplicação de 15% da cota parte do Ministério de Minas e Energia, em projetos e estudos destinados a promover o conhecimento geológico do território brasileiro.

Caso essa expectativa se concretize, o Brasil poderá voltar a ter investimentos semelhantes aos alcançados na década de 1970 e, com isso, poderá melhorar o nível de conhecimento geológico, o que resultará em benefícios para a sociedade, na utilização dos mapas necessários ao seu desenvolvimento econômico e social. Como consequência da ampliação do conhecimento da potencialidade mineral do Brasil, serão significativamente ampliadas as condições de atratividade para os investimentos em exploração mineral,.

No entanto, essa é uma condição necessária, mas não suficiente para que sejam alcançados os níveis desejáveis e compatíveis com a potencialidade geológica do País. Em paralelo, é necessário que haja estabilidade política, econômica e social; regras claras e duradouras nas legislações mineral, ambiental e tributária; facilidades de infra-estrutura básica; processos burocráticos ágeis para acesso às áreas potenciais, com transparência e segurança. Essas são políticas governamentais imprescindíveis para o desenvolvimento da exploração mineral, que resultarão em empreendimentos de lavra e mineração, gerando riqueza e bem estar social.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, S.F. (1973), Recursos minerais do Brasil, 2.ed, São Paulo, Edgard Blücher/ Rio de Janeiro, Instituto Nacional de Tecnologia, 2 v.
- Andrade, J.G. (2001), Competitividade na exploração mineral: um modelo de avaliação, São Paulo, Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 167p.
- Brasil (2006), Departamento Nacional da Produção Mineral, Investimentos em pesquisa mineral 2000-02, Brasília, DNPM (dados digitais fornecidos pela DIDEM).
- _____ (1999), Sistema de investimentos em pesquisa mineral (SIPEM) – 1982-98, Brasília, DNPM (exemplar xerocopiado).
- _____ (1981), Código de mineração e legislação correlativa, Ed. rev., Rio de Janeiro, v. 1, 200p.
- _____ (1967), Plano mestre decenal para avaliação dos recursos minerais do Brasil 1965-1974, 3.ed, Brasília, DNPM, 124p.
- _____ (1983), Anuário Mineral Brasileiro 1982, Brasília, DNPM.
- Barboza, F.L.M.; Gurmendi, A.C. (1995), Economia mineral do Brasil, Brasília, DNPM (Estudos de Política e Economia Mineral, 8).
- CPRM (2006), Relatório Anual 2005, Rio de Janeiro, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.
- _____ (2006a), Banco de dados geológicos (GEOBANK), Rio de Janeiro, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.

- _____ (1995), *Legislação básica da CPRM*, Rio de Janeiro, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.
- _____ (1982), *Projeto sistema de investimentos em pesquisa mineral (SIPEM)*, Rio de Janeiro, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (exemplar xerocopiado).
- Cordes, J.A. (1994), *An introduction to the taxation of mineral rents*, In: Otto J. ed. *The taxation of mineral enterprises*, London, Graham and Trotman.
- Doggett, M. (1994), *Incorporating exploration in the economic theory of mineral supply*, S.L., PhD Thesis - Queen's University.
- Eggert, R.G. (1992), *Exploration*, In: Peck, M.J.; Landsberg, H.H.; Tilton, J.E, eds. *Competitiveness in metals: the impact of public policy*, London, Mining Journal Books, p. 21-67.
- Johnson, C.J. (1990), *Ranking countries for mineral exploration*, *Natural Resources Forum*, n. 14, p. 178-86.
- Machado, I.F. (1989), *Recursos minerais: política e sociedade*, São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda, 410p.
- Miranda, J.; Cipriani, M.; Mártires, R.A.C.; Giaconi, W.J. (1997), *Atividades garimpeiras no Brasil: aspectos técnicos, econômicos e sociais*, Rio de Janeiro, CETEM/CNPq, 61p. (Estudos e Documentos, 38).
- Metals Economics Group. *Strategic Report*. Halifax, Nova Scotia: Metals Economics Group Strategic Report (MEG), nov , 2000; nov 2001; nov 2002; oct 2003; nov 2004; Dec. 2004; nov 2005; nov 2006.
- Otto, J.; Andrews, C.; Cawood, F.; Doggett, M.; Guj, P.; Stermole, F.; Stermole, J.; Tilton, J. (2006), *Mining Royalties: a global study of their impact on investors, government, and civil society*, Washington, D.C., The World Bank, 296p.
- Stiglitz, J.E. (1996), *Principles of Micro-Economics*, 2nd. Ed. New York, W.W. Norton.
- United Nations. [on line]. Disponível através de: <http://unstats.un.org/unsd/demographic/products/dyb/DYB2003/table03.pdf> Arquivo capturado em November 30, 2006.

VISÃO DE FUTURO DA MINERAÇÃO: HORIZONTE 2015

*Eduardo Vale**

1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo integra o Projeto Setor Mineral - Tendências Tecnológicas em execução pelo CETEM e pela CPRM. Seu objetivo geral é oferecer uma visão de futuro para a indústria de mineração tendo como referencial o horizonte 2015. Sob a ótica prospectiva, procura delinear tendências, identificar oportunidades e antecipar restrições, requerimentos ou desafios a serem impostos sobre a mineração brasileira que comprometam o produto potencial do setor.

O documento aproxima qualitativamente o cenário almejado para a mineração em 2015. A partir das reflexões e recomendações apontadas pelos painéis realizados no CETEM e na CPRM, são discutidos destaques selecionados da agenda de prioridades proposta para os investimentos setoriais em Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação – PD&I. Em nível específico, aponta um marco referencial para o processo decisório em PD&I comprometido fundamentalmente com o desenvolvimento sustentável da pequena e média empresa de mineração (PMEM), nos planos nacional e regional, e o fortalecimento da competitividade da empresa nacional como lastro econômico para acelerar a inserção global do mineral-negócio brasileiro.

2. PANORAMA ECONÔMICO

A seguir, são aproximados os panoramas econômicos de ordem global e nacional que deverão prevalecer no período 2007-2015. Esta abordagem é realizada, fundamentalmente, no plano qualitativo, mediante a discussão de aspectos selecionados com base na importância que deverão representar ao longo do horizonte estabelecido.

2.1 Global

Segundo o FMI, no período 1973-2001, a taxa média de crescimento do PIB mundial foi de 3,3%. A partir de 2000, a despeito dos inúmeros desequilíbrios enfrentados, a economia mundial vem obtendo um desempenho considerado notável. O período 2003-2005 pode ser caracterizado como o de melhor desempenho desde o começo dos anos 70, quando avaliado pelo critério de paridade de poder de compra das taxas de câmbio. Nesse período, a economia mundial apresentou taxas de crescimento de 4,3% em

* Doutor em Ciências, UNICAMP; Pós-graduado em Economia Mineral - FGV; Economista, UFRJ - Consultor Diretor da Bamburra Ltda.

2003, 5,3% em 2004 e 4,9% em 2005. Em 2006, estima-se um crescimento de 5,1% (FMI, 2006).

Ressalte-se que, em nível continental, esse processo de crescimento tem sido relativamente compartilhado. Em 2006, por exemplo, entre os países desenvolvidos as expectativas de crescimento são de: 3,4% nos EUA, 2,4% na UE e 2,7% no Japão. Para os mercados emergentes, mais dinâmicos por natureza, as taxas de crescimento esperadas são mais elevadas: 8,7% na Ásia, 6,8% na Comunidade de Estados Independentes, 5,8% no Oriente Médio, 5,4% na África, 5,3% na Europa Central e Oriental.

Para 2007, a projeção do FMI é bastante positiva, apontando crescimento de 4,9%, pouco inferior ao previsto para 2006. As estimativas apontam uma queda no ritmo de expansão da economia americana para 2,9% (nível considerado razoável), ao passo que a China deverá crescer ao redor de 10%, tanto em 2006 quanto em 2007.

