

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 geostatísticas 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 desmonte secundário, aumentando os custos das pedreiras.



Figura 5 – Geração de grandes matacos no desmonte 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

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 ornamentais.

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).



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 *shovel* 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.

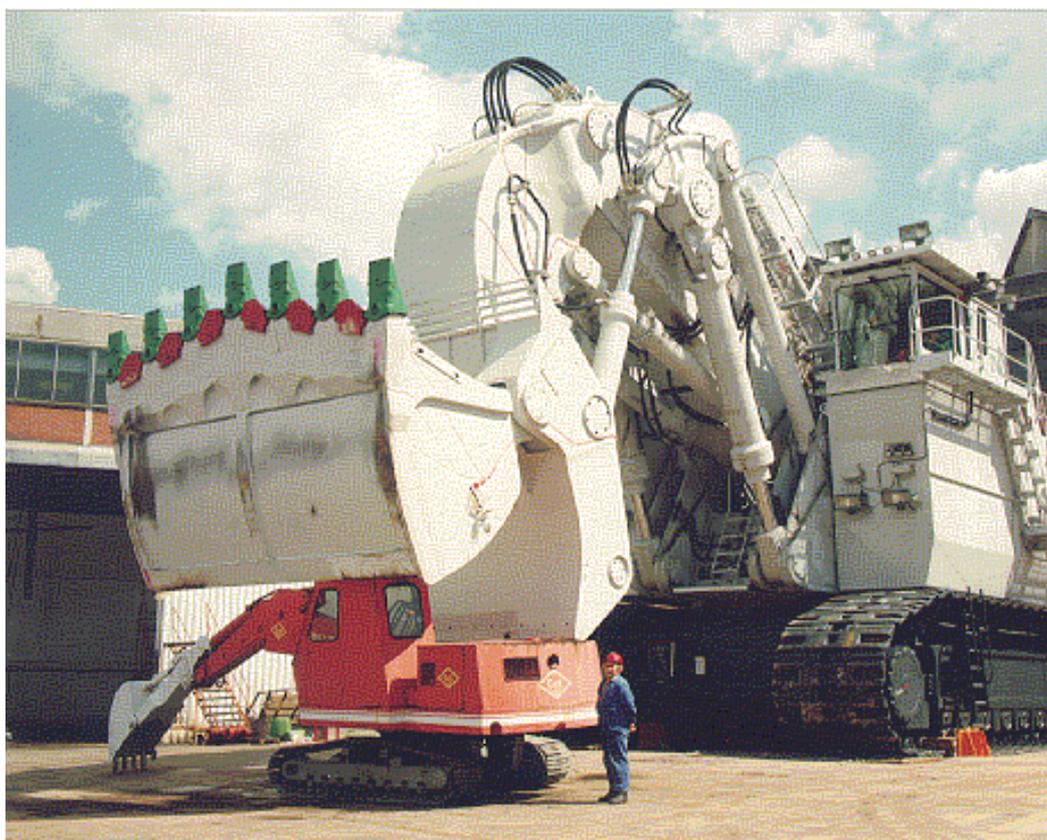


Figura 9 – Evolução dos equipamentos de escavação e carregamento observando-se a tendência de aumento do porte

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.

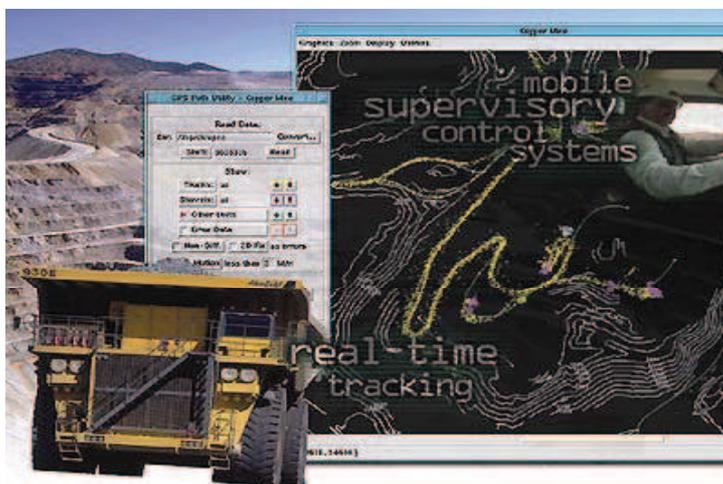
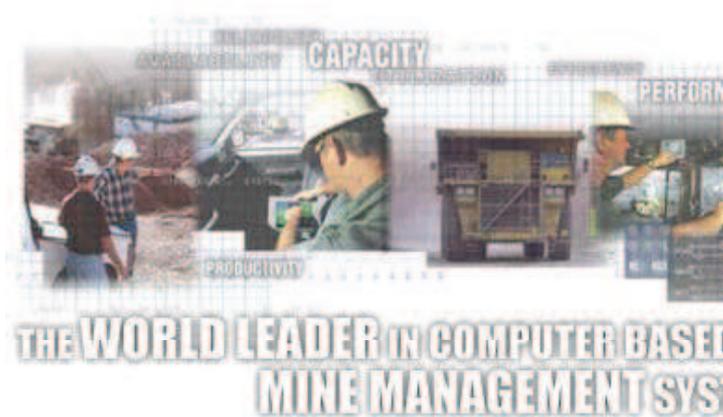


Figura 11 – A tendência mundial: introdução de sistemas de gerenciamento de mineração envolvendo o controle total das operações mineiras

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 conseqüência, 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 atuadas 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_1%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.