Em que pese esse cenário, expectativas com relação à intensidade da queda no crescimento da economia global, derivada do impacto esperado da desaceleração da economia americana, é motivo de preocupação. A interação entre as restrições e disfunções econômicas dos Estados Unidos, manifestas pelos déficits gêmeos (fiscal e conta corrente), e o comportamento do setor imobiliário apontam os contornos do processo de ajustamento. Nos Estados Unidos, após 2000 (estouro da bolha acionária), a política monetária expansiva elevou o consumo agregado das famílias em taxas superiores às do crescimento da renda pessoal disponível. Esse processo, por premissa insustentável no longo prazo, vem sendo liderado pelo setor de imóveis residenciais, mediante a renovação das garantias hipotecárias. Nos últimos anos, o setor ofereceu lastro ao crescimento do país e contribuiu decisivamente para absorver o excesso de poupança mundial aplicada internamente (origem do déficit em conta corrente) (Wolf, 2006).

Considerando-se o alto nível de endividamento atual das famílias e a desaceleração que vem sendo observada no mercado de imóveis residenciais, aumentou a probabilidade de redução do consumo agregado, com impactos adversos sobre o crescimento e a taxa de desemprego. Para algumas correntes de pensamento, o processo poderá representar diminuição da influência dos ciclos de geração de riqueza e padrões elevados de consumo associados às bolhas de ativos (ações e imóveis). A referência maior passaria a ser novamente o fluxo de renda.

A despeito dessas considerações, tendo em vista o horizonte de 2015, concorda-se com a corrente de expectativas alinhadas com a visão de que o processo de ajustamento, incluindo a redução do déficit em conta corrente, ainda que de relativa intensidade, será absorvido e mitigado, ao longo do período, pelo comportamento dos demais países com destaque para: China, Japão e demais países asiáticos. Neste contexto, o aumento nos fluxos de comércio entre os países emergentes apresenta papel de destaque.

Para o período 2006-2020, as projeções econômicas do Instituto de Estudos de Segurança da União Européia (ISS), por exemplo, indicam que a economia mundial deverá crescer a uma média de 3,5% a.a, ligeiramente superior à média observada no período 1973-2001 (3,3%). Por sua vez, o estudo conjunto realizado pela OCDE e FAO, que abrange o período 2006-2015, pressupõe a continuidade de um clima macroeconômico em geral favorável, com um padrão de crescimento econômico firme, tanto nos países reunidos na OCDE quanto nos emergentes mais importantes, tais como aqueles que integram o grupo denominado BRIC: Brasil, China, Índia e Rússia (OCDE, 2006).

Em 2005, o Produto Interno Bruto (PIB) conjunto do grupo alcançou US\$ 3,8 trilhões. Em termos de investimentos externos diretos, o BRIC mobilizou um fluxo agregado de aproximadamente US\$ 109 bilhões, dos quais 67% direcionados para a China. Segundo o ISS, por volta de 2020, a economia dos países que integram o BRIC deverá aproximar-se da metade do PIB conjunto dos seis maiores países desenvolvidos. A distribuição de renda permanecerá, todavia, como o grande desafio a ser superado.

Em nível regional, a América Latina deverá concentrar grande parte dos investimentos externos. Um vetor fundamental dessa atratividade será a maior competição por seus recursos energéticos. Nesse cenário, o potencial nacional e a matriz de recursos energéticos disponíveis coloca o Brasil em posição estratégica. Por outro lado, em se tratando dos países com vocação para o agronegócio, como Brasil e Argentina, as perspectivas são bastante favoráveis refletindo o incremento esperado na demanda por grãos e carnes em outros mercados. Nesse particular, o aumento será fortemente influenciado pelo comportamento das economias dos países emergentes e pela disseminação de culturas direcionadas à fabricação de biocombustíveis.

Em nível de tendências, cabe destacar especificamente:

– Consolidação

A reestruturação e consolidação de vários setores industriais e de serviços é um fenômeno global irreversível. Esse processo de fusões e aquisições reflete a busca por maior eficiência, visando, simultaneamente, a redução de custos e o aumento da participação de mercado. No setor industrial, a dinâmica tecnológica força a concentração na busca por economias de escala e custos decrescentes. No processo de consolidação observado na indústria de mineração, outros vetores também estão presentes, tais como: acesso a recursos, desconcentração geográfica, acesso a novos mercados etc.

– Multinacionais Emergentes

Segundo o BIRD, ao longo da próxima década, a participação relativa das nações em desenvolvimento no PIB mundial deverá aumentar de 20% para 33%. Nos últimos anos, é inegável a crescente importância desempenhada pelas empresas multinacionais oriundas de países denominados emergentes, tais como: México, Brasil, China, Índia e Rússia. A empresa Boston Consulting Group (BCG) em pesquisa abrangendo

3 mil empresas provenientes 12 países em desenvolvimento, identificou cem empresas que estariam posicionadas para exercer grandes transformações, em nível de setores e mercados específicos, em escala global (Aguiar, 2006). O Banco Mundial estima que, no período 1998 a 2005, os investimentos externos diretos (IED) oriundos de nações em desenvolvimento mais que triplicaram, alcançando, em 2005, volume ao redor de US\$ 145 bilhões, cerca de 17% do fluxo global de IED.

Na dinâmica associada ao fluxo crescente de IED proveniente desses países, destaca-se a afluência de multinacionais emergentes, especialmente das empresas latino-americanas, brasileiras e mexicanas, tais como: CVRD, Petrobras, Votorantim, Gerdau, Cemex e Telmex. Nos últimos anos, os grupos brasileiros multiplicaram suas aquisições não somente na América Latina mas também em países desenvolvidos. No período 2001-2005, segundo estatísticas do Banco Central, o fluxo de IED proveniente do Brasil acusou um crescimento ao redor de 60%, evoluindo de US\$ 49,7 bilhões para US\$ 79,3 bilhões.

2.2 Nacional

Segundo o que foi amplamente divulgado pelos meios de comunicação, uma das prioridades do próximo governo é alcançar uma taxa de crescimento de 5% para o PIB, a partir de 2007. Uma restrição fundamental às ações do governo é de que os alicerces macroeconômicos não sejam alterados, a saber: austeridade fiscal, câmbio flutuante e metas para a inflação.

Existe o consenso de que a taxa agregada de investimento compatível com uma meta de crescimento de 5% a.a. está ao redor de 25% do PIB, taxa bastante superior ao índice de 20% observado atualmente. Ressalte-se que o setor privado responde por um investimento de cerca de 19,5% do PIB cabendo ao governo uma pequena participação: aproximadamente 0,5%. A elevação dos investimentos públicos e privados é imperiosa, portanto, para consubstanciar a meta de crescimento almejada. Não obstante, o aumento dos investimentos enfrenta os seguintes desafios.

Do lado do governo, representam um grande obstáculo ao aumento do investimento a altíssima e mal distribuída carga tributária vigente e as dificuldades (legais e políticas) do mesmo em alterar esta situação através do corte palpável nos gastos correntes em favor dos investimentos públicos. Diga-se de passagem, que a participação do setor público no esforço para aumentar a formação bruta de capital fixo (FBCF), especialmente no campo da infra-estrutura, é insubstituível e crítica. Acredita-se que a execução de uma carteira de projetos públicos que configure um ciclo de investimentos voltados à superação dos gargalos e demais obstáculos na infra-estrutura e logística será decisiva para dinamizar a trajetória de crescimento do país nos próximos anos. O grande desafio é como financiá-la.

Do lado do setor privado, além das opções financeiras de investimento disponíveis com baixo risco e alta remuneração, oferecidas pelos títulos da dívida pública, merecem ser ressaltados os seguintes empecilhos à maior mobilização de recursos direcionados à alocação de longo prazo: altíssima carga tributária, taxa de juros (ainda) elevada, restrições e ameaças sérias à infra-estrutura de transporte e de energia, indefinição dos marcos regulatórios e das garantias oferecidas para as concessões e os projetos de Parceria Público-Privada (PPPs), estabilidade jurídica e respeito aos contratos, entre outros quesitos fundamentais demandados pelo setor privado.

Segundo estudo do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) - "Cenários para o Crescimento do Produto Potencial: 2007-2010" (Júnior, 2006), nas condições atuais, a estimativa do crescimento do PIB para 2007 é de 3,42%. No cenário otimista do documento, o crescimento do PIB só alcançaria 4,1% em 2010. O crescimento médio anual previsto para o período 2007-2010 é de 3,7%.

Finalmente, faz-se mister ressaltar que a intenção do BNDES de buscar novas fronteiras para o desenvolvimento industrial objetivando a criação de sistemas produtivos nos quais o Brasil possa liderar em inovação e progresso tecnológico poderá contar com a parceria fundamental da mineração. Nesse contexto, a prioridade atribuída "à interiorização da economia brasileira e à criação de grandes eixos de logística para o transporte de grandes volumes a longas distâncias" encontrará no mineral-negócio, a exemplo do observado ao longo das últimas décadas, vetor estratégico para suporte dessas políticas de Estado.

3. ECONOMIA MINERAL

A seguir, apresenta-se uma análise da indústria de mineração. As vertentes econômicas selecionadas caracterizam alguns dos principais vetores explicativos das mudanças em curso e das megatendências esperadas. Esses aspectos deverão exercer grande influência sobre o comportamento setorial, nos planos global e nacional, ao longo do período 2007-2015.

3.1 Global

Após quatro anos consecutivos de alta nos preços dos metais básicos e preciosos, de valorização das ações das empresas de mineração e de aumento nos investimentos em exploração, a grande questão que vem permeando o debate nos últimos dois anos é se o mercado vivencia um ciclo de alta de preços de longa duração ou não. A visão dominante defende tratar-se de um megaciclo lastreado por mudanças estruturais, tais como industrialização e urbanização na Ásia, que deverão sustentar um período de grande expansão e lucratividade para o setor mineral. Acrescente-se que, no plano da problemática específica da indústria de mineração, do lado da oferta há desafios relativos à reposição de reservas pelas grandes empresas, aumento do risco na

exploração de grandes depósitos (tamanho mínimo econômico), queda dos investimentos em exploração nos últimos anos, escassez de projetos e restrições ambientais, licença social, etc entre outros aspectos, consubstanciam uma expectativa de preços elevados.

O contraponto desta visão otimista está ancorado, fundamentalmente, no questionamento do desempenho da economia mundial, tendo em vista a insustentabilidade esperada, no longo prazo, dos desequilíbrios da economia norte-americana e seus possíveis desdobramentos em escala global. Em outra vertente, a possível desaceleração da locomotiva chinesa advinda, inclusive, dos impactos de uma maior intervenção governamental, antecipada como necessária para moderar o crescimento doméstico, poderia contribuir para uma desaceleração ainda maior. Registre-se, ainda, que, em consonância com a experiência histórica, a sempre presente possibilidade de realização de lucros por parte dos fundos de investimentos e de especuladores reforça a incerteza acerca de uma possível reversão de expectativas e forte queda nos preços dos metais.

As expectativas setoriais acolhidas pelo trabalho estão em sintonia com a visão dominante segundo a qual se vivencia um período de alta nos preços de bens minerais de longa duração. Em 2005, a economia mundial manteve sua trajetória de crescimento, destacando-se o desempenho da China e da Índia e o reaquecimento da economia japonesa. Na China, uma política parcimoniosa de valorização do câmbio, o estabelecimento de controles tarifários, as manifestações de intervenção nas negociações do preço do minério de ferro e o aumento da taxa de juros apontam o vigor da economia chinesa. Não obstante, é reconhecido que os esforços governamentais para atenuar o impacto causado pelas exportações chinesas nos mercados industrializados e moderar o comportamento da sua economia zelam para não comprometer sua trajetória de crescimento.

O status conferido à China está lastreado, entre outros aspectos, pelo processo gradual e inexorável de abertura e integração do país à economia global, pelo imenso mercado interno, pelas altas taxas de crescimento e de importações de bens minerais e pelo seu potencial geológico. Sob a ótica dos metais básicos, o desempenho da economia chinesa, as altas taxas de consumo observadas e os investimentos associados à realização das Olimpíadas de 2008 e ao programa de urbanização para acomodar 400 milhões de habitantes oriundos do interior nos próximos 20 anos sinalizam um mercado robusto no longo prazo.

Face aos megarequerimentos domésticos por bens minerais, a exemplo do Japão nos anos 70 e 80, as empresas chinesas e indianas passam a ocupar posição de destaque como investidores internacionais no setor de recursos naturais. A força dos investimentos chineses na África, por exemplo, já suscita questionamentos acerca da sustentabilidade dos projetos fomentados pelos chineses na região. A realidade se

compõe com a crescente importância das empresas multinacionais oriundas de países emergentes e o incremento no fluxo de capital entre os países do Hemisfério Sul. Esse fenômeno crescente reflete o impacto da globalização no âmbito das transações diretamente associadas à dinâmica do comércio intra-hemisfério. Trata-se de um processo em curso que se consolida paulatinamente e dispõe de grande potencial de crescimento.

No plano setorial, observa-se o consenso de que a indústria de mineração vivencia um superciclo em intensidade e duração. Do lado real da economia mineral global, a magnitude e o perfil dos investimentos em exploração e no complexo minero-industrial, a intensidade e diversidade das transações econômicas e financeiras setoriais e o aprofundamento do processo de fusões e aquisições corroboram essa visão.

No plano financeiro, os investidores institucionais aumentaram substancialmente as exposições de seus *portfolios* em metais básicos e preciosos. Uma feição marcante desse ciclo é o posicionamento dos agentes, a saber: investidores institucionais, fundos de investimento e fundos de *hedge*. Mencione-se, por exemplo, o comportamento do *Goldman Sachs Commodity Index* que, no período 2001-2006, apresentou crescimento acumulado superior a 1.500%. Merece ser ressaltado, também, o lançamento de um novo veículo para investimento: *Exchange-Traded Funds* (ETFs). Nesse particular, destaque-se o lançamento do *ETF iShares Silver Trust*, pelo *Barclays Capital* no AMEX. Segundo o *Barclays*, no final de 2006, os recursos aplicados em fundos de investimento indexados aos preços dos bens minerais alcançaram US\$ 140 bilhões, acusando um crescimento ao redor de 38% em relação ao início do ano (Vale, 2006).

Com base no exposto, embora as correções de preço sejam admitidas como inevitáveis, a expectativa reinante é de que sejam mais brandas e de menor duração relativamente ao padrão observado no passado. Espera-se que, por volta de 2015, com a entrada em operação de inúmeros projetos, os mercados de bens minerais transacionáveis internacionalmente venham a refletir níveis de preço mais moderados. Todavia, é improvável que esses preços retornem aos níveis praticados no início do ciclo de alta.

Nos últimos dez anos, a natureza cíclica do processo de crescimento, o comportamento dos preços e mercados e a existência de economias de eficiência e de escala para serem apropriadas contribuíram para o grande número de aquisições e fusões. Como exemplo recente, pode-se mencionar a megaoperação na qual a CVRD adquiriu a empresa canadense Inco por cerca de US\$ 18 bilhões (totalidade das ações). Com a compra, a CVRD passou a ocupar a segunda posição em tamanho entre as empresas de mineração. Na Figura 1, pode ser visualizado o salto da CVRD.

No que diz respeito aos metais básicos, espera-se que o processo de consolidação, ao reduzir o número de produtores, possibilite uma maior lucidez às decisões de investimento conjunto de segmentos representativos da indústria. Essa maior transparência de-

verá contribuir para inibir o excesso de capacidade instalada conforme observado, historicamente, após períodos de preços elevados de média duração.



Figura 1 – Maiores Empresas por Valor de Mercado

No que concerne ao ouro, o processo manifesta-se de forma mais intensa, nesta fase, entre as empresas de capitalização intermediária. Considerando a influência crescente dos investidores institucionais, espera-se um aprofundamento na consolidação da produção com foco em transações pertinentes ao segmento de empresas de médio porte que almejavam alcançar uma massa crítica compatível com a escala de interesses dos grandes fundos de investimentos.

No âmbito setorial, a despeito do cenário otimista quanto aos preços, como reflexo do nível de aquecimento dos mercados, observam-se várias restrições econômicas, tais como:

- Aumentos do preço da energia.
- Contínua desvalorização do dólar frente às moedas de alguns países de vocação mineira, reduzindo a rentabilidade de operações e inibindo investimentos. Se por um lado o enfraquecimento do dólar americano reforça a trajetória ascendente do preço do ouro, por outro contribui para exacerbar a valorização das moedas locais, retirando renda dos segmentos exportadores. No que concerne às economias nas quais o mineral tem grande peso, como o Chile, por exemplo, algumas correntes de pensamento econômico sugerem a possibilidade de manifestação dos efeitos denominados “a maldição do setor mineral” (*mineral curse*), oriundos da forte valorização das moedas nacionais.

- Escassez física de insumos e de bens de capital ao longo da cadeia de suprimento da indústria, acarretando aumento dos custos operacionais e do *Capital Expenditure* (CAPEX), reduzindo margens e comprometendo prazos e orçamentos dos projetos. Esses efeitos acabam por restringir a oferta potencial futura considerando a dicotomia entre os níveis de preço atuais e esperados
- Escassez de mão-de-obra especializada. Nesse particular, o caso do Canadá é emblemático considerando que mais de 50% da sua força de trabalho estará em condições de se aposentar nos próximos dez anos. Na Austrália, pesquisas indicam que esse aspecto será a maior restrição imposta ao setor mineral deste país na próxima década. A demanda de mão-de-obra na indústria deverá crescer 76% nos próximos dez anos, o que representará uma oferta adicional de 70 mil postos de trabalho por volta de 2015 (NSSS, 2005).

No plano político, algumas transições observadas na América Latina oferecem sua contribuição para uma visão com viés altista para os preços. No curto e no médio prazos, o efeito mais perceptível é o represamento do fluxo potencial de IDE para o setor mineral dos países mais ousados em experiências: Bolívia, Venezuela e Equador. Como se trata de países mineiros, essas iniciativas poderão acabar esterilizando e colocando à margem do fluxo de suprimento global importantes estoques de recursos. No que diz respeito à política mineral, a percepção de que a ocorrência de renda econômica advinda da geração de lucros extraordinários deverá permanecer nos próximos anos é latente. Este consenso induziu vários governos a implementar iniciativas visando elevar a carga tributária específica, tais como: África do Sul, Bolívia, Chile, Indonésia, Mongólia, Peru, Venezuela e Zâmbia. Diga-se de passagem que, de um modo geral, essas ações estão associadas à cobrança de royalties sobre a produção ou a (re)discussão de contratos de estabilidade tributária.

Em se tratando da exploração mineral, lastro crítico do suprimento global de bens minerais, o papel reservado pelas grandes empresas às parcerias com as empresas juniores em suas estratégias de crescimento é altamente relevante. As rotas estratégicas de preferência para a sobrevivência e expansão estão apoiadas em parcerias ao longo do *pipeline* da exploração mineral e nas aquisições de propriedades ou das próprias empresas em um segundo momento. Esse processo cooperativo parece estar consolidado estrategicamente, visto que atende aos diferentes perfis de capitalização e de aversão ao risco que deverão prevalecer no longo prazo.

Segundo a empresa de consultoria *Metals Economic Group* (MEG), em 2005, os investimentos globais em exploração mineral alcançaram US\$ 5,1 bilhões acusando um aumento de 34% em relação a 2004. Esse montante praticamente igualou as estimativas referentes ao ano de 1997 (US\$ 5,2 bilhões), reconhecido como o pico da série histórica. Não obstante, quando comparado ao exercício de 2002 (nível mais baixo),

representa um incremento de 168%. A Figura 2 apresenta a evolução dos investimentos em exploração no período 1991-2005.



Figura 2 – Investimentos em Exploração

O perfil da distribuição regional dos investimentos em exploração mineral confirma a liderança da América Latina (23%), seguida pelo Canadá (19%), África (17%), Austrália (13%), Estados Unidos (8%) e demais países (20%). No âmbito dos bens minerais, o ouro manteve-se soberano e concentrou a maior parte dos investimentos (47%), seguido dos metais básicos (29%), diamantes (13%), PGM (4%) e outros minerais (7%). Na Figura 3 tem-se o perfil dos investimentos por países.

Conforme mencionado, a queda dos investimentos em exploração mineral observada nos últimos anos, as dificuldades relativas à reposição de reservas pelas grandes empresas e o risco na exploração de grandes depósitos sugerem que o nível dos investimentos em exploração irá se manter elevado no horizonte do estudo. Nesse contexto, o comportamento do preço do ouro é fundamental face ao seu papel mobilizador de capitais de risco e ao seu impacto no processo de suprimento de outros bens minerais, seja na condição de produto principal, de co-produto ou de subproduto.

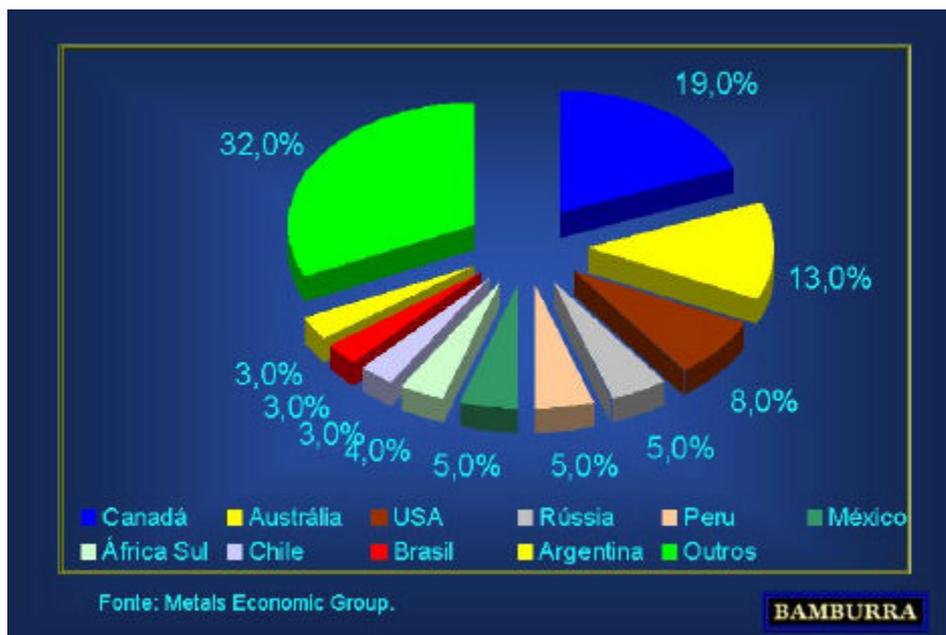


Figura 3 - Investimentos em Exploração Mineral: por países

É oportuno mencionar que os cinco maiores produtores de ouro respondem por uma produção conjunta superior a 30 milhões de onças, que devem ser repostas somente para que o suprimento agregado mantenha-se constante. O processo de consolidação alterou critérios e referenciais acarretando um incremento no tamanho mínimo requerido para o depósito mineral considerado econômico. Esse fato representa dificuldade adicional para o caminho de expansão da grande empresa. Registre-se que, nos últimos 15 anos, foram relativamente poucos os depósitos de grande porte descobertos e divulgados pela literatura especializada. (Klinger, 2005).

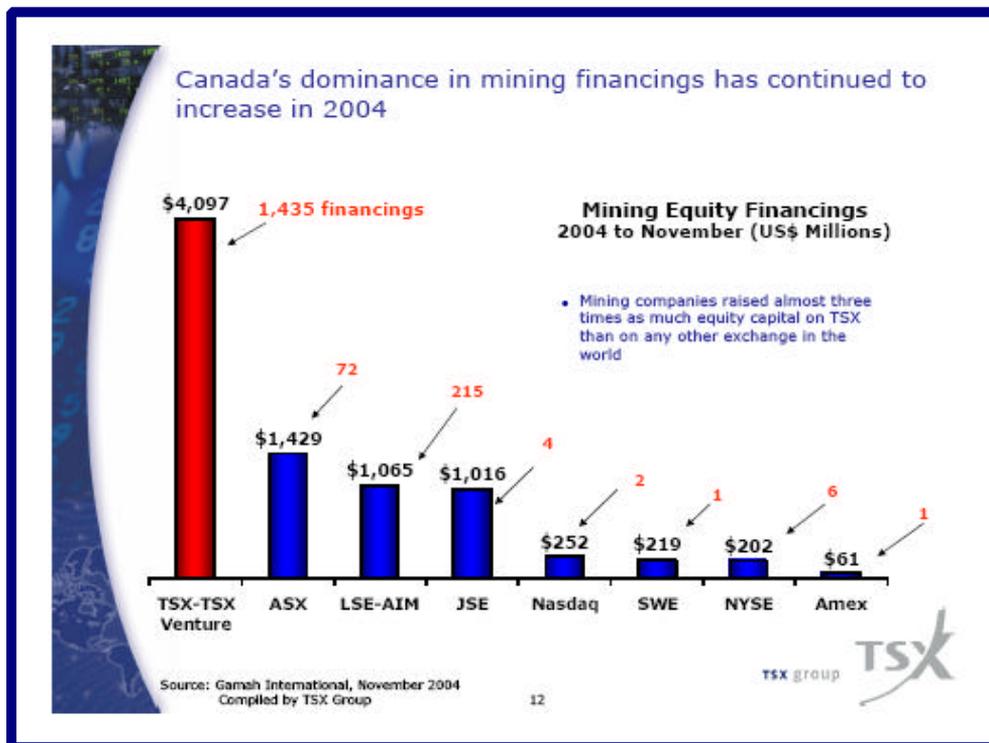
Atualmente, as maiores empresas têm como tamanho mínimo econômico depósitos de, pelo menos, 2,5 milhões de onças. Para essas empresas é cada vez mais latente a relativa escassez de novos projetos de grande porte. As empresas que perseguirem essa estratégia deverão estar dispostas a operar sob condições de risco político mais elevado, em confronto com um risco geológico mais baixo.

Nesse particular, alguns países africanos, face ao alto grau de prospectividade e ao baixíssimo nível de exploração, são bastante atraentes para a descoberta de depósitos denominados "elefantes". Por outro lado, a probabilidade de descoberta em áreas de produção tradicional é muito menor, sinalizando que a tendência para o desenvolvimento de projetos de menor porte relativo é inexorável nessas jurisdições, o que deverá favorecer o surgimento de novas empresas de médio porte.

A partir dessas considerações, o fortalecimento do preço do ouro assume papel estratégico face ao dinamismo que imprime à oferta de recursos para as empresas de mineração emergentes e de pequena e média capitalização. Nesse contexto, a importância das bolsas de valores internacionais na estruturação da oferta de capitais de risco para a indústria de mineração é reconhecida. Em se tratando dos investimentos em exploração mineral, face às suas características de risco e incerteza, seu papel continuará a ser crítico.

Entre as bolsas internacionais, a liderança é ocupada pela Toronto Stock Exchange (TSX). Durante o ano de 2005, foram captados recursos no montante aproximado de US\$ 3,97 bilhões no âmbito de 1422 operações. O nível agregado de capitalização das empresas de mineração listadas nas bolsas do Grupo TSX alcançou US\$ 178 bilhões. Desse montante, a TSX respondeu por US\$ 163 bilhões e a TSX-Venture por US\$ 15,1 bilhões. No cômputo global, estima-se que essas bolsas concentrem 60% do total de empresas públicas de mineração e tenham respondido por 42% dos recursos totais levantados nos mercados globais, em 2005. Ressalte-se a crescente concorrência exercida pela bolsa londrina *Alternative Investment Market* – AIM pertencente à *London Stock Exchange* - LSE. A dimensão e o desempenho da AIM não se comparam às métricas apresentadas pela centenária TSX-V. Não obstante, sua trajetória é muito positiva e demonstra crescente aceitação pelas pequenas e médias empresas de exploração, representando mais uma opção internacional para capitalização do setor.

Acrescente-se que, em paralelo ao processo de adoção de padrões - comuns ou validados - e de integração das bolsas de valores internacionais, constata-se que vários países de vocação mineira adotam iniciativas específicas direcionadas ao fortalecimento de suas bolsas de valores enquanto fonte de capitalização da indústria de mineração. Na América Latina, os melhores exemplos são o Chile e o Peru. Na Figura 4, tem-se uma visão do fluxo global de capital de risco direcionado à exploração e à mineração nas principais bolsas internacionais.



Fonte: TSX, 2005.

Figura 4 – Fluxo Global de Capital de Risco

Finalmente, discriminam-se a seguir outros vetores que influenciarão o processo decisório e o posicionamento da indústria de mineração no longo prazo.

- No primeiro plano, encontram-se as questões associadas à sustentabilidade das operações e à contribuição da indústria para o desenvolvimento econômico. Aspectos relacionados às relações com as comunidades, à obtenção da licença social, à responsabilidade corporativa e ao fechamento de mina terão lugar de destaque.
- No plano das relações econômicas setoriais, refletindo a dinâmica econômica global, serão intensificados os fluxos de bens minerais, de capital e de tecnologia entre vários países do Hemisfério Sul, inclusive de vocação mineira, tais como: China, África do Sul, Índia, Brasil, Angola, Moçambique, Chile, Zâmbia e Austrália.
- A China aprofundará sua influência em três grandes dimensões: importação de bens minerais, exportação de manufaturados e investimento internacional. Conforme mencionado anteriormente, inúmeras empresas chinesas e indianas ligadas às atividades do mineral-negócio estão em processo acelerado de internacionalização visando explorar oportunidades e garantir fluxos de suprimento. Os modelos

estratégicos e negociais seguem, em grande medida, o padrão adotado pelas empresas japonesas durante as décadas de 70 e 80.

3. NACIONAL

3.1 Exploração Mineral

O período 1989-1994 se destacou pela implementação de significativas mudanças no clima de investimentos da América Latina (AL), em geral, e da sua indústria de mineração, em particular. Em se tratando do Brasil, após a revisão do Código de Mineração em 1996 (Lei nº 9.314/96) dezenas de empresas internacionais de mineração demonstraram interesse em investir no país. Nesse processo, destacaram-se as empresas juniores com ações negociadas nas bolsas de valores canadenses. Essas empresas criaram escritórios, formalizaram acordos de exploração com empresas brasileiras ou estrangeiras já estabelecidas e requisitaram áreas próprias para exploração, entre outras iniciativas. A maioria das empresas focalizou a condução de suas campanhas exploratórias nas regiões abrangidas pelos estados de MG, GO, BA, PA e MT.

Nos últimos anos, com a recuperação do preço do ouro e a consolidação da visão do superciclo, uma nova leva de empresas em busca de oportunidades escolheu o Brasil como destino. Ao final de 2005, cerca de 80 empresas estrangeiras estavam ativas entre juniores, seniores e grandes empresas de mineração – na exploração mineral. Os estados do Pará, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso concentram o maior número de empresas, projetos e prospectos. Naturalmente, várias empresas atuam em mais de uma UF. Atualmente, o número de empresas ativas é superior a 100. Nesse total não estão computadas aquelas em estado dormente ou com interesse financeiro exclusivamente indireto. A Figura 5 apresenta o perfil da concentração regional inferido a partir do mapa de interesses das 64 principais empresas ativas no Brasil ao longo de 2005.



Fonte: BAMBURRA, 2006

Figura 5 – Perfil Locacional das Empresas Juniores

Ao longo do processo de internalização de IED na exploração mineral brasileira, noticiou-se um grande número de parcerias entre empreendedores brasileiros e investidores estrangeiros, assim como iniciativas voltadas à captação de recursos externos de risco nos centros financeiros especializados, especialmente Toronto e Londres.

Para a indústria de mineração, a exploração mineral é de importância fundamental na medida em que representa o primeiro elo na cadeia de suprimento de bens minerais. Nesse particular, um dos aspectos cruciais diz respeito às informações geológicas disponibilizadas para o investidor privado no que concerne aos seguintes atributos: localização, natureza do levantamento, abrangência dos trabalhos, escala, formatação dos trabalhos e meios disponibilizados para acesso aos interessados. Os trabalhos geológicos básicos e de prospecção regional oferecidos pelo governo, por analogia, podem ser classificados como a “infra-estrutura de informações geológicas” a ser disponibilizada para as empresas de exploração. Este acervo de informações, que pode ser qualificado como integrante da infra-estrutura nacional, face à sua interface crítica com o limiar do processo de alocação de capital privado, assume caráter estratégico de suporte à descoberta de uma nova jazida em se tratando de um país em desenvolvimento, com intensa

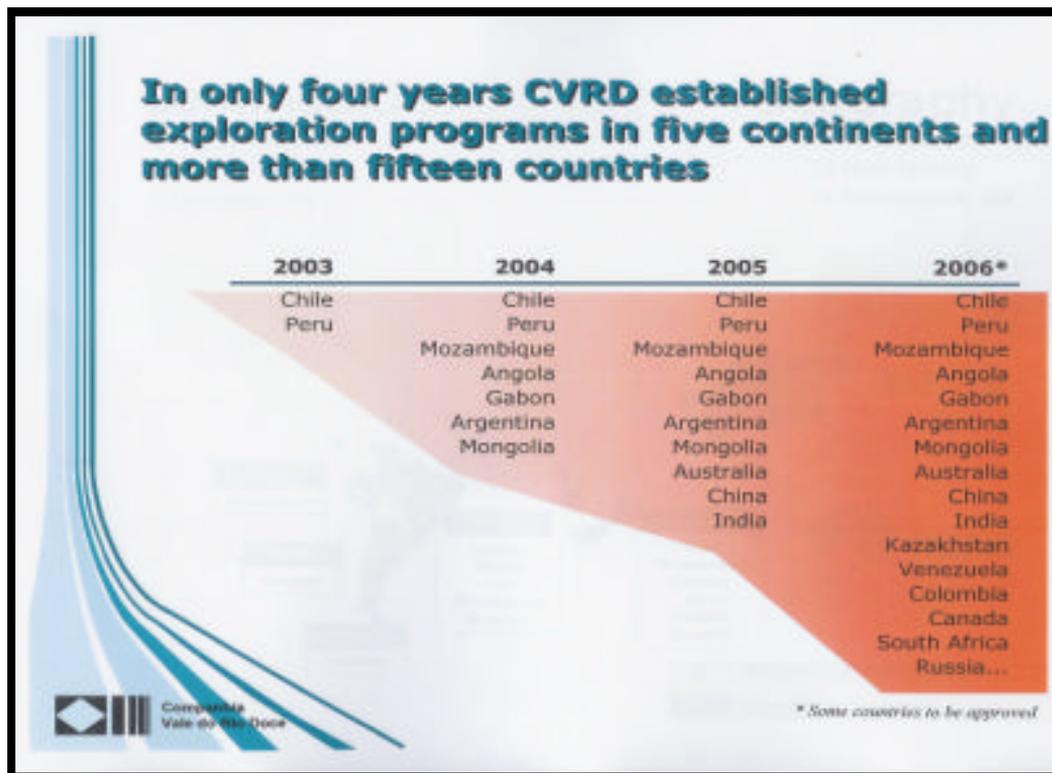
vocação para o mineral-negócio, com território de dimensões continentais e notórios desequilíbrios na distribuição da renda econômica (pessoal e regional). Este papel reservado ao Estado é prioritário. Trata-se de uma restrição fundamental que precisa ser equacionada.

A retomada dos investimentos governamentais a partir de 2004, com base nos recursos oriundos dos *royalties* do petróleo, descortina novos horizontes tendo em vista a apresentação dos primeiros resultados em parceria com algumas UF. Não obstante, considerando o limitado estágio do conhecimento atual e a inevitável e sempre presente restrição orçamentária, impõe-se a definição de um programa pragmático e ousado que privilegie a oferta de projetos específicos e de levantamento aerogeofísico. Esse conjunto de projetos visaria alavancar os investimentos privados. As áreas selecionadas como prioritárias – províncias e distritos mineiros ofereceriam a maior probabilidade relativa para mobilizar novos investimentos em exploração e na lavra no médio prazo. A presença de empresas com projetos de exploração na região é um dos indicadores para estabelecer prioridades. Por outro lado, a possibilidade de formalização de PPPs voltadas à dinamização do conhecimento geológico deve ser investigada.

Um dos segmentos em que a capacidade competitiva do país demonstra sua pujança global é a exploração de níquel, haja vista a série de depósitos em estágio avançado de pesquisa (Serra do Tapa, Santa Fé/Iporá etc), bem como os novos projetos de lavra já previstos: Onça-Puma e Vermelho, da CVRD, e Santa Rita, da empresa Mirabela Mineração. O projeto Santa Rita (BA), por exemplo, encontra-se em estudo de viabilidade com conclusão para o primeiro semestre de 2007. O início da produção está previsto para o final de 2008, para 17 mil toneladas de níquel contido no concentrado. Segundo a empresa, trata-se do maior projeto de níquel sulfetado da América do Sul, bem como da maior descoberta mundial desse tipo de minério nos últimos 10 anos.

Outro metal no qual o Brasil emerge como ator global é o cobre. A entrada em operação, nos próximos anos, dos projetos da CVRD voltados, inclusive, à exportação e a presença atuante da Codelco (Chile) na exploração do cobre no país são feições extremas dessa nova vocação mineral. Faz-se mister destacar que, em meados da década de 80, o cobre era um bem mineral no qual o Brasil era classificado como carente (reservas) e dependente de importações.

Finalmente, cabem algumas considerações sobre o programa de exploração mineral da CVRD. Para o exercício de 2006, o orçamento está estimado em US\$ 180 milhões com ênfase no cobre, níquel e carvão. O posicionamento da CVRD entre as empresas líderes na exploração mineral global é apresentado na Figura 6, que retrata a evolução do perfil de países de interesse da empresa ao longo do período 2003-2006.



Fonte: RIBEIRO, 2006.

Figura 6 – Países de Interesse da CVRD

3.2 MINERAL-NEGÓCIO: PROJETOS MÍNERO-INDUSTRIAIS

A carteira brasileira agregada de projetos mínero-industriais (em curso ou previstos) é auspiciosa. A despeito das restrições tributárias, burocrático-administrativas, ambientais e de infra-estrutura, o montante dos investimentos setoriais é expressivo demonstrando a inquestionável vocação do país para o mineral-negócio. Ressalte-se que a maioria dos projetos está focada no mercado internacional e não depende do crescimento do mercado interno. Na quadra atual, seus principais vetores de sustentação são:

- Maior desenvoltura – financeira, gerencial, estratégica etc da CVRD (pós-privatização) e sua invejável carteira de projetos no país.
- Inúmeros projetos das demais empresas de grande porte ativas na economia mineral nacional.
- Preços favoráveis dos bens minerais nos quais o Brasil tem grande vocação.
- Maturação de programas de exploração de grandes empresas, com foco no longo prazo, permitindo descortinar novos depósitos de grande potencial.

- Grande número de empresas de exploração estrangeiras, de pequeno e médio portes, ativas no país, atuando isoladamente ou em articulação, inclusive, com grandes empresas.
- Reavaliação e aprofundamento dos trabalhos de exploração em propriedades e depósitos já conhecidos, mas sob condições técnico-econômicas e perspectivas de desenvolvimento mais favoráveis.

Uma pesquisa realizada pelo BNDES indica que os investimentos industriais e aqueles direcionados à infra-estrutura e à construção residencial apresentam uma tendência de aceleração para o período 2007-2010 (BNDES, 2006). Foram pesquisados dezesseis setores. Trata-se de uma amostra que responde por 45% da FBCF, 63% dos investimentos industriais e 68% dos investimentos em infra-estrutura. Os investimentos potenciais totais amostrados foram estimados em R\$ 1 trilhão. A consolidação dos dados referentes aos investimentos industriais - Tabela 1 - aponta investimentos totais de R\$ 380 bilhões para o período de 2007-2010. Os setores líderes são petróleo e gás (48%), indústria de mineração (14%) e siderurgia (10%), que respondem por 72% do montante estimado.

Tabela 1 – Perfil dos Investimentos: 2002-2010

	Investimento (R\$ bilhões)		Previsão de Crescimento (% ao ano)
	Realizado (2002-2005)	Previsão (2007-2010)	
Petróleo e gás	99,2	183,6	13,1
Extrativa mineral	29,8	52,7	12,1
Siderurgia	14,4	37,1	20,8
Papel, celulose e produtos florestais	9,2	20,0	16,9
Petroquímica	8,8	17,6	14,8
Automotivo	20,9	28,5	6,4
Eletroeletrônica	8,2	15,6	13,9
Fármacos	3,9	4,6	3,4
Sucroalcooleiro	12,5	20,5	10,3
Total	207,0	380,2	12,9

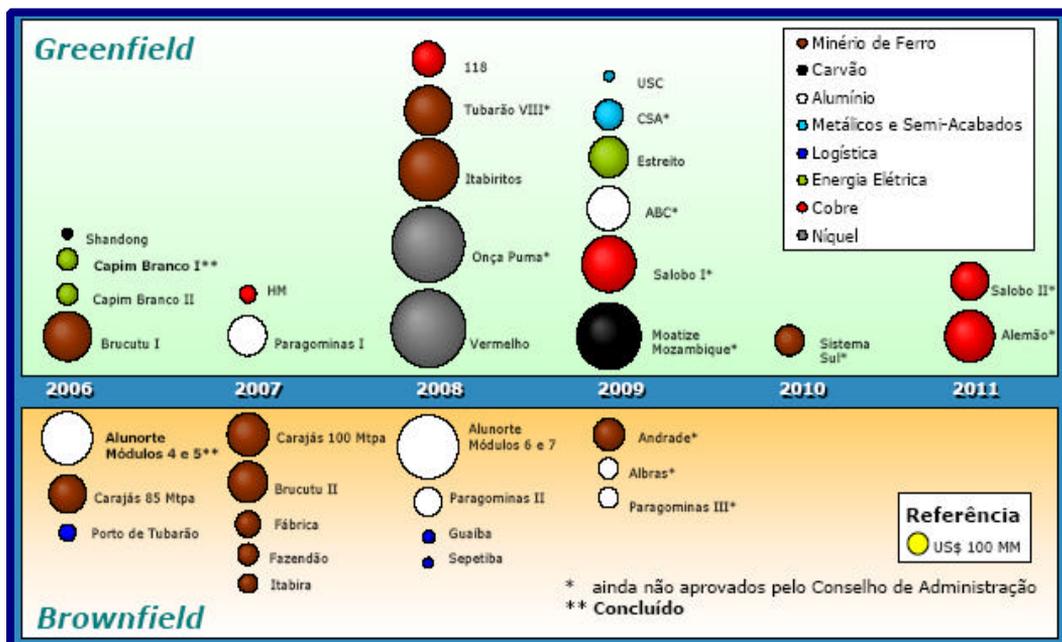
Fonte: BNDES, 2006.

Registre-se a participação significativa do conjunto mineração e siderurgia em comparação com os demais setores. O setor siderúrgico, além da forte sinergia com a mineração, conta com programa expressivo para aumento da capacidade de produção nos próximos cinco anos.

Muito embora não estejam disponíveis informações mais detalhadas, acredita-se que o montante dos investimentos atribuídos à indústria de mineração esteja subestimado. A amostra relativa à mineração adotada pelo BNDES é inferior a 63% da representativi-

dade média suposta para o setor industrial. Além da exclusão dos investimentos em exploração e dos projetos de lavra em estágio de pré-viabilidade, é preciso considerar as dezenas de projetos direcionados ao aproveitamento de minerais metálicos e não-metálicos. Caso o enfoque seja o do mineral-negócio, a perda de representatividade é mais acentuada ainda.

Naturalmente, na carteira doméstica de projetos minero-industriais os projetos da CVRD são muito relevantes. A Figura 7 apresenta uma visão agregada desses projetos.



Fonte: RIBEIRO, 2006.

Figura 7 - Principais Projetos da CVRD

Como resultado da implementação dos projetos da CVRD, cabe mencionar algumas métricas e indicadores previstos para serem alcançados nos próximos anos:

- Produção de 300 milhões de toneladas de minério de ferro em 2007.
- Início do projeto Vermelho, no 2º semestre de 2008, com 46 mil t de níquel (catodos) e 2,8 mil t de cobalto.
- Início do projeto Onça-Puma, no 2º semestre de 2008, com 57 mil t de ferro-níquel.
- Início do projeto Salobo I em 2009, com 100 mil t de cobre e 4 t de ouro.
- Início do projeto Cristalino em 2010, com 90 mil t de cobre e 1,3 t de ouro.

- Segunda posição na produção global de bauxita, com produção ao redor de 22 milhões de t em 2010.
- Terceira posição na produção global de alumina, com produção de 8,1 milhões t de alumina em 2010.
- Início do projeto Alemão em 2011, com 150 mil t de cobre e 9,0 t de ouro.
- Início do projeto Salobo II em 2011, com 100 mil t de cobre e 4,0 t de ouro.

4. REFERENCIAIS PARA A POLÍTICA PÚBLICA

4.1 Agenda de Prioridades: destaques

Para os países de vocação mineira, a competitividade internacional na mineração assume papel estratégico para a equação do desenvolvimento. A experiência observada em países avançados e de expressão continental, tais como Austrália e Canadá, sugere a adoção de políticas públicas similares no endereçamento de aspectos críticos e estruturais do caminho de expansão do setor mineral em sua dimensão competitiva. Por outro lado, em se tratando de países continentais em desenvolvimento, como o Brasil e a Índia, acrescenta-se o papel expressivo reservado às Pequenas e Médias Empresas de Mineração (PMEM), ao aproveitamento dos pequenos e médios depósitos e aos APLs de base mineral no aumento do emprego, das exportações e nos processos de inclusão social e geoeconômica.

No que diz respeito às desvantagens competitivas do Brasil, os principais óbices são referenciados, em geral, pela alta carga tributária, pelo peso da burocracia e pelas restrições na oferta de infra-estrutura e logística. No plano setorial, além da influência dos fatores de expressão nacional e das recomendações específicas expressas nos itens anteriores, faz-se oportuno enfatizar a presença das seguintes restrições de ordem setorial:

- Carência de informações geológicas e geofísicas em escala adequada ao processo decisório do setor privado.
- Pouca integração do setor mineral brasileiro com o mercado de capitais em geral.
- Descompasso entre o fluxo de fundos de capital de risco direcionado para a empresa nacional de mineração e suas necessidades de investimento.
- Reduzido grau de integração vertical na cadeia industrial do mineral-negócio.
- Necessidade de robustecer a capacidade de PD&I voltada para a área de lavra, ampliando o escopo de atuação do CETEM de forma articulada com as iniciativas em curso nos Departamentos de Engenharia de Minas das Universidades e nos Grupos de Pesquisa.

4.2 Visão Mineral 2015

A visão setorial para 2015 tem como referencial os seguintes pressupostos macroeconômicos:

- Trajetória de crescimento sustentável para o PIB *per capita* com taxa anual na vizinhança da média histórica de 7% observada durante o período denominado “milagre brasileiro”.
- Padrão de crescimento ancorado em políticas distributivas eficazes que ofereçam avanços tangíveis e sustentáveis na distribuição da renda nacional, tanto no plano regional quanto individual.

Para a mineração, qualitativamente, a expectativa é de que o setor alcance uma dimensão econômica que seja compatível com sua potencialidade e vantagens comparativas e competitivas. Essa dimensão expressará a maximização do aproveitamento das oportunidades oferecidas pelo crescimento esperado dos mercados nacional e internacional. Na aproximação da visão setorial, entre os vetores fundamentais selecionados para caracterizar as mudanças esperadas na estrutura da indústria em 2015, destacam-se:

- Aumento na participação econômica e financeira da empresa de mineração nacional na cadeia de suprimento de bens minerais destinados ao mercado interno e à exportação.
- Aumento na participação econômica e financeira das PMEM e consolidação e robustecimento das APLs de base mineral.
- Em se tratando das PMEM, um destaque estratégico diz respeito à dinamização dos investimentos em exploração mineral.
- Aumento na integração vertical do mineral-negócio possibilitando incrementar o valor agregado às exportações de bens minerais e substituir importações.
- Maior participação do mercado de capitais brasileiro como fonte de financiamento da expansão do mineral-negócio brasileiro inclusive no segmento de exploração mineral.
- Incremento na internacionalização das empresas brasileiras atuantes no mineral-negócio. Esse novo patamar de inserção internacional estará refletido nos fluxos de captação de recursos externos (inclusive em bolsas internacionais), nos projetos, parcerias e aquisições, entre outras transações econômicas e financeiras no exterior.
- Na área ambiental, o amadurecimento do arcabouço legal que disciplina a problemática do fechamento de mina e da oferta de garantias bem como a execução de agenda setorial específica relacionada à redução das emissões de carbono.
- A mineração em áreas indígenas deverá estar regulamentada permitindo a operação de importantes projetos de mineração de interesse nacional e regional.

– O trabalho infantil deverá estar erradicado ao longo das cadeias produtivas (inclusive fornecedores) do mineral-negócio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, M.; et al. (2006), The new global challengers: how 100 top companies from rapidly developing economies are changing the world, Boston Consulting Group, 25 mai
- Bamburra (2006), Brazilian mineral transactions: 2005, Relatório multi-cliente.
- Bamburra (2006), Empresas juniores & seniores com projetos na Bahia. Perfil em 2005, Relatório de Consultoria, CBPM.
- BNDES (2006), Visão do desenvolvimento, Números: 18, 19 e 20.
- FMI (2006), World Economic Outlook.
- Júnior, J. R. (2006), Cenários para o crescimento do produto potencial: 2007-2010, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).
- Klinger, D. (2005), Setting the stage – new global realities for mining and exploration companies in today´s world, PDAC Convention, Toronto.
- NSSS (2005), Staffing the supercycle: labour force outlook in the minerals sector, 2005-2015, Minerals Industry National Skills Shortage Strategy (NSSS), Austrália.
- OCDE; FAO (2006), Agricultural outlook 2006-2015, Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e Agência para Agricultura e Alimentação (FAO/ONU).
- Ribeiro, E. (2006), CVRD´s Contribution to the brazilian mineral sector diversification, PDAC, Toronto.
- Santos, C.; Durão V. (2006), BNDES quer abrir novas fronteiras industriais, Valor Econômico, 21 set.
- TSX (2005), Toronto Stock Exchange. Relatório anual.
- Vale, E. (2005), PDAC 2005, Minérios & Minerales, nº 282, Mai-Jun, pp. 6-17.
- Vale, E. (2006), PDAC 2006, Minérios & Minerales, nº 288. Mai-Jun, pp. 16-23.
- Wolf, M. (2006), A desaceleração nos EUA e o mundo, Valor Econômico, 27 set.

ANEXO 1

COMITÊS TÉCNICOS DOS PAINÉIS

PAINÉIS SGB/CPRM

CONHECIMENTO GEOLÓGICO

Coordenação Técnica

Gerson Manoel Muniz de Matos
gmmm@rj.cprm.gov.br

EXPLORAÇÃO MINERAL

Coordenação Técnica

Isao Shintaku
isao@rj.cprm.gov.br

GEOLOGIA AMBIENTAL

Coordenação Técnica

Cássio Roberto da Silva
cassio@rj.cprm.gov.br

RECURSOS HÍDRICOS

Coordenação Técnica

Lígia Maria N. de Araújo
ligiamna@rj.cprm.gov.br

PAINÉIS CETEM

LAVRA

Coordenação Técnica
Adriano Caranassios
adriano@cetem.gov.br

Comitê Técnico

Afonso Heraldo Petta (Bunge)
afonso.petta@bunge.com

Francisco Holanda Vidal
fhollanda@cetem.gov.br

Ricardo Cabral de Azevedo (USP)
ricardo.azevedo@poli.usp.br

COMINUIÇÃO

Coordenação Técnica

João Sampaio
jsampaio@cetem.gov.br

Comitê Técnico

Adão B. Luz
adaobluz@cetem.gov.br

Cláudio Schneider
cschneid@cetem.gov.br

Paulo F. Almeida Braga
pbraga@cetem.gov.br

FLOTAÇÃO

Coordenação Técnica

Marisa Monte
mmonte@cetem.gov.br

Comitê Técnico

Antônio Campos
acampos@cetem.gov.br

João Sampaio
jsampaio@cetem.gov.br

Paulo F. Almeida Braga
pbraga@cetem.gov.br

HIDROMETALURGIA

Coordenação Técnica

Ronaldo Santos
rsantos@cetm.gov.br

Comitê Técnico

Andréa Rizzo
arizzo@cetem.gov.br

Ivan Masson
imasson@cetem.gov.br

Luiz Gonzaga Santos Sobral
lsobral@cetem.gov.br

Paulo Sérgio Moreira Soares
psoares@cetem.gov.br

Vicente Paulo de Souza
vpsouza@cetem.gov.br

ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS

Coordenação Técnica

Renato Ciminelli
ciminelli@mercadomineral.com.br

Comitê Técnico
Adão B. Luz
adaobluz@cetem.gov.br

Adriano Caranassios
adriano@cetem.gov.br

Carlos Peiter
cpeiter@cetem.gov.br

Eduardo Cavalcanti (Brasil Minérios)
brasilminerios@terra.com.br

Francisco Lapido
flapido@cetem.gov.br

Gláucia Cuchierato (IPT)
glauca@ipt.br

José Mário Coelho (UFRJ)
zemario@geologia.ufrj.br

Marisa Monte
mmonte@cetem.gov.br

Marsis Cabral Jr (IPT)
marsis@ipt.br

Patrícia Maria T. Cavalcanti
ptenorio@cetem.gov.br

Ricardo Dutra (SENAI)
ricardo.dutra@pr.senai.br

MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE

Coordenação Técnica

Zuleica Castilhos
zcastilhos@cetem.gov.br

Comitê Técnico

Paulo Sérgio M. Soares
psoares@cetem.gov.br

Roberto C. Villas-Bôas
villasboas@cetem.gov.br

Saulo R. Pereira Filho
srodrigues@cetem.gov.br

Vicente Paulo de Souza
vpsouza@cetem.gov.br

RECICLAGEM

Coordenação Técnica

Heloísa Medina
hmedina@cetem.gov.br

QUESTÕES ECONOMICO-SOCIAIS

Coordenação Técnica

Maria Helena Rocha Lima
mrocha@cetem.gov.